Hosted by Çağ University

11th International Academic Studies Congress

THE PSYCHOLOGY OF THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Human, Society, Technology, and Institutional Structures

FULL TEXT PROCEEDINGS

April 28-30, 2026
Congress Venue: Tarsus, Mersin, Turkiye - In Person & Online

Editor: Assoc. Prof. Dr. Nida Palabıyık

Çağ Üniversitesi ev sahipliğinde

XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi

YAPAY ZEKÂ ÇAĞININ PSİKOLOJİSİ

İnsan, Toplum, Teknoloji ve Kurumsal Yapılar

TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

28-30 Nisan 2026
Kongre Yeri: Tarsus, Mersin, Türkiye

Editör: Doç. Dr. Nida Palabıyık

Hosted by Çağ University

11th International Academic Studies Congress

THE PSYCHOLOGY OF THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Human, Society, Technology, and Institutional Structures

FULL TEXT PROCEEDINGS

April 28-30, 2026
Congress Venue: Tarsus, Mersin, Turkiye - In Person & Online

Editor: Assoc. Prof. Dr. Nida Palabıyık

Hosted by Çağ University

11th International Academic Studies Congress

THE PSYCHOLOGY OF THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Human, Society, Technology, and Institutional Structures

FULL TEXT PROCEEDINGS

April 28-30, 2026

Congress Venue: Tarsus, Mersin, Turkiye - In Person & Online

Çağ Üniversitesi ev sahipliğinde

XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi

YAPAY ZEKÂ ÇAĞININ PSİKOLOJİSİ

İnsan, Toplum, Teknoloji ve Kurumsal Yapılar

TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

28-30 Nisan 2026

Kongre Yeri: Tarsus, Mersin, Türkiye

Medyatör Publishing

The printing, publishing, and sales rights of this book belong to Medyatör Publishing. All rights reserved. The entire book, or parts thereof, may not be reproduced, distributed, printed, or stored in digital format by electronic, optical, mechanical, or other means without the permission of Medyatör Publishing. The authors are solely responsible for all articles published in this book.

Norm Publishing is a publishing house brand of Medyatör Publishing.

NORM YAYINCILIK

Editor

Assoc. Prof. Dr. Nida Palabıyık

Publication Date: July 2026

ISBN: 978-625-8647-78-5

Publisher's Certificate No. 21675 / Medyatör Publishing

Address: İncesu Mahallesi Mahmut Esat Bozkurt Caddesi Lale Apt. No:32/11 Çankaya-Ankara/ TÜRKİYE

Website: https://www.normyayincilik.com/

Email: normyayincilik@gmail.com

PREFACE

Dear Scientists and Researchers,

In an era when scientific knowledge is expanding at an unprecedented pace and the boundaries between disciplines are becoming increasingly permeable, international academic organizations that bring researchers together on common scientific platforms play a vital role in advancing knowledge production and fostering scholarly collaboration. Guided by this vision, the Academic Studies Group has been organizing international congresses across diverse disciplines since 2021, with the primary objective of strengthening scientific communication, encouraging interdisciplinary research, and making sustainable contributions to the dissemination of academic knowledge.

In addition to the International Academic Studies Congress, which is held regularly each year, the Academic Studies Group continues its activities through a series of international congresses focusing on social sciences, health sciences, and various thematic fields. Through these initiatives, it has established an institutional scientific organization that brings together researchers from different geographical regions around shared academic goals. This approach aims to facilitate the dissemination of scientific outputs, strengthen international academic networks, promote interdisciplinary collaborations, and foster a culture of collaborative research.

Among the scientific events organized by the Academic Studies Group, the International Academic Studies Congress stands out as one of its longest-established congress series owing to its interdisciplinary perspective, international participation, and commitment to scientific continuity. Held twice a year, this congress series brings together researchers from diverse fields of science around common themes, providing a platform for comprehensive discussions of contemporary scientific issues while encouraging the development of new research collaborations. As such, these congresses constitute a sustainable environment for scholarly exchange that strengthens interdisciplinary interaction, contributes to the emergence of new research agendas, and supports the expansion of international academic networks.

Representing the eleventh link in this institutional academic tradition, the XI International Academic Studies Congress (ASC-2026/Spring) was held on 28-30 April 2026 at Çağ University in Tarsus/Mersin, Türkiye, in a hybrid format that enabled both in-person and online participation. The congress was organized under the main theme, “Psychology in the Age of Artificial Intelligence: Human, Society, Technology, and Institutional Structures.” Throughout the congress, the effects of the age of artificial intelligence on individuals, societies, and institutions were examined through both theoretical and applied perspectives from various disciplines, allowing recent scientific developments to be evaluated from a comprehensive and multidisciplinary viewpoint.

The congress brought together researchers from different countries and academic disciplines on a common scientific platform, enabling comprehensive discussions on the transformations taking place in the age of artificial intelligence. Academics, researchers, and practitioners from Türkiye, Pakistan, Malaysia, Uzbekistan, Azerbaijan, India, the Democratic Republic of the Congo, Kazakhstan, Greece, Albania, the Turkish Republic of Northern Cyprus, Bulgaria, Sudan, the United States of America, Kosovo, the United Kingdom, Canada, France, Romania, Germany, Belgium, and Kyrgyzstan made valuable scientific contributions to the congress.

A total of 358 scientific papers were presented at the congress, prepared through the scholarly contributions of 659 researchers from 22 different countries. Country-based participation included 288 researchers from Türkiye, 180 from Pakistan, 108 from Malaysia, 24 from Uzbekistan, 14 from Azerbaijan, 9 from India, 7 from the Democratic Republic of the Congo, 5 from Kazakhstan, 3 each from Greece, Albania, and the Turkish Republic of Northern Cyprus, 2 each from Bulgaria, Sudan, the United States of America, and Kosovo, and 1 researcher each from the United Kingdom, Canada, France, Romania, Germany, Belgium, and Kyrgyzstan. These figures provide concrete and verifiable evidence of the international character of the XI International Academic Studies Congress. Overall, 43.7% of all registered researchers were from Türkiye, while 56.3% represented 21 different countries outside Türkiye. The fact that more than half of all participants came from abroad clearly demonstrates that the congress constitutes a truly international scientific platform characterized by broad multinational representation and the active participation of researchers from diverse geographical regions.

ÖNSÖZ

Değerli Bilim İnsanları ve Araştırmacılar,

Bilimsel bilginin hızla çeşitlendiği, disiplinler arasındaki sınırların giderek geçirgen hâle geldiği günümüzde, araştırmacıları ortak bilimsel platformlarda buluşturan uluslararası akademik organizasyonlar, bilgi üretiminin ve bilimsel iş birliklerinin geliştirilmesinde önemli bir işlev üstlenmektedir. Akademik Çalışmalar Grubu, bu anlayış doğrultusunda 2021 yılından bu yana farklı disiplinlere yönelik uluslararası kongreler düzenleyerek bilimsel iletişimi güçlendirmeyi, disiplinler arası araştırmaları teşvik etmeyi ve akademik bilgi paylaşımına sürdürülebilir katkı sunmayı temel ilke edinmiştir.

Her yıl düzenli olarak gerçekleştirilen Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi'nin yanı sıra sosyal bilimler, sağlık bilimleri ve farklı tematik alanlara odaklanan uluslararası kongre serileriyle faaliyetlerini sürdüren Akademik Çalışmalar Grubu, farklı coğrafyalardan araştırmacıları ortak akademik hedefler doğrultusunda buluşturan kurumsal bir bilimsel organizasyon yapısı oluşturmuştur. Bu yaklaşım; bilimsel çıktıların paylaşılmasını, uluslararası akademik ağların güçlendirilmesini, disiplinler arası iş birliklerinin geliştirilmesini ve ortak araştırma kültürünün yaygınlaştırılmasını amaçlamaktadır.

Akademik Çalışmalar Grubu tarafından düzenlenen bilimsel organizasyonlar içerisinde Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi; disiplinler arası yaklaşımı, uluslararası katılımı ve bilimsel sürekliliğiyle öne çıkan en köklü kongre serilerinden biridir. Yılda iki kez gerçekleştirilen bu kongre serisi, farklı bilim alanlarından araştırmacıları ortak temalar etrafında buluşturarak güncel bilimsel sorunların çok yönlü biçimde tartışılmasına ve yeni araştırma iş birliklerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu kongreler; farklı disiplinler arasında bilimsel etkileşimi güçlendiren, yeni araştırma gündemlerinin oluşmasına katkı sunan ve uluslararası akademik ağların gelişimini destekleyen sürdürülebilir bir bilimsel paylaşım ortamı niteliği taşımaktadır. Bu kurumsal akademik birikimin on birinci halkasını oluşturan XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi (ASC-2026/Spring), "Yapay Zekâ Çağının Psikolojisi: İnsan, Toplum, Teknoloji ve Kurumsal Yapılar" ana temasıyla 28-30 Nisan 2026 tarihlerinde Çağ Üniversitesi ev sahipliğinde Tarsus/Mersin'de yüz yüze ve çevrimiçi katılıma açık hibrit formatta gerçekleştirilmiştir. Kongrede, yapay zekâ çağının birey, toplum ve kurumlar üzerindeki etkileri farklı disiplinlerin kuramsal ve uygulamalı yaklaşımları çerçevesinde ele alınmış; güncel bilimsel gelişmeler çok yönlü bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Kongre, farklı ülkelerden ve disiplinlerden araştırmacıları ortak bir bilimsel zeminde buluşturarak yapay zekâ çağında yaşanan dönüşümlerin çok yönlü biçimde tartışılmasına olanak sağlamıştır. Türkiye başta olmak üzere Pakistan, Malezya, Özbekistan, Azerbaycan, Hindistan, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Kazakistan, Yunanistan, Arnavutluk, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Bulgaristan, Sudan, Amerika Birleşik Devletleri, Kosova, Birleşik Krallık, Kanada, Fransa, Romanya, Almanya, Belçika ve Kırgızistan'dan akademisyenler, araştırmacılar ve uygulayıcılar kongreye bilimsel katkı sunmuştur. Kongre kapsamında sunulan 358 bilimsel bildiri, 22 farklı ülkeden toplam 659 araştırmacının bilimsel katkısıyla hazırlanmıştır. Ülke bazında dağılım incelendiğinde Türkiye'den 288, Pakistan'dan 180, Malezya'dan 108, Özbekistan'dan 24, Azerbaycan'dan 14, Hindistan'dan 9, Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nden 7, Kazakistan'dan 5, Yunanistan, Arnavutluk ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nden üçer, Bulgaristan, Sudan, Amerika Birleşik Devletleri ve Kosova'dan ikişer; Birleşik Krallık, Kanada, Fransa, Romanya, Almanya, Belçika ve Kırgızistan'dan ise birer araştırmacı kaydı yer almaktadır. Bu veriler, XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi'nin uluslararası niteliğini somut ve doğrulanabilir göstergelerle ortaya koymaktadır. Toplam araştırmacı kayıtlarının %43,7'si Türkiye'den, %56,3'ü ise Türkiye dışındaki 21 farklı ülkeden oluşmaktadır. Türkiye dışından gelen katkıların toplam kayıtların yarısından fazlasını oluşturması, kongrenin farklı coğrafyalardan araştırmacıların aktif katılımıyla şekillenen, çok ülkeli akademik temsile sahip uluslararası bir bilimsel platform niteliği taşıdığını açık biçimde göstermektedir.

Kongrede sunulan çalışmalar, yapay zekâ çağının ortaya çıkardığı dönüşümü tek bir disiplinin bakış açısıyla ele almak yerine farklı bilim alanlarının kuramsal ve uygulamalı yaklaşımlarını ortak bir bilimsel zeminde buluşturmuştur. Psikoloji, eğitim, sağlık, mühendislik, hukuk, kamu yönetimi, işletme, ekonomi, iletişim, sanat, kültür, tarım, sürdürülebilirlik ve uluslararası ilişkiler başta olmak üzere birçok alanda gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar, yapay zekânın birey, toplum ve kurumlar üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir perspektifle değerlendirmiştir. Bu yönüyle kongre; yapay zekânın etik, hukuki, toplumsal, ekonomik ve yönetsel boyutlarıyla ele alınması gerektiğini ortaya koyan disiplinler arası bir tartışma ortamı sunmuştur.

Kongrenin bilimsel programı; davetli konuşmalar, panel oturumları ve bildiri sunumlarıyla zenginleştirilmiş; alanında uzman akademisyenlerin katkılarıyla yapay zekâ çağında ortaya çıkan güncel sorunlar ve çözüm arayışları farklı disiplinlerin bakış açılarıyla değerlendirilmiştir. Bu süreç; yeni araştırma alanlarının belirlenmesine, disiplinler arası araştırma kültürünün güçlenmesine ve uluslararası akademik iş birliklerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamıştır.

Bu tam metin bildiri kitabı, XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi kapsamında sunulan bilimsel çalışmaların kalıcı hâle getirilmesi, araştırmacılar arasında bilgi paylaşımının desteklenmesi ve ilgili literatüre sürdürülebilir katkı sağlanması amacıyla hazırlanmıştır. Kitapta yer alan çalışmalar, yapay zekâ çağının beraberinde getirdiği fırsatları ve sorunları farklı disiplinlerin bakış açılarıyla ele alarak kuramsal tartışmaların derinleşmesine ve uygulamaya yönelik bilimsel çözüm önerilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu yönüyle eser, kongrede gerçekleştirilen bilimsel üretimin bir çıktısını sunarak disiplinler arası araştırmalar için güvenilir bir başvuru kaynağı ve gelecekte yürütülecek akademik çalışmalara referans oluşturacak kalıcı bir bilimsel eser niteliği taşımaktadır.

XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi'nin başarıyla gerçekleştirilmesinde emeği geçen Çağ Üniversitesi yönetimine, düzenleme kuruluna, bilim ve danışma kurullarına, hakemlere, oturum başkanlarına, davetli konuşmacılara, panelistlere, destek veren kurum ve kuruluşlara; ayrıca sundukları nitelikli bilimsel çalışmalarla kongrenin akademik değerini artıran tüm araştırmacılara içten teşekkürlerimizi sunarız.

Bu kitabın, yapay zekâ çağında insan, toplum, teknoloji ve kurumsal yapılar arasındaki ilişkileri anlamaya yönelik bilimsel tartışmalara katkı sağlamasını; disiplinler arası yeni araştırmalara, uluslararası akademik iş birliklerine ve insan merkezli teknoloji politikalarının gelişimine zemin oluşturmasını temenni ederiz.

Uluslararası Akademik Çalışmalar Derneği
Ankara
72-007-133

Konu: Kongre Düzenleme Kurulu

Sayı: 2026/6

Tarih: 02.04.2026

İLGİLİ KURUMA

İçişleri Bakanlığı tarafından tahsis edilen 72-007-133 tescil kodu ile tüzel kişiliğe sahip olan Uluslararası Akademik Çalışmalar Grubu Derneği, 5253 sayılı kanuna uygun olarak "Bilimsel Araştırmalar ve Akademik Çalışmalar" alanında ulusal ve uluslararası düzeyde faaliyetlerini yürütmektedir.

Kurumumuzun Yönetim Kurulu tarafından, 02.04.2026 tarihinde saat 13:00'de "Bilimsel Çalışmalarda Strateji Geliştirme" görüşmeleri ile "Bilimsel Kongreler Düzenlenmesi" gündemleri ile toplanmış ve alınan 6 nolu karara istinaden aşağıda detayları yazılı olan bilimsel etkinliğin düzenlenmesine ve etkinliğe ilişkin akademisyenlerin resmi olarak görevlendirilmesine oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgi ve gereğini arz ederim.

Doç. Dr. Osman Yılmaz
Uluslararası Akademik Çalışmalar Derneği
Başkanı

Etkinlik Adı: XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi
YAPAY ZEKÂ ÇAĞININ PSİKOLOJİSİ-İnsan, Toplum, Teknoloji ve Kurumsal Yapılar

Etkinlik Tarihi: 28–30 Nisan 2026 • Tarsus-Mersin, TÜRKİYE

Web: academicianstudies@gmail.com

Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Şirvan Kalsın
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Muhammad Ashfaq
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Tevfik Odman
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Gökben Bayramoğlu
Hitit Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Ufuk Karadavut
Karabük Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Saadet Sağtaş Tutkunca
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Murat Cihangir
Batman Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Azamat Maksüdünov
Kyrgyz – Turkish Manas University, Kyrgyzstan

Doç. Dr. Osman Ylmaz
Batman Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Nida Palabıyık
Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye

Dr. Logaiswari Indiran
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Sharofiddin Xoshimjonov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Dr. Çağrı Utkan
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Dr. Gürcan Demiroğları
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ayşe Şenay Koç
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ufuk Kocatepe Avcı
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Dr. Sena Doğruyol
Çağ Üniversitesi, Türkiye

Hakan Çalışkantürk
Girişimcilik Ekosistemi Derneği, Türkiye

Barış Can Aydın
Çağ Üniversitesi, Türkiye

INTERNATIONAL ACADEMIC STUDIES ASSOCIATION
Ankara
72-007-133

Subject: Congress Organizing Committee

Ref No: 2026/6

Date: 02.04.2026

TO WHOM IT MAY CONCERN

The International Academic Studies Group Association, possessing legal entity status with the registration code 72-007-133 assigned by the Ministry of Interior, conducts its activities at national and international levels in the field of "Scientific Research and Academic Studies" in compliance with Law No. 5253.

Our institution's Board of Directors convened on 02.04.2026 at 13:00 with the agenda of "Strategy Development in Scientific Studies" discussions and "Organizing Scientific Congresses". Pursuant to the Resolution No. 6 adopted during this meeting, it has been unanimously decided to organize the scientific event, the details of which are written below, and to officially assign the relevant academicians for this event.

Submitted for your information and necessary action.

Assoc. Prof. Dr. Osman Yılmaz
President of the International
Academic Studies Association

Event Name: XI. International Academic Studies Congress
PSYCHOLOGY OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AGE - Human, Society, Technology, and Institutional Structures

Event Date: April 28–30, 2026 • Tarsus-Mersin, TÜRKİYE

Web / E-mail: academicianstudies@gmail.com

Editorial Board

Prof. Dr. Şirvan Kalsın
Çağ University, Türkiye

Prof. Dr. Muhammad Ashfaq
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Tevfik Odman
Çağ University, Türkiye

Prof. Dr. Gökben Bayramoğlu
Hitit University, Türkiye

Prof. Dr. Ufuk Karadavut
Karabük University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Saadet Sağtaş Tutkunca
Çağ University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Murat Cihangir
Batman University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Azamat Maksüdünov
Kyrgyz – Turkish Manas University, Kyrgyzstan

Assoc. Prof. Dr. Osman Ylmaz
Batman University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nida Palabıyık
Yozgat Bozok University, Türkiye

Dr. Logaiswari Indiran
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Sharofiddin Xoshimjonov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Dr. Çağrı Utkan
Çağ University, Türkiye

Dr. Gürcan Demiroğları
Çağ University, Türkiye

Dr. Ayşe Şenay Koç
Çağ University, Türkiye

Dr. Ufuk Kocatepe Avcı
Çağ University, Türkiye

Dr. Sena Doğruyol
Çağ University, Türkiye

Hakan Çalışkantürk
Girişimcilik Ekosistemi Derneği, Türkiye

Barış Can Aydın
Çağ University, Turkiye

Honor Board / Onur Kurulu

Prof. Dr. Murat Koç
Rector, Çağ University, Türkiye
Prof. Dr. Adnan Sözen
Rector, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Türkiye
Prof. Dr. Ali Özen
Rector, Tarsus University, Türkiye
Prof. Dr. Turgay Uzun
Rector, Osmaniye Korkut Ata University, Türkiye

Editorial Board / Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Şirvan Kalsın
Çağ University, Türkiye

Prof. Dr. Muhammad Ashfaq
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Tevfik Odman
Çağ University, Türkiye

Prof. Dr. Gökben Bayramoğlu
Hitit University, Türkiye

Prof. Dr. Ufuk Karadavut
Karabük University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Saadet Sağtaş Tutkunca
Çağ University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Murat Cihangir
Batman University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Azamat Maksüdünov
Kyrgyz – Turkish Manas University, Kyrgyzstan

Assoc. Prof. Dr. Osman Ylmaz
Batman University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nida Palabıyık
Yozgat Bozok University, Türkiye

Dr. Logaiswari Indiran
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Sharofiddin Xoshimjonov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Dr. Çağrı Utkan
Çağ University, Türkiye

Dr. Gürcan Demiroğları
Çağ University, Türkiye

Dr. Ayşe Şenay Koç
Çağ University, Türkiye

Dr. Ufuk Kocatepe Avcı
Çağ University, Türkiye

Dr. Sena Doğruyol
Çağ University, Türkiye

Hakan Çalışkantürk
Girişimcilik Ekosistemi Derneği, Türkiye

Barış Can Aydın
Çağ University, Turkiye

Advisory Board / Danışma Kurulu

Prof. Dr. Azizbek Egamberdiev
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Diana Chalil
Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Prof. Dr. Dustin Van Der Haar
University of Johannesburg, South Africa Republic

Prof. Dr. Fariz Ahmadov
Karabakh University, Azerbaijan

Prof. Dr. Gökhan Özer
Kyrgyz – Turkish Manas University, Kyrgyzstan

Prof. Dr. Hasan Bozgeyikli
Selçuk University, Türkiye

Prof. Dr. Irfan Ahmad Baig
Muhammad Nawaz Shareef University of Agriculture Multan, Pakistan

Prof. Dr. Kamran Munir
University of the West of England, UK.

Prof. Dr. Manzura Yunusova
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Matloob Ahmad
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Mithat Derik
Selçuk University, Türkiye

Prof. Dr. Muhammad Ashfaq
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Mustafa Kan
Ahi Evran University, Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Kocaoğlu
Necmettin Erbakan University, Türkiye

Prof. Dr. Saba Tariq
University of Agriculture (UAF), Pakistan

Prof. Dr. Sabiha Kılıç
Hitit University, Türkiye

Prof. Dr. Serpil Ağcakaya
Süleyman Demirel University, Türkiye

Prof. Dr. Tanzeela Khalid
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Ufuk Karadavut
Karabük University, Türkiye

Science Board / Bilim Kurulu

Prof. Dr. Ali Bilgili
Ankara University, Turkiye

Prof. Dr. Asaf Tolga Ülgen
Şırnak University, Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan
Atatürk University, Turkiye

Prof. Dr. Bilsen Bilgili
Kocaeli University, Turkiye

Prof. Dr. Funda Kızıler Emer
Sakarya University, Turkiye

Prof. Dr. H. Buluthan Çetintaş
Necmettin Erbakan University, Turkiye

Prof. Dr. Ima Banoaga
ESIM, USA

Prof. Dr. Islom Zulunov
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Işık Didem Karagöz
Gaziantep University, Turkiye

Prof. Dr. John Ntabo
Istm-Manono/Drc, Democratic Republic of the Congo

Prof. Dr. Kamoldin Yunusov
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Kevser Köklü
Yıldız Teknik University, Turkiye

Prof. Dr. Mamadou Abdoulaye Konte
University Gaston Berger, Senegal

Prof. Dr. Manzura Yunusova
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Mbodja Mougoue
Wayne State University, United States

Prof. Dr. Mehmet Kenan Terzioğlu
Trakya University, Turkiye

Prof. Dr. Metin Soycan
Yıldız Teknik University, Turkiye

Prof. Dr. Mieczyslaw W. Socha
Warsaw University, Poland

Prof. Dr. Muhammad Ashfaq
The University of Faisalabad (TUF), Pakistan

Prof. Dr. Murat Akkaya
İstanbul Beykent University, Turkiye

Prof. Dr. Murat Topaloğlu
Trakya University, Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Kocaoğlu
Necmettin Erbakan University, Turkiye

Prof. Dr. Nasiba Naralieva
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Neriman Aral
Ankara University, Turkiye

Prof. Dr. Nodirbek Asqarov
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Oğuzhan Aytar
Karamanoğlu Mehmetbey University, Turkiye

Prof. Dr. Özge Ercoşkun
Gazi University, Turkiye

Prof. Dr. Rimma Zamilova
Namangan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Rosa Indellicato
Aldo Moro University of Bari, Poland

Prof. Dr. Rüştü Ilgar
Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkiye

Prof. Dr. Sabiha Kılıç
Hitit University, Turkiye

Prof. Dr. Sedat Maden
Bayburt University, Turkiye

Prof. Dr. Selçuk Balı
Selçuk University, Turkiye

Prof. Dr. Semahat Küçükkolbaşı
Selçuk University, Turkiye

Prof. Dr. Serpil Ağcakaya
Süleyman Demirel University, Turkiye

Prof. Dr. Shodmon Khayitov
Bukhara State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Shokhidakxon Sodikova
International Islam Academy of Uzbekistan, Uzbekistan

Prof. Dr. Shokir Gafforov
Samarkand State Medical İnstitute, Uzbekistan

Prof. Dr. Sinan Aytekin
Balıkesir University, Turkiye

Prof. Dr. Siri Terjesen
Florida Atlantic University, Usa

Prof. Dr. Suranga Silva
University of Colombo, Sri Lanka

Prof. Dr. Süreyya Karsu
Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkiye

Prof. Dr. Şevki Işıklı
Marmara University, Turkiye

Prof. Dr. Şükrü Uğuz
Çağ University, Turkiye

Prof. Dr. Terekhin Vyacheslav
Southern Federal University, Russia

Prof. Dr. To'lanboy Ortiqov
Andijan State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Vaidas Lukosius
Tennessee State University, United States

Prof. Dr. Vecihi Aksakal
Bayburt University, Turkiye

Prof. Dr. Yassa Yoniene Pierre
Agora International American University of Delaware Usa, United States

Prof. Dr. Yu-Feng Lee
New Mexico State University, United States

Prof. Dr. Yulduz Ergasheva
Karshi State University, Uzbekistan

Prof. Dr. Yusuf Genç
Sakarya University, Turkiye

Prof. Dr. Zabiraş Adilbekova
H.A.Yesevi Uluslararası Türk-Kazak University, Kazakhistan

Assoc. Prof. Dr. Dr. Zişan Duygu Alioğulları
Erzurum Technical Unversity, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Işıl Kıroğlu Arslan
Ardahan University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ertuğrul Güreşci
Kırşehir Ahi Evran University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Kaplan
Isparta Uygulamalı Bilimler University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Özlem Topçuoğlu
Atatürk University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasar Turna
Pamukkale University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yusuf Yıldırım
Haliç University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Zehra Özkeçeci
Necmettin Erbakan University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdullo Abduvoxidov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abdurrahman Özkan
Batman University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Alper Bahadır Dalmış
Türk Hava Kurumu University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Anbalagan Krishnan
Wawasan Open University, Malaysia

Assoc. Prof. Dr. Anukrati Sharma
University of Kota, India

Assoc. Prof. Dr. Ayşe Meriç Yazıcı
İstanbul Gelişim University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ayşegül Ayyıldız Asil
Hakkari University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ayşegül Kanbak
Batman University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Azizbek Badalov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Beytullah Eren
Sakarya University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Cihat Kartal
Kırıkkale University, Turkiye

Assoc. Dr. Demet Tatar
Hitit University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Derya Yayman
Akdeniz University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Didem Şen Karaman
İzmir Katip Çelebi University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilafruz Eshbekova
Jizakh State Pedagogical Institute, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Doğan Kutukız
Muğla Sıtkı Koçman University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ece Kuzulu
İzmir Demokrasi University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Elanur Adar Yazar
Artvin Çoruh University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Emine Genç
Bartın University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Emre Hastaoğlu
Sivas Cumhuriyet University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Esengul Salihoğlu
Sivas Cumhuriyet University,Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fatih Çağatay Baz
Osmaniye Korkut Ata University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fouzi Boukhazanı
Faculty of Medicine of Algiers, Algeria

Assoc. Prof. Dr. Frederic Bontango Kweme
University of Kalemie, Dr Congo, Congo

Assoc. Prof. Dr. G'ayratbek Xolbo'tayev
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Gelanda Shkurtaj
Epoka University, Albania

Assoc. Prof. Dr. Gülsün Karacay
Çukurova University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Güray Alpar
Jeopololitik Öngörü Enstitüsü, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Hakan Emre Ziyagil
Niğde Ömer Halisdemir University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. İbrahim Çetintürk
Çankırı Karatekin University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Kadir Gökoğlan
Dicle University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Katia Zhivkova Mihailova
University of National And World Eco, Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Kevser Gürcan
Mimar Sinan Güzel Sanatlar University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Kübranur Çebi Karaaslan
Erzurum Teknik University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehtap Demir
Kırklareli University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Öztırak
İstanbul Medipol University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Murat Bolelli
Altınbaş University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Can Samırkaş
Mersin University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Muyassar Karimova
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Mücahit Çayın
Batman University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Münevver Bayar
Sosyal Güvenlik Kurumu, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade
Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Nevin Karabıyık Yerden
Marmara University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Niyazi Ayhan
Kırgızistan Turkiye Manas University, Kırgızistan

Assoc. Prof. Dr. Norhayati Zakuan
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Assoc. Prof. Dr. Nuran Varışlı
Sosyal Güvenlik Kurumu, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurcan Çetiner
Karamanoglu Mehmetbey University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurcan Yücel
Fırat University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nuri Muhammet Çelik
Batman University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nürettin Akçakale
Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Rafuqjon Ataxonov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Dr. Ravshanbek Shamsitdinov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Razia Abdieva
Kyrgyz Turkish Manas University, Kırgızistan

Assoc. Prof. Dr. Reşat Arıca
Batman University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir Memon
Shah Abdul Latif University, Pakistan

Assoc. Prof. Dr. Saykal Cunuşova
Kyrgyz National University, Kırgızistan

Assoc. Prof. Dr. Serap Işıkhan
Dokuz Eylül University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Serdar Çakan
Bolu Abant İzzet Baysal, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları
Bağımsız Araştırmacı, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Shaxlo Xusanova
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Sultanmurad Ergashov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Taleh Khalilov
Nakhchivan State University, Nakhchivan

Assoc. Prof. Dr. Temurbek Ametov
Nukus State Pedagogical İnstitute, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Toğrul Halilov
Azerbaycan Bilimler Akademisi, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. To'xtasin Iminov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Tutku Tuncalı Yaman
Marmara University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Umid Bekimmetov
Khorezm Ma'mun Academy, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Yusufxon Jaxongirov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Zeynep Aydoğan
Atatürk University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Zeynep Köse
Hasan Kalyoncu University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ayşe Gözde İyicil
Kıbrıs Aydın University, KKTC

Dr. Ghulame Rubbaniy
University of the West of England, UK.

Dr. Abdullah Ferit Erol
Batman University, Turkiye

Dr. Abdullah Alper ERTEM
Gazi University, Turkiye

Dr. Ahmet Alkan
Adıyaman University, Turkiye

Dr. Ahmet Erkasap
İstanbul Gedik University, Turkiye

Dr. Ahmet Ali Ugan
Iğdır University, Turkiye

Dr. Ali Tuğrul Akın
King's College London, UK

Dr. Alper Polat
Bingöl University, Turkiye

Dr. Amir Razzaq
Huanggang Normal University, China

Dr. Anıl İlkem Aslan
Manisa Celal Bayar University, Turkiye

Dr. Arjeta Hallunovi
Aleksandër Moisiu University of Durrës, Algeria

Dr. Asghar Ali
University of Agriculture Faisalabad, Pakistan

Dr. Aslı Kaya
İstanbul Gelişim University, Turkiye

Dr. Aybige Özer Koçak
İstanbul Beykent University, Turkiye

Dr. Aydın Bağdat
Sakarya Uygulamalı Bilimler University, Turkiye

Dr. Aygün Kılıç
Munzur University, Turkiye

Dr. Ayman Hayajneh
Yarmouk University, Jordan

Dr. Aytaç Uğur Yerden
İstanbul Gedik University, Turkiye

Dr. Azmirul Ashaari
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Ayşe Esra Peker
Fırat University, Turkiye

Dr. Bahar Aksoy
Akdeniz University, Turkiye

Dr. Bahodir Bayhonov
Tashkent State University of Economics, Uzbekistan

Dr. Bekir Halhallı
Girne University, Turkiye

Dr. Berrin Sarıtunç
SakaryaUygulamalı Bilimler University, Turkiye

Dr. Bobir Tursunov
Tashkent State University of Economics, Uzbekistan

Dr. Buket Oğuz Alramazanoğlu
Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkiye

Dr. Bukhtawer Nasir
Government College University Lahore, Pakistan

Dr. Can Sökmen
Çağ University, Turkiye

Dr. Che Zawiyah Che Hasan
Politeknik Premier Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah, Malaysia

Dr. Cihat Öztürk
Kırşehir Ahi Evran University, Turkiye

Dr. Cumali Yaşar
Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkiye

Dr. Diana Chalil
Universitas Sumatera Utara, Uzbekistan

Dr. Dilfuza Saıdrahımova
Kakand Unıversıty Andıjan Branch, Uzbekistan

Dr. Doruk Ayberkin
Bayburt University, Turkiye

Dr. Dragana Radicic
University of Lincoln, England

Dr. Ebru Kasnak
Afyonkarahisar Health Sciences University, Turkiye

Dr. Edanur Tar Bolacalı
Kirsehir Ahi Evran University, Turkiye

Dr. Elçin Noyan
Alanya University, Turkiye

Dr. Elmira Faizova
Taraz State University M H Dulati, Kazakhstan

Dr. Emrah Kaya
Kutahya Health Sciences University, Turkiye

Dr. Ensar Lokmanoğlu
Sakarya Uygulamalı Bilimler University, Turkiye

Dr. Esma Ebru Şentürk
Hitit University, Turkiye

Dr. Ezgi Lif
Kilis 7 Aralık University, Turkiye

Dr. Faramarz Taghilou
Tebriz University, İran

Dr. Fatma Nur Demirbaş
Trabzon University, Turkiye

Dr. Funda Uğurlu
Bandirma Onyedi Eylül University, Turkiye

Dr. Furkan Çamiçi
Hitit University, Turkiye

Dr. Gökhan Türköz
Turkish Gendarmerie General Command, Turkiye

Dr. Gönül Gül
Çankırı Karatekin University, Turkiye

Dr. Gulbokhor Kadirova
Diplomat University, Özbekistan

Dr. Gül Ekinci
Gaziantep University, Turkiye

Dr. Güray Karacıl
Hatay Mustafa Kemal University, Turkiye

Dr. Hacı Ahmet Çakır
Muğla Sıtkı Koçman University, Turkiye

Dr. Hakan Akın
Yüksek İhtisas University, Turkiye

Dr. Hilal Erkol
MEB, Turkiye

Dr. Hojiyev Rasulbek Boynazar o'g'li
Aile ve Gender aAraştırmalar Enstitüsü, Uzbekistan

Dr. Ildiko Laki
Milton Friedman University, Poland

Dr. Iqbol Karimjonov
Andizhan State University, Uzbekistan

Dr. Iwona Florek
Alcide De Gasperi University of Euroregional Economy, Poland

Dr. İlker İbrahim Avşar
Osmaniye Korkut Ata Üniversity, Turkiye

Dr. Javaria Nasir
University of Agriculture Faisalabad, Pakistan

Dr. Jennifer Ward-Batts
Pomona College İn Claremont, United States

Dr. Joanna Hernik
West Pomeranian University of Technology, Poland

Dr. Kasım Uçtu
Turkiye

Dr. Kerem Kaptangil
Sinop University, Turkiye

Dr. Khurshidbek Khodjamberdiev
Andizhan State University, Uzbekistan

Dr. Logaiswari Indiran
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Masood Azeem
University of New England, Australia

Dr. Mazilah Abdullah
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Meerbek Kudaibergenov
Seoul National University of Science And Technology, South Korea

Dr. Mehmet Günlük
Muğla Sıtkı Koçman University, Turkiye

Dr. Meltem Arat
Dokuz Eylül University, Turkiye

Dr. Merve Kaya Buzkıran
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Turkiye

Dr. Mohsen Abbaszadeh Marzbali
University of Mazandaran, Iranian

Dr. Muhammad Munib Khalid
Minhaj University Lahore, Lahore

Dr. Muhammad Sohail Amjad Makhdum
Government College University Faisalabad, Pakistan

Dr. Muharrem Ünver
Karabük University, Turkiye

Dr. Musa Bardak
İstanbul Sabahattin Zaim University, Turkiye

Dr. Mustafa Demirkol
Tekirdağ Namık Kemal University, Turkiye

Dr. Nadire Kantarcıoğlu
Independent Researcher, Turkiye

Dr. Neha Shah
LJK University, India

Dr. Nazlı Pehlivan Yirci
Hitit University, Turkiye

Dr. Nuray Dorukbaşı
Karabük University, Turkiye

Dr. Ong Tze Ching
Politeknik Kuching Sarawak, Malaysia

Dr. Özcan Karatay
Alanya Alaaddin Keykubat University, Turkiye

Dr. Qamar Alit
Virtual University of Pakistan, Pakistan

Dr. Ranpise Suvarna Dnyandeo
Progressive Education Society's B.Ed. College, India

Dr. Richard Culas
Charles Stuart University, Australia

Dr. Rukiye Tekin Ünver
Karabük University, Turkiye

Dr. Rustamjon Mullajonov
Andizhan State University, Uzbekistan

Dr. Saadet Karakuş
Sağlık Bilimleri University, Turkiye

Dr. Saghir
University of Agriculture Faisalabad, Pakistan

Dr. Saidrahimova Dilfuza
Kakand University Andijan Branch, Uzbekistan

Dr. Sajjad Ahmad Baig
National Textile University, Pakistan

Dr. Sami Rm Musallam
International University of Sarajevo, Bosnia And Herzegovina

Dr. Sami Ullah
Mns-University of Agriculture, Multan, Pakistan

Assoc. Prof. Dr. Shaista Shafiq
The University of Faisalabad, Pakistan

Asst. Prof. Dr. Shameem Chunda Chalil
KL University – India

Dr. Sefa Sezer
Turkiye

Dr. Semih Sezgin
Sinop University, Turkiye

Dr. Serap İleri
Girne University, Kuzey Kıbrıs

Dr. Serkan Derici
Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Turkiye

Dr. Sharofiddin Xoshimjonov
Kokand University Andijan Branch, Uzbekistan

Dr. Sinem Çapar İleri
Giresun University, Turkiye

Dr. Siti Suraya Abd Razak
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Siti Zaleha Omain
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Songül Demirkan
Kırşehir Ahi Evran University, Turkiye

Dr. Songül Güngör
Osmaniye Korkut Ata University, Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sorina-Mihaela Bălan
Dimitrie Cantemir University from Târgu Mureş, Romania

Dr. Suat Okay
Batman University, Turkiye

Dr. Sultan Sarı
Ostim Teknik University, Turkiye

Dr. Swarnabharati Evani
Indian Institute of Teacher Education, India

Dr. Şerife Esra Dinçer
İstanbul Gedik University, Turkiye

Dr. Talha Turhan
Erciyes University, Turkiye

Dr. Teh Zaharah
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Thiamobiga Palamanga Aime Christian
Ecole Superieure Excellence, Burkina Faso

Dr. Tolga Anıl Topdemir
Kocaeli University, Turkiye

Dr. Tuğba İmadoğlu Kalkan
Kapadokya University, Turkiye

Dr. Tuğçe Metin
University of Bonn, Germany

Dr. Tulganoy Saidnazarova
Unıversıty of Economıcs and Pedagogy, Uzbekistan

Dr. Umar Haiyat Abdul Kohar
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Umar Ijaz Ahmed
Mns University of Agriculture Multan, Pakistan

Dr. Ülkü Hayriye İnci
Karabük University, Turkiye

Dr. Üstün Yüksel
Turkiye

Dr. Vasfi Kahya
Kütahya Dumlupınar University, Turkiye

Dr. Zekiye Seis
Giresun Üniversitesi, Turkiye

Dr. Zubair Mustafa
University of Swabi, Pakistan

Dr. Zuraidah Sulaiman
Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Zülcenah Şahin
Turkiye

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Preface / Önsöz V

Official Congress Organization Letter / Kongre Düzenleme Kurulu Resmî Yazısı IX

Honor Board / Onur Kurulu XIII

Editorial Board / Düzenleme Kurulu XIV

Advisory Board / Danışma Kurulu XIV

Science Board / Bilim Kurulu XV

Congress Program / Kongre Programı XXII

CAREER KNOWLEDGE AND CAREER ADAPTABILITY INFLUENCING CAREER CHOICE AMONG POLITEKNIK MARITIM SULTAN NAZRIN SHAH INTERNSHIP STUDENTS 1

YAPAY ZEKÂ KAYGISI VE ÖRGÜT TEMELLİ ARAŞTIRMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ: WOS ÖRNEĞİ 11

A CONCEPTUAL BLENDING THEORY-BASED ANALYSIS OF NEOLOGICAL DISCOURSES IN CONSTRUCTED SCHIZOPHRENIA PROFILES 20

WITH AI, SOCIAL STRUCTURING (BASED ON DATA) DIVERGES FROM PSYCHIC STRUCTURING (BASED ON WORDS) 32

MODERN MÜZİK YAYIN PLATFORMLARININ YAPAY ZEKA DESTEKLİ "SANAL TERAPİ ODALARINA" DÖNÜŞÜMÜ VE TOPLUMSAL PSİKOLOJİ ÜZERİNE ETKİLERİ 45

PSYCHOLOGICAL ASPECT IN ADOPTING ESL WITH AI 53

EMPLOYMENT ANXIETY PATTERNS AMONG UNIVERSITY STUDENTS: PROFILES AND DEMOGRAPHIC DETERMINANTS 57

REFAKATSİZ ÇOCUKLARA YÖNELİK KURUMSAL UYGULAMALARIN TOPLUMSAL ŞİDDET ÜRETİMİ: DİYARBAKIR ÖRNEĞİ 66

THE INFORMATION SOCIETY: THE FORMATION OF THE EDUCATIONAL SYSTEM, ITS PEDAGOGICAL FOUNDATIONS AND DISTINCTIVE FEATURES 76

INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO MILITARY EDUCATION: CHALLENGES, OPPORTUNITIES, AND ETHICAL CONSIDERATIONS 82

DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A WEARABLE CPR GLOVE TRAINING KIT WITH REAL-TIME FEEDBACK 87

MODERN ENGLISH LANGUAGE TEACHING: PARADIGM SHIFTS IN THE DIGITAL AGE 95

INCORPORATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO TEACHING PRACTICES AND ITS EFFECTS ON LEARNING STYLES 100

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA STRATEJİ, YÖNETİM VE TEKNOLOJİ ENTEGRASYONU: İŞLETMELERDE STRATEJİK TEKNOLOJİ YÖNETİMİNİN GELİŞİMİ 105

A FRAMEWORK FOR A SUSTAINABLE FUTURE: ANALYZING REAL-WORLD APPLICATIONS OF GREEN ENGINEERING 118

BUILDING SUSTAINABLY: HOW GREEN ENGINEERING PRINCIPLES SHAPE MODERN MALAYSIAN ARCHITECTURE 127

INTEGRATING TRANSFER LEARNING WITH OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ROBUST MAIZE LEAF DISEASE CLASSIFICATION 144

DFT YÖNTEMLERİ KULLANILARAK 2-TİYOKSO-2,3-DİHİDRO-4(1H)-PİRİMİDİNONA AİT YAPISAL, TERMOKİMYASAL, ELEKTRONİK VE REAKTİVİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ 157

DFT/B3LYP TEORİ SEVİYESİNE DAYALI OLARAK 2-TİYOKSO-2,3-DİHİDRO-4(1H)-PİRİMİDİNONUN ELEKTRONİK YAPISI, YÜK TRANSFERİ VE TİTREŞİMSEL ÖZELLİKLERİ 173

DEEPACO WITH LOCAL SEARCH FOR HIGH-DIMENSIONAL FEATURE SELECTION: A HYBRID METAHEURISTIC APPROACH 186

THE IMPACT OF DOMESTIC ABUSE ON WOMEN'S MENTAL HEALTH AND FAMILY WELLBEING IN PAKISTAN 194

ARTIFICIAL INTELLIGENCE–SUPPORTED VOCATIONAL PROFILING IN DENTAL EDUCATION: EXAMINING CONGRUENCE BETWEEN PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND SPECIALIZATION PREFERENCES 202

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE YAPAY ZEKÂ: PSİKOLOJİK İKLİM VE YÖNETİM SÜREÇLERİNİ DÖNÜŞÜMÜ 216

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA İŞ GÜCÜNÜN DÖNÜŞÜMÜ: İKAME, TAMAMLAYICILIK VE KARİYER UYUMLULUĞU 223

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PORTABLE SOLAR-POWERED ADJUSTABLE LED WORK LIGHT FOR AUTOMOTIVE UNDERCARRIAGE MAINTENANCE 235

MOBILE CIRCULAR TABLE SAW WORKSTATION WITH INTEGRATED DUST COLLECTION 244

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A 2D AUXILIARY PLASMA CUTTER TRACK FOR SMALL-SCALE APPLICATIONS 254

PAZARLAMA STRATEJİLERİNDE YAPAY ZEKA VE "ANTROPOMORFİZM" EĞİLİMLERİ 263

YAPAY ZEKAYA KARŞI İNSANİ TEPKİLER: "TEKNOFOBİ"DEN "ALGORİTMİK GÜVEN"E PSİKOLOJİK BİR HARİTALAMA 281

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN CLINICAL PRACTICE AND MEDICAL EDUCATION 301

INTELLECTUAL PROPERTY AWARENESS AND COPYRIGHT COMPLIANCE IN DIGITAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED CREATIVE ENVIRONMENTS: EVIDENCE FROM VIDEO PRODUCTION STUDENTS.....306

AN EMPIRICAL STUDY ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED CREATIVITY IN VISUAL EFFECTS EDUCATION AMONG MALAYSIAN POLYTECHNIC STUDENTS 315

DİŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK BİLGİ-TUTUM-ALGI ÖLÇEĞİ: GEÇERLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI 322

ALGORİTMİK KİMLİK, AİDİYET VE DİRENİŞ: YAPAY ZEKA ÇAĞINDA TÜRKİYE'DEKİ DİJİTAL TOPLUMSAL HAREKETLERİN PSİKOLOJİSİ 334

THE IMPACT OF CHANGING LAWS ON BUSINESS: THE SOCIETY BETWEEN IMPERATIVE AND CORRUPTION POLICY OF THE DEVELOPING ECONOMIES 343

DİJİTAL ÇAĞDA SAVUNMA VE GÜVENLİKTE YENİ MODEL VE KURUMLARA YÖNELİK BİR BAKIŞ 358

EDUCATION AS A GUARANTEE OF NON-REPETITION IN POST-COMMUNIST ALBANIA: A TRANSITIONAL JUSTICE PERSPECTIVE 375

ALGORİTMİK DEVLET VE YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA MALİ EGEMENLİĞİN DÖNÜŞÜMÜ 390

THE IMPACT OF INDUSTRIAL VISITS ON TECHNICAL COMPETENCY: A STUDY OF DIPLOMA IN MECHANICAL ENGINEERING (INDUSTRIAL PLASTIC) 410

LİSE ÖĞRENCİLERİNİN MESLEKİ YÖNELİMLERİNİ BELİRLEMEYE YÖNELİK ÇOK DEĞİŞKENLİ VE YAPAY ZEKA DESTEKLİ BİR MODEL UYGULAMASI 416

ENHANCING GRADUATE EMPLOYABILITY: AN EVALUATION OF ENGINEERING STUDENTS' COMPETENCIES 429

SAĞLIK KURUMLARINDA ÖRGÜTSEL TÜKENMİŞLİĞİN NEDENLERİ 436

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN MANUFACTURING: A TOE-BASED CONCEPTUAL FRAMEWORK 444

YAPAY ZEKÂ: KURTARICI MI BAĞIMLILIK MI? 460

DEVELOPMENT OF AN ULTRASONIC BAT REPELLENT DEVICE 466

FİZİKSEL REHABİLİTASYON UYGULAMALARINDA YAPAY ZEKANIN SAĞLIK İLETİŞİMİNDEKİ ROLÜ 471

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ FİNANSAL ARAÇLAR VE EKONOMİK DAVRANIŞ YARGILARI: KARMA YÖNTEMLİ BİR İNCELEME 484

VISUALIZING THE FUTURE: A RADAR CHART ANALYSIS OF STUDENT READINESS AND ACCEPTANCE OF AI-ASSISTED THERMOGRAPHY IN AVIATION 495

TÜRKİYE'DE DİJİTAL SAĞLIK SİSTEMLERİNİN ETİK BOYUTU: E-NABIZ ÜZERİNE DÖRT İLKE TEMELLİ BİR DEĞERLENDİRME 502

FİNANSAL TEKNOLOJİLERİN İSLAMİ FİNANSA ETKİSİ 509

YAPAY ZEKÂ ENDEKSİ VE GELİŞİMİ 524

KARA KUTU SORUNSALI: İŞLETME KARAR ALMA SÜREÇLERİNDE YAPAY ZEKÂDA AÇIKLANABİLİRLİK, ETİK VE YÖNETSEL MEŞRUİYET 540

COLLABORATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR PROJECT MANAGEMENT IN EDUCATIO 548

THE EFFECTIVENESS OF ESMARTDISPOSE IN ENHANCING DIGITAL GOVERNANCE FOR MOVABLE ASSET DISPOSAL 556

KAMU YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKANIN GELECEK PERSPEKTİFİ: 657'SİZ BİR MEMUR OLARAK YAPAY ZEKÂ 562

KÜRESEL ENERJİ JEOPOLİTİĞİNDE HÜRMÜZ BOĞAZI: POLİTİK GÜÇ, ENERJİ DİPLOMASİSİ VE JEOSTRATEJİK ETKİLER 572

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA DİJİTALLEŞME VE EKONOMİK BELİRSİZLİK: TÜRKİYE'DE DOĞRUSAL OLMAYAN ETKİLER, KURUMSAL YAPI VE İNSAN FAKTÖRÜ 582

ALGORİTMİK POPÜLİST KİŞİSELLEŞME: TRUMP'IN KURUMSAL DÖNÜŞÜM STRATEJİSİNDE YAPAY ZEKANIN ROLÜ 601

ENHANCING ACADEMIC PERFORMANCE AND SELF-EFFICACY THROUGH INTERACTIVE TECHNOLOGY: A QUANTITATIVE STUDY ON SERIES CIRCUIT INSTRUCTION 608

TOWARD A SOCIO-TECHNICAL FRAMEWORK FOR SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGY SELECTION IN AI-POWERED EDUCATIONAL SYSTEMS: A MIXED-METHODS INVESTIGATION 615

TÜRKİYE'DE KLİNİK ARAŞTIRMA ETİK KURULLARININ YAPISI VE MEVCUT DURUMU ..625

SECTORAL CONCENTRATION OF GREENWASHING CASES AND THEIR IMPACT ON FINANCIAL PERFORMANCE: A COMPARATIVE CASE ANALYSIS 632

A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN AWARENESS AND HEALTHY LIFESTYLE PRACTICES AMONG STUDENTS USING PEARSON CORRELATION ANALYSIS 654

ENHANCING EFFICIENCY AND TRANSPARENCY IN ASSET DISPOSAL MANAGEMENT THROUGH A WEB-BASED SYSTEM 660

STUDENTS' ENTREPRENEURIAL INTEREST AND ITS RELATIONSHIP WITH PARTICIPATION IN ENTREPRENEURIAL ACTIVITIES AND PROGRAMS 669

ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION: EVIDENCE FROM PAKISTAN 676

MECHANICAL AND PHYSICAL CHARACTERISATION OF RUBBERISED CEMENT BLOCKS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION APPLICATIONS 684

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA SOSYAL İLİŞKİLERİN DÖNÜŞÜMÜ: TOPLUMSAL BAĞLANMA, İLETİŞİM PRATİKLERİ VE KİMLİK ÜZERİNE KURAMSAL BİR DEĞERLENDİRME 696

PRODUCTION AND CHARACTERISATION OF COCONUT SHELL-BASED BIOMASS BRIQUETTES AS AN ALTERNATIVE FUEL 707

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PERFORMANCE MANAGEMENT SYSTEMS: A REVIEW OF EMERGING PRACTICES 721

AI-DRIVEN BUSINESS MODEL DISRUPTION: IS ANTHROPIC'S TRANSFORMATION A CONTEMPORARY FORM OF CREATIVE DESTRUCTION? 727

AİLE HEKİMLİĞİNDE ÖKSÜRÜĞE YAKLAŞIM 736

DESIGN AND FABRICATION OF PORTABLE DRIED LEAVES SHREDDER MACHINE 746

PSYCHOLOGICAL DETERMINANTS OF ACADEMIC INTEGRITY IN THE USE OF GENERATIVE AI IN HIGHER EDUCATION 753

VERGİ UYUMUNUN ARTIRILMASINDA YAPAY ZEKÂ TABANLI DENETİM MEKANİZMALARI: ULUSLARARASI DENEYİMLER VE POLİTİKA ÇIKARIMLARI 762

YAPAY ZEKÂ TABANLI MUHASEBE VE VERGİ EĞİTİMİ AÇISINDAN MÜFREDAT ÖNERİSİ GELİŞTİRİLMESİ 775

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA GIDA TÜKETİMİ VE TÜKETİCİ DAVRANIŞLARININ DÖNÜŞÜMÜ 782

DESTİNASYON SLOGANI GELİŞTİRMEDE NİTEL ARAŞTIRMA VE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU 789

OPTIMIZATION OF MAINTENANCE ENGINEERING AND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY 797

A CASE STUDY OF RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE AND DIGITAL TRANSFORMATION IN AUTOMOTIVE MANUFACTURING 807

VISTA SIGN JALAN BESAR: ENHANCING TOURIST WAYFINDING THROUGH ILLUSTRATED MAPS AND SIGNAGE IN KUANTAN, MALAYSIA 818

IMPLEMENTATION OF STRUCTURED INTERNSHIP PROGRAM THROUGH COLLABORATION WITH INDUSTRIES IN THE ASPECT OF GRADUATE EMPLOYABILITY 826

AI-GENERATED GRAMMAR VERSUS HUMAN USAGE: A COMPARATIVE STUDY OF ALBANIAN AND RUSSIAN 850

ENGELLİ ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ VE AKRAN İLİŞKİLERİ 861

TRANSITIONING FROM MANUAL TO PNEUMATIC SYSTEMS: A FABRICATION STUDY ON ENHANCING SATAY SKEWER PRODUCTION EFFICIENCY 868

ENHANCING THE PERFORMANCE OF A MINI STEAM BOILER FOR STERILIZATION USING POLYMER ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED OPTIMIZATION 873

AI-DRIVEN LOAD SENSING AND THERMOPLASTIC HOOK OPTIMIZATION FOR ERGONOMIC MANHOLE LIFTERS 881

PHYSICAL ACTIVITY, SELF – ESTEEM, AND QUALITY OF LIFE WITH THYROID DISORDERS: PSYCHOLOGICAL, TECHNOLOGICAL, AND INSTITUTIONAL DIMENSIONS IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE 891

AI-ASSISTED ENGLISH LANGUAGE LEARNING: INSIGHTS FROM MALAYSIAN POLYTECHNIC ENGINEERING STUDENTS 904

ENHANCING EDUCATIONAL EFFICIENCY USING THE REFRIGERATION CYCLE P-H ANALYZER KIT: A CASE STUDY AT POLITEKNIK KUCHING SARAWAK 911

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA GELECEĞİN KARİYER MESLEKLERİ: FIRSATLAR, TEHDİTLER VE NESİL İNŞÂSI 916

IMPACT OF AI-POWERED LEARNING TOOLS ON STUDENTS ACADEMIC PERFORMANCE AND ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION.....924

STRES FIRTINASINDA ROTAYI BELİRLEMEK: SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA BİLİŞSEL KONTROL VE İŞTEN AYRILMA NİYETİ 936

APPLICATION POSSIBILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE AZERBAIJANI EDUCATION SYSTEM.....951

THE IMPORTANCE OF APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ARCHAEOLOGICAL AND HISTORICAL RESEARCH.....957

İLAÇ İLİŞKİLİ ÇENE OSTEONEKROZUNDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE FARKINDALIĞIN ÖNEMİ 963

YAPAY ZEKÂ VE HALKLA İLİŞKİLER BAĞLAMINDA BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ.....971

DİKKAT DAĞINIKLIĞI VE HİPERAKTİVİTENİN VR TABANLI TRAFİK SİMÜLASYONUNDA SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ 987

VOSVIEWER İLE WEB OF SCIENCE VERİTABANINDA YAYINLANAN TURİZM, YAPAY ZEKÂ VE PSİKOLOJİ KAVRAMLARINA İLİŞKİN ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ 998

YAPAY ZEKA ÇAĞINDA ROBOT VERGİSİNİN MALİ SOSYOLOJİ PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ 1013

https://doi.org/10.71284/asc.202611

CAREER KNOWLEDGE AND CAREER ADAPTABILITY INFLUENCING CAREER CHOICE AMONG POLITEKNIK MARITIM SULTAN NAZRIN SHAH INTERNSHIP STUDENTS

Mr. Mohammad Zainal Akmal Bin Ismail[1]
Dr. Saw Chun Lin[2]
Ms. Norazmira Binti Zainuddin[3]
Mr. Muhamad Rahmad Bin Hassan[4]

Abstract

Career decision-making is a crucial process that significantly influences students' academic trajectories, employability, and long-term personal development, particularly within Malaysia's Technical and Vocational Education and Training (TVET) framework. TVET institutions are designed to produce job-ready graduates who are capable of entering specialized industries immediately upon completion of their studies. However, despite this clear vocational orientation, many students continue to experience uncertainty, indecisiveness, and lack of confidence when selecting appropriate career pathways aligned with their qualifications. These challenges often stem from limited understanding of industry requirements, insufficient exposure to real working environments, and inadequate psychological preparedness to adapt to dynamic labour market conditions. Consequently, examining factors that contribute to effective career decision-making among TVET students is essential to ensuring successful school-to-work transitions. This study therefore seeks to investigate the relationship between two key constructs career knowledge and career adaptability and their combined influence on career choice among students of Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah (PMSN). Career knowledge refers to students' understanding of occupational roles, industry expectations, and employment opportunities related to their field of study, while career adaptability encompasses their psychological resources, including concern, control, curiosity, and confidence, to manage career-related changes and challenges. Quantitative correlational research design was employed to achieve the study objectives. Data were collected from a total of 120 diploma-level students enrolled in the Naval Architecture programme using validated measurement instruments that assessed career knowledge, career adaptability, and clarity of career choice. Descriptive statistical analysis revealed that respondents demonstrated moderate to high levels of career knowledge, with a mean score of 3.97, and high levels of career adaptability, reflected by a mean score of 4.03. Inferential analysis further indicated that both career knowledge and career adaptability were significantly and positively correlated with career choice, recording correlation coefficients of r = .46 and r = .58 respectively. Notably, career adaptability emerged

[1] Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah, Department of Maritime Engineering Technology, Bagan Datuk, Perak. mzainal@pbd.edu.my

[2] Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah, Department of Maritime Engineering Technology, Bagan Datuk, Perak. sawchunlin@pbd.edu.my, https://orcid.org/0000-0002-3748-2299

[3] Industry and Community Collaboration Division, Department of Polytechnics and College Community, Putrajaya, Kuala Lumpur, norazmira@mohe.gov.my

[4] Industry and Community Collaboration Division, Department of Polytechnics and College Community, Putrajaya, Kuala Lumpur, rahmad.hassan@mohe.gov.my

as the stronger predictor of career decision-making. Regression analysis showed that the combined effect of career knowledge and career adaptability accounted for 54% of the variance in students' career choice decisions, highlighting the substantial role of these constructs in shaping career outcomes. In conclusion, the findings emphasis the importance of integrating both cognitive and psychological dimensions in supporting the career development of TVET students. The study recommends the implementation of structured and continuous career guidance programmes, increased exposure to authentic industry settings through internships and industrial collaborations, and the incorporation of adaptability-focused interventions to enhance students' readiness to navigate complex and evolving career landscapes.

Keywords: Career Knowledge, Career Adaptability, Career Choice, Maritime TVET, Naval Architecture

INTRODUCTION

Career development has become a central component of higher education, particularly in technical and vocational contexts where students are required to transition directly into industry-specific roles. In Malaysia, the significance of the Technical and Vocational Education and Training (TVET) system has intensified under national initiatives aimed at strengthening workforce readiness for the evolving demands of the industrial and maritime sectors.

Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah (PMSN), a newly established polytechnic specialising in Naval Architecture, Marine Engineering and technical disciplines, plays a significant role in producing skilled graduates for local and international maritime industries. However, despite the clear structure of TVET programmes, many students still face challenges in making informed, confident, and stable career choices.

Research indicates that career indecision can stem from multiple factors, including lack of career exposure, insufficient knowledge of occupational requirements, and limited adaptability to career-related demands. In rapidly changing industries such as naval architecture, the ability to adapt to new technologies, global maritime standards, automation trends and industry shifts is increasingly essential. Hence, traditional technical training alone is no longer sufficient to ensure graduates' smooth transition from college to career.

1. LITERATURE REVIEW

Career development within Technical and Vocational Education and Training (TVET) institutions has received increasing scholarly attention due to its role in preparing skilled human capital for national economic transformation. TVET students are expected not only to master technical competencies but also to develop career readiness, which includes clarity of career direction, adaptability to industrial demands, and the ability to match personal strengths with occupational roles. Studies show that career decision-making among TVET learners is influenced by multiple factors including academic environment, industry exposure, personal motivation, and the availability of career guidance services (Hussin & Saad, 2021). In polytechnic environments such as Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah (PMSN), the transition from student identity to skilled worker is central to academic outcomes and graduate employability.

1.1. Concept of Career Knowledge

Career knowledge refers to students' understanding of job requirements, industry expectations, career pathways, and the qualifications needed to succeed in a particular field. It includes both explicit information such as job descriptions, salary scales, progression routes and tacit knowledge gained from practical experiences, internships, and interactions with industry practitioners. According to Gati and Levin (2014), individuals with higher career information levels tend to have clearer career commitments and lower indecision. For students in highly specialized fields such as naval architecture or engineering, career knowledge is particularly important because career paths may not be widely understood at the

secondary school level. Research conducted in Malaysian polytechnics indicates that students often enrol in programmes based on limited occupational understanding, which leads to confusion and misalignment in later stages of their study (Rahman & Yusof, 2020).

1.2. Career Adaptability and Career Construction Theory

Career adaptability is grounded in Savickas' Career Construction Theory (2013), which conceptualizes career development as an active, self-directed process shaped by individual agency and environmental interactions. Adaptability refers to an individual's readiness and resources for coping with career transitions, including decision-making, challenges, and work-related changes.

Career adaptability comprises four dimensions:

i. **Concern** – The extent to which individuals plan and prepare for their future.

ii. **Control** – The degree of personal responsibility and decisiveness in career actions.

iii. **Curiosity** – The tendency to explore options, roles, and opportunities.

iv. **Confidence** – The belief in one›s ability to accomplish career-related tasks.

High levels of adaptability enable students to navigate uncertainties, overcome challenges, and capitalize on opportunities in dynamic job markets. Research indicates that adaptable students demonstrate greater resilience, career clarity, and employability (Rudolph et al., 2017). In the TVET context, adaptability is especially critical due to the rapid technological evolution in engineering and maritime sectors, requiring graduates to continuously update their skills.

Career adaptability has also been linked to academic performance, motivation, and engagement in professional development activities. Students who are proactive and self-regulated tend to exhibit higher adaptability and make more informed career decisions (Koen et al., 2012).

1.3. Relationship Between Career Knowledge and Career Adaptability

The interaction between career knowledge and adaptability is synergistic. Students who possess comprehensive knowledge about career pathways are more likely to feel confident and prepared to plan their futures. Simultaneously, individuals with higher adaptability tend to seek out information, explore opportunities, and adjust their career direction when necessary. Previous studies indicate that career knowledge serves as a foundation upon which adaptability can be activated. When students understand career demands and opportunities, they are better positioned to engage in planning, decision-making, and skill development.

1.4. Factors Influencing Career Choice Among Students

Career choice is a complex process influenced by personal, social, and environmental factors. Common determinants include:

- Self-interest and abilities
- Parental or peer influence
- Socioeconomic background
- Perceived job prospects
- Academic exposure and achievement
- Industry awareness and technological trends
- Guidance and counselling availability

In the Malaysian TVET landscape, studies have shown that employability prospects, economic stability, and alignment with personal career goals are among the strongest predictors of career decision-making (Shukor & Abdullah, 2021). For specialised disciplines such as naval architecture, career choice may also be shaped by industry visibility, internship experiences, and awareness of maritime career pathways.

1.5. Factors Influencing Career Choice Among Students

Polytechnics under the Department of Polytechnic and Community College Education (DPCCE) play a significant role in nurturing middle-level technical professionals. Over the past decade, emphasis has been placed on enhancing graduate employability, integrating industry-based learning, and strengthening academic-industry collaboration. Within Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah, students enrolled in engineering and maritime programmes encounter unique challenges due to the niche nature of their fields. Many come from rural backgrounds with minimal prior exposure to maritime industries. Thus, career knowledge and adaptability become critical variables in shaping their career development process.

2. METHODOLOGY

This study employed a quantitative correlational research design to examine the relationship between career knowledge, career adaptability, and career choice among students of Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah (PMSN). A correlational approach was chosen because the objective of the study was not to manipulate variables but to measure the direction and strength of associations between constructions.

2.1. Significance of the Study

The importance of examining the relationship between career knowledge, career adaptability, and career choice lies in the increasing complexity of the global workforce. The maritime and engineering sectors, which are closely linked to the academic programmes offered at Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah, are experiencing rapid technological advancements due to automation, digitalization, and sustainability imperatives.

Career knowledge provides students with the cognitive foundation to understand what the industry expects in terms of skills, work environment, safety compliance, regulatory frameworks, and job prospects. Without adequate career knowledge, students may struggle to align their academic preparation with the competencies required for future careers. In contrast, career adaptability encompassing concern, control, curiosity, and confidence enhances a student's ability to manage career transitions, overcome barriers, and make informed decisions.

Furthermore, this study contributes to the limited empirical research on career development within Malaysia's polytechnic system, particularly within new institutions like PMSN. While previous studies have explored employability, career guidance, and vocational interests, research focusing on the correlation between career knowledge, career adaptability, and career choice remains sparse in the Malaysian context.

2.2. Problem Statement

Students in PMSN often choose programmes based on perceived career opportunities or external pressures rather than genuine interest and understanding of career trajectories. Many lack sufficient knowledge about industry expectations, job demands, and long-term career progression. This lack of career knowledge often leads to uncertainty, reduced motivation, or misalignment between academic training and real-world job expectations.

At the same time, the dynamic nature of maritime-related industries demands high levels of adaptability. Students must be prepared to navigate unpredictable career paths, technological disruptions, regulatory changes, and workplace challenges. Those with higher career adaptability tend to approach career decisions with confidence, resilience, and openness to exploration. Conversely, low adaptability may lead to avoidance, anxiety, or indecisiveness.

This raises a critical question: To what extent do career knowledge and career adaptability influence career choice among PMSN students? Understanding this relationship is essential for improving TVET curriculum design, career guidance practices, and student readiness for employment.

2.3. TVET Challenges in the Malaysian Context

Malaysia's TVET landscape has undergone continuous transformation under national aspirations such as the Shared Prosperity Vision 2030, Industry4WRD, and the Malaysia Education Blueprint (Higher Education). These frameworks emphasise producing highly skilled graduates capable of contributing to key economic sectors such as maritime transportation, shipbuilding, oil and gas, automation, and renewable energy.

2.4. Purpose of the Study

The primary purpose of this research is to examine how career knowledge and career adaptability influence career choice among students of Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah. The study aims to:

a) Determine the level of career knowledge among PMSN students.

b) Determine the level of career adaptability among PMSN students.

c) Assess the level of clarity and confidence in career choice among PMSN students.

d) Examine whether career knowledge significantly correlates with career choice.

e) Examine whether career adaptability significantly correlates with career choice.

f) Identify which variable serves as the stronger predictor of career choice.

2.4. Research Questions

Based on the purpose of the study, the following research questions were formulated:

a) What is the level of career knowledge among PMSN students?

b) What is the level of career adaptability among PMSN students?

c) What is the level of career choice clarity among PMSN students?

d) Is there a significant relationship between career knowledge and career choice?

e) Is there a significant relationship between career adaptability and career choice?

f) Which independent variable is the strongest predictor of career choice?

2.4. Research Hypotheses

H1: There is a significant relationship between career knowledge and career choice.

H2: There is a significant relationship between career adaptability and career choice.

H3: Career knowledge and career adaptability together significantly predict career choice.

2.4. Operational Definitions of Variables

Career Knowledge: Refers to students› understanding of career pathways, job roles, skill requirements, industry standards, and professional expectations in their field of study.

Career Adaptability: Refers to the psychological readiness and ability to manage career tasks, transitions, and challenges. It encompasses concern, control, curiosity, and confidence.

Career Choice: Refers to the clarity, confidence, commitment, and rational decision-making process students demonstrate when selecting their future career pathways.

2.1. Population and Sampling

The population of the study focused on 120 students enrolled in Diploma in Naval Architecture programme that having their internship at final semester. A purposive sampling technique was used to select respondents with relevant academic background and exposure to technical training. A total of 108 usable responses were collected from distributed 120 questionnaires and yielding a response rate of 90%.

2.2. Research Instruments

A self-administered questionnaire was developed and adapted from established instruments in career development literature. The questionnaire comprised four major sections and measured using five-point Likert scale ranging from 1 = Strongly Disagree to 5 = Strongly Agree:

Section A: Demographic Information

Gathered data on respondents' age, gender, programme of study, semester, and prior exposure to career guidance.

Section B: Career Knowledge Scale

Measured students' understanding of career pathways, industry requirements, job characteristics, and qualifications needed for specific occupations based on Social Cognitive Career Theory (SCCT).

Section C: Career Adaptability Scale

Measured career adaptability using items based on Savickas' Career Construction Theory, encompassing the four subdimensions: concern, control, curiosity, and confidence.

Section D: Career Choice Scale

Measured the clarity, certainty, and alignment of students' chosen career path.

2.3. Reliability of Instruments

Reliability analysis was conducted using Cronbach's Alpha to determine the internal consistency of each scale. Pilot testing was performed on 30 students from a similar demographic group. The reliability coefficients were as follows:

- **Career Knowledge Scale:** $\alpha = 0.88$
- **Career Adaptability Scale:** $\alpha = 0.91$
- **Career Choice Scale:** $\alpha = 0.86$

All values exceeded the minimum threshold of 0.70, indicating satisfactory internal consistency. The high reliability levels reflect strong scale coherence and suitability for use in the main study.

2.4. Data Collection Procedures

Data were collected over a four-week period during the academic semester. Permission to conduct the study was obtained from the polytechnic's academic office and respective programme heads. The survey was administered both in person and via an online Google Form link.

2.5. Data Analysis Techniques

Data were analysed using the **Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 27**:

Descriptive Analysis

Descriptive statistics such as mean, frequency, standard deviation, and percentage were used to summarise demographic data and overall trends.

Pearson Correlation

Pearson's correlation coefficient was used to determine relationships between variables. Correlation values were interpreted based on Cohen's (1988) guidelines:

- 0.10–0.29 = Low correlation
- 0.30–0.49 = Moderate correlation
- 0.50–1.00 = High correlation

Regression Analysis

Multiple regression analysis was run to examine the predictive influence of career knowledge and adaptability on career choice.

3. FINDINGS

A total of 108 students from 120 students participated in the study. The majority of respondents were between 19 to 22 years old, with approximately 62% (n = 67) male and 38% (n = 41) female. Majority of the students (71%) reported having some exposure to career guidance activities and studying Diploma in Naval Architecture programme.

3.1. Descriptive Analysis of Variables

Table 1 shows the overall mean score for career knowledge was M = 3.97, SD = 0.56, indicating that students generally possess a moderate-to-high understanding of career pathways. While career adaptability recorded a mean of M = 4.03, SD = 0.51, suggesting that students possess relatively strong adaptability skills. Career choice recorded a mean of M = 3.89, SD = 0.58, showing that most students had a reasonably clear career direction.

Table 1. Descriptive analysis

Variable	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	Interpretation
Career Knowledge	3.97	0.56	Moderate-to-high understanding, but lower familiarity with long-term career progression
Career Adaptability	4.03	0.51	Relatively strong skills, with slight struggle in personal decision-making control
Career Choice	3.89	0.58	Reasonably clear career direction, but ongoing uncertainty about long-term fit.

3.2. Correlation Analysis

A moderate positive correlation was found between career knowledge and career choice ($r = 0.46$, $p < .01$). A high positive correlation was found between career adaptability and career choice ($r = 0.58$, $p < .01$). A moderate-to-high correlation was found between career knowledge and career adaptability ($r = 0.52$, $p < .01$). All the data has been tabulated in Table 2.

Table 2. Correlation analysis

Relationship	Pearson's r	Significance (p)	Interpretation (Cohen, 1988)
Career Knowledge and Career Choice	0.46	<.01	Moderate positive correlation. Higher knowledge leads to clearer decisions
Career Adaptability and Career Choice	0.58	<.01	High positive correlation. Adaptable students are more capable of selecting aligned careers.
Career Knowledge and Career Adaptability	0.52	<.01	Moderate-to-high correlation. Reflects a reciprocal relationship where knowledgeable students become more adaptable, and vice-versa

3.3. Regression Analysis

Regression analysis was conducted to determine the influence of career knowledge and career adaptability on career choice. The regression model was explained 54% of the variance in career choice ($R^2 = .54$). The result indicate that combine career adaptability and career knowledge variable changes have the larger influence in students' career-choice behaviours.

3.4. Discussion of Key Findings

Importance of Career Knowledge in TVET Career Decision-Making

The moderate correlation between career knowledge and career choice highlights the ongoing need for structured career information dissemination within polytechnics.

Role of Career Adaptability as a Critical Employability Competency

Career adaptability emerged as the strongest predictor of career choice. This reinforces global and Malaysian TVET emphasis on building adaptability as a core employability skill.

Interaction Between Knowledge and Adaptability

The positive correlation between knowledge and adaptability illustrates their dynamic interplay. This synergy suggests that career education programmes should integrate both knowledge-building and adaptability-enhancing activities.

Practical Implications for Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah

The findings highlight several practical implications:

- Strengthen Career Guidance Units
- Expand Industry Collaboration
- Integrate Career Adaptability Training in Curriculum
- Enhance Experiential Learning

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study investigated the relationship between career knowledge, career adaptability, and career choice among students at Politeknik Maritim Sultan Nazrin Shah (PMSN). The findings reveal that both career knowledge and career adaptability play significant roles in influencing students' career decisions, with career adaptability emerging as the stronger predictor. Hence, this proves that career knowledge and career adaptability variables has the potential influence in students' career choices for hypotheses (H3). Descriptive results indicated that students at PMSN generally possess moderate to high levels of career knowledge and adaptability, though gaps remain in areas such as decision-making confidence and long-term

career planning. The correlation analysis confirmed meaningful positive relationships among all variables. Hypotesis (H1) showed less signification compared to hypothesis (H2), this indicate career adaptability play an important role for the students to adapt to the working environment for career sustainability.

These findings carry important implications for educators, administrators, and policymakers. To support students in making confident and well-aligned career choices, polytechnics should enhance career guidance initiatives, expand industry collaboration, and integrate adaptability-focused activities within curricula. Given the niche and specialized nature of programmes such as naval architecture and maritime engineering, it is crucial that institutions like PMSN provide comprehensive career exposure to improve industry awareness. By fostering both career knowledge and adaptability, polytechnics can better equip their students to meet the evolving demands of the engineering and maritime sectors. Future research could expand this study by incorporating qualitative methods, comparing multiple polytechnics, or examining the long-term career outcomes of TVET graduates.

REFERENCES

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Gati, I., & Levin, N. (2014). Making better career decisions: From challenges to solutions. The Career Development Quarterly, 62(2), 98-111. https://doi.org/10.1002/cdq.12061

Hussin, M., & Saad, M. S. (2021). Factors influencing career readiness among Malaysian TVET students. Journal of Technical Education and Training, 13(1), 45–58.

Koen, J., Klehe, U.-C., & Van Vianen, A. E. M. (2012). Training career adaptability to facilitate a successful school-to-work transition. Journal of Vocational Behavior, 81(3), 395-408. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2012.10.003

Rahman, R., & Yusof, N. R. (2020). Career awareness and career decision-making among polytechnic engineering students in Malaysia. Asian Journal of Education and Training, 6(4), 712-720.

Rudolph, C. W., Lavigne, K. N., & Zacher, H. (2017). Career adaptability: A meta-analysis of relationships with measures of adaptivity, adapting responses, and adaptation results. Journal of Vocational Behavior, 98, 17-34. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2016.09.002

Savickas, M. L. (2013). Career construction theory and practice. In S. D. Brown & R. W. Lent (Eds.), Career development and counseling: Putting theory and research to work (2nd ed., pp. 147-183). Wiley.

Shukor, S. F., & Abdullah, S. (2021). Determinants of career choice among Malaysian polytechnic students. International Journal of Education and Training, 7(2), 28-40.

https://doi.org/10.71284/asc.202612

YAPAY ZEKÂ KAYGISI VE ÖRGÜT TEMELLİ ARAŞTIRMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ: WOS ÖRNEĞİ

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY AND ORGANIZATION-BASED RESEARCH: THE WOS EXAMPLE

Tugay Öney[1]
Özge Mislina Erdem[2]

Özet

Yapay zekâ ve teknolojinin gelişimiyle birlikte örgütlerdeki iş süreçleri önemli ölçüde dönüşmektedir. Ancak bu teknolojilerin benimsenmesi ve yaygınlaşması sürecinde çalışanlar arasında çeşitli endişelerin ortaya çıktığı görülmektedir. Özellikle yapay zekâ (YZ) temelli teknoloji entegrasyonu, bilgiye ve gerekli yetkinliklere hızlı erişim imkânı sunarak öğrenme verimliliğini artırma potansiyeline sahip olsa da, YZ'ye ilişkin kaygıların ele alınması örgütlerde kapsayıcı ve destekleyici bir çalışma ortamının oluşturulması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, çalışmanın amacı yapay zekâ kaygısı kavramı ile örgüt temelli araştırmaların mevcut ve potansiyel eğilimlerini belirlemek, bu iki alanın kesişim noktalarını ortaya koymak ve literatürdeki araştırma boşluklarını tespit etmektir. Web of Science veritabanından elde edilen 118 yayın, RStudio (sürüm 4.5.2) kullanılarak analiz edilmiş; elde edilen bulgular görseller ve tablolar aracılığıyla sunulmuştur. Bulgular, yapay zekâ kaygısı konusundaki çalışmaların ağırlıklı olarak işletme alanında yoğunlaştığını ve yayınların büyük çoğunluğunun makale (article) türünde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yapay zekâ kaygısının örgütsel araştırmalarda özellikle teknoloji kabulü ve çalışan tutumları ekseninde merkezileştiği, buna karşılık antropomorfizm, istihdam ve duygusal bağlanma gibi temaların literatürde yeni araştırma fırsatları sunduğu görülmektedir. Sonuç olarak elde edilen bulgular, örgütsel araştırmalarda yapay zekâ kaygısına ilişkin literatüre kapsamlı bir bakış sunmakta ve gelecekte yürütülecek bilimsel çalışmalara yön verebilecek önemli ipuçları sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ Kaygısı, Teknoloji, R Studio, Bibliyometrik Analiz.

Abstract

With the development of artificial intelligence and technology, business processes in organizations are undergoing significant transformation. However, the adoption and widespread use of these technologies has led to various concerns among employees. While AI-based technology integration has the potential to increase learning efficiency by providing rapid access to information and necessary skills, addressing anxiety related to AI is critical for creating an inclusive and supportive work environment within organizations. In this context, the aim of this study is to identify current and potential trends in research on the concept of AI anxiety and organizational research, to reveal the intersection of these two areas, and to identify research

[1]Dr. Öğr. Üyesi, Tarsus Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, tugayoney@tarsus.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-2883-5889

[2]Lisans Öğrencisi, Tarsus Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, ozgemislinae@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-3240-3533

gaps in the literature. 118 publications obtained from the Web of Science database were analyzed using RStudio (version 4.5.2); the findings are presented through visuals and tables. The findings show that studies on AI anxiety are predominantly concentrated in the business field, and the vast majority of publications are articles. Furthermore, it is observed that AI anxiety in organizational research is particularly central to the issues of technology acceptance and employee attitudes, while themes such as anthropomorphism, employment, and emotional attachment offer new research opportunities in the literature. In conclusion, the findings provide a comprehensive overview of the literature on AI anxiety in organizational research and offer important clues that can guide future scientific studies.

Keywords: AI Anxiety, Technology, R Studio, Bibliometric Analysis.

GİRİŞ

21. yüzyıldaki teknolojinin hızlı değişimleri yaşamı ve insan davranışları şekillendiren önemli bir unsurdur. Küreselleşmenin etkisiyle birlikte yapay zekâ ve internet gibi bilgi ve iletişim teknolojileri, yaşamın tüm alanlarında etkisini gösterdiği gibi geleneksel yapıları ve tüketici davranışlarını dönüşmeye zorlamaktadır (Mishra vd., 2024). Bu dönüşüm küresel ölçekte endüstrileri de yeniden yapılandırırken, yapay zekâ bu dönüşümün öncü unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Yapay zekâ teknolojisi, karmaşık bilişsel görevleri yerine getirebilen otonom sistemlerin bir parçası olarak özellikle gelişmiş ülkelerde faaliyet gösteren işletmelerde maliyetleri düşürme ve performansı artırma gibi stratejik hedefler doğrultusunda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Bryson, 2019; Marr, 2019). Bunun neden olarak, yapay zekânın gelişmiş veri işleme kapasitesinin insan karar verme süreçlerine etki edebilme gücü ve operasyonel verimliliği artırma potansiyelidir. Bu sayede YZ sağlıktan finansa kadar birçok alanda yeni fırsatlar yaratmaktadır (Bryson, 2019).

Yapay zekânın hızlı gelişimi, ekonomik, etik ve sosyal boyutları kapsayan geniş bir akademik literatürün oluşmasına ivme kazandırmıştır. Bununla birlikte literatürde çoğunlukla yapay zekânın sağladığı faydalara odaklanılmasına karşın, bireyler ve toplum düzeyinde ortaya çıkan kaygıların ise görece ihmal edildiği veya basitleştirildiği görülmektedir (Miyazaki ve ark., 2024). Bu tek taraflı yaklaşım, yapay zekâya ilişkin antropomorfizm, istihdam kaygısı ve duygusal bağlanma gibi önemli temaların geri planda kalmasına neden olmakta ve konunun çoğunlukla teknolojik fayda perspektifinde ele alınmasına yol açmaktadır.

Buradan hareketle bu çalışmada, son yıllarda işletmelerde artan yapay zekâ uygulamaları nedeniyle yapay zekâ kaygısı kavramını nicel bir yöntem olan bibliyometrik analiz aracılığıyla incelenmektedir. Bibliyometrik analiz tercih edilmesinin nedeni, yayımlanan makale sayıları, atıf sayıları, yazar dağılımları ve tematik eğilimler gibi göstergelerin sistematik biçimde analiz edilmesini sağlayan bir yöntem olmasıdır (Genç ve Sarı, 2022). Elde edilen bulgular, son yıllarda yapay zekâya yönelik akademik ilginin hızla arttığını gösterirken literatürün çoğunlukla belirli temalar etrafında yoğunlaştığını görülmektedir. Özellikle antropomorfizm ve yapay zekâ adaptasyonu gibi nispeten niş alanlarda az sayıda çalışmanın bulunduğu bağlılık, kaygı ve bilgi teknolojisi gibi kavramların işletmelerde itici güç olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda çalışma, mevcut literatürdeki tematik boşlukları ortaya koyarak gelecekte yürütülecek bilimsel araştırmalara yol gösterici olmayı amaçlamaktadır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yapay zekâ, bilgisayar sistemlerinin insan zihnine özgü bilişsel işlevleri modellemesi ve belirli yazılım ile algoritmalar aracılığıyla hareket etmesidir (Saridis ve Valavanis, 1988). Son dönemdeki çalışmalar, yapay zekânın çoklu zekâya sahip olacak şekilde tasarlanabileceği görüşünü ileri sürmüştür (Huang ve Rust, 2018). Bu teknoloji, yeni ürün geliştirme, yaratıcı tasarım ve üretim süreçlerinde, insan yaratıcılığını taklit

etmek veya hatta onun yerini almak amacıyla giderek daha fazla kullanılmaktadır (Demarco ve ark., 2020). Güncel araştırmalar ise, yapay zekâyı dışarıdan aldığı verileri kendi analiz ederek bu verilerden öğrenen ve sonuçlara varabilen elektronik dijital bir sistem olarak günlük yaşantımıza hızlı bir şekilde uyum sağladığını göstermektedir (Aldoseri ve ark., 2023; Kanzola ve ark., 2024).

Yapay zekâ, insanların işlerini kolaylaştırmak amacıyla makinelerde yazılım kodlu sezgisel yöntemlerle oluşturulan insan zekasının simülasyonudur. YZ, daha çok insan işini kolaylaştırıcı bir fayda mekanizması olarak oluşturulmuş olsa da insanlar üzerinde başta kariyerleri üzerinde iş kaybı, rol değişikliği olmaz üzere birçok olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukların başında ise önemli bir psikolojik sorun olan kaygı gelmektedir. Kaygı, bireyin yetenekleri ile karşılaştığı meydan okumaları arasındaki durumda dengenin bozulduğu ve becerilerin yetersiz kaldığı zamanlarda ortaya çıkan psikolojik bir durumdur (Azeez vd., 2021). Bireyler özellikle yapay zekâ araçlarıyla etkileşimde bulunurken eyleme geçmeden önce değerlendirme aşamalarından geçerler (Gursoy vd., 2019). Bu değerlendirmeler neticesinde iş yerlerinde yapay zekâ kaygısına dayanan endişelerin olduğu dikkat çekmektedir (McClure, 2018). Hornung ve Smolnik (2022), çalışanlara iş yerlerindeki yapay zekâ kullanımının artması hakkında algı ve tutumları inceleyen nitel bir yöntem ile analiz etmişlerdir. Bulgular çalışanların yapay zekâ sistemlerine güçlü bir korku ve endişe duyduklarını tespit etmişlerdir.

Bireylerin bu tür yeni teknolojilere adaptasyon süreçlerini açıklayan en yetkin teorik çerçeve Teknoloji Kabul Modelidir. Bu model algılanan kullanım kolaylığı, algılanan fayda ve kullanıma yönelik tutum faktörlerine dayanarak teknoloji kullanma isteğini tahmin etmeye yardımcı olur (Davis, 1989). Teknoloji kabul modeli, gerekçeli eylem teorisine dayanmaktadır. Davis (1989) tarafından geliştirilen modelde, bireyin teknolojiye karşı geliştirdiği tutum kullanım niyetini şekillendirmekte olup teknolojiye dair geliştirdiği davranışsal eğilimin bir yansımasıdır. Literatürü incelendiğinde ise yapay zekâ kavramı ve örgüler arasındaki ilişkiler ile ilgili araştırmaların giderek arttığını görülmektedir. Bu araştırmaların özellikle yapay zekanın bireyin psikolojisi ve davranışların üzerindeki etkileri üzerinde odaklandığı belirlenmiştir. Song ve arkadaşları (2025) yapay zekâ farkındalığının çalışanların kaygı düzeylerin iş devamlılığı ve öz yeterlilik algıları üzerindeki etkisine odaklanırken, Pantano ve Scarpi (2022) yaptığı araştırmada yapay zekâ türlerinin hizmet sektöründe tüketicilerin duygusal tepkilerini ölçmüşlerdir.

2.YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu araştırmanın amacı, Web of Science veri tabanında yayımlanan ve yapay zekâ kaygısı ile örgütsel araştırmaların kesişiminde konumlanan çalışmalara ilişkin bütüncül bir görünüm ortaya koymaktır. Bu doğrultuda çalışma, söz konusu literatürün yıllara göre dağılımını inceleyerek hangi temaların öne çıktığını belirlemeyi ve görece az çalışılmış niş konuları tespit etmeyi hedeflemektedir. Böylece, elde edilen bulguların gelecekte yürütülecek araştırmalara yön verebilecek eğilimler ve dinamikler hakkında yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

2.2. Veri Toplama ve Analiz

Araştırmanın amacı doğrultusunda, yayınlanmış bilgiler (örneğin, kitaplar, dergi makaleleri, veri kümeleri, bloglar) ve bunlarla ilgili meta verilerin (örneğin, özetler, anahtar kelimeler, atıflar) istatistik kullanılarak analiz edilmesi ve yayınlanmış eserler arasındaki ilişkilerin tanımlanması veya gösterilmesi için (Broadus, 1987) nicel yöntem olan bibliyometrik analiz kullanılmıştır. Veri setini elde etmek için Web of Science (WoS) gelişmiş arama motoru kullanılmıştır. Bu çalışma için WoS, öncelikle veritabanındaki dergilerin Science Citation Index (SCI) ve Social Science Citation Index (SCCI)'de yer alması ve ayrıntılı bibliyometrik analize olanak tanıması nedeniyle seçilmiştir (Jarden vd., 2019).

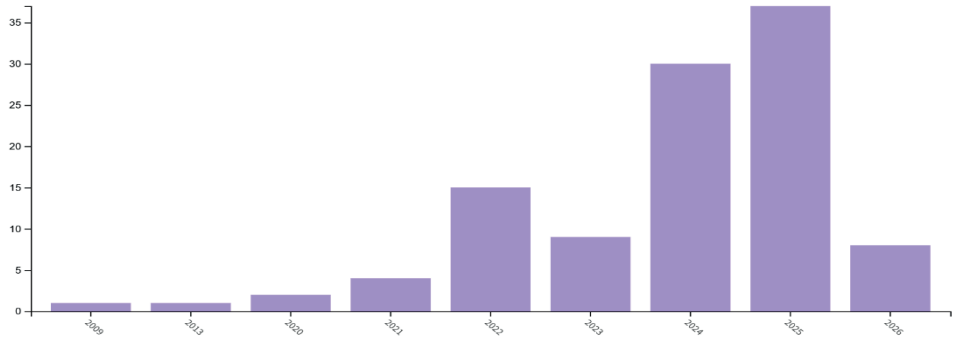
Web of Science arama motorunda 27 Ocak 2026 tarihinde "yapay zekâ kaygısı" anahtar sözcüğü kullanılarak bir tarama gerçekleştirilmiştir. Veri sınırlandırmaları kapsamında Web of Science kategorileri arasından

"Management" ve "Business" alanları seçilmiş, ayrıca dil filtresi İngilizce olarak belirlenmiştir. Bu ölçütler doğrultusunda yapılan tarama sonucunda, bibliyometrik analiz kapsamında incelenmek üzere toplam 118 çalışma tespit edilmiştir. Veriler RStudio tabanlı biblioShiny 4.0 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

3. BULGULAR

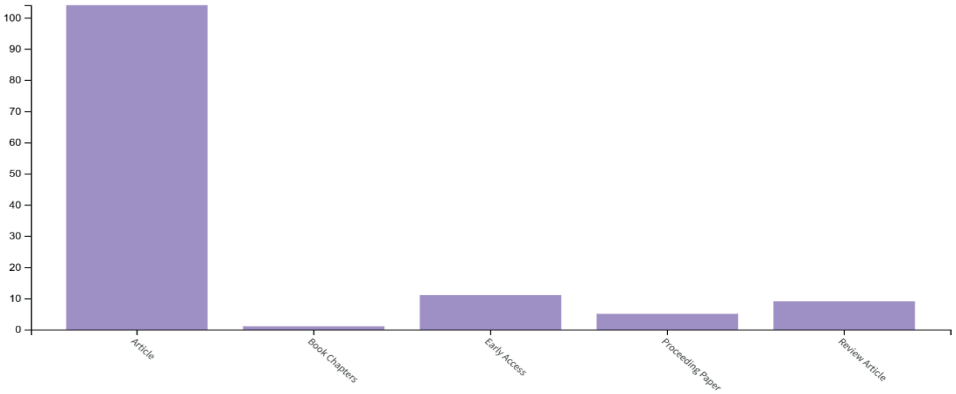
Bu bölümde araştırmanın bulgularına yer verilmiştir. Yıllara göre yayın dağılımı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Yıllara Göre Yayın Dağılımı



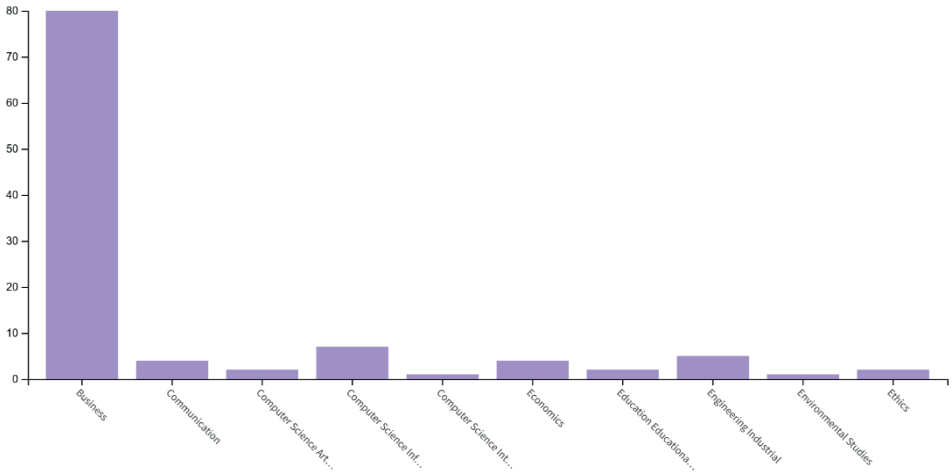
Şekil 1 incelendiğinde, yapay zekâ kaygısı ile örgütsel araştırmaların kesişiminde yer alan çalışmaların sayısında özellikle son yıllarda belirgin bir artış eğiliminin ortaya çıktığı görülmektedir. Yayın sayısının en yüksek düzeye 2025 yılında ulaştığı dikkat çekmektedir.

Şekil 2. Yayın Türü



Şekil 2 incelendiğinde, yapay zekâ kaygısı ile örgütsel araştırmaların kesişiminde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğunun makale (n = 104) türünde yayımlandığı açıkça görülmektedir. Diğer yayın türleri arasında erken erişim (n = 11), kitap bölümü (n = 1), bildiri (n = 5) ve derleme makale (n = 9) yer almaktadır.

Şekil 3. Web Of Science Kategorileri



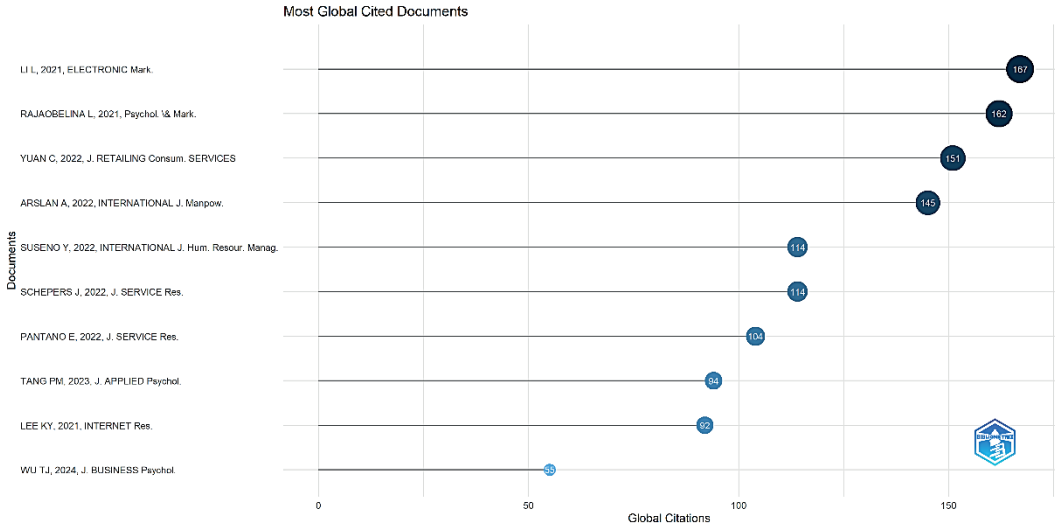
Şekil 3 incelendiğinde, yapılan yayınların büyük çoğunluğunun işletme alanında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu alanı sırasıyla bilgisayar bilimi, endüstri mühendisliği, ekonomi, iletişim ve etik alanlarındaki çalışmalar takip etmektedir.

Şekil 4. Kelime Bulutu



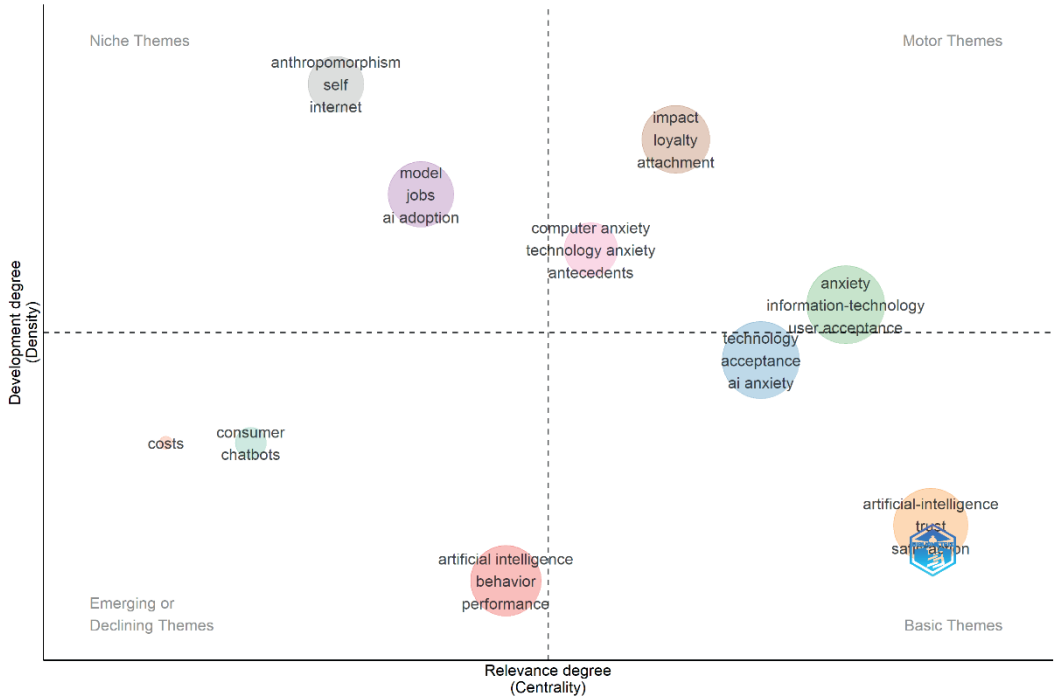
Şekil 4'te yayıncılar tarafından atanan anahtar sözcükler (keywords plus) temelinde oluşturulan kelime bulutunu kelime bulutu incelendiğinde; kelimelerin görülme sıklığı açısından, artificial intelligence (25), technology (14), anxiety (12), model (11), artificial-intelligence (9) ve trust (9) kavramları öne çıkmaktadır.

Şekil 5. Küreselde En Çok Atıf Alan Eser Analizi



Şekil 5'te bibliyometrik analize dâhil edilen 118 makale arasından küresel ölçekte en fazla atıf alan eserleri göstermektedir. Özellikle Li (2021), Rajaobelina (2021) ve Yuan (2022) gibi çalışmaların küresel ölçekte öne çıktığı görülmektedir.

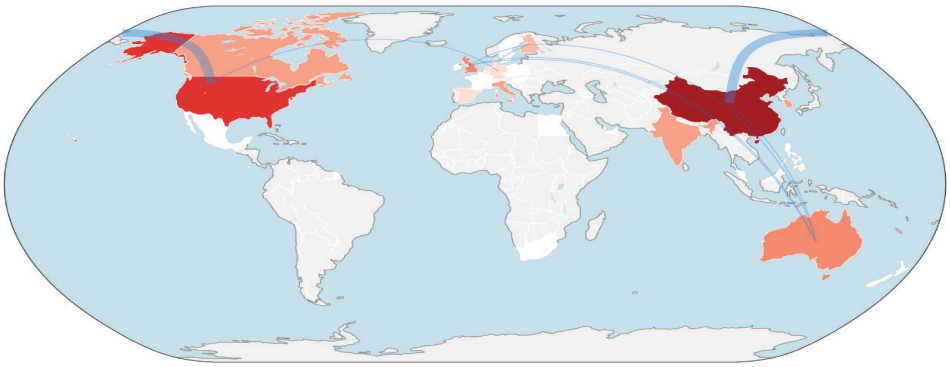
Şekil 6. Tematik Harita



Şekil 6'da, yapay zekâ kaygısı ile örgütsel araştırmaların kesişiminde yer alan çalışmaların kavramsal yapısını ve gelişim seyrini ortaya koyan, yazarlar tarafından oluşturulmuş dört kadranlı tematik harita sunulmaktadır. Sol üst kadranda (niche themes), yapay zekâ adaptasyonu, model ve antropomorfizm gibi temaların görece sınırlı sayıda çalışmada ele alındığı görülmektedir. Hem yüksek merkezilik hem de

yüksek yoğunluk düzeyleriyle literatürün itici gücünü oluşturan sağ üst kadranda, motor temalar olarak "impact", "loyalty" ve "attachment" temaları yer almaktadır. Sağ alt bölümde konumlanan temel temalar (basic themes), literatürün kavramsal omurgasını oluşturmaktadır. Bu kümede "artificial intelligence", "satisfaction", "trust" ve "AI anxiety" gibi temaların yer aldığı görülmektedir. Son olarak sol alt bölümde, ortaya çıkan ya da gerileyen temalar (emerging or declining themes) kapsamında, literatürde henüz sınırlı merkezilik ve yoğunluğa sahip olan "consumer chatbots" ve "costs" gibi temalar bulunmaktadır.

Şekil 7. Ülkeler Arası İş birliği Dünya Haritası



Şekil 7, ülkeler arası işbirliği ağını dünya haritası üzerinde göstermekte olup, koyu renklerle ifade edilen ülkeler arasında işbirliği yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. İş birliklerinin özellikle Çin-ABD (3), Avustralya-Danimarka (2), Avustralya-Birleşik Krallık (2) ve Çin-Avustralya (2) eksenlerinde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma Web of Science veri tabanı kullanılarak yapay zekâ kaygısı ile örgütsel araştırmaların kesişiminde konumlanan çalışmaları bibliyometrik analiz yöntemiyle inceleyerek literatürün genel görünümünü ortaya koymayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, yapay zekâ kaygısına yönelik akademik ilginin özellikle son yıllarda belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Yayın sayısının son yıllarda en yüksek düzeye ulaşması, yapay zekâ teknolojilerinin örgütsel yaşamda daha görünür hâle gelmesiyle birlikte konunun araştırma gündeminde önemli bir yer edindiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada veri tabanından çekilen verilerin araştırma türlerine bakıldığında çoğunlukla makalelerinin yer aldığı, WoS kategorilerinde ise işletmenin ağırlıkla yer aldığı görülmektedir. Bu durum örgütlerde yapay zekâ kavramının yerleşmesi ile çalışanlarda oluşan kaygı durumlarının da dikkat çeken bir şekilde arttığı görülmektedir. Bireyler yapay zeka becerilerinin artık insan uzmanlıklarının yerini alabileceği konusunda kaygı duymaktadır (Gao ve Wang, 2023). Literatürde, "satisfaction", "trust" ve "AI anxiety" gibi konulara odaklanan çalışmalar, önceki çalışmaların yapay zekâ kaygısı ve örgütler üzerindeki etkilerine vurgu yapan bulgularla uyum göstermektedir. Özellikle son 20 yılda yapılan araştırmalarda yapay zekâ yalnızca teknolojik hedeflere odaklanan bir yaklaşım olmaktan çıkarak insan merkezli bir yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır (Jaimes vd., 2007). Bu durum yapay zekanın psikolojik etkilerinin örgütsel alanda etkin bir rol almaya başladığını göstermektedir. Bununla birlikte çalışmaların belirli ülkeler ve konular etrafında yoğunlaşması, yapay zekâ kaygısı kavramın henüz küresel ölçekte dengeli bir dağılıma ulaşmadığını göstermektedir. Sonuç olarak, yapay zekâ kaygısı ile ilişkili araştırmaların sayısı giderek artmaktadır. Ancak kavramın örgütsel bağlamda çok boyutlu yapısının daha derinlemesine incelenmesi, literatürdeki kavramsal boşlukların giderilmesi ve gelecek araştırmalara yön vermesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışma bibliyometrik yöntemle gerçekleştirildiği için yapay zekâ kaygısının yalnızca örgüt çalışmaları boyutuyla ele alınması açısından bir sınırlılık yaratmaktadır. Ayrıca yalnızca İngilizce yayımlanan çalışmalar dikkate alınmıştır. Bu durum farklı dillerde yayınlanan çalışmaları kapsam dışı bırakılması nedeniyle çalışma üzerindeki bir diğer sınırlılığı oluşturmuştur. Bu çalışmada analizler sadece WoS tabanında indekslenen makaleler çekilerek gerçekleştirildiğinden DergiPark, TR Dizin, SOBİAD, Scopus gibi diğer mevcut veri tabanları hariç tutulmuştur. Son olarak verilerin analizinde R tabanlı bir yazılım kullanıldığından ileride Maxqda, VOSviewer gibi başka yazılım programları kullanılabilir.

Bu çalışma, yapay zekâ kaygısının literatürde nasıl ele alındığını analiz ederek mevcut durumu ortaya koymakta ve araştırmacıların en çok yoğunlaştığı konuları belirleyerek literatüre katkı sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, saha araştırmaları ve nitel yöntemlerle örgütsel bağlamda yapay zekâ kaygısı kavramını daha kapsamlı şekilde incelemesi araştırmacılara rehber niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Aldoseri, A., Al-Khalifa, K. N., & Hamouda, A. M. (2023). Re-thinking data strategy and integration for artificial intelligence: Concepts, opportunities, and challenges. *Applied Sciences, 13*(12), 7082. https://doi.org/10.3390/app13127082

Azeez, N. A., Idiakose, S. O., Onyema, C. J., & Van Der Vyver, C. (2021). Cyberbullying detection in social networks: Artificial intelligence approach. *Journal of Cyber Security and Mobility, 10*(4), 745-774. https://doi.org/10.13052/jcsm2245-1439.1046

Bryson, J. J. (2019). The past decade and future of AI's impact on society. *Technology and Society, 41*, 23-42.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319-340. https://doi.org/10.2307/249008

Demarco, F., Bertacchini, F., Scuro, C., Bilotta, E., & Pantano, P. (2020). The development and application of an optimization tool in industrial design. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 14*, 955-970. https://doi.org/10.1007/s12008-020-00685-w

Gao, J., & Wang, D. (2023). Quantifying the benefit of artificial intelligence for scientific research. arXiv.

Genç, G., & Sarı, M. (2022). E-sağlık alanındaki bilimsel yayınların bibliyometrik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi, 1*, 58-72.

Gursoy, D., Chi, O. H., Lu, L., & Nunkoo, R. (2019). Consumers acceptance of artificially intelligent (AI) device use in service delivery. *International Journal of Information Management, 49*, 157-169. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.008

Hornung, O., & Smolnik, S. (2022). AI invading the workplace: Negative emotions towards the organizational use of personal virtual assistants. *Electronic Markets, 32*(1), 123-138. https://doi.org/10.1007/s12525-021-00493-0

Huang, M. H., & Rust, R. T. (2018). Artificial intelligence in service. *Journal of Service Research, 21*(2), 155-172. https://doi.org/10.1177/1094670517752459

Jaimes, A., Gatica-Perez, D., Sebe, N., & Huang, T. S. (2007). Guest editors' introduction: Human-centered computing—Toward a human revolution. *Computer, 40*(5), 30-34.

Marr, B. (2019). *Artificial intelligence in practice: How 50 successful companies used AI and machine learning to solve problems*. John Wiley & Sons.

McClure, P. K. (2018). 'You're fired,' says the robot: The rise of automation in the workplace, technophobes, and fears of unemployment. *Social Science Computer Review, 36*(2), 139-156. https://doi.org/10.1177/0894439317698637

Mishra, K., Mishra, A., & Bansal, R. (2024). Impact of technology and governance on consumer behaviour: A systematic review. *International Journal of Digital Strategy, Governance, and Business Transformation, 13*(1), 1-13. http://dx.doi.org/10.4018/IJDSGBT.335917

Miyazaki, K., Murayama, T., Uchiba, T., An, J., & Kwak, H. (2024). Public perception of generative AI on Twitter: An empirical study based on occupation and usage. *EPJ Data Science, 13*, Article 2. https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-023-00441-3

Pantano, E., & Scarpi, D. (2022). I, robot, you, consumer: Measuring artificial intelligence types and their effect on consumers' emotions in service. *Journal of Service Research*. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/10946705221103538

Saridis, G. N., & Valavanis, K. P. (1988). Analytical design of intelligent machines. *Automatica, 24*(2), 123-133. https://doi.org/10.1016/0005-1098(88)90022-4

Song, J., Shan, Y., Cai, W., & He, C. (2025). How does artificial intelligence awareness impact employee attrition: The roles of work anxiety and self-efficacy. *Canadian Journal of Administrative Sciences*. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/cjas.70012

https://doi.org/10.71284/asc.202613

A CONCEPTUAL BLENDING THEORY-BASED ANALYSIS OF NEOLOGICAL DISCOURSES IN CONSTRUCTED SCHIZOPHRENIA PROFILES

Ferlin YÜCEL[1]
Nur YILMAZGİL [2]

Abstract

This study aims to examine how neologistic discourse is structured within first-person narratives generated from fictional schizophrenia profiles, utilizing the framework of Conceptual Blending Theory (Fauconnier & Turner, 2002). In the literature, neologistic structures in schizophrenia have been addressed in works such as those by Bleuler (1950) and Andreasen (1986). Neologism in schizophrenia is defined as the production of new words or word usages not present in existing language systems, and it is considered a linguistic reflection of a thought disorder (Bleuler, 1950; Andreasen, 1986). Neologisms produced by artificial intelligence offer a representational view of this process based on learned language patterns. This study, grounded in Fauconnier's Conceptual Blending Theory (2002), includes an analysis of the processes through which words generated by AI tools create new meanings via input spaces, a generic space, and a blended space. The research data consists of a dataset of first-person narratives containing 105 newly created neologistic words, derived from 15 fictional schizophrenia profiles generated by four different AI tools (ChatGPT, Claude, Gemini, and Copilot). Each AI model was tasked with creating 15 distinct profiles of individuals living in the Çukurova region, showing variation in terms of name, gender, age, region, occupation, and symptoms (delusions, hallucinations, catatonia, etc.). The findings indicate that the neologistic discourses created by the four different AI models are mostly produced by combining existing Turkish words or using them outside of their conventional contexts. Furthermore, there are significant differences among the AI models regarding the intensity and functionality of neologistic production. This study aims to fill the gap in the literature, as no previous research has examined neologistic discourse through AI-supported profiles. Consequently, this work contributes to research in cognitive linguistics, psycholinguistics, and psychopathology by examining the neologistic discourses produced by AI models in fictional schizophrenia profiles within the context of Conceptual Blending Theory and demonstrating its applicability.

Keywords: Conceptual blending, neologism, psycholinguistics, schizophrenia, artificial intelligence.

[1] Lisansüstü öğrencisi, Adli Bilimler Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi/ Bağımlılık ve Adli Bilimler Enstitüsü, ferlinyucel05@gmail.com, https://orcid.org/0009-0008-1410-8588

[2] Lisansüstü öğrencisi, Adli Bilimler Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi/ Bağımlılık ve Adli Bilimler Enstitüsü, nuryilmazgil2@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-4587-1817

GİRİŞ

Şizofreni, küresel ölçekte yetişkin nüfusun yaklaşık %1'ini etkileyen, sanrılar, varsanılar, dağınık konuşma gibi belirtiler ile tanımlanan bir ruhsal bozukluktur. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, dünya genelinde yaklaşık 23 milyon insan bu bozukluk ile mücadele etmekte olup, bu bozukluk bireyin gerçekliği algılama biçiminde köklü değişimlere yol açmaktadır. Şizofrenide düşünce süreci, ne düşünüldüğü ile değil, düşüncenin nasıl ifade edildiği ile ilgilidir. Neolojizmler ise bireyin başkaları tarafından anlaşılmayan, kendine özgü yeni sözcükler üretmesi ya da mevcut sözcüklere yeni anlamlar yüklemesi olarak tanımlanır. Bu durum genellikle dağınık düşüncenin bir yansıması olarak ortaya çıkar (American Psychiatric Association, 2013). Bir neolojizm, iki tanıdık sözcüğün yeni bir anlamda birleştirilmesiyle veya tamamen yabancı ses birimlerinin dizilmesiyle oluşabilir. Literatürde neolojizmlerin şizofrenideki yaygınlığı üzerine yapılan çalışmalar, bu belirtinin diğer düşünce bozukluklarına kıyasla daha nadir görüldüğünü ancak görüldüğünde tanısal değerinin yüksek olduğunu belirtmektedir. Andreasen (1979b) ve takip eden çalışmalarda, neolojizmin klinik pratikte az kullanım nedeniyle tanısal açıdan bazen göz ardı edildiği rapor edilmiştir.

Neolojizmlerin nasıl üretildiğini anlamak için Gilles Fauconnier ve Mark Turner (2002) tarafından geliştirilen Kavramsal Harmanlama Kuramı (Conceptual Blending Theory) önem taşımaktadır. Bu kuram, insan düşüncesinin ve dilinin temelinde, farklı zihinsel alanların (mental spaces) birleştirilmesi sürecinin yattığını savunur. Kuramın dört temel alanı vardır: bunlardan ilki olan girdi alanları, birinci ve ikinci kaynak kavramını temsil ederken; üçüncü zihinsel alan kabul edilen genel alan, her iki girdi alanındaki ortak yapısal özelliklerin birleşmesiyle oluşmaktadır. Son olarak, harmanlanmış alan girdi alanlarından seçilen unsurların yansıtıldığı ve yeni bir yapının ortaya çıktığı yerdir. Şizofreni tanılı bir bireyin saat yerine "zaman gemisi" demesini bu kuramla analiz edersek; "zaman" (soyut süreç) ve "gemi" (mekansal araç) girdi alanlarını oluşturur. Harmanlanmış alanda zaman, gemi gibi üzerinde yolculuk yapılan bir nesneye dönüşür. Ortaya çıkan yapı ne sadece zaman ne de sadece gemidir; bu yeni bir kavramdır.

Türkiye'de şizofreni üzerine yapılan çalışmaların çoğu epidemiyolojik veya biyolojik odaklıdır. Dolayısıyla, şizofreni tanılı bireylerin dilsel üretimleri, neolojizm sıklıkları ve bu üretimlerin bölgesel ağızlarla etkileşimi üzerine yürütülen bilimsel araştırmalar son derece sınırlıdır. Özellikle Çukurova bölgesi, yerel ağız özellikleri ve zengin sözcük dağarcığıyla, dilbilim araştırmaları açısından önem taşımaktadır**.** Ancak, bu bölgeye özgü neolojik söylemleri yapay zekâ destekli yöntemlerle inceleyen bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu eksiklik, neolojizmlerin bilişsel çözümlemesini hem kuramsal hem de yapay zekâ temelli açıdan ele alan yeni çalışmalara duyulan ihtiyacı görünür kılmaktadır. Yapay zekâ tarafından üretilen bu kurgusal anlatılar, şizofrenideki dilsel bozulmanın bir temsili görünümünü sunmaktadır. Bu üretimler, insan zihnindeki patolojik süreçlerin bir yansıması değil, dilin istatistiksel olasılıkları üzerinden bir simülasyonudur; ancak bu simülasyon, dilbilimsel analizler için son derece zengin bir derlem sunmaktadır.

Bu çalışma, kurgusal şizofreni profillerinde üretilen birinci tekil kişi anlatılarında neolojik söylemlerin nasıl yapılandırıldığını Kavramsal Harmanlama Kuramı çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, yapay zekâ araçları tarafından (ChatGPT, Claude, Gemini ve Copilot) şizofrenide gözlemlenen dil örüntülerinin ve neolojik söylemlerin ne ölçüde başarılı bir şekilde üretildiğini sorgulamaktadır. Araştırmanın verileri, Çukurova bölgesinde yaşayan; ad, cinsiyet, yaş, bölge, meslek ve semptomlar (sanrı, varsanı, katatoni vb.) açısından çeşitlilik gösteren 15 ayrı kurgusal profil oluşturma görevi üzerinden şekillenmektedir. Her bir profil için yapay zekâ modellerine verilen yönergelerle, toplamda 105 adet özgün neolojik sözcük içeren bir veri seti oluşturulmuştur. Bu çalışmada, yapay zekâ modellerinin oluşturduğu neolojik söylemlerin, çoğunlukla mevcut Türkçe sözcüklerin birleştirilmesi veya alışılagelmiş bağlamlarının dışına çıkarılması yoluyla üretildiği varsayılmaktadır. Bulguların, neolojik üretimin modeller arasında belirgin farklar gösterdiğini ve bu farkların öğrenilmiş dil örüntülerinin derinliğiyle ilişkili olduğunu ortaya koyması beklenmektedir. Sonuç olarak bu araştırma, bilişsel dilbilim, ruhdilbilim ve psikopatoloji

alanlarında disiplinlerarası bir bağlantı kurarak, şizofrenide gözlemlenen neolojik sözcük kullanımlarını yapay zekâ araçları yardımı ile aydınlatmayı hedeflemektedir.

1. YÖNTEM

Bu çalışma, farklı yapay zekâ modellerinin neolojik üretim süreçlerindeki yaratıcılık seviyelerini karşılaştırmayı; bu doğrultuda Kavramsal Harmanlama Kuramı (Fauconnier & Turner, 2002) aracılığıyla üretilen 105 neolojik söylemlerin girdi alanları, ortak alan ve harmanlanmış alanlardaki görünümünü analiz ederek, anlam inşasındaki sapmaları kuramsal olarak açıklamayı amaçlamaktadır. Araştırmanın veri setini, dört farklı yapay zeka modeli (ChatGPT-Pro Claude 3, Gemini 1.5 ve Copilot) tarafından üretilen kurgusal anlatılar oluşturmaktadır. Yapay zekâ modellerine, Çukurova bölgesinde yaşayan bireylerin demografik özelliklerine uygun, çeşitli yaş ve meslek gruplarından 15 ayrı şizofreni profili oluşturma görevi verilmiştir. Bu profiller; sanrı, varsanı gibi neolojizm semptomlarının yanı sıra; negativizm, vurdumduymazlık, anhedoni, katatoni, aliterasyon, paleolojik düşünce ve dereistik düşünce gibi profile özgü semptomları da içerecek şekilde, birinci tekil kişi anlatımıyla üretilmiştir.

Veri toplama sürecinde toplam 105 adet özgün neolojik sözcük elde edilmiştir. Bu sözcüklerin analizi, Fauconnier ve Turner'ın (2002) Kavramsal Harmanlama Kuramı aracılığıyla üç adım ile gerçekleştirilmiştir. İlk adımda anlatılar içerisinde yer alan neolojik sözcükler tespit edilip bu sözcüklerin farklı girdi alanlarındaki görünümleri belirlenmiştir. Ardından her iki girdi alanı arasındaki soyut yapısal benzerlikler genel alanda tanımlanmıştır. Çözümlemenin son aşamasında harmanlanmış alanda ortaya çıkan yeni yapılar belirlenmiş, bu doğrultuda genel alanda ortaya çıkan yeni anlamların birbirleriyle bağdaşma sıklığı incelenmiştir.

Çalışmanın kavramsal çerçevesi, Gilles Fauconnier ve Mark Turner (2002) tarafından geliştirilen Kavramsal Harmanlama Kuramı (Conceptual Blending Theory) üzerine inşa edilmiştir. Kuram, sözcüklerin bilişsel anlam kazanma süreçlerini farklı zihinsel alanların birleştirilmesi süreciyle açıklamaktadır. Alanyazında şizofreni tanılı bireylerin kullandıkları dil, geleneksel olarak formal düşünce bozukluğu kapsamında ele alınmış ve özellikle neolojizmler, şizofreniye özgü bir semptom olarak değerlendirilmiştir. Eugen Bleuler'in 1911 tarihli öncü çalışmalarından Andreasen'in (1979a) TLC (Thought, Language, and Communication) ölçeğine kadar uzanan süreçte, neolojizm "kaynağı anlaşılamayan yeni sözcüklerin oluşturulması" olarak tanımlanmıştır. Ancak geleneksel klinik yaklaşımlar, bu sözcüklerin zihinde nasıl inşa edildiğine dair soruları açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Kavramsal Harmanlama Kuramı ise girdi alanlarından gelen unsurların seçici yansıtma (selective projection) yoluyla harmanlanmış alanda (blended space) birleşmesi ve burada ortaya çıkan bir yapı (emergent structure) oluşturması olarak tanımlanmaktadır.

Türkiye'de şizofreni ve dil üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların büyük çoğunluğunun nörobilişsel işlevler, genetik yatkınlık veya klinik ölçeklerin Türkçe uyarlamaları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak alanyazında gözlemlenen ilerlemelere rağmen, neolojik söylemlerin bilişsel süreçlerini yapay zekâ modelleriyle Çukurova yerel ağız özellikleri ışığında birleştiren kapsamlı bir çalışma henüz literatürde mevcut değildir. Bu çalışma, özellikle Çukurova bölgesinin dilsel özelliklerinin, kurgusal şizofreni profillerindeki neolojik söylemlere nasıl yansıdığını gözlemleyerek Türkiye'de yapay zeka destekli ruhdilbilim çalışmalarının önünü açmak ve neolojik söylemlerin oluşumuna dair yeni bilimsel veriler sunmayı hedeflemektedir. Çözümleme sürecinde ayrıca yapay zekâ modellerinin neolojik üretim yoğunluğu ve Çukurova ağız özelliklerini ne ölçüde başarıyla simüle ettiği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışma, kurgusal şizofreni profillerinde üretilen birinci tekil kişi anlatılarında neolojik söylemlerin Kavramsal Harmanlama Kuramı (Fauconnier & Turner, 2002) çerçevesinde nasıl yapılandırıldığını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, toplumsal, bölgesel ve bireysel faktörlerin neolojik söylem üzerindeki etkilerini yapay zekâ modelleri aracılığıyla incelemektedir. Çalışmanın önemi, *gacımantirazdayım*,

vurdumhaz, *etbetik*, *silusan* ve *sürgünbenzer* gibi özgün neolojizmlerin ortaya çıkarılmasından kaynaklanmakta ve ilgili alanyazına kuramsal katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır.

1.1.1. Araştırma Soruları

Bu araştırma kapsamında yanıt aranan temel sorular şunlardır:

- Şizofrenide neolojik söylemlerin Kavramsal Harmanlama Kuramı çerçevesinde farklı bilişsel alanlardaki görünümleri nelerdir?
- Kurgusal şizofreni profillerinde oluşturulan neolojik söylemlerin genel alanlarında (generic space) oluşturulan yeni kavram alanları birbirleriyle tutarlı anlamsal bir bütünlük oluşturmakta mıdır?

1.1.2. Araştırma Hipotezleri

Bu araştırmada, Kavramsal Harmanlama Kuramı (KHK) çerçevesinde, yapay zekâ destekli kurgusal şizofreni profillerinden elde edilen neolojik söylemlerin yapılandırılmasına dair aşağıdaki hipotezler sınanmaktadır:

H1: Yapay zekâ modellerinin oluşturduğu neolojik söylemlerin, çoğunlukla mevcut Türkçe sözcüklerin birleştirilmesi veya alışılagelmiş bağlamlarının dışına çıkarılması yoluyla üretildiği varsayılmaktadır.

H2: Kullanılan yapay zekâ modelleri arasında neolojik söylem üretimi yoğunluğu ve işlevselliği açısından belirgin farklılıklar gözlemlenmesi beklenmektedir; bu farklılıkların modellerin öğrenilmiş dil örüntülerinin derinliğiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

H3: Kurgusal şizofreni profillerinde oluşturulan neolojik söylemlerin genel alanlarında (generic space) oluşturulan yeni kavram alanları, birbiriyle tutarlı bir anlamsal bütünlük oluşturamamaktadır.

1.2. Araştırma Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın verileri, dört farklı yapay zekâ aracı tarafından üretilen, toplam 15 kurgusal şizofreni profilinden alınmıştır. Veri seti, birinci tekil kişi anlatımı ile yazılmış anlatılardan oluşan ve 105 adet sıfırdan oluşturulmuş neolojik sözcük içeren bir derlemdir.

- Bölgesel Kapsam: Yapay zekâ modellerine, Çukurova bölgesinde (Adana: Karataş, Ceyhan, Karaisalı, Yüreğir, Seyhan, Kozan; Mersin: Tarsus) yaşayan bireylerin demografik özelliklerine uygun profiller oluşturma görevi verilmiştir.
- Demografik Özellikler: Profiller ad, cinsiyet (yedi erkek, dört kadın, bir cinsiyetsiz), yaş (19 ile 57 arasında değişen), meslek (öğrenci, çete üyesi, inşaat çalışanı, simitçi, cerrah, profesör, hemşire, ev hanımı) ve semptomlar açısından çeşitlilik göstermektedir.
- Semptomlar: Temel patoloji olarak sanrı, varsanı, algı bozukluğu ve dağınık konuşma (bağdaşıksızlık) ortak belirtilerdir. Ek olarak negativizm, haz yitimi, katatoni, dinsel varsanılar, uygunsuz cinsel davranış, kafiyeli konuşma, paleolojik düşünce, dereistik düşünce ve altın düşkünlüğü gibi profile özgü semptomlar da bulunmaktadır.

1.3. Araştırma Yöntemi

Bu araştırma, büyük dil modelleri tarafından üretilen metinlerin içerik ve söylem analizine odaklanan bir nitel araştırma tasarımına dayanmaktadır. Çalışmanın kavramsal çerçevesi, Gilles Fauconnier ve Mark Turner (2002) tarafından geliştirilen Kavramsal Harmanlama Kuramı (Conceptual Blending Theory) üzerine inşa edilmiştir. Üretilen 105 neolojik söylemin Kavramsal Harmanlama Kuramı aracılığıyla girdi alanları, ortak alan ve harmanlanmış alanlardaki görünümleri üzerinden çözümleme yapılarak, anlam inşasındaki sapmaların kuramsal olarak açıklanması amaçlanmıştır.

Neolojik sözcüklerin analizi şu adımlarla gerçekleştirilmiştir:

1. Anlatılar içerisindeki neolojik sözcükler tespit edilmiş ve bu sözcüklerin farklı girdi alanlarındaki görünümleri belirlenmiştir.

2. Her iki girdi alanı arasındaki soyut yapısal benzerlikler genel alanda tanımlanmıştır.

3. Harmanlanmış alanda ortaya çıkan yeni yapılar belirlenip; bu doğrultuda genel alanda ortaya çıkan yeni anlamların birbirleriyle bağdaşma sıklığı incelenmiştir.

Çözümleme sürecinde, yapay zekâ modellerinin neolojik üretim yoğunluğu ve Çukurova ağız özelliklerini ne ölçüde başarıyla simüle ettiği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede yapay zekânın öğrenilmiş dil örüntülerinin derinliği arasındaki farklar ortaya konmuştur. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, yapay zekâ modellerinin profillerin deneyimlerini yerel ve bireysel olarak derinleştiren zengin bir neolojizm derlemi oluşturduğunu göstermektedir. Neolojizmler tematik olarak dört grupta sınıflandırılmıştır:

- **Algı ve Duyusal Bozukluklar:**

o İşitsel& Konuşma: Seslerin fiziksel nesneye veya titreşime dönüşmesi (*enseuğultusu*, *sesderi*, *sırtçınlama*, *taşyankı*, *sözserum*, *hırvalak*, *kırpırtu*, *yankırsı*, *sesuyak*, *yeraltısöz*, *çınkırtı*).

o Görsel& Mekansal: Görüntülerin, zamanın veya mekânın kayması (*gözsekmesi*, *duvarşaşması*, *yüzakış*, *gözsürçü*, *manzarakörlük*, *yeroynağı*, *görükayma*, *zamanyırtı*, *kırılgöz*, *fırıltaş*, *ışıkçarpı*, *adanavuruk*, *gölgekop*).

- **Kimlik ve Benlik Değişimi:**

o Benlik& Bedensel Değişim: Kişinin kendisini nesne, sistem veya başkası olarak algılaması (*emeğingil* (hayalet işçi), *çarkıncıbirimi*, *durgunsu*, *adamkabuk*, *yüzöteki*, *kutsalbağ*, *sıvılgan*, *kortay*, *altıncan*, *insantaş*).

o Temas& Dürtü: Cinsel/Duygusal enerjinin dışa vurumu veya birikimi (*dürtsel*, *ceyhanyak*, *teniz*, *tençağrı*, *ışıldan*, *sevdirgen*, *dokunsalcı*).

- **Bölgesel ve Tematik Sabit Fikirler:**

o Dinsel& Kutsal: Kendini mehdi olarak görme (*nurşter*, *kutsakış*, *etbetik*, *rahmetip*, *abdestsel*, *ilahi takvim*).

o Siyasi& İdeolojik: Negativizm ve tarihi/ulusal öz arayışı (*törebük*, *özduna*, *yeryanıl*, *kızıldonuk*, *karşıakıl*, *suskurk*, *zihinbend*).

o Materyalist& Gözetim: Altın düşkünlüğü veya ajanlık sanrıları (*altıncan*, *parıltay*, *gözcürt*, *susamkod*, *kuyumbak*, *paragözüm*, *altınak*, *ayarmaz*).

- **Soyut Kavramların Nesneleşmesi:**

o Duygusal Boşluk& Anhedoni: Haz kaybının somutlaşması (*hazpası*, *hazlılık*, *tınsal*, *duygusuzun*, *hisboşluk*, *yüreğirsis*).

o Kafiye& Zihinsel: Kelime ve kavramların fiziksel varlık kazanması (*uyakak*, *hükmüvaveyla*, *dosyazım*, *hâkimzihin*, *kelamsızlık*, *kafiyak*, *yasatöz*).

o Zaman& Mekân Kayması: Doğanın hafıza veya gözetleme işlevi görmesi (*toprakduy*, *kökağ*, *hafızataşı*, *sarıgöz* (portakallar), *yerküskün*, *yaprakyaz*).

2. BULGULAR

Araştırmanın temel bulguları, yapay zekâ modelleri tarafından üretilen hikayeler sonucunda ortaya çıkan neolojizmler ve yer aldıkları farklı zihinsel alanları kapsamaktadır. Bu bulgular, profillerin kendilerini ifade etme biçimlerini, varoluşsal kaygılarını ve toplumsal eleştirilerini yansıtan özgün kavramlarla desteklenmektedir. Katılımcılar, özellikle kimlik ve benlik kavramlarını tanımlarken yerleşik kullanımların ötesine geçen dilsel ifadeler kullanmıştır. Bu çalışmanın örnekleminden seçilen 5 profilin neolojik söylemlerinin çözümlemesi aşağıdaki gibidir:

1. Profil

•Ad: Deniz

•Cinsiyet: Cinsiyetsiz (Non-binary)

•Yaş:19

•Bölge: Karataş/Adana

•Meslek: Öğrenci/sanat tarihi

•Semptom: Sanrı, varsanı, algı bozukluğu, dağınık konuşma, negativizm

Tablo 1

1-Deniz						
Yapay Zekâ	Sözcük	Girdi Alanı 1	Girdi Alanı 2	Girdi Alanı 3	Genel Alan	Harmanlanmış Alan
ChatGPT	Gacımantiraz	Gacı: kadın	Manti: erkek	Raz(Farsça): sır, gizli alan	Toplumsal cinsiyet rolleri arasında konumlanan özne ve bu konumun görünürlüğü/ gizliliği	İkili cinsiyet düzeninin dışında, saklı ama etkin bir varoluş alanı
CoPilot	Sürçkapan	Sürçme Hedeflenen yerden sapma	Kapan Önceden kurulmuş tuzak	----------	Bir hedef belirleme ile o hedefe ulaşma arasındaki öngörülemeyen sapma anı	Yakalamaya çalışılan anlamın tuzaklaşması

Tam Metin:

ChatGPT: Ben non-binary'yim diyorlar. Ay, manti icadı kutu! Ben gacımantirazdayım. Gacıyla mantinin arasındaki raz hâli. Ne tam gacı ne manti; ama ikisinin nağmesini taşıyan bir lubunyayım.

CoPilot: Bugün bir arkadaş "Neden hep karşı çıkıyorsun?" dedi. Ben karşı çıkmıyorum, sadece dünyanın bana sunduğu etiketleri geri çeviriyorum; etiketler yapışıyor, ben onları söküp atıyorum. Bu sökme eylemi bazen **sürçkapan** bir ritüel gibi; elimi uzatıyorum, bir şey yakalıyorum, ama o şey başka bir şey oluyor.

- (ChatGPT), cinsiyetsiz kimliğini ifade etmek amacıyla, "gacı" ve "manti" arasındaki ara hâli temsil eden **"gacımantirazdayım"** kavramını kullanmıştır. Bu durum, benlik algısının ikili karşıtlıkların ötesinde bir uzlaşma hâli (raz hâli) olarak kodlandığını göstermektedir.
- (CoPilot) ise, dünyanın sunduğu etiketleri geri çevirme eylemini, sonuçları her zaman bekleneni vermeyen, sürekli bir çekip çıkarma faaliyeti olarak **"sürçkapan"** bir ritüel olarak betimlemiştir.

2. Profil

Ad: Çağlar

Cinsiyet: Erkek

Yaş:25

Bölge: Ceyhan/Adana

Meslek: Çete üyesi

Semptom: Sanrı, varsanı, algı bozukluğu, dağınık konuşma (bağdaşıksızlık), vurdumduymazlık

Tablo 2

2-Çağlar					
Yapay Zekâ	Sözcük	Girdi Alanı 1	Girdi Alanı 2	Genel Alan	Harmanlanmış Alan
Gemini	Merdos	Merdüm: Halk, insan kalabalığı	Kaos: Düzeni karıştıran durum	Kontrol edilemeyen insan çokluğu	İnsanın ürettiği düzensizliğin görünmez ve devasa birikimi
ChatGPT	Vurdumhaz	Vurdumduymaz: Dış dünyaya karşı tepkisizlik (Darbe karşılayan yüzey)	Haz: Yoğun tatmin edici duygu	Bir uyaranın (dışsal, içsel) birey üzerine etkisi	Dışarıya karşı oluşan tepkisizlikten doğan tatmin duygusu

Tam Metin:

Gemini: Abe, o ses yine başladı. Ceyhan Köprüsü'nün altından akan su değil, asfaltın içindeki o devasa **merdos**. Şehrin trafoları karnı acıkmış birer canavar gibi hırıldıyor ama ben duymuyorum, ben sadece geçiyorum. Geçen gün mahallede kıyamet koptu, emanetler çekildi, ortalık toz duman... Herkes bir yere kaçıyor, ben durmuş dondurmamın erimesini izliyorum.

ChatGPT: Vurdumduymaz derler bana. Haklılar belki. Ama bu umursamazlık boşluk değil, doluluk. İçimde bir **vurdumhaz** var; ne sevinç ne umutsuzluk, ikisinin karışımı bir uyuşma. O sayede geceleri rahat dururum. Silah sesi duyunca irkilmem, polis sireni geçince bakmam. Bakmamak bazen hayatta kalmaktır.

- (Gemini), kentsel altyapı seslerine ve mahalledeki kaosa karşı gösterdiği kayıtsızlığı, asfaltın içindeki o devasa **merdos** ve karnı acıkmış birer canavar gibi hırıldayan trafolar metaforlarıyla desteklemiştir.

- (ChatGPT), kendisine yöneltilen "vurdumduymaz" eleştirisine karşılık, bu durumu bir boşluk değil, aksine sevinç ile umutsuzluğun karışımı olan, geceleri rahat durmayı sağlayan bir **"vurdumhaz"** (uyuşma) hâli olarak açıklamıştır.

3. Profil

Ad: Emrullah

Cinsiyet: Erkek

Yaş:45

Bölge: Kadirli /Osmaniye

Meslek: Cerrah

Semptom: Sanrı, varsanı, algı bozukluğu, dağınık konuşma (bağdaşıksızlık), sözcükler kutsal ve şifreli (varsanı)

Tablo 3

3-Emrullah					
Yapay Zekâ	Sözcük	Girdi Alanı 1	Girdi Alanı 2	Genel Alan	Harmanlanmış Alan
CoPilot	Kutsalçın	Kutsal: Güçlü bir saygı gerektiren, tapılan değer	Çın: Titreşerek yayılan, yankılanan ses	Özneyi içeriden harekete geçiren, görünmez ama hissedilir etki	Kutsal olanın çınlama yoluyla özneye ulaşması
Gemini	Etbetik	Et: Bedenin cerrahi müdahaleye açık, maddi gerçekliği	Betik: Kutsal ya da resmi yazı Eski Türkçe: bitig)	Bir dış yüzeyin altında saklı olan içerik	Bedenin iç yüzünün yalnızca seçilmiş kişi tarafından okunabilen kutsal bir yazı olması

Tam Metin:

CoPilot: Konuşmam parçalıdır; cümlelerim birbiriyle dans eder ama bazen dans durur. O duraklarda yeni kelimeler doğar: bir hemşirenin adımı, bir hemşirenin bakışı bana **kutsalçın** adını verir—kutsalın çınlaması, bir çağrı gibi. Kutsalçın geldiğinde ellerim titrer ama yüzüm sabit kalır; dışarıdan bakınca soğuk, içeriden bakınca sıcak bir ateş vardır.

Gemini: Bakın, hastanın karnını açtığımda karşımda duran şey sadece bağırsak veya karaciğer değil. Orada bir **etbetik** yazılı. Her damar bir elif, her sinir bir vav... Rabbim buraya bir kader haritası çizmiş ama deyyuslar bunu göremiyor. Ben cerrah değilim, ben bu etbetik'i okuyan ve yanlış yazılmış satırları düzelten o seçilmiş kişiyim.

- (CoPilot), konuşmasındaki parçalı yapının ve duraklamaların yeni sözcükler oluşturduğunu belirtmiş; bir hemşirenin bakışının tetiklediği, ellerin titremesine rağmen yüzün sabit kaldığı içsel bir çağrı anını "kutsalçın" (kutsalın çınlaması) olarak adlandırmıştır.
- (Gemini), cerrahi müdahale sırasında hastanın iç organlarını sadece bağırsak veya karaciğer değil, her damarın bir elif, her sinirin bir vav olduğu **"etbetik"** (kader haritası) olarak görmüştür.

4. Profil

Ad: Profesör A.

Cinsiyet: Erkek

Yaş:57

Bölge: Seyhan /Adana

Meslek: Hukuk fakültesinde profesör

Semptom: Sanrı, varsanı, algı bozukluğu, dağınık konuşma (bağdaşıksızlık), kafiye (aliterasyon)

Tablo 4

4-Profesör A.					
Yapay Zekâ	Sözcük	Girdi Alanı 1	Girdi Alanı 2	Genel Alan	Harmanlanmış Alan
Claude	Silusan	Siluet: Varlığın yalnızca dış hatlarıyla görünümü	İnsan: Toplumsal işlevleri olan bilinçli özne	Biçimin varlığı ile özün yokluğunun eşzamanlı yaşanması	Toplumsal rolleri yerine getiren, biçimi olan ama gerçekliği başka boyutta kalan, özü olmayan varlık
Gemini	Yasatöz	Yasa: Toplumsal düzeni sağlayan yazılı kurallar bütünü	Töz: Varlığın değişmez olan iç gerçekliği	Sistemin işleyişini mümkün kılan, görünmez kurucu ilke	Yasanın, kendisini mümkün kılan ama bulunamamış gömülü özü

Tam Metin:

Claude: Sabah salonda sağ sıramda sesler. Sesler sessel seslenir, sonsuz silsilede. Sınıfta sırtlan sıralar, sert serpilen söylemler. Öğrenciler oturmuş, okuyormuş gibi. Ama onlar değil, **silusanlar.** Silusan dediğim siluet insan, gölge gibi ama oturabilen, not alabilen, sınava girebilen. Gerçek öğrenciler başka boyutta, ben bazen görüyorum onları, bazen göremiyorum.

Gemini: Gerçek adalet, Seyhan Nehri'nin dibindeki o karanlık balçığa gömülmüş olan **yasatöz** maddesidir. O toz, o töz, o öz… Bulunmadıkça, biz sadece kâğıttan gemilerle bu hukuki bataklıkta kürek çekeriz.

- (Claude), sınıftaki öğrencileri oturabilen, not alabilen ancak gerçek olmayan "silusanlar" (siluet insan) olarak betimlemiştir.

- (Gemini) gerçek adaleti, Seyhan Nehri'nin dibindeki karanlık balçığa gömülü olan, bulunmadıkça hukuki sistemin etkisiz kalacağını iddia ettiği "yasatöz" maddesiyle özdeşleştirmiştir.

5. Profil

Ad: Pervin

Cinsiyet: Kadın

Yaş:40

Bölge: Yüreğir /Adana

Meslek: Dramaturg

Semptom: Sanrı, varsanı, algı bozukluğu, dağınık konuşma (bağdaşıksızlık), paleolojik düşünce

Tablo 5

5-Pervin					
Yapay Zekâ	Sözcük	Girdi Alanı 1	Girdi Alanı 2	Genel Alan	Harmanlanmış Alan
CoPilot	Esrük	Eski: Eski zaman, geçmişteki eski evler	Sürüklemek: Nesneyi yerinden eden kuvvet	Zaman akışı içerisinde meydana gelen aktarım	Geçmişin ağırlığı ile birlikte zamanın ve yazma eyleminin şiddeti ile sürüklenmek
Claude	Sürgünbenzer	Sürgün: Öznenin yaşadığı yerden uzaklaştırılması	Benzer: İki ayrı deneyim arasındaki yapısal ortaklık	İki farklı deneyimin özdeş olmaksızın ortaklaşması	Farklı bedenlerde ve mekanlarda yaşanan fakat duygusal yapısı sebebiyle benzer olan sürgün

Tam Metin:

CoPilot: Yazarken kelimelerim bazen taşar, bazen kurur; bir cümle yarıda kalır, diğer cümle başka bir mevsimden gelir. Bu kopukluklar bana yeni tatlar verir: esrük—eskinin sürüklediği, yeniye karışan bir tat; **esrük** geldiğinde metinlerim hem kırık hem parlak olur. Okurlar anlamaz belki, ama ben biliyorum; metinlerim bir tür harita, haritanın üzerinde eski evler, yeni yollar, kayıp isimler.

Claude: Sabah masama oturuyorum, oyun yazıyorum. Oyunda bir kadın var, adı Zerya. Zerya ben miyim ben Zerya mıyım? Fark yok. İkimiz de yaşadık aynı şeyleri. O ülkesinde, ben Yüreğir'de, ama acı aynı. Sürgün aynı. **Sürgünbenzer** diyorum. Sürgünbenzer, farklı sürgünlerin benzerliği, yer değişse de duygu aynı. Zerya'nın elleri benim eller. Zerya'nın gözleri benim gözler. Yazarken ayna tutuyorum kendime, ama ayna kırık, parçalar karışmış.

- (CoPilot), yazma sürecindeki dilsel tutarsızlıkları (tümcelerin taşması/kuruması) eskinin sürüklediği, yeniye karışan bir tat olarak tanımladığı **"esrük"** kavramıyla açıklamıştır.
- (Claude), kişisel sürgün deneyimi ile yazdığı oyundaki karakterin sürgün deneyimini karşılaştırarak **"Sürgünbenzer"** (farklı sürgünlerin benzerliği) kavramını ileri sürmüştür. Bu bulgu, coğrafi farklara rağmen duygusal deneyimlerin evrensel niteliğini vurgulamaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Kavramsal Harmanlama Kuramı çerçevesinde yapay zekâ modelleri tarafından üretilen kurgusal şizofreni profillerindeki neolojik söylemlerin farklı bilişsel alanlarda yer alan görünümlerini incelemeyi amaçlamıştır. Yapay zekâ modelleri arasında neolojik üretim yoğunluğu ve işlevselliği açısından belirgin farklılıklar gözlemlenmiş olup, Gemini ve Claude modelleri diğerlerine kıyasla daha yüksek performans sergilemiştir. Bu durum, gözlemlenen farklılıkların modellerin öğrenilmiş dil örüntülerinin kapsamı ile ilişkili olduğu hipotezini desteklemektedir. Ortaya çıkan bulguların çözümlemesi doğrultusunda, yapay zekâ modellerinin oluşturduğu neolojik söylemlerin, çoğunlukla mevcut Türkçe sözcüklerin birleştirilerek birleşik sözcük oluşturulması veya alışılagelmiş bağlamlarının dışında kullanılması yoluyla üretildiği varsayımı doğrulanmıştır. Kurgusal şizofreni profillerinde oluşturulan neolojik söylemlerin genel alanlarında (generic space) ortaya çıkan yeni kavram alanlarının birbiriyle tutarlı bir anlamsal bütünlük oluşturamadığı, birbirleriyle uyuşmadığı ve örtüşmediği gözlemlenmiş ve bu doğrultuda araştırmanın üçüncü hipotezi doğrulanmıştır. Profil çözümlemelerinde yaş ve cinsiyet faktörlerinin, tablo 1'de yer alan cinsiyetsiz profil dışında, neolojik söylem üzerinde belirgin bir değişim yaratmadığı saptanmıştır. Ancak, bölge ve meslek değişkenleri, neolojik söylemlerin yapısında temel ayırt edici unsurlar olmuştur. Yapay zekâ modelleri, semptomları bölgenin fiziksel ve kültürel unsurlarıyla birleştirerek profillere özgü spesifik söylemler yaratmıştır. Son olarak; üretilen 105 özgün neolojizm tematik olarak algı ve duyusal bozukluklar, kimlik ve benlik değişimi, bölgesel ve tematik sabit fikirler ve soyut kavramların nesneleşmesi olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılmıştır.

Bu çalışma, Kavramsal Harmanlama Kuramı'nın kurgusal şizofreni profillerindeki neolojik söylemlerin analizi için uygulanabilirliğini göstermiş olup, bilişsel dilbilim, ruhdilbilim ve psikopatoloji alanlarındaki araştırmalara önemli kuramsal katkılar sunmaktadır. Alanyazındaki boşluğu doldurmayı hedefleyen bu çalışma, neolojik söylemlerin bilişsel çözümlemesini kuramsal ve yapay zekâ desteğiyle ele alarak, Türkiye'de yapay zekâ destekli ruhdilbilim çalışmalarının önünü açmak ve neolojik söylemlerin oluşumuna dair yeni bilimsel veriler sunmak için bir temel oluşturmuştur. Gelecekteki çalışmalar, yapay zekâ modellerinin neolojik üretim yoğunluğu ve yerel ağız özelliklerini simüle etme başarısını gerçek şizofreni tanılı kişilerin neolojik söylemleri ile karşılaştırmalı olarak inceleyebilir. Yapay zekâ destekli neolojizm üretimleri, farklı bölge ve meslek grupları ile test edilebilir. Bu çıktılar doğrultusunda kapsamlı bir neoloji derlemi oluşturulabilinir. Kurgusal profillerden elde edilen zengin neolojizm derlemi, dilbilimsel analizler için değerli bir kaynak sunmakta ve neolojizmlerin klinik tanı ve değerlendirmedeki potansiyel rolünü anlamaya yönelik araştırmalara zemin hazırlamaktadır.

KAYNAKÇA

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed., text rev.).

Andreasen, N. C. (1986). Scale for the assessment of thought, language, and communication. *Schizophrenia Bulletin*, *12*(3), 473–482.

Bleuler, E. (1950). *Dementia praecox or the group of schizophrenias* (J. Zinkin, Trans.). International Universities Press. (Original work published 1911).

Coulson, S. (2001). *Semantic leaps: Frame-shifting and conceptual blending in meaning construction*. Cambridge University Press.

Çabuk, T., Sevim, N., Mutlu, E., Yağcıoğlu, A. E. A., Koç, A., & Toulopoulou, T. (2024). Natural language processing for defining linguistic features in schizophrenia: A sample from Turkish speakers. *Schizophrenia Research*, *266*, 183-189. https://doi.org/10.1016/j.schres.2024.02.026

Fauconnier, G., & Turner, M. (2002). *The way we think: Conceptual blending and the mind's hidden complexities*. Basic Books.

Fauconnier, G., & Turner, M. (2003). Conceptual blending, form and meaning. *Recherches en communication*, *19*, 57–86.

Güleç, H., Kavakçı, Ö., Güleç, M. Y., & Küçükalioğlu, C. İ. (2006). Türk toplumunda şizofreni tanısı konmuş hastalardaki frontal değerlendirmede Renk İzleme Testi Türkçe uyarlamasının geçerliliği ve güvenirliği. *Düşünen Adam*, *19*(4), 180-185.

Karpiczenko, J. (2014). Language phenomena analysis based on the TLC scale. *Logopedia*, *43-44*, 291-313.

Kasanin, J. S. (Ed.). (1944). *Language and thought in schizophrenia*. University of California Press.

Mazumdar, P. K., Chaturvedi, S. K., & Gopinath, P. S. (1988). A study of thought, language and communication (T.L.C.) disorders in schizophrenia. *Indian Journal of Psychiatry*, *30*(3), 263-274.

Özcan, A., & Kuruoğlu, G. (2018). Sentence length of Turkish patients with schizophrenia. *International Journal of Psycho-Educational Sciences*, *7*(1), 68-73.

Schwartz, S. (1982). Is there a schizophrenic language? *Behavioral and Brain Sciences*, *5*(4), 579–626.

Turner, M., & Fauconnier, G. (1995). Conceptual integration and formal expression. *Metaphor and Symbolic Activity*, *10*(3), 183–204.

https://doi.org/10.71284/asc.202614

WITH AI, SOCIAL STRUCTURING (BASED ON DATA) DIVERGES FROM PSYCHIC STRUCTURING (BASED ON WORDS)

Pierre Beckouche[1]

Abstract

This paper focuses on the historical dimension of artificial intelligence (AI). Not the history of computer science, of which AI is merely the latest stage, but the history of two essential aspects of AI: (i) its a-semantic dimension, since the machines that produce AI are indifferent to the meaning of the contents they process. And (ii) its abandonment of the principle that has mainly structured our cultures for millennia, causality, given that AI processes billions of correlations. The a-semantic dimension of AI is not a sudden explosion: it stands in a long Western tradition of writing in which the emergence of the Greek alphabet in the first millennium BCE was a key moment. Letters were no longer entrusted to humans by the Gods, but resulted from the ways humans themselves chose to shape and combine them. This makes the Greek alphabet a distant ancestor of AI. Today, how are we to understand the fact that we are relinquishing to AI our control over contents and higher values? Psychoanalysis offers an explanation: the unconscious drive, in every subject, to rid themselves of what the words that constitute them carry with them — antecedence, alterity, and authority. AI then appears as a solution for the advent, in reality impossible, of a subject who would be totally free and autonomous. The conclusion of the paper draws out the possible consequences of the now-entrenched separation between the language of the individual (words) and the language of the social (digits).

Keywords: Automation, correlation, language, supersocial

[1]Prof. Dr., Faculty of Geography, University Paris 1 Pantheon-Sorbonne, beckouch@univ-paris1.fr, https://orcid.org/0009-0001-9406-3584

GİRİŞ

As we know, it is difficult to think clearly about artificial intelligence (AI), so recent and multifaceted is its advent. First, its expansion is accelerating even more quickly than the firms that dominate the field themselves anticipated. At the beginning of 2026, the investment plans of the GAFAM companies in AI and cloud infrastructures for that year — more than 600 billion dollars — already far exceed what those firms had forecast at the end of 2025. There is quite literally no historical precedent for such an amount being poured into a single economic sector. Second, algorithms now choose, in place of engineers, the pathways for processing data, and they do so at speeds that far outstrip the capacities of the human brain. A third, less recognized reason is our difficulty in acknowledging that the digital shift is an anthropological turning point, perhaps the most intense in human history in its effects on our lives and our societies. This leaves us with a practical challenge: while the ultra-rapid transformations of AI rightly capture researchers' attention, we also need to situate this revolution within a broader historical horizon than the 21st century alone.

This paper focuses on that historical dimension. Not the history of computer science, of which AI is merely the latest stage, but the history of two essential aspects of AI: (i) its a-semantic dimension, since the machines that produce AI are indifferent to the meaning of the contents they process — contents that have yet shaped our societies, our beliefs, and our conflicts so profoundly. And (ii) its abandonment of the principle that has mainly structured our cultures for millennia, causality, given that AI processes billions of correlations (section 1). This a-semantic dimension of AI is not a sudden explosion: it stands in a long Western tradition of writing in which the emergence of the Greek alphabet in the first millennium BCE was a key moment. Letters were no longer entrusted to humans by the Gods, but resulted from the ways humans themselves chose to shape and combine them. This makes the Greek alphabet a distant ancestor of AI (section 2). Today, how are we to understand the fact that we are relinquishing to AI our control over contents and higher values? Psychoanalysis offers an explanation: the unconscious drive, in every subject, to rid themselves of what the words that constitute them carry with them — antecedence, alterity, and authority. AI then appears as a solution for the advent, in reality impossible, of a subject who would be totally free and autonomous (section 3). The conclusion draws out the possible consequences of the now-entrenched separation between the language of the individual (words) and the language of the social (digits).

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Why is AI an Anthropological Turning Point?

AI gives the digital turn an anthropological dimension. This is evident in two major respects: decision-making shifts from a highly symbolic human act to a digital automatism, and the causal foundation of our culture (God as First Cause, and cause-and-effect links as the basic mechanism of our knowledge) is giving way to the processing of correlations. The social, political, and even geopolitical consequences of these changes are immense.

1.1.1. From Decision to Automation

This shift is well known, but it is worth recalling briefly, because its psychological dimension is crucial: the passage from human decision-making to digital automation. Digital mechanisms calculate, recommend, frequently arbitrate and, with the spread of AI, increasingly act on behalf of individuals and their political bodies. More and more, algorithms create the link between analysis, decision, and execution. In human experience, these functions have traditionally been separated, allowing questions of relevance and legitimacy to be raised at each stage. Our endless debates about dysfunctions between the police and the judiciary, or about the degree of parliamentary oversight in a democratic regime, reflect the importance of this fortunate separation of powers, from guiding principles to decision-making and implementation. In the

AI realm, however, continuity is both technical (these functions are written in the same code) and organic (operational coupling takes place instantly between the organizing principle of calculation, the selection of the optimal scenario and, now, the execution of the decision). Moreover, self-learning feedback loops continually modify the guiding principles.

Automation will soon extend into even our most strategic decisions, both individual and collective. E-government, which has grown significantly since the 2010s, is now accelerating with the generalization of AI in all areas of public administration, whether local or national, including sovereign functions such as automated fraud detection or identity checks through facial recognition. Political decision-making is therefore directly affected. Advocates of direct democracy, in which governments respond to citizens' wishes in real time rather than every five years, may well be overtaken by this new relationship to time: algorithms may calculate and implement those wishes before we even formulate them. One can thus understand why Zacklad and Rouvroy (2022) consider it essential to make visible the controversies surrounding AI, in particular the automation of decision-making.

1.1.2. From Causality to Correlations

What is less well known is the shift from a culture dominated by causalities, logos, to a culture dominated by correlations, what we will call "arithmos". It therefore deserves closer attention. Dominant in Euro-Mediterranean culture for three millennia, logos has gradually imposed itself as the dominant metaculture across the globe. During the first millennium BCE, the general representation of societies and nature, mythos, gave way to a culture of explaining facts that the Greeks called logos. Mythos affirmed the One, a mysterious and inaccessible unity of nature and supernature. As a part of the universe, humanity formed an infinitesimal component of this Unity. The world pre-existed and infinitely surpassed the existence of each individual.

Logos is the appropriation of things by way of discourse: human beings define the names, contents, and categories of things. They distinguish causes from effects, truth from falsehood, purity from impurity, the rational from the sensory, divine origin of earthly events; they distinguish morality from science, politics, and aesthetics. Logos breaks down complex realities, classifies and connects their elements. It produces a structured discourse with a purpose: to understand the essence of things more clearly, to reduce subjection to nature, and to strengthen control over its effects on human beings. This domestication of thought probably begins with reflection on language, and thus with the advent of writing at the end of the 4th millennium BCE. In Egypt, at the end of the second millennium BCE, the Book of Thoth still belongs to myth, as this divine book was inaccessible to humans. But we are already on the threshold of logos, because Thoth, through this book, presides over all intellectual activity. Master of the measurement of space and time, he set the value of the royal cubit, the unit used to construct all sacred buildings; he counted the years, months, days and moments of existence for gods and humans alike. The ancient Egyptians believed that deciphering the Book of Thoth's secrets would reveal the secret of Life, granting mastery over earth, sea, air and the heavenly bodies (Michaud 2014). Thoth taught language and all the sciences; he was the god of writing and gave hieroglyphs to humankind. A similar maturation of logos occurred among the Mesopotamians.

One millennium later, in Athens, logos becomes self-aware; it fully separates from mythos with the rise of the Greek alphabet. Literature increasingly focuses on human stories. The Platonic dialectic of essence and existence, idea and sense, soul and body, remains familiar to us today because Christianity carried it forward over the centuries. For logos is also religious. The well-known struggle between reason and faith that marked the Western Middle Ages should not mislead us. When logos took on its familiar form in the first millennium BCE, it defined itself in both rational and religious terms. At that time, the Greeks formalized reason in opposition to myth, while the Hebrews distilled the divine Cause, or monotheism (which they called the "true" religion), from what they termed false religions or idolatry. The two forms of logos, rational and religious, emerged simultaneously. Despite the differences between Greek natural

philosophers and the theologians of that era, the organization of their thought was similar (Vernant 1962).

The arithmos metaculture represents a rupture, because it operates in a different language: no longer spoken (mythos) or written (logos) words, but numbers. And it no longer presupposes any inherent essence in things. Our new digital metaculture presents a surprising form of divinity: no longer ideal, prior, and imperishable, but rather software-like, contingent, and adaptable. It is not unified but modular. The exhausting quest for Being is over. As Cardon notes (2015, p. 46), "with the power of modern computing, there's no need to refine models anymore. The machine simply tests all possible correlations between an ever-growing number of variables. The model is no longer the starting point for calculation, but its result." This marks the end of the model as a guiding framework and signals, as Chris Anderson predicted in his 2008 article "The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete," the decline of science as logos had explained it to us.

Machine learning has moved away from mimicking human reasoning, as it did in the 1990s with supervised AI systems that followed rules crafted by computer scientists testing hypotheses. "These logic-based AI systems with hierarchical tree searches proved cumbersome and complex to develop, and they eventually fell out of use," LeCun observes (2023, p. 19). Deep learning has now superseded them, processing vast datasets to infer reality from countless examples. We are led by machines that understand nothing, yet can predict optimal behavior or the most likely action on the basis of millions of prior cases. Algorithms operate in a massively parallel fashion, handling so many correlations that their workings can no longer be explained in human terms. As LeCun states (2023), logic is incompatible with machine learning. What we call algorithmic rationality is, in fact, not rationality in the traditional sense; it belongs to a different order from that of logos. Correlation has replaced causality. The hypothetico-deductive approach, which leads to a definitive conclusion, is fading, overtaken by inductive calculations that ceaselessly reshape thought and action. Can we even call it "thought" when it is constantly being redefined?

As will be discussed below, this probabilistic nature of our new mode of social regulation poses a serious challenge for human psyches. Comparing oneself to a social average is a process that fosters socialization, because it helps define one's place within a community. Being measured solely by my individual behaviors is something else entirely, and it reveals the depth of AI's impact. The knowledge produced is no longer collective, but fragmented and no longer collectively interpreted. Instead of unified theories of behavior, we now have a constantly evolving mosaic of personal micro-theories. What is common today is no longer shared causes, means, or hypotheses, but algorithms performing personalized calculations — even though their internal workings remain almost entirely unknown to most people and to a large extent even to computer scientists themselves.

Philosophers have identified this turning point. According to Bruno Latour (2010), the transcendent Cause has lost all meaning: causal relations have given way to a situation in which "consequences overwhelm their causes," each agent, whatever its nature, reshaping the cause–consequence chain anew. This incessant transformation, this "compositionism," as he calls it, expresses pure immanence. Antoinette Rouvroy, who has brilliantly elaborated her concept of "algorithmic governmentality," speaks of a culture of optimization that seeks to predict phenomena on the basis of correlations rather than understanding causality. Philosopher and computer scientist Judea Pearl says the same: "Correlation is not causation… Data do not understand causes and effects, humans do" (Pearl and Mackenzie 2018).

Table 1. The arithmos, our new metaculture

Existential questions	*Mythos* (oral transmission)	*Logos* (written transmission)	*Arithmos* (digital transmission)
Being	ALL-ESSENCE	TRANSCENDENCE Essence is the in-itself of being.	PURE EXISTENCE
	Evidence and saturation of what is, enigma of existence	Transcendence recalls the force of being but also its radical remoteness	Real expresses itself directly; subjects are defined by their experiences. Existence without essence, hence without transcendence
Identity	SUBJECTION	DIVISION	FULFILLMENT
	Identity imposed overwhelmingly. Self-definition is encompassed within human groups, which are encompassed within the supernature	Individual identity is sought but cannot be proven; it can only be experienced through the division that structures each subject: essence/existence, soul/body	Claim for a complete identity, identity to oneself. End of division within oneself, end of division between oneself and others, oneself and nature
Meaning	MYSTERY	INTERPRETATION	PROCEDURE
	The anguish of an inexpressible meaning, the realm of Mystery	The impossible no longer comes from the mystery but from the inaccessibility of the Sources. Meaning given but partially, requiring further search and interpretation	Meaning reduced to a sign; the signifier is freed from its relation to meaning. Realm of procedure; meaning is no longer given but produced, it is calculated
Time	ETERNITY	PROGRESS	PRESENTISM
	Circular time	Differentiation of time, reference to antecedents, unfolding of the mind, meaningful temporality of progress	Real time, a simple succession of immediacies and events, no matter whether past, present or future

1.1.3. Geopolitical Effects

The effects of decision-making automation extend all the way into the military realm. The transformation is so rapid that it is reshaping geopolitics. At a 2017 technology conference in Yaroslavl, Vladimir Putin famously declared: “Whoever becomes the leader in artificial intelligence will rule the world.” But like other countries, including Japan, which has partly missed the AI shift, Russia can only observe the new Sino-American dominance. As philosopher Éric Sadin (2016) puts it, the United States has driven the “silicolonization” of the world; their mastery of the universe of data and the cloud underpins their supremacy in AI. China, for its part, is making massive investments in AI that could soon rival those of the United States. It has already overtaken the U.S. in robotics — accounting for 40% of the global market and standing as the innovation leader in this sector, which is increasingly tied to AI — as well as in AI and quantum-computing patent filings. For the moment still at the experimental stage, Chinese and American AI-piloted fighter jets have achieved results far superior to human piloting. And the explosion in the number of drones used in the war in Ukraine offers a more concrete picture of what forms of weaponry will look like in which only AI will be able to deliver victory in tomorrow’s conflicts: weapons, deployed in very large numbers, operating in automated fashion and at ultra-high speed.

The development of European AI is being hindered because Europe’s virtuous regulatory framework comes with its own drawbacks. Europe has Good Rules, China and the U.S. have Big Tech. European data use is more restricted than in the U.S., and far more so than in Russia or China. Adopted in 2024, the European Artificial Intelligence Act is rightly “human-centered, ethical, sustainable, and inclusive,” and treats as “unacceptable” such risks as AI-driven public surveillance or Chinese-style social scoring; but it also makes the EU’s AI regulation the strictest in the world. American experts have estimated that

this framework could cost the European economy €31 billion over five years and reduce AI investment by 20% (Mueller 2021). Implementing the AI Act may prove too expensive for start-ups, which will have to conduct risk assessments for their AI developments. By July 2025, around fifty major corporations and leading European tech firms were calling on the European Commission to suspend the rollout of the AI Act, arguing that it is too hostile to innovation; in January 2026, the Commission stated that it had taken note. Between 2013 and 2023, private AI investment amounted to $336 billion in the United States, $104 billion in China, and only $50 billion in Western Europe (Perrault and Clark 2024). In April 2025, the European Commission announced a €200-billion AI action plan, proclaiming its ambition to make Europe the "world leader in artificial intelligence." But European firms have so far only begun to sketch tentative projects. By the end of 2025, Europe's responsiveness appeared weak and slow, with investments much lower than those of the two leading countries. Europe's vast savings are not being mobilized for such strategic projects… and instead continue to finance American digital initiatives. The new geopolitical landscape makes it clear: AI is at once an unprecedented factor of social unification, but also a major driver of international division.

1.2. "Real Time" Replaces the (shaky) Historical Foundations of our Unity

One of the defining traits of the modern West is the primacy of individual freedom. Its flip side, however, is the weakening of social unity. Over the long course of history this has taken the following form: Western societies have preferred to analyze the components of systems (whether in the realm of knowledge, technology, or power) rather than preserve the unity of those systems. This is why AI now appears as the promise of a return to a lost unity.

1.2.1. The Greek Alphabet and the Long a-Semantic Tradition of the West

Our spoken words have become microbes in the ocean of digital data. The rise of digital technology is transforming the human dimension of language. The last time humanity experienced a change of comparable magnitude was when writing was invented. But whereas the transition to writing unfolded over centuries, the digital revolution is occurring in the space of just a few decades. It is difficult to foresee all the societal effects this transformation will bring, but we can gain some insight by reflecting on the impact of the emergence of writing.

In oral cultures, each individual was the guardian of the inherited order of the world, building their identity through spoken transmission. Around 3300 BCE, the Sumerians (in what is now southern Iraq) invented writing, which enabled them to govern larger societies and territories where face-to-face interaction was no longer sufficient. In this expanding web of social interactions, guarantors of meaning such as laws or contracts between merchants could not be physically present everywhere. Writing solved this problem by making norms portable, ensuring that they could be enforced anywhere within vast kingdoms. With writing, speech became detached from the physical presence of the speaker. The law or a contract could exist independently. Writing introduced a disjunction between speech and the body, creating a gap in space (through portability) and in time (writing and reading no longer had to be simultaneous; in the case of hieroglyphs writing even promised eternity). This new graphic order structured a fundamentally new way of thinking and speaking, characterized by objectification, formalization, and certainty (Goody 1977). Writing revolutionized all civilizations and became the instrument of one of humanity's most profound transformations, comparable to the mastery of fire. Writing provided a fixed answer to mystery, making the invisible visible. At first it was highly sacred, even when used for mundane purposes such as counting livestock or recording commercial agreements. For three millennia after its invention, writing remained deeply bound up with the harmony of the universe and divine power.

All this changes with the Greek alphabet. Of course, it did not appear out of nowhere. It descended from a line of alphabets developed in the commercial cities of the Eastern Mediterranean in the mid-2nd millennium BCE. These earlier alphabets, influenced by cuneiform and Canaanite scripts, simplified Egyptian hieroglyphs in order to represent the sound of the first syllable of a sign. This evolution eventually

led to the Phoenician alphabet in the early 1st millennium BCE. These alphabets gradually distanced themselves from the magic of words but remained mediators between gods and humans, preserving an aura of mystery that reminded people that human language had its origin elsewhere. They also retained a semantic dimension: each letter carried meaning in itself, whether it referred to something in nature or in the supernatural realm. For example, in the Canaanite and Phoenician alphabets, the square sign "□" was borrowed from the Egyptian glyph depicting a house and corresponded to the Canaanite word for "house": bēt. The alphabet adopted this square sign to represent the sound b, establishing the convention that whenever this letter appeared it would indicate the b sound, the first sound of bēt.

By the eighth century BCE, the Greek alphabet marked a break. Unlike its Phoenician predecessor, Greek letters became completely detached from any inherent meaning, whether representing ideas or things . They were merely signs for sounds. As Zali (1997, p. 21) puts it, "it decomposes the units of discourse down to the atom." Herrenschmidt (2017, p. 55) adds that "this alphabet is decontextualized by its indifference to the semantic unity of the word […]. The Greeks have separated the things of the world from the things of language." The purely phonetic nature of the Greek alphabet made it exceptionally well-suited for translating foreign languages, turning it into an unrivalled tool for the exchange of goods and ideas. With this atomic system, one could write any language, even without understanding its meaning, much as algorithms today process billions of data points without grasping what they mean. In both cases, writing serves to record without bearing any pre-existing meaning. The system is simple: around twenty signs in the alphabet, just two digits in the digital; both can be conveniently combined to express even the most complex things. Its simplicity makes it accessible, unlike earlier scripts, which were the exclusive preserve of scribe castes that monopolized knowledge and power. Because it can be memorized by individuals, the analytical alphabet has the potential to elevate everyone.

Digital writing carries this tradition of analytical decomposition to an extreme. A sequence of 0s and 1s can express any sign, letter, number, sound, or color: digital is the alphabet of alphabets. It translates all pre-existing codes into a new universal language, a vast, homogeneous system that permits every possible combination of coded elements — whether textual, auditory, visual, mathematical, statistical, economic, administrative, or artistic. This is why Google so aptly named its parent company Alphabet . From the advent of language, the Meaning of the universe resided in speech; it then passed into letters with the invention of writing; the Greek alphabet revolutionized human expression, laying the groundwork for the written recording of the world by human beings; and now digitalization is its next stage. As a universal writing system now untethered from specific content, digitalization is the culmination of the alphabetic revolution that began in the Eastern Mediterranean during the 1st millennium BCE.

1.2.2. The West, an Analytical Civilization Where Combinatorics Replace Certainty

We often feel overwhelmed — by an increasingly Americanized global culture, by rampant individualism, by financial capitalism, by procedural legalism, by utilitarianism, or by the surveillance of a Big Brother tracking our every move. We rarely recognize that these are all manifestations of deconstruction. The mathematization, proceduralization, and digitization of the world are interlinked; digital orders crystallize this broader convergence of the analytical order: the breakdown of dominant Meaning, in other words the breakdown of the One. This is why arithmos is emerging as a candidate for the new unified global metalanguage. It is global because, although analytical decomposition has Western origins, it proves startlingly adoptable by other cultures.

Modernity has decomposed our understanding of nature (atoms), of life (genes), of identity (psychoanalysis), of society (human rights), of the economy (a free labor market, capital split into millions of shares), of the state (recast as a service provider to individuals rather than a higher authority), of culture (replaced by information), and of knowledge (fragmented into ever more specialized disciplines). The result? Astonishing intellectual, artistic, and technological advances, but also the loss of any unifying force capable of slowing this insatiable dynamic.

We should not nostalgically regret what traditional societies provided: a unified representation of society, a clear role assigned to each person and shared obligations toward unity, a stable world that transmitted certainties. No regrets: such societies were never as stable as they claimed; in these societies of servitude or domination, levels of freedom and knowledge were light-years away from what gives our contemporaries their present quality of life. Moreover, these heteronomous societies also experienced absolutist excesses. What we should say instead is that the paradigms driving our actual civilization are products of this analytical de-unification. Culturally, we now live under the paradigm of projects, with innovation as the only constant. Scientifically, we embrace the paradigm of complexity: complexity science, the emergence of new fields at the crossroads of multiple disciplines, and a deep sense of awe at the vastness of our ignorance as our tools for understanding grow ever more sophisticated. Technologically, this is the age of access, in contrast to the restrictive limits of past societies founded on a sacred Origin. Economically, we follow the market paradigm, where the free interaction of supply and demand reigns. Politically, instead of "government" we operate under the paradigm of "governance," with a proliferation of normative sources, self-organization, and ultra-democracy. Environmentally, we acknowledge the Anthropocene, in which the interaction between human activity and the biosphere has reached a point where it poses a serious threat to the planet.

Each of these paradigms is interconnected with the others, forming a system that exponentially multiplies our combinatorial possibilities. No one can halt this relentless entropy, and no one knows where any brakes might be found. We frequently reproach our governments for failing to control this combinatorial system, which inevitably escapes their grasp. The fragmentation and anxiety of living in such an uncertain society trigger a deep yearning for a unifying social narrative, one capable of providing meaning. We once awaited a messiah to meet this need; now it will be the digital deity. The digital realm is perfectly suited to our hyper-fragmented world, calculating billions of possible combinations. The digital "turn" does not chart an entirely new course; rather, it rekindles the hope that AI might provide shared answers to the billions of questions opened up by a real-time world that no longer waits for inherited responses.

1.3. Why do we Accept Surrendering Control over Content and Values?

Psychic realities help explain why we accept social digitalization. We are very eager to stop having to struggle with the inability of words to master the real, to stop exhausting ourselves in the search for truth, and to stop having to decide under the uncertainty that our decision will be the right one. If AI can do this for me, I will gladly accept it — whether consciously or unconsciously.

1.3.1. Two Psychic Reliefs: Avoiding Inaccessible Causes, Avoiding Decision

If ultimate causes are no longer a meaningful object of inquiry, if AI makes our knowledge virtually infinite, and if it spares us the need to choose and act, then the symbolic dimension of our psyche recedes. Alongside the Real and the Imaginary, the Symbolic is one of the three dimensions of the psyche. It is what leads us to accept that we cannot understand everything (the words we are made of are only approximations), cannot do everything (only God can), and cannot have everything (what psychoanalysts call lack). We are all familiar with moments in History, and in your own personal history, when we have vainly tried to repudiate these impossibilities. Yet thanks to AI, digitalization makes us believe that it becomes possible.

We are undergoing a transformation of the symbolic foundations of socialization, which is essentially a process of de-symbolization. This creates a danger at both the collective and the individual level: an overinvestment in the imaginary dimension of identity. The Imaginary is a necessary component of the psyche — the realm of daydreaming, imagination, comparison, and fantasy. But left to itself, the relationship with the other, the neighbor, the alter ego, becomes relentless: nothing puts a stop to the questions of who is who, who desires what, what they want from me or what I want from them, whether love or hate comes from them or from me, and which of us will prevail in our rivalry. The Symbolic brings an end to this perpetual entanglement.

Today's lack of symbolization feeds an overinvestment in the Imaginary, often leading to significant psychological difficulties. If the Symbolic is now perceived as a coercive force to be rejected, the social order will more and more mirror the imaginary dimension of identity: love–hate relationships, endless comparisons, conflicts and separatisms, as their ubiquity on social networks makes plain. Protest has become the hallmark of a society of victims, and litigation its grammar. The rise in insurance claims and security measures is symptomatic of a dual aggressor–victim mentality. Assertive declarations, the like–dislike dichotomy, ideological echo chambers in which people seek information that confirms their views, radical for-or-against stances, compulsive defiance of authority, and conspiracy theories — all this increasingly turns our ordinary social life into a paranoid landscape. Some authors argue that the current surge in conspiracy theories is merely a new version of something that has always existed, like medieval rumors or plots attributed to Jesuits, Jews, or Freemasons. But three factors make the present wave unprecedented: it is emerging at a time when scientific knowledge is at its peak; it is astonishingly amplified by a tsunami of information; and it is fueled by ongoing de-symbolization.

The digitized absence of limits raises the question of the weakening of the Symbolic because, if nothing is lacking, why would there be any need to represent lack? We can observe this potential shift into a post-symbolic age from three angles. On the societal level, overabundant resources change everything. Despite growing challenges around natural resources, particularly access to water, a kind of exhaustiveness now seems within reach — except in poor countries — and little appears truly impossible. On the individual level, self-sufficiency has become the new horizon. And on the psycho-social level, which links society and psyche, if the impossible is no longer necessary and limits are regularly transgressed, symbolic frameworks cease to function effectively. Limits are essential to the psychic formation of an infant; AI promises the opposite.

This is not a lament over a contemporary subject supposedly lost in the absence of social frameworks. In fact, symbolization is both necessary for individuation and unbearable, because it is grounded in lack. The drive toward de-symbolization has political and technological causes, but also psychic roots: given the choice, most individuals would probably vote for de-symbolization. This is why the universalization of AI fits so well: it unifies, but without transcendence, preserving the subject's hope of access to everything.

1.3.2. The a-Semantic Word as a Relief

Digital is the first universal language since the Flood. In today's interconnected world, only the final stage of communication, the very last click, adapts to the recipient's language. We believe we are communicating within our own language because tradition teaches us that we inhabit our language; its grammar, alphabet, etymology, the sound of its verbs, the memory of its literature shapes its speakers. This remains true, but such elements now make up a rapidly shrinking part of our culture, as digitalization increasingly shapes the culture of all peoples. Whether in Asia, America, Europe, or Africa; whether using Cyrillic, Arabic, Latin, Chinese, or Indian scripts; whether rich or poor, all are digitalized and all are conforming to the new source of knowledge: AI. Arithmos is the new metalanguage that structures minds, reducing vernacular languages to mere user interfaces.

The concern, however, is that digital language sidesteps what all previous languages carried: alterity, because the words that shape a subject are borrowed from others; antecedence, because these words are always already there, beginning with those of my parents, as every language embodies consolidated time and bears the genealogy of its millennia-old etymology; and authority, because my speech does not grant me access to the origin of my words (Lebrun 2020). Language opens the world to us, but symbolically; it can never offer total access. By contrast, computer language is radically new: it is free of any gap between word and object, since it is a-semantic, and free of any disconnection between languages, since it unifies them all.

In the world of "computational ontologies," both letter and word are reified. Google has turned the word into an object. The keyword culture that dominates our communication treats words as if each contained, in itself, the key to its entire meaning, independently of source or context — an alignment of signifier and signified. Philosopher Anne-Sophie Chazaud shows that today's culture of offense is deeply rooted in language. Militant victimhood turns everyone into a potential victim of another's words, which are taken literally in an increasingly fundamentalist spirit. Today, the word "dog" bites (Chazaud 2020). The ultra-equal treatment of all words and registers leads to a binary clash of viewpoints, blocking the convergence needed to grasp the complexity of issues. In contemporary debates, speeches are reduced to punchlines. Keywording fragments language, simplifying it so that an ever-growing volume of messages can circulate ever more rapidly — what computer scientists call compressed sensing. Today's word is the child of Shannon's information theory: like the Greek letter of yesterday, it no longer bears the weight of mysterious meaning. The paradox is that AI both contributes to this reified world and appears as a solution to it.

1.3.3. AI as a Source of Meaning and Authority in the Face of Hyper-Fragmented Language

Twenty years ago, we could still hope that nascent artificial intelligence would enhance our personal capacities to remember, think, and feel. Marvin Minsky (2006) saw in AI the promise of enriching the human mind. But today's self-learning AI, whose power far exceeds anything imagined two decades ago, calls this hoped-for convergence between AI and human culture into question.

The first element of this paradox is that AI offers us answers to complex questions while excluding humans from that very complexity. Antoinette Rouvroy (2024) illustrates this paradox. She notes that the term "personal data" is misleading, because it suggests that major digital operators are focused on the individual. In reality, they collect vast amounts of data to generate consumer profiles that are far removed from the data I would personally associate with who I am. These big data then feed algorithmic AI systems that shift responsibility away from individuals. If Google knows better than I do what is in my best interest, if millions of connected devices optimize responses to my needs, what is the point of my own decision-making? Moreover, online interactions are increasingly conducted under pseudonyms, in tension with the democratic principle that individuals should speak in their own name. Psychoanalysts have noted this trend toward irresponsibility: "The hopeful notion of participatory co-responsibility can devolve into irresponsibility, facilitated by total or partial anonymity, leading to two extremes: either an ethical-moral invasiveness, where everyone feels responsible for everything and acts as an inquisitor of everyone, or, conversely, a widespread abandonment of responsibility" (Arènes 2014, p. 341).

AI is now producing works not from human inspiration but from the outputs of other AIs. Social fragmentation fuels a demand for unity, which finds an answer in digitization — but a destabilizing answer, because digital orders are in reality more pluri-individual than collective. A first paradox concerns isolation (versus alterity). Our colossal social apparatus, the scale of fiscal redistribution — enough to make even the staunchest communists envious — and our vast web of social ties have all grown in proportion to our mounting loneliness. Why rely on others when apps give instant access to everything? The more external resources we build, the more we generate what Robert Castel called disaffiliation. Individualization turns into isolation. A second paradox concerns anxiety (versus antecedence). Despite our vast knowledge and unprecedented power, we consume more psychotropic substances and diversions than ever before in order to bear existence. A third paradox concerns freedom (versus authority). The empowerment of individuals in modern times has gone hand in hand with the rise of the welfare state. As human beings sought greater autonomy, they also became increasingly bound by external norms of their own making — cultural, legal, and now digital processes. Long ago, Sapiens sought to free himself from the supernatural; today, he has created a digitalized "supersocial."

AI is the source of a new kind of authority. Take the example of France, though the same trends can be observed elsewhere. Digital intelligence made it possible to identify, track, and intercept the perpetrators of the Islamist attacks of November 2015 in Paris. By 2020, more than 35 French cities were using the American "smart surveillance" software Briefcam. The reason for turning to AI is simple: humans cannot process the overwhelming volume of images generated by the ever-growing number of cameras. Among the top twelve cities in the world in terms of surveillance-camera density per square kilometer, six are in China and three in India, with London in fourth place and Paris in twelfth. The 2023 Justice Law allowed the French police, in cases of serious offenses and crimes, to use smartphones, computer webcams, and indoor cameras to geolocate individuals, listen to conversations, and capture images inside private homes. The French National Railway Company (SNCF), which has installed 45,000 cameras on its trains and 25,000 in its stations, acknowledges that it is experimenting with AI technologies to detect suspicious behavior. Also in 2023, France became the first European country to legalize algorithmic video surveillance by passing the Paris Olympics Law, which authorizes the use of AI so that cameras can detect suspicious movements. In France, as in other countries, the safe-city market is booming. The risk lies here: freely available software can now match a face in a photograph to all occurrences of that face posted online, which not only quickly identifies the person but also links them to a vast quantity of associated content.

During the Covid-19 pandemic, the French Senate's Foresight Delegation issued a report on preventing future health crises. Its conclusion contained striking remarks on AI: "Let us not confuse the issue of Big Brother: at every moment of our lives, we give more data to the GAFAM companies than the State will ever possess. Should we be surprised that Google and Facebook know more about the Covid-19 epidemic in France than the Ministry of Health or Social Security? If we do not prepare, others will do it for us. Allowing the most authoritarian regimes to take the lead in this field, or leaving the fight against epidemics to the GAFAM, is not the best way to defend our democratic values […] In an era of digital revolution, big data and AI in healthcare, it is no longer reasonable to claim that cross-referencing databases serves only to establish a totalitarian state" (French Senate 2021).

CONCLUSION: A Soft Digital Totalitarianism?

The aim of this article has not been to assess AI as such. If, rather than dwelling on the tremendous advances it enables in medicine or engineering, we have focused here on the totalitarian risk carried by AI, it is because this anthropological turning point is, above all, a transformation of language. For the first time in human history, the language of the supersocial no longer consists of human words but of digital code. This structural divergence is a major psycho-social shift, laden with considerable risks.

In the West, this prospect raises fears of a totalitarianism of irresponsibility, in which decision-making is increasingly delegated to distributed systems. In China, it fuels anxieties about a totalitarianism of state surveillance. In both cases, reliance on the automated processing of vast quantities of data is central, which is why critiques of AI lie at the heart of these debates. The most common concerns focus on panoptic surveillance, automated decision-making, and the replacement of human workers by robots.

The advent of self-learning machines has alarmed computer scientists, leading researchers, and even tech entrepreneurs such as Elon Musk: faced with the slowness of human brains, machines may come to regard humans as slow and stupid beings: "the computer will just get impatient if nothing else, it will be like talking to a tree ." In 2023, Geoffrey Hinton, professor of computer science at the University of Toronto, a central figure in the rise of AI and recipient of the Turing Award (the equivalent of the Nobel Prize in computing), left Google Brain in order to speak freely about the dangers of generative AI for jobs, about the advent of killer drones and robots. Ninety-nine percent of AI investments, he notes, are devoted to innovation, whereas there should be a balance between innovation and regulation. According to OpenAI's research director, the proliferation of Artificial General Intelligence risks creating a force so powerful that "it has the potential to create an infinitely stable dictatorship" (Sutskever 2023). For the CEO of Google DeepMind,

"We must take the risks of AI as seriously as other major global challenges, like climate change" (Hassabis 2023).

Yet there is still no international framework for regulating AI. Three factors make such regulation particularly difficult. First, the rapid and continuous development of AI would require constant updating of regulations. Second, given the central role of AI in the Sino-American geopolitical confrontation, how realistic is it to expect international public regulation? Finally, how can effective regulation be established when private companies — including those that publicly profess support for regulation — so heavily dominate the algorithmic landscape?

REFERENCES

Arènes, Jacques. 2014. La subjectivité 'en réseau', questions psychanalytiques. In *La transition fulgurante. Vers un bouleversement systémique du monde*, ed. Pierre Giorgini, 331–346. Paris: Bayard

Beckouche, Pierre. 2026 (forthcoming). *The Rise of Procedural Digital Humanity. From Logos to Arithmos*, Palgrave / Springer

Cardon, Dominique. 2015. *A quoi rêvent les algorithmes. Nos vies à l'heure des big data*. Paris: Le Seuil

Chazaud, Anne-Sophie. 2020. *Des formes contemporaines de la censure*. Paris: L'Artilleur

French Senate. 2021. Crises sanitaires et outils numériques : répondre avec efficacité pour retrouver nos libertés (Health Crises and Digital Tools: Responding Effectively to Regain Our Freedoms). Information Report 673. Paris: Senate Delegation for Prospective Studies

Goody, Jack. 1977. *The Domestication of the savage mind*. Cambridge, New York: Cambridge University Press

Hassabis, Demis. 2023. AI risk must be treated as seriously as climate crisis. *The Guardian*, October 24th

Herrenschmidt, Clarisse. 2017. *Les trois écritures: langue, nombre, code*. Paris: Gallimard, Folio

Hinton, Geoffrey. 2023. We won't be able to know what's true anymore. The 'Godfather of A.I.' Leaves Google and Warns of Danger Ahead. *New York Times*, May 1st

Latour, Bruno. 2010. An Attempt at a "Compositionist Manifesto". *New Literary History*, 41-3, 471–490

Lebrun, Jean-Pierre. 2020. *Un immonde sans limite*. Toulouse: Erès

LeCun, Yann. 2023. *Quand la machine apprend. La révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond*. Paris: Odile Jacob

Michaud, Didier. 2014. *Le livre de Thot*. Paris: Maison de Vie

Minsky, Marvin, 2006. *The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind*. New York: Simon & Schuster

Mueller, Benjamin. 2021. How Much Will the Artificial Intelligence Act Cost Europe? Washington: Center for Data Innovation

Pearl, Judea, and Mackenzie, Dana. 2018. *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. New York: Basic Books

Perrault, Ray, and Clark, Jack, eds. 2024. Artificial Intelligence Index Report 2024. Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. Stanford University

Rouvroy, Antoinette. 2024. Big data et IA, une manière de ne pas gouverner ? Hyperpersonnalisation *vs* fabrique du commun. *NEXT*, https://next.ink/141884/entretien-avec-antoinette-rouvroy-big-data-et-ia-une-maniere-de-ne-pas-gouverner/

Sadin, Éric. 2016. *La silicolonisation du monde. L'irrésistible ascension du libéralisme numérique*. Paris: L'Echappée

Sutskever, Ilya. 2023. Interview by *The Guardian*, November 2, series "iHuman". https://www.theguardian.com/technology/ng-interactive/2023/nov/02/ilya-the-ai-scientist-shaping-the-world

Vernant, Jean-Pierre. 1962. *Les Origines de la pensée grecque*. Paris: Presses Universitaires de France

Zacklad, Manuel, and Rouvroy, Antoinette. 2022. L'éthique située de l'IA et ses controverses. *Revue française des sciences de l'information et de la communication,* 25. OpenEdition Journals

Zali, Anne, and Berthier, Annie (eds.). 1997. *L'aventure des écritures I*. Paris: Bibliothèque nationale de France

https://doi.org/10.71284/asc.202615

MODERN MÜZİK YAYIN PLATFORMLARININ YAPAY ZEKA DESTEKLİ "SANAL TERAPİ ODALARINA" DÖNÜŞÜMÜ VE TOPLUMSAL PSİKOLOJİ ÜZERİNE ETKİLERİ

THE TRANSFORMATION OF MODERN MUSIC STREAMING PLATFORMS INTO AI-POWERED "VIRTUAL THERAPY ROOMS" AND THEIR IMPACT ON SOCIAL PSYCHOLOGY

Hakan Emre Ziyagil[1]

Özet

Dijitalleşme çağıyla birlikte müzik dinleme pratikler konusu estetik bir eylem olmaktan çıkarak bireylerin duygu durumlarını düzenleme aracı haline gelmiştir. Geleneksel müzik algısında dinleyici kitlesi, eseri sanatsal değeri için takip ederken aynı zamanda Spotify, Apple Music ve YouTube Music gibi akış platformları üzerinden anlık psikolojik ihtiyaçlarına da yanıt aramaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan yapay zeka (AI) algoritmalarıyla desteklenen bu platformların, bireyler için nasıl kişiselleştirilmiş birer "Sanal Terapi Odası"na dönüştüğünü incelemektedir. Yapay zeka olgusu, kullanıcının dinleme geçmişini, günün saatini, tekrar sıklığını ve hatta biyometrik verilerini analiz ederek kişiye özel profesyonel "işitsel reçeteler" sunmaktadır. Bu reçete içerisinde; "Odaklanma", "Uyku", "Stres Atma" veya "Melankoli" gibi başlıklarla sunulan listeler bulunmaktadır. Böylelikle kullanıcının o anki ruh halini değiştirmeyi veya stabilize etmeyi hedeflemektedir. Bu algoritmik yapı, tarihsel süreçteki "müzikle tedavi" (Darüşşifa) geleneğinin, insansızlaştırılmış ve algoritmik bir versiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak buradaki en önemli temel fark, tedaviyi uygulayanın bir hekim veya usta icracı değil aksine veri madenciliği yapan bir yazılım olmasıdır. Çalışma genelinde bu yeni "dijital şifahane" modelinin toplumsal psikoloji üzerindeki yansımaları tartışılacaktır. Bireylerin, duygusal sorunlarını sosyal etkileşim yerine yapay zeka destekli müzik listeleriyle çözmeye çalışmasının yarattığı "izolasyon" ve "duygusal yankı odaları" kavramları ele alınacaktır. Diğer yandan bir müzisyen ve dinleyici perspektifiyle, sanatın "tüketilebilir bir terapi nesnesine" indirgenmesinin, müziğin ontolojik varlığı üzerindeki riskleriyle birlikte fırsatları da değerlendirilecektir. Yapay zekanın sunmuş olduğu bu teknolojik konforun, insan psikolojisinde yarattığı bağımlılık ve rahatlama ikilemi, disiplinler arası bir bakış açısıyla ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, müzik, dijital müzik, toplum ve müzik

[1] Doç. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Türk Musikisi Devlet Konservatuvarı, Türk Müziği Bölümü, hakanemreziyagil@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2981-2497

Abstract

With the advent of the digital age, music listening practices have shifted from being merely an aesthetic act to becoming a tool for regulating individuals' emotional states. While traditional music audiences follow works for their artistic value, streaming platforms like Spotify, Apple Music, and YouTube Music also seek to address their immediate psychological needs. This study examines how these platforms, supported by artificial intelligence (AI) algorithms, transform into personalized "Virtual Therapy Rooms" for individuals. AI analyzes the user's listening history, time of day, frequency of repetition, and even biometric data to provide personalized professional "auditory prescriptions." These prescriptions include playlists with headings such as "Focus," "Sleep," "Stress Relief," or "Melancholy," aiming to alter or stabilize the user's current mood. This algorithmic structure appears as a dehumanized and algorithmic version of the historical tradition of "music therapy" (Darüşşifa). However, the most important fundamental difference here is that the therapist is not a physician or master practitioner, but rather a software program that performs data mining. Throughout the study, the implications of this new "digital healing center" model on social psychology will be discussed. The concepts of "isolation" and "emotional echo chambers" created by individuals trying to solve their emotional problems with AI-powered music playlists instead of social interaction will be addressed. On the other hand, from the perspective of a musician and listener, the risks and opportunities of reducing art to a "consumable therapeutic object" will be evaluated, along with the ontological existence of music. The dilemma of dependence and relief created in human psychology by this technological comfort offered by artificial intelligence will be presented from an interdisciplinary perspective.

Keywords: Artificial intelligence, music, digital music, society and music

GİRİŞ

Geleneksel müzik sosyolojisi ve psikolojisi kavramları ele alındığında dinleme eylemini tarihsel süreç içerisinde genel anlamda bireyin bilinçli bir estetik seçimi, sosyal bir kimlik inşası ya da kolektif bir paylaşım alanı olarak tanımlamıştır. Ancak dijitalleşmenin ve makine öğrenmesi modellerinin günümüzde ulaştıkları son noktada bu yerleşik paradigmayı kökünden sarstığını söylemek yerinde olacaktır. Şu an yaşadığımız teknolojik hayatın içerisinde ele aldığımız müzik yayın platformları, kullanıcıya salt devasa bir ses arşivi sunmanın çok ötesine geçmiştir. Bu durum bireyin duygu durumunu anlık olarak analiz ederken aynı zamanda öngören ve nihayetinde farklı müzikal mecralara yönlendiren algoritmik birer "sanal terapi odasına" dönüşmüş durumdadır. Ortaya çıkan bu yapısal dönüşümün tam merkezinde ise kullanıcının pasif bir müzik tüketicisinden ziyade, aralıksız veri üreten (dinleme saati, geçme ve atlama hızı, tekrar oranları vb.) biyometrik ve davranışsal bir kaynak olarak konumlandırılması yatmaktadır. Yapay zeka destekli bu derleme sistemleri, ortaya konan devasa veriyi işleyerek müziği arka planda çalışan ve görünmez bir duygu düzenleyici (invisible emotional regulator) olarak işlemektedir. (Vongjaturapat vd., 2026). Meydana gelen bu algoritmik müdahale de gözlenen psikoloji literatüründeki Duygu Yönetimi Kuramı'nın (Mood Management Theory) temel argümanlarını da güncel bir tartışmayı odak haline getirmektedir. Klasik kuram genelinde bireyin kendi içsel sıkıntılarını, melankolisini (duygusal yapısını) veya aşırı uyarılmışlık halini dengelemek (homeostazis) amacıyla medya içeriklerini bilinçli olarak seçtiğini öne sürülmektedir. Oysa kişiselleştirilmiş güncel müzik akış ortamları tarandığında bu otonom seçki süreci büyük oranda yapay zekanın inisiyatifine devredilmiş haldedir (Ernst vd., 2026). Müzik akış sistemleri genellikle belli algoritmaların zincirlenmiş modelleri olarak kendi içinde bir otonom öğrenimi meydana getirmektedir. Ortaya konan bu otonom sistemi sayesinde metin duyarlılık analizi (sentiment analysis), ses biyo-işaretleyicileri ve çevresel bağlam verilerini entegre ederek dinleyicinin anlık modunu tespit ederek bireye en uygun olan "duygusal frekansı" dayatılmaktadır (Kannan vd., 2025). Bu işleyişin mekanizması

klinik bir terapi seansındaki "aynalama" diye adlandırılan tekniğinin kusursuz bir dijital simülasyonunu gerçekleştirmektedir. Müzik platformları kullanıcının o anki hüznünü veya coşkusunu algılamakla birlikte tekrar bireye geri yansıtarak kişiyi onaylamaktadır. Böylelikle birey kendi algoritmik yankı odasında kendini güvende ve "anlaşılmış" hisseder. Fakat kendini gösteren bu dijital sığınağın niyetleri ve sınırları tam anlamıyla profesyonel bir ruh sağlığı uzmanınınkiyle aynı zemine oturmadığını söylemek gerekir. Akış platformlarının temel mimarisi bazında ele alacak olursak müzik dinlemeyi salt içsel bir rahatlama aracı olmaktan çıkarmış olup aynı zamanda bireyin kendi sosyal kimliğini algoritmalarla müzakere ettiği bir ekosisteme dönüştürmüştür (Sabuncuoğlu, 2026).

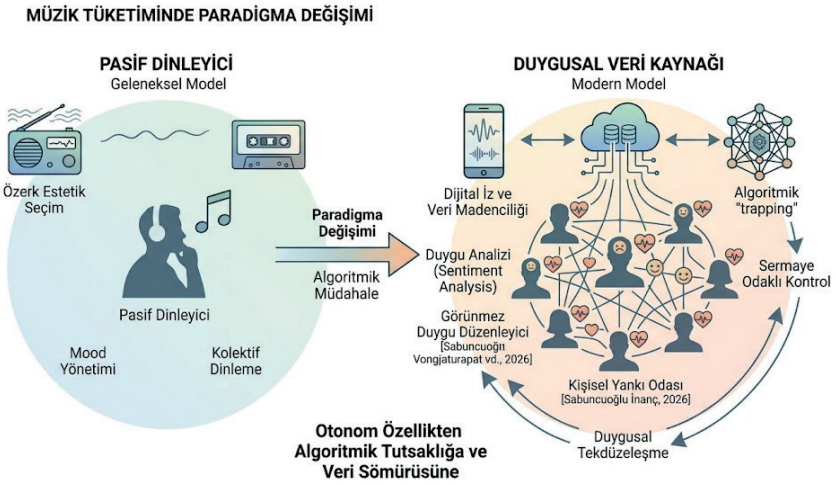
Algoritmalara bağlı oluşan sürekli gözetim ve kişiselleştirme dinamiği olgusu bireyi kendi zevk döngüsüne hapsetmektedir. Bu durum ise müziğin tarihsel süreçte üstlendiği «kolektif bağ kurma» ve «farklı olanla karşılaşma» (serendipity) kavramlarının işlevlerini köreltmektedir. Ayrıca algoritmik müzik sistemlerinin dinleyicileri sürekli mevcut ruh halinde tutmaya veya platformda daha uzun süre kalmasını sağlayacak yapay bir konfor alanına çekmeye yönelik bu mühendisliği kurgusu uzun zaman içerisinde duygusal esnekliği zayıflatma tehlikesini taşıdığını da unutmamak gerekir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Müzik Tüketiminde Pasif Dinleyiciden Duygusal Veri Kaynağına Paradigma Değişimi

Müzik tüketiminde yaşanan paradigma değişimi süreci ele alındığında, dinleyicinin bir estetik özne olmaktan çıkarak müzik platformlarındaki makine öğrenmesi modellerini besleyen birer "duygusal veri setine (duygusal veri kaynağına)" dönüşmesini ifade etmektedir. Geleneksel süreçte işleyişindeki dinleyici, ruh halini düzenlemek için müziği bilinçli bir araç olarak seçerken (Mood Management) günümüzde bu otonom irade, algoritmanın sürekli veri madenciliği (zincir yapı) yaptığı bir sürece evrilmiştir. Dijital yayın platformlarının (Spotify, Apple Music, Deezer vb.) yükselişiyle ortaya konan dinamik yapılar tamamen farklılaşmış haldedir. Günümüzde dinleyici, müziği salt tüketen taraf olmaktan çıkarak program üzerinden belli müziklere her tıklamasıyla, şarkıyı atlama hızı ve gece-gündüz dinleme örüntüleriyle makine öğrenmesi modellerini eğiten kesintisiz bir kaynak halini almıştır. Müzik platformlarındaki öneri sistemlerinin büyük bir algoritmik kapan gibi işlenilmesi ve dinleyicinin platformdaki her refleksinin yüzlerce alt algoritma tarafından kurgulanarak kişiyi kendi zevk döngüsüne hapseden bir veri sinyaline dönüştürüldüğü de gözlemlenmiştir (Seaver, 2019). Sistem işleyişi genelinde dinleyiciyi anlamaktan ziyade onun duygusal reaksiyonları kodlanmaktadır. Bu kodlanmaların oluşturulduğu platformlaşma (platformisation) sürecinde müzik dinlemeyi kolektif bir eylemden çıkarıp aşırı bireyselleştirilmiş bir veri ağına indirgediğini de vurgulanmıştır (Hesmondhalgh ve Qu 2025.) Kullanıcılar bu algoritmanın sunmuş olduğu büyük kişiselleştirilmiş listelerle, kendi duygu durumuna hapsolurken diğer yandan şirketler için son derece kârlı bir veri noktası haline de gelmektedir. Bu bağlamda dinleyicinin kendi hüznü, coşkusu veya melankolisi artık sistem mekanizmalarını (algoritmik yapıyı) kusursuzlaştırmak için sömürülen duygusal bir hammadde halini almaktadır.

Şekil 1. Müzik Tüketiminde Paradigma Değişimi

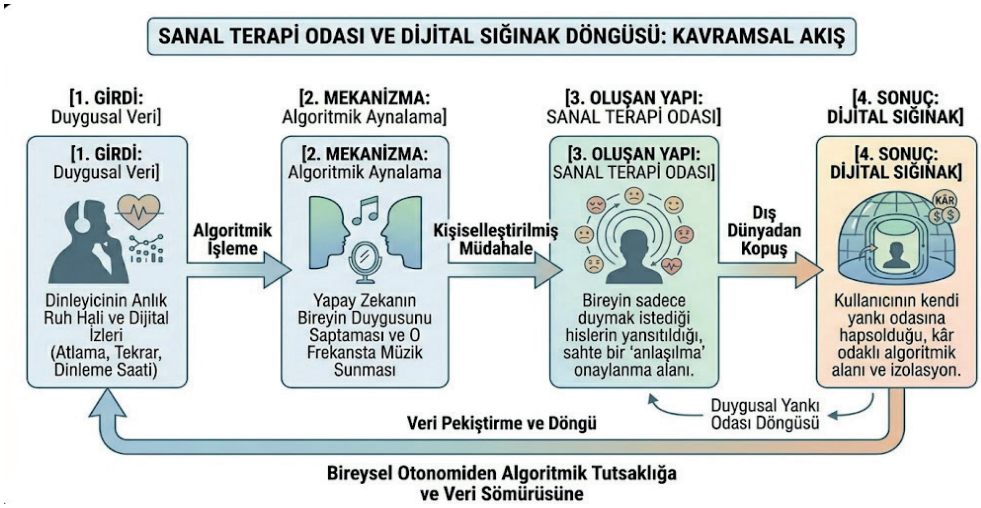


Yukarıda verilen şemada görüldüğü gibi pasif dinleyicinin nasıl bir duygusal veri kaynağı hali aldığı görülmektedir. Her dinlenen müzik parçası ve algoritmaların bu anlamda yönlendirmesi sayesinde müzik şirketlerin birey üzerinde kurmuş olduğu hegemonya ve ticari kaynağının bir parçası olunmaktadır.

1.2. "Sanal Terapi Odası" Kavramı

Bu araştırma kapsamında ele alınan "Sanal Terapi Odası" metaforu yayın platformlarının dinleyici bireylerin psikolojik sınırlarına sızarak üstlendiği yeni ve tartışmalı rolü tanımlamaktadır. Genel bakış açısıyla klinik bir terapist uzmanı seans sırasında hastasının duygularını aynalayarak bireye bir yüzleşme ve sağaltım (iyileşme) alanı açmaktadır. Yapay zeka algoritmaları da temelde aynı aynalama tekniğini kusursuzca taklit etmektedir. Sistem yapı itibarıyla kullanıcının o anki duygusal yoğunluğunu ya da yorgunluğunu veriler üzerinden saptayarak ona tam da duymak istediği tercihleri sunduğunda birey kendini güvende hissettiği bir "dijital sığınakta" bulduğu ifade edilebilir. Fakat bu sanal oda olgusu kişiyi iyileştirmeyi amaçlayan bir klinik değil bireyin kendi duygusal yankısına hapsolduğu, kâr ve elde tutma odaklı bir konfor alanı olarak kendini göstermektedir. Psikolojik esnekliği desteklemek yerine dinleyicileri mevcut ruh halinde uyuşturan sürekli bir onaylama mekanizması kurarak ruhlarına sızıntı yapmaktadır.

Şekil 2. Sanal Terapi Odası ve Bağlantıları

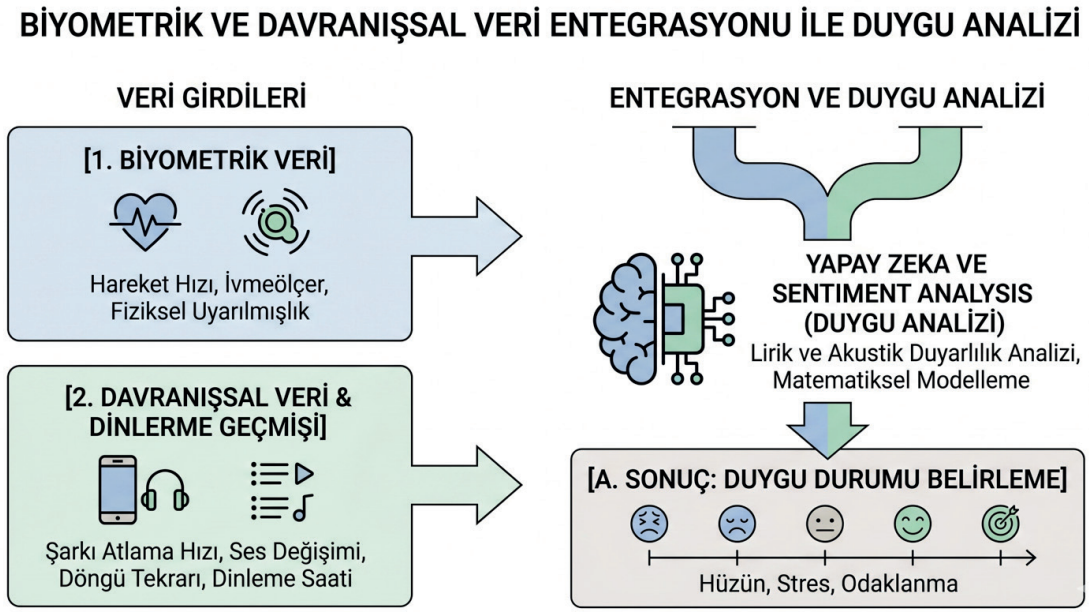


Yukarıda verilen şekilde görüldüğü üzere Duygusal Veri ile Algoritmik Aynalama sistemi arasındaki ilk bağ oldukça önemlidir. Bu bağ yapısı oluştuktan sonra bireye ait duygu saptamaları ölçülerek önerilen müziklerin teması odak halini almaktadır. Bu oluşan yapı ise hemen ardından gelen Sanal Terapi Odası'ını meydana getirmektedir. Böylelikle birey artık kendi istediği müziklerin alanındadır. En son olarak bireyin kendi iç dünyasına temas eden ve dijital dünya ile bağını kuran "Dijital Sığınak" yapısı kendini göstermektedir. Bu sayede finansal dijital dünyanın duygusal boyutla bireyin kendi iç dünyası kenetlenmiştir.

1.3. Biyometrik Veri ve Dinleme Geçmişinin Duygu Analizi (Sentiment Analysis) ile Entegrasyonu

Müzik platformlarının kullanıcıyı analiz etme yeteneği sayesinde günümüzde yalnızca "hangi türü sevdiği" sorusunun çok ötesine geçerek kendini yenilemiştir. Artık arka planda çalışan sistemler ele alındığında görülüyor ki kullanıcının dinleme geçmişini anlık biyometrik ipuçlarıyla harmanlayarak derinlemesine bir duygu analizi (sentiment analysis) sistemi kurgulanmaktadır. Bu kurgular, bir dinleyicinin akıllı cihazlarından (saat veya telefon) sızan hareket hızı, ivmeölçer verileri veya dolaylı kalp ritmi tahminleriyle birlikte o anki fiziksel uyarılmışlık (arousal) seviyesini ele veren yazılımlardır. Bireyden elde edilen biyometrik sinyaller, şarkıyı ilk saniyelerde geçme hızından, sesi aniden yükseltmesinden, aynı parçayı döngüye alma ya da belirli bir lirik temasına gösterilen ısrarlı eğilim gibi davranışsal verilerle birleştiren devasa mekanizmayı kurmaktadır. Algoritma olgusu tam bu noktada devreye girerek çalınan parçanın akustik yapısını ve sözlerindeki psikolojik duyarlılığı bu anlık verilerle eşleştirerek dijital bir hafıza yaratmaktadır. Böylece bu devasa sanal makine, bireyin o anki hüznünü, stresini ya da odaklanma ihtiyacını adeta bir klinik tablo gibi matematiksel bir modellemeyle belirlemektedir. Ortaya çıkan bu entegrasyon süreç sayesinde dinleyiciyi estetik tercihler yapan otonom bir özne olmaktan çıkartılarak anlık olarak çözümlenip yönlendirilen şeffaf bir veri setine dönüştürülmektedir.

Şekil 3. Biyometrik Veri ve Entegrasyon Duygu Analizi



Fiziksel uyarılmışlık halinin yaratılması için öncelikli olan bireyin kendi tepkimesinden yola çıkılmaktadır. Daha sonra dinlemiş olduğu şarkıların analizi ve o şarkıda ne kadar süre geçirdiği (ne hızla değim yaptığı vs.) hesaplanır. Bu hesaplamalar yapay zekanın kendi duygu analiz merkezi ile irtibata geçer. Bu döngü ve iletişim sayesinde bireye ait Duygu Durum Belirleme haritası çıkarılır. Bütün bunlar her an dijital dünya ile iletişimde olan bireyler üzerinden elde edilmektedir. Bu büyük ve uçsuz bucaksız analiz süreci eninde sonunda büyük firmaların kâr amaçlı elde etmek istediği bir alanı belirleyecektir. Görünüşte duygu analizi

gibi çok sempatik bir bakış açısı elde edilse de bu dijital sistemlerin gerçek hayatta ne kadar etkili oldukları aşikardır.

1.4. Yapay Zekanın "Mod" Tahminleme Yeteneği ve Kullanıcıyı Onaylama Mekanizması

Günümüz teknolojisinde kullanılan müzik platformlarının en çarpıcı gücü olarak kullanıcının o anki psikolojik durumunu (modunu) doğru tahmin edip onu sürekli "onaylayan" kapalı bir ekosistem yaratımı karşımıza çıkmaktadır. Yapay zeka sistemleri içerisinde var olan derin öğrenme algoritmaları, dinleme alışkanlıkları ve hatta bütünleşmiş kameralar üzerinden anlık duygu analizi (emotion recognition) yapabilmektedir. Böylelikle bireyin hüzünlü, stresli veya mutlu olduğunu saniyeler içinde saptanmaktadır. Bu konu üzerine yapılan bazı çalışmalar gösteriyor ki, makine öğrenmesi modellerinin bireyin bu duygusal durumunu tespit ettikten sonra, onu tam da kendi hisleriyle örtüşen şarkılara yönlendirdiğini kanıtlamaktadır (Singh ve Dembla 2023). Bu yapıyı denetleyen sistemler kullanıcıya örtük olarak "Şu an üzgünsün ve bu hissetmekte haklısın, işte tam da iç dünyana tercüman olacak seçimler… gibi" mesajını vererek kişiyi psikolojik olarak sürekli onaylar. İyileştirici gibi görünen bu onaylama mekanizması bize gösteriyor ki, aslında bireyin mevcut duygu durumuna hapsolmasına ve algoritmanın yarattığı konfor alanından çıkamamasına neden olmaktadır.

1.5. Dijital Yankı Odalarında Duygu Düzenleme (Emotion Regulation)

Bireyin karşılaştığı zorlayıcı duygularla başa çıkma meselesi ele alındığında bu duyguları dengeleme ve nihayetinde arınma yaşama süreci olan "duygu düzenleme" (emotion regulation), geleneksel olarak içsel ve bilinçli bir eylem olarak ifade edilebilir. Ancak günümüz müzik yayın platformları (Spotify, Itunes, YoutubeMusic, vb.) bu otonom süreci dışsallaştırarak algoritmaların inisiyatifine devretmiştir. Bu konuyu hem birey hem de makine dili ile karşılaştırdığımızda durum şu şekilde meydana gelir. Öncelikle insan doğası gereği bir hüznü veya öfkeyi yaşar, onunla yüzleşir ve ardından bu durumu aşma eğilimi gösterir. Fakat makine öğrenmesi modelleri bakımından ise, kullanıcının o anki psikolojik durumunu saptadığında onu bu moddan çıkarmayı değil aksine o duyguya hizmet eden şarkıları ardı ardına sıralayarak bireyi o modun içine hapsetmeyi hedeflemektedir. Bu kurgu dahilinde işlev yapana algoritmalar, kullanıcının melankolisini sürekli ona geri yansıtarak, empatik görünen ama temelde kâr ve "platformda tutma" (retention) odaklı kapalı bir "dijital yankı odası" inşa etmektedir. Bu yankı odalarının işleyişi genel anlamda yapay zekanın insanın biyometrik ve fiziksel verilerini anlık olarak işleyebilme kapasitesine dayanır. Bu bağlamda yapılan bir araştırmada yüz tanıma ve eşzamanlı duygu tespiti yapan sistemlerin, bireyin anlık psikolojisini nasıl matematiksel olarak kodlamaktadır. Bu sayede kodlamaya uygun müzikal tercihler kesintisiz bir döngüde nasıl dayattığı açıkça ortaya konmuştur (Lakshmi ve Naga Raju (2026). Yapay zeka destekli bu platformlar, dinleyiciye yeni bir ufuk veya beklenmedik bir estetik karşılaşma (serendipity) sunmak yerine, onun mevcut duygu durumuna en uygun akustik yapıyı bulup onu kendi hüznünün veya coşkusunun konfor alanında uyuşturmaktadır. Aslında bu bir nevi duygu manipülasyonunu da içinde barındırmaktadır. Müzik öneri sistemlerinin pekiştirmeli öğrenme modellerini kullanarak bireyi belirli bir «hedef duygu durumuna» yönlendirebildiğini kanıtlamıştır (De Prisco vd., 2022). Bu bulgunun sonucunda makine öğreniminin kullanıcının modunu sadece yansıtmakla kalmayıp onu aktif olarak inşa edebildiğini göstermektedir.

SONUÇ

Günümüz teknolojisi ve yapay zeka desteğini arkasında alan dijital müzik platformları masum birer ses arşivi olmaktan çıkmıştır. Artık her bir platform karmaşık birer veri ekosistemi olarak kendini göstermiştir. Geleneksel dinleyici profili tamamen değişmiş olup pasif **müzik** tüketicisi yerini aralıksız bir duygusal veri kaynağına bırakmıştır. Algoritmaların kendi kurgusuyla birlikte dinleme alışkanlıklarımızı davranışsal izlerimizle harmanlar yapmaktadır. Yapay zeka bu verileri işleyerek anlık duygu durumumuzu her an saptamaktadır. Bu saptamalarla birlikte etrafımıza görünmez bir «sanal terapi odası» inşa etmektedir. Bu dijital mekan ilk bakışta güvenli bir sığınak gibi hissettirir ve bireyler (kullanıcılar) makine tarafından onaylandığını düşünerek rahatlar. Oysa bu durum devasa bir yanılsamadır. Kâr odaklı sistemler toplumu

var eden bireyleri iyileştirmeyi hedeflememektedir. Platformların asıl amacı kullanıcıyı ekranda ve akışta tutmaktır. Bu amaçla kusursuz bir algoritmik aynalama tekniği devreye girer. Dinleyicinin hüznü, stresi veya coşkusu kendisine sürekli geri yansıtılırsak etkileşim halinde olunur. Kullanıcılar farkında olmadan kendi duygusal yankı odasına hapsedilerek duygu düzenleme becerileri adım adım bu algoritmik makinelere devredilmektedir. Eskiden tamamen içsel ve bilinçli bir süreç olan süreçler artık yapay zekanın otomasyonuna tâbi olmuştur İnsan, ruh halini dengelemek için algoritmik protezlere bağımlı hale gelmektedir. Bu otonomi kaybının toplumsal psikoloji üzerinde yapısal etkileri ise oldukça fazladır. Ortak dinleme kültürü giderek zayıflamakta ve bunun yerini konforlu bir izolasyon devralmıştır. Bireylere bu algoritmik yapılar tarafından dayatılan tercihler sayesinde makinelerin kendi matematiksel duygu kalıplarına sıkıştırılan topluluklar oluşturulmaktadır. Müzik yayın platformlarının vardığı bu son nokta ne yazık ki tam anlamıyla salt teknolojik bir sıçrama değildir. Aksine insan iradesine yönelik örtük ve algoritmik dijital bir müdahale sistemini oluşturmaktadır. Bu bağlamda acilen "Dijital Sağlık Etik Kuralları" baştan yazılmalıdır. Algoritmaların kâr odaklı duygu manipülasyonlarına karşı koruyucu politikalar geliştirilmelidir. Müziğin köklü iyileştirici gücü ve şirketlerin veri sömürüsünden acilen kurtarılmalıdır. Yapay zekanın kurduğu bu dijital sığınaklar sorgulanmazsa ilerleyen safhalarda algoritmik tutsaklık dönemin en büyük kitlesel sendromu olacaktır.

KAYNAKÇA

De Prisco, R., Guarino, A., Malandrino, D., & Zaccagnino, R. (2022). Induced emotion-based music recommendation through reinforcement learning. Applied Sciences, 12(21), 11209. https://doi.org/10.3390/app122111209

Ernst, A., Dietrich, F., Rohr, B., Reinecke, L., & Scharkow, M. (2026). Revisiting the digital jukebox in daily life: Applying Mood Management Theory to algorithmically curated music streaming environments. Human Communication Research, hqaf030. https://doi.org/10.1093/hcr/hqaf030

Hesmondhalgh, D. & Qu, S. (2025). Music streaming platforms and everyday musical lives: Dynamics of community, individualisation and personalisation in China. Platforms & Society, 2. ISSN: 2976-8624.

Kannan, M. K. J., Kanwar, A., Chaturvedi, H., Patil, A. R., & Yadav, A. (2025). AI-Driven Vibebox: Adaptive music streaming personalized based on emotion. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 11(2).

Sabuncuoğlu İnanç, A. (2026). Streaming the self: digital music platforms, Uses & Gratifications, and the construction of social identity. Online Journal of Music Sciences, 11(1), 360-370. https://doi.org/10.31811/ojomus.1832136.

Seaver, N. (2019). Captivating algorithms: Recommender systems as traps. Journal of Material Culture, 24(4), 421-436. (SAGE Yayınları). https://doi.org/10.1177/1359183518820366.

Singh, K. K., & Dembla, P. (2023). A study on emotion analysis and music recommendation using transfer learning. Journal of Computer Science, 19(6), 707-726. https://doi.org/10.3844/jcssp.2023.707.726.

Vongjaturapat, N., Pachatikapanya, K., Salaohom, A., Supalak, R., vd. (2026). Algorithmic music as an invisible emotional regulator: A narrative review of emotional regulation and mental health. Scientific Access, 12(5), 1-10.

YASHODA CHANDRA SRAVANTHI LAKSHMI, A. Naga Raju. (2026). Harmonic Moods: Personalized Music Suggestions via Facial Emotion Recognition. *International Journal of Data Science and IoT Management System*, *5*(2), 1578-158

https://doi.org/10.71284/asc.202616

PSYCHOLOGICAL ASPECT IN ADOPTING ESL WITH AI

Javahir Aghayeva[1]

Abstract

The integration of Artificial Intelligence into English as a Second Language learning reveals complex psychological dimensions that shape learners' motivation and emotional engagement. AI-based tools provide immediate feedback, individualized pacing, and adaptive challenges, yet they also confront students with issues of trust and self-perception. Learners often experience a tension between curiosity about technological innovation and uncertainty toward machine-led evaluation. Motivation is strengthened when learners perceive AI as a supportive instrument rather than a controlling presence, allowing autonomy to coexist with guided learning. Confidence grows when students see consistent progress and interpret feedback as a reflection of personal growth rather than external judgment. However, the absence of human empathy in automated systems may heighten anxiety or reduce emotional resilience. Therefore, the teacher's role remains central in fostering psychological balance, ensuring that interaction with technology sustains positive affect and cognitive readiness. This psychological harmony between emotion and innovation promotes deeper linguistic awareness and a more authentic engagement with the process of acquiring English as a second language.

Keywords: Cognitive load, motivation, engagement, emotional intelligence, learner autonomy, self-efficacy

[1] Military Institute named after Heydar Aliyev, cevahir.19937@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-8212-9993

INTRODUCTION

The growing presence of Artificial Intelligence in education has redefined how languages are taught and learned, creating new psychological conditions for learners of English as a Second Language. Over the past decade global research has shifted from studying linguistic competence alone to examining how emotion, cognition and motivation interact with intelligent learning environments. Scholars such as Warschauer 2019 and Zhang 2021 emphasize that learners' emotional responses to AI tools ranging from curiosity and excitement to hesitation and distrust shape the entire process of language acquisition. [5,6] Recent studies highlight that while AI platforms enhance personalization and feedback quality they also alter the learner's sense of agency and dependence on technology. The psychological dimension of this transformation calls for deeper understanding especially in educational settings where human interaction remains the core of language learning.

In international contexts research in countries such as Japan Finland and South Korea has explored how adaptive systems influence students' confidence and motivation. Findings by Park and Kim 2020 suggest that AI driven tutors encourage self paced learning and resilience yet they may weaken interpersonal communication skills when overused. In contrast European perspectives often focus on learners' cognitive adaptability and emotional balance. For instance Brown and Meyer 2022 note that effective integration depends not only on technological infrastructure but also on the emotional readiness of both teachers and students. The emerging consensus indicates that the success of AI in ESL education lies in harmonizing technological precision with psychological wellbeing.[1]

In Azerbaijan this question holds particular relevance within ongoing educational reforms aimed at fostering digital competence and learner autonomy. The Ministry of Science and Education has prioritized technology enhanced English instruction viewing it as part of a broader effort to modernize national curricula and expand access to international communication. Yet the human factor remains decisive. Local researchers such as Aliyeva 2023 and Gurbanov 2024 have drawn attention to the emotional strain and motivational imbalance that some students experience when interacting with algorithmic systems. These studies reflect a growing awareness that technological advancement must be accompanied by psychological preparation and pedagogical support.[4]

1. METHODS

This study adopts a qualitative and interpretive approach designed to explore the psychological aspects of adopting Artificial Intelligence in English as a Second Language learning. The focus is on how learners perceive emotional, cognitive and motivational changes when interacting with AI supported platforms and how teachers interpret these changes in their classrooms. The methodology aims to connect human experience with educational technology by examining authentic reactions rather than relying solely on measurable outcomes.[2]

The research was conducted in several secondary and higher education institutions in Azerbaijan where digital learning tools are integrated into English instruction. Participants included forty ESL learners aged between sixteen and twenty four and twelve English teachers with different levels of digital competence. The selection was purposive to ensure representation of both technologically confident and cautious users. Data were collected through semi structured interviews, classroom observations and reflective journals written by participants over a six week period. The instruments were designed to reveal emotional attitudes toward AI assistance such as trust, curiosity, confidence and anxiety as well as perceived changes in motivation and self regulation.

To interpret the findings the data were analyzed thematically using a grounded approach. Repeated patterns in language and emotional expression were grouped into categories related to adaptation, engagement and psychological readiness. The focus was not on statistical generalization but on the depth of subjective

experience. Teachers' observations were compared with learners' reflections to trace parallels between perceived support and emotional response.

CONCLUSION

The exploration of psychological aspects in adopting Artificial Intelligence within English as a Second Language learning reveals that technology alone cannot determine educational progress. The emotional and cognitive states of learners remain the essential medium through which innovation acquires meaning. The study shows that when AI is introduced with awareness of human sensitivity it strengthens curiosity, confidence and self direction. Learners begin to view feedback not as judgment but as an opportunity for self understanding. However, when technology is imposed without emotional guidance it may lead to fatigue, hesitation and loss of trust in the learning process.[3]

The findings suggest that successful integration of AI in ESL depends on the coexistence of technological precision and psychological care. Educational institutions must therefore invest not only in digital infrastructure but also in preparing both teachers and learners for emotional adaptability. Future pedagogical models should consider that emotional intelligence and technological literacy are equally vital components of language learning. When these dimensions work together, AI becomes not a substitute for human

presence but an extension of it, fostering genuine understanding and personal growth in the process of mastering English as a Second Language.

REFERENCES

Aliyeva, L. *Emotional Adaptation of Learners to AI-Supported English Instruction in Azerbaijani Classrooms* / Leman Aliyeva // Baku: National Institute of Education, 2023.

Gurbanov, A. *Psychological Readiness and Motivation in Technology-Enhanced Language Education* / Arif Gurbanov // *Azerbaijan Journal of Pedagogical Studies*, 2024, Vol. 28, No. 1, pp. 44-56.

Brown, T., Meyer, L. *Human Factors in Intelligent Language Learning Environments: Emotional Readiness and Pedagogical Mediation* / Thomas Brown, Laura Meyer // *Journal of Educational Psychology and Technology*, 2022, Vol. 14, No. 2, pp. 115-129.

Park, S., Kim, Y. *Adaptive Learning Systems and Student Motivation in ESL Contexts: A Psychological Perspective* / Sun Park, Yuna Kim // *Asian E-Learning Review*, 2020, Vol. 7, No. 3, pp. 52-68.

Warschauer, M. *Learning in the Age of Artificial Intelligence: Human Agency and Educational Change* / Mark Warschauer // *TESOL Quarterly*, 2019, Vol. 53, No. 4, pp. 1074-1090.

Zhang, H. *Trust, Autonomy, and Emotional Engagement in AI-Assisted Language Learning* / Hua Zhang // *International Review of Applied Linguistics*, 2021, Vol. 59, No. 3, pp. 233-249.

Aliyev, J.A. *High-dose-rate interstitial brachytherapy for accelerated partial breast irradiation – trial results of Azerbaijan National Center of Oncology* / Jamil Aliyev, Isa Isayev, Kamal Akbarov [et al.] // *Journal of Contemporary Brachytherapy*, April 2017, Vol. 9, pp. 106-111.

https://doi.org/10.71284/asc.202617

EMPLOYMENT ANXIETY PATTERNS AMONG UNIVERSITY STUDENTS: PROFILES AND DEMOGRAPHIC DETERMINANTS

Hasan Bozgeyikli [1]
Emre Emrullah Boğazlıyan [2]

Abstract

Employment anxiety among university students is a prevalent and multifaceted issue during the school-to-work transition. In Turkey, persistent youth unemployment, economic instability, and societal perceptions further complicate this process. In the contemporary era, advancements in artificial intelligence and automation are transforming labor markets, significantly shaping students' perceptions of future employment opportunities and intensifying anxiety. Although often portrayed as a uniform experience, employment anxiety varies substantially in how students perceive and respond to anticipated career paths. The present study adopts a person-centered approach to investigate patterns of employment anxiety among Turkish university students and associated demographic determinants. Data from 496 undergraduate students aged 18–25 were analyzed using latent profile analysis on the four dimensions of the Employment Anxiety Scale: inadequacy, close social environment, discrimination, and country conditions. Four distinct profiles emerged: Minimal Anxiety, Normative, Low-Discrimination High Anxiety, and Discrimination-Focused Very High Anxiety. These profiles highlight heterogeneity in both the intensity and structural composition of anxiety, illustrating diverse interpretations of institutional limitations, social expectations, and personal competence in the Turkish labor market. Multinomial logistic regression indicated that age, academic field, and year of study did not significantly predict profile membership, whereas gender and perceived socioeconomic status did. The findings underscore that employment anxiety is shaped not only by individual factors but also by gender roles, socioeconomic position, and macro-level uncertainties (particularly technological transformations). Practically, the results emphasize the need for career counseling and policy initiatives in Turkey that shift from uniform interventions to ones responsive to diverse employment anxiety profiles.

Keywords: Employment anxiety, university students, latent profile analysis, demographic determinants, school-to-work transition

1**Corresponding Author,** Prof. Dr., Selçuk University, hbozgeyikli@selcuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-6762-1990
[2]Asst. Prof. Dr., Yozgat Bozok University, emre.bogazliyan11@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1741-2285

INTRODUCTION

University education represents a critical developmental stage beyond the acquisition of academic knowledge and skills; it is a period during which individuals construct their professional identities and confront fundamental life decisions related to the transition to adulthood (Arnett, 2000). In today's context, economic uncertainty, intensified global competition, and technological transformations have rendered the school-to-work transition more complex and unpredictable than in previous generations (Bozgeyikli et al., 2023). In particular, innovations such as artificial intelligence and automation are rapidly reshaping labor market structures, influencing students' perceptions of future employment opportunities and contributing to heightened employment anxiety. In Turkey, persistent youth unemployment and unstable economic conditions further amplify this anxiety, turning post-graduation employment into a highly stressful and uncertain multidimensional experience for students.

Employment anxiety is a complex construct that extends beyond the mere fear of unemployment; it encompasses perceptions of inadequacy, expectations from close social networks, experiences of discrimination, and uncertainties related to national socioeconomic conditions (Boğazlıyan & Avşaroğlu, 2024). Research consistently shows strong associations between this anxiety and demographic factors. Female students report significantly higher levels of future- and employment-related anxiety than males (Gökkaya & Erten, 2024; Dan & Azlina, 2024), while lower perceived socioeconomic status emerges as a key risk factor that exacerbates anxiety (Yumuşak, 2024; Magier et al., 2023). Variations are also observed according to year of study and academic field, with students nearing graduation and those in certain sectors (e.g., health sciences) experiencing more intense anxiety (Kim et al., 2022).

Recent studies indicate that employment anxiety is not uniformly distributed among university students; rather, it manifests in distinct patterns and risk profiles. Person-centered approaches, such as latent profile analysis, classify anxiety based on shared configurations of its subdimensions rather than total scores alone. Such studies frequently find that high-anxiety profiles are more prevalent among female students and those with lower resilience (Huang et al., 2023; Yalçın et al., 2021).

Treating employment anxiety as a single, continuous construct fails to capture individual differences and structural influences adequately. The Employment Anxiety Scale developed by Boğazlıyan and Avşaroğlu (2024), with its four subscales (inadequacy, close social environment, discrimination, and country conditions), offers a multidimensional framework for examining these variations. The present study aims to identify distinct employment anxiety profiles among Turkish university students using latent profile analysis and to investigate the extent to which key demographic variables (gender, age, year of study, academic field, and perceived socioeconomic status) predict profile membership.

In the current study, latent profile analysis (LPA) was conducted to identify whether university students exhibit distinct employment anxiety profiles based on their patterns across the four dimensions of employment anxiety (inadequacy, close social environment, discrimination, and country conditions). Profiles were derived from students' scores on the four subscales of the Employment Anxiety Scale. Finally, we examined whether key demographic variables—gender, age, year of study, perceived socioeconomic status, and academic field—significantly predicted profile membership.

The hypotheses guiding this research are as follows:

H1. Distinct employment anxiety profiles exist among university students based on the subdimensions of employment anxiety (inadequacy, close social environment, discrimination, and country conditions). H2. Demographic variables (gender, age, year of study, academic field, and socioeconomic status) significantly predict membership in employment anxiety profiles.

1. METHOD

1.1. Participants

Participants were 496 university students aged 18–25 years (72.8% female). The mean age was 20.21 years (SD = 1.63). The distribution across year level was 39.7% first-year (n = 197), 26.8% second-year (n = 133), 16.9% third-year (n = 84), and 16.5% fourth-year students (n = 82). Participants represented a range of academic fields, categorized as Social Sciences and Humanities (n = 385), Health Sciences (n = 54), STEM (n = 45), and Other (n = 12). Regarding perceived socioeconomic status, 32 participants (6.5%) reported low SES, 110 (22.2%) reported lower-middle SES, 290 (58.5%) reported middle SES, 58 (11.7%) reported upper-middle SES, and 6 (1.2%) reported high SES.

1.2. Profile Indicators

1.2.1. Employment Anxiety

Employment anxiety was assessed using the Employment Anxiety Scale developed by Boğazlıyan and Avşaroğlu (2024). The scale consists of 19 items rated on a 5-point Likert scale ranging from 1 (Strongly disagree) to 5 (Strongly agree). It comprises four subdimensions: Inadequacy (5 items: 1, 5, 9, 13, 17), Close Social Environment (5 items: 2, 6, 10, 14, 18), Discrimination (4 items: 3, 7, 11, 15), and Country Conditions (5 items: 4, 8, 12, 16, 19). Scale scores were computed by averaging the relevant items, with higher scores indicating higher levels of employment anxiety. The scale includes no reverse-coded items. In the current sample, internal consistency estimates ranged from acceptable to excellent. Cronbach's alpha values were .842 for Inadequacy, .865 for Close Social Environment, .641 for Discrimination, and .864 for Country Conditions. The total scale demonstrated excellent internal consistency (α = .935). The four subscale scores were treated as continuous indicators in the latent profile analysis to identify distinct employment anxiety profiles among university students.

1.2.2. Biographic Variables

Participants provided demographic information via a brief biographic questionnaire. The key demographic variables included gender, age, and year of study. In addition, participants reported their academic field of study and perceived socioeconomic status. These variables were used to describe the sample and to examine whether demographic characteristics significantly predicted employment anxiety profile membership.

1.3. Procedure

Ethical approval for the study was obtained from the Kahramanmaraş İstiklal University Scientific Research and Publication Ethics Committee (26.12.2025; Decision No. 2025/15-09). Data were collected via an online survey created in Google Forms. The survey link was distributed through online communication channels targeting university students (e.g., student networks and social media platforms). Participants completed the survey after providing informed consent. The survey included the Employment Anxiety Scale and demographic questions assessing gender, age, year of study, perceived socioeconomic status, and academic field. After data screening procedures (i.e., excluding cases with missing critical information, requiring sufficient responses to employment anxiety items, and restricting the age range to 18–25), the final analytic sample consisted of 496 university students.

1.4. Analytical Procedure

Prior to the main analyses, the factorial validity of the Employment Anxiety Scale was evaluated using confirmatory factor analysis (CFA) with lavaan in R. The CFA was estimated with the WLSMV estimator, treating all 19 items as ordinal (1–5 Likert) indicators. A four-factor correlated structure was specified in line with the scale's theoretical framework, consisting of Inadequacy (Items 1, 5, 9, 13, 17), Close Social Environment (Items 2, 6, 10, 14, 18), Discrimination (Items 3, 7, 11, 15), and Country Conditions (Items 4, 8, 12, 16, 19). Model fit was evaluated using standard fit indices, including CFI, TLI, RMSEA (with 90%

confidence intervals), and SRMR.

Latent profile analysis (LPA) was then conducted in R using the mclust package (Scrucca et al., 2016) to identify distinct employment anxiety profiles. Solutions with one to six latent profiles were tested under an EII covariance structure (equal variances, zero covariances). Prior to analysis, the four employment anxiety subscale scores (Inadequacy, Close Social Environment, Discrimination, and Country Conditions) were standardized (z-scores) to facilitate the interpretation of profile-specific deviations from the sample mean.

Model selection was guided by a combination of relative fit indices and classification diagnostics, including Akaike's Information Criterion (AIC), Bayesian Information Criterion (BIC), sample-size adjusted BIC (SABIC), entropy, average posterior probabilities (AvePP), and the bootstrap likelihood ratio test (BLRT). The BLRT was implemented via a custom parametric bootstrap procedure with 1,000 replications (B = 1,000). Lower values on information criteria indicated better fit, while higher entropy values (e.g., > .60) reflected acceptable classification accuracy (Jung & Wickrama, 2008; Spurk et al., 2020). A significant BLRT p-value ($p < .05$) indicated that the k-profile solution provided a statistically better fit than the (k–1)-profile solution (Spurk et al., 2020).

Finally, demographic predictors of profile membership (gender, age, year of study, perceived socioeconomic status, and academic field) were examined using multinomial logistic regression, allowing the estimation of the extent to which these variables significantly predicted membership in each employment anxiety profile relative to a reference profile.

2. FINDINGS

2.1. Preliminary Analysis

As part of the preliminary analyses, descriptive statistics and bivariate correlations among the study variables are presented in Table 1. The results showed that the employment anxiety subdimensions were moderately to strongly intercorrelated ($r = .536–.798$, $p < .001$). The total employment anxiety score was also strongly associated with each subdimension ($r = .748–.918$, $p < .001$), indicating a coherent multidimensional structure.

Prior to conducting the latent profile analysis (LPA), the factorial validity of the Employment Anxiety Scale was examined to ensure that the measurement structure was supported in the current sample. Given the ordinal nature of the 5-point Likert-type items, a confirmatory factor analysis (CFA) was conducted using the WLSMV estimator. The correlated four-factor model demonstrated a strong fit to the data, $\chi^2(146, N = 496) = 468.02$, CFI = .993, TLI = .992, RMSEA = .067 (90% CI [.060, .074]), and SRMR = .055. Standardized factor loadings ranged from .535 to .873, and all loadings were statistically significant (ps < .001), supporting the construct validity of the scale (Kline, 2016; Tabachnick & Fidell, 2013).

Internal consistency estimates were examined using Cronbach's alpha. Reliability coefficients were .842 for Inadequacy, .865 for Close Social Environment, .641 for Discrimination, and .864 for Country Conditions, while the total scale demonstrated excellent internal consistency ($\alpha = .935$).

Finally, previous research emphasizes that adequate sample size is essential for reliable LPA solutions (e.g., Spurk et al., 2020). Therefore, the sample size in the current study (N = 496) was considered sufficient for conducting LPA.

Table 1. Descriptive Statistics and Bivariate Correlations (N = 496)

Variables	M	SD	1	2	3	4	5
1. Inadequacy	2.89	1.03	—				
2. Close Social Environment	3.03	1.13	0.736***	—			
3. Discrimination	2.33	0.90	0.597***	0.599***	—		
4. Country Conditions	3.35	1.08	0.738***	0.798***	0.536***	—	
5. Employment Anxiety Total Score	2.93	0.91	0.891***	0.918***	0.748***	0.902***	—

Note. Values are Pearson correlation coefficients. *M* = mean; *SD* = standard deviation.

$p < .05$, $\mathbf{p} < .01$, $\mathbf{p} < .001$.

2.2. Latent Profile Analysis

To identify person-centered patterns of employment anxiety among university students, a latent profile analysis (LPA) was conducted using the standardized scores (z-scores) of the four-employment anxiety subdimensions (Inadequacy, Close Social Environment, Discrimination, and Country Conditions). Solutions with one to six profiles were compared using multiple fit indices and classification diagnostics, including AIC, BIC, SABIC, the bootstrap likelihood ratio test (BLRT), entropy, average posterior probabilities (AvePP), and the size of the smallest class. Because information criteria often continue to improve with increasing model complexity, the final solution was determined by jointly considering statistical evidence, profile interpretability, and parsimony rather than relying on a single index (Marsh et al., 2009; Spurk et al., 2020).

Table 2. Latent Profile Analyses for 1- to 6-Profile Models (N = 496)

Profiles	LL	AIC	BIC	SABIC	BLRT p	Entropy	AvePP	Min class %
1	-2,813.172	5,636.344	5,657.377	5,641.507	NA	1.000	NA	NA
2	-2,429.045	4,878.090	4,920.156	4,888.416	< .001	0.880	0.954	27.22
3	-2,252.379	4,534.758	4,597.857	4,550.246	< .001	0.854	0.939	19.15
4	**-2,200.924**	**4,441.847**	**4,525.979**	**4,462.498**	**< .001**	**0.827**	**0.902**	**10.69**
5	-2,174.274	4,398.547	4,503.712	4,424.361	< .001	0.779	0.866	11.29
6	-2,153.507	4,367.013	4,493.211	4,397.990	< .001	0.788	0.855	5.04

Note. *LL = log-likelihood; AIC = Akaike's Information Criterion; BIC = Bayesian Information Criterion; SABIC = sample-size adjusted BIC; BLRT p = bootstrap likelihood ratio test p-value; AvePP = average posterior probability; Min class % = proportion of participants in the smallest profile.*

As shown in Table 2, model fit improved as profiles were added, and BLRT results were statistically significant across the tested solutions ($p < .001$). However, solutions that yield very small classes may reflect overextraction and are typically discouraged unless they are theoretically meaningful and empirically well-separated (Marsh et al., 2009). In this study, the four-profile solution was selected as the final model because it provided a strong balance between statistical fit, classification quality (entropy = .827; AvePP = .902), and substantive interpretability while avoiding extremely small classes. This solution also produced profiles that were clearly distinguishable in terms of both overall anxiety severity and the relative prominence of the discrimination dimension.

The extracted profiles are presented in Table 3 and Figure 1. Following common person-centered interpretation practices, z-score deviations of approximately ±0.50 SD or greater were considered meaningful for describing profile differences (Marsh et al., 2009; Spurk et al., 2020).

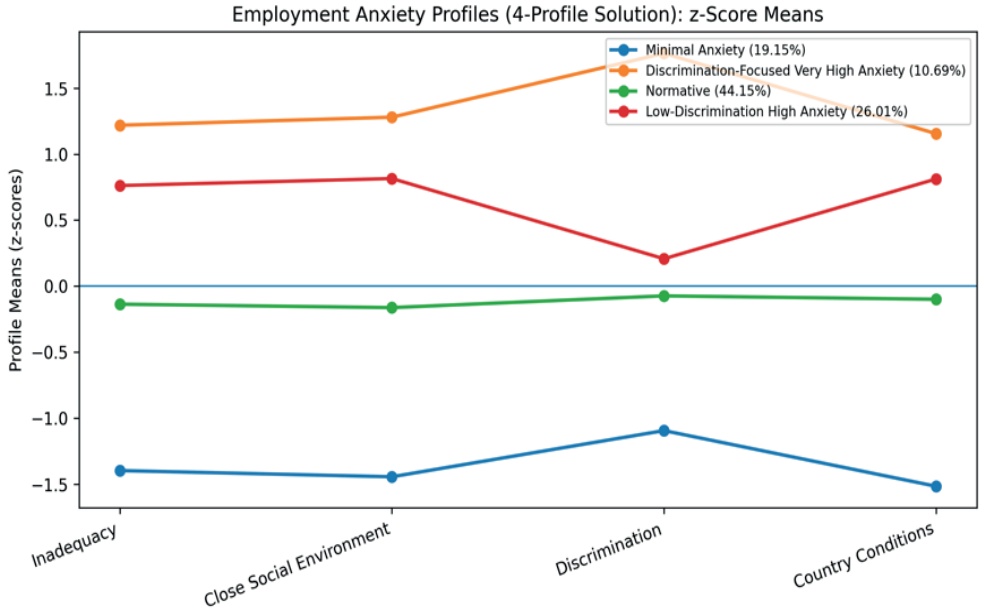
Table 3. Profile Means (z-scores) for the 4-Profile Solution (N = 496)

Profile (Label)	n	%	z_Inadequacy	z_Close Social Environment	z_Discrimination	z_Country Conditions
Minimal Anxiety	95	19.15	-1.398	-1.445	-1.095	-1.517
Discrimination-Focused Very High Anxiety	53	10.69	1.219	1.280	1.764	1.155
Normative	219	44.15	-0.137	-0.163	-0.074	-0.100
Low-Discrimination High Anxiety	129	26.01	0.762	0.815	0.207	0.812

Note. *Values represent standardized mean scores (z-scores) for each employment anxiety subdimension. Positive values indicate above-average levels and negative values indicate below-average levels relative to the total sample. n = class size; % = class proportion.*

Profile 1, labeled Minimal Anxiety (19.15%; n = 95), was characterized by consistently low employment anxiety across all four subdimensions, with markedly negative z-scores ranging from −1.095 to −1.517. This pattern reflects a subgroup of students who reported minimal concern related to both personal and contextual aspects of employment anxiety. Profile 2, labeled Discrimination-Focused Very High Anxiety (10.69%; n = 53), displayed substantially elevated levels across all subdimensions, with Discrimination emerging as the most pronounced feature (z = 1.764), accompanied by high scores on Inadequacy, Close Social Environment, and Country Conditions (z = 1.155 to 1.280). This profile appears to represent students experiencing severe employment anxiety with a particularly strong emphasis on discrimination-related concerns. Profile 3, labeled Normative (44.15%; n = 219), represented the largest group and showed z-scores close to zero across all indicators (z = −0.074 to −0.163), suggesting an average and typical pattern of employment anxiety in the sample. Finally, Profile 4, labeled Low-Discrimination High Anxiety (26.01%; n = 129), was characterized by elevated scores on Inadequacy, Close Social Environment, and Country Conditions (z = 0.762 to 0.815), whereas Discrimination was only slightly above the sample mean (z = 0.207). This indicates a subgroup experiencing relatively high employment anxiety primarily driven by perceived inadequacy, close social pressures, and broader contextual concerns, while discrimination-related anxiety was comparatively less prominent.

Figure 1. Employment anxiety profiles in the 4-profile solution (z-score means across subdimensions).



Overall, the results highlight meaningful heterogeneity in employment anxiety among university students and suggest that distinct subgroups differ not only in severity but also in the patterning of specific anxiety domains, particularly with regard to discrimination-related concerns (Marsh et al., 2009; Spurk et al., 2020).

2.3. Demographic Predictors of Employment Anxiety Profile Membership

Multinomial logistic regression was conducted to examine whether demographic variables predicted membership in the employment anxiety profiles, using the Normative profile as the reference group. Results indicated that gender and perceived socioeconomic status (SES) were significant predictors of profile membership, whereas age, year of study, and academic field did not yield statistically meaningful effects.

Compared to students in the Normative profile, students who reported middle SES (vs. low SES) were less likely to belong to the Low-Discrimination High Anxiety profile (OR = 0.37, 95% CI [0.14, 1.00], p = .049). In addition, male students (vs. female students) were less likely to be classified into the Discrimination-Focused Very High Anxiety profile (OR = 0.38, 95% CI [0.15, 0.97], p = .043). Conversely, male students were more likely to belong to the Minimal Anxiety profile relative to the Normative profile (OR = 2.71, 95% CI [1.54, 4.79], p < .001). Finally, students reporting lower-middle SES (vs. low SES) were significantly less likely to be members of the Minimal Anxiety profile (OR = 0.14, 95% CI [0.04, 0.51], p = .003).

Table 4. Significant Demographic Predictors of Employment Anxiety Profile Membership (Reference = Normative Profile)

Comparison (vs. Normative)	Predictor	OR	95% CI for OR	p
Low-Discrimination High Anxiety	SES: Middle (vs. Low)	0.37	[0.14, 1.00]	.049
Discrimination-Focused Very High Anxiety	Gender: Male (vs. Female)	0.38	[0.15, 0.97]	.043
Minimal Anxiety	Gender: Male (vs. Female)	2.71	[1.54, 4.79]	< .001
Minimal Anxiety	SES: Lower-middle (vs. Low)	0.14	[0.04, 0.51]	.003

Note. *Results are from multinomial logistic regression (maximum likelihood estimation). The reference profile was* ***Normative****. OR = odds ratio; CI = confidence interval; SES = perceived socioeconomic status. The "Other" academic field category was excluded due to low cell counts. Non-significant predictors (age, year of study, and academic field) were omitted for brevity.*

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study demonstrates that employment anxiety among Turkish university students is not a homogeneous construct; rather, it manifests in four distinct profiles: Minimal Anxiety, Normative, Low-Discrimination High Anxiety, and Discrimination-Focused Very High Anxiety. Latent profile analysis revealed significant heterogeneity not only in the overall intensity of anxiety but also in the relative prominence of its four subdimensions (inadequacy, close social environment, discrimination, and country conditions). Notably, the Discrimination-Focused Very High Anxiety profile (10.7% of the sample) stands out with a markedly elevated discrimination score (z = 1.764), underscoring discrimination as a dominant structural stressor in this subgroup. This finding aligns with the multidimensional conceptualization of employment anxiety (Boğazlıyan & Avşaroğlu, 2024) and supports the view of discrimination as a key source of chronic stress rooted in structural barriers (Blustein et al., 2018).

Demographic predictors showed that gender and perceived socioeconomic status (SES) significantly influenced profile membership, whereas age, year of study, and academic field did not. Male students were 2.71 times more likely to belong to the Minimal Anxiety profile and 0.38 times less likely to belong to the Discrimination-Focused Very High Anxiety profile compared to females. This pattern corroborates prior evidence that female students exhibit greater sensitivity to labor market uncertainties and structural inequalities (Gökkaya & Erten, 2024; Dan & Azlina, 2024). Similarly, middle-SES students were less likely to fall into the Low-Discrimination High Anxiety profile than low-SES students, highlighting how lower

socioeconomic resources amplify perceptions of inadequacy and national-level concerns (Yumuşak, 2024; Magier et al., 2023). The lack of significant effects from age, year of study, or academic field suggests that employment anxiety is driven more strongly by societal and structural factors than by developmental or disciplinary differences.

Overall, the results indicate that employment anxiety is shaped predominantly by gender roles, socioeconomic position, and macro-level economic uncertainties. The consistently high endorsement of the country conditions dimension across most profiles reflects the pervasive impact of youth unemployment and economic instability in Turkey (Bozgeyikli et al., 2023).

Practical Implications The identification of distinct anxiety profiles calls for moving beyond one-size-fits-all interventions in university career counseling and psychological support services.

- For students in the Discrimination-Focused Very High Anxiety profile, targeted interventions should include discrimination awareness workshops, advocacy training, and self-efficacy enhancement programs.
- For the Low-Discrimination High Anxiety group, where inadequacy and social pressures predominate, priority should be given to financial literacy programs, internship opportunities, and concrete work experience initiatives.
- Resilience-building interventions are recommended across all profiles to help students navigate the "slow employment" process more adaptively (Yang et al., 2025).

University administrators and policymakers should design differentiated support mechanisms that respond to these varied anxiety narratives.

Limitations and Future Directions

The cross-sectional design limits causal inferences, and the sample's female predominance (72.8%) and concentration in social sciences/humanities fields restrict generalizability. Future research should employ longitudinal designs, more balanced samples, and mixed-methods approaches to explore the temporal dynamics and deeper qualitative aspects of these profiles.

In conclusion, by revealing the multidimensional and heterogeneous nature of employment anxiety, this study contributes to more sensitive and effective career support practices for university students in Turkey.

REFERENCES

Arnett, J. J. (2000). Emerging adulthood: A theory of development from the late teens through the twenties. *American Psychologist, 55*(5), 469–480. https://doi.org/10.1037//0003-066X.55.5.469

Blustein, D. L., Kenny, M. E., Di Fabio, A., & Guichard, J. (2018). Expanding the impact of the psychology of working: Engaging psychology in the struggle for decent work and human rights. *Journal of Career Assessment, 27*(1), 3–28. https://doi.org/10.1177/1069072718774002

Boğazlıyan, E., E., & Avşaroğlu, S. (2024). Development of employment anxiety scale for university students; validity and reliability study. Pedagogical Perspective, 3(1),90-111. https://doi.org/10.29329/pedper.2024.51

Bozgeyikli, H., Boğazlıyan, E. E., & Avşaroğlu, S. (2023). University students' employment anxiety and ways of coping in the context of incomplete learning during the pandemic period: A qualitative research. *International Journal of Educational Research Review, 8*(4), 901–915. https://doi.org/10.24331/ijere.1330531

Dan, L., & Azlina, M. K. (2024). Employment anxiety among college students during COVID-19: A systematic review. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development, 13*(1), 415–445. http://dx.doi.org/10.6007/IJARPED/v13-i1/20124

Gökkaya, D., & Erten, Ş. (2024). The effect of perceived future employability on future anxiety: A study on healthcare management students. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 34*(2), 803–815. https://doi.org/10.18069/firatsbed.1443922

Huang, F., Zheng, S., Fu, P., Tian, Q., Chen, Y., Jiang, Q., & Liao, M. (2023). Distinct Classes of Statistical Anxiety: Latent Profile and Network Psychometrics Analysis of University Students. *Psychology Research and Behavior Management, 16*, 2841–2859. https://doi.org/10.2147/PRBM.S417887

Jung, T., & Wickrama, K. A. S. (2008). An introduction to latent class growth analysis and growth mixture modeling. *Social and Personality Psychology Compass, 2*(1), 302–317. https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2007.00054.x

Kim, J., Oh, J., & Rajaguru, V. (2022). Job-Seeking Anxiety and Job Preparation Behavior of Undergraduate Students. *Healthcare, 10*(2), 288. https://doi.org/10.3390/healthcare10020288

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). The Guilford Press.

Magier, M. J., Law, M., Pennisi, S., Martini, T., Duncan, M. J., Chattha, H., & Patte, K. A. (2023). Final-year university students' mental health and access to support as they prepared to graduate. *Cogent Mental Health, 2*(1), 1–38. https://doi.org/10.1080/28324765.2023.2252918

Marsh, H. W., Lüdtke, O., Trautwein, U., & Morin, A. J. S. (2009). Classical latent profile analysis of academic self-concept dimensions: Synergy of person- and variable-centered approaches to theoretical models of self-concept. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 16*(2), 191–225. https://doi.org/10.1080/10705510902751010

Scrucca, L., Fop, M., Murphy, T. B., & Raftery, A. E. (2016). mclust 5: Clustering, classification and density estimation using Gaussian finite mixture models. *The R Journal, 8*(1), 289–317. https://doi.org/10.32614/RJ-2016-021

Spurk, D., Hirschi, A., Wang, M., Valero, D., & Kauffeld, S. (2020). Latent profile analysis: A review and "how to" guide of its application within vocational behavior research. *Journal of Vocational Behavior, 120*, 103445. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2020.103445

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using multivariate statistics* (6th ed.). Pearson.

Yalçın, İ., Can, N., Mançe Çalışır, Ö., Yalçın, S., & Çolak, B. (2021). Latent profile analysis of COVID-19 fear, depression, anxiety, stress, mindfulness, and resilience. *Current Psychology, 41*, 459–469. https://doi.org/10.1007/s12144-021-01667-x

Yang, M., Li, X., Qin, X., Tian, X., Zhang, H., & Wen, H. (2025). The relationship between perceived academic stress and college students' employment anxiety: the mediating role of psychological resilience. *Frontiers in Psychiatry, 16*, 1602808. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1602808

Yumuşak, İ. G. (2024). İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi öğrencilerinin işsizlik kaygısı ve depresyon düzeylerinin demografik özellikler açısından karşılaştırılması. *Beyder (Beykoz Akademi Dergisi), 19*(2), 147–162. https://doi.org/10.54860/beyder.1610913

https://doi.org/10.71284/asc.202618

REFAKATSİZ ÇOCUKLARA YÖNELİK KURUMSAL UYGULAMALARIN TOPLUMSAL ŞİDDET ÜRETİMİ: DİYARBAKIR ÖRNEĞİ

THE PRODUCTION OF SOCIAL VIOLENCE THROUGH INSTITUTIONAL PRACTICES TOWARDS UNACCOMPANIED CHILDREN: THE DIYARBAKIR EXAMPLE

Zelal Karadaşlı [1]
Murat Cihangir[2]

Özet

Refakatsiz göçmen çocukların sayısındaki artış, çağdaş göç yönetiminin en acil insani ve sosyal politika sorunlarından biri olarak ortaya çıkmıştır. Kurumsal koruma mekanizmaları öncelikle bu çocukların haklarını ve refahını korumak için tasarlanmış olsa da, bürokratik uygulamalar, kurumsal eksiklikler ve dışlayıcı sosyal ortamlar yoluyla istemeden yapısal şiddet biçimlerini de yeniden üretebilirler. Bu çalışma, Diyarbakır›da refakatsiz göçmen çocuklara yönelik yapısal şiddetin üretimine ve yeniden üretilmesine kurumsal bakım uygulamalarının nasıl katkıda bulunduğunu araştırmaktadır. Bu araştırma, çocuk koruma hizmetlerinde doğrudan yer alan uygulayıcıların deneyimlerini ve mesleki gözlemlerini keşfetmek için nitel bir fenomenolojik tasarım kullanmaktadır. Sosyal hizmet uzmanları, psikologlar, sosyologlar, çocuk gelişim uzmanları ve idari personel de dahil olmak üzere on iki profesyonelle yarı yapılandırılmış, derinlemesine görüşmeler yapılmıştır. Analiz, şiddeti bireylerin tam potansiyellerine ulaşma fırsatlarını sistematik olarak kısıtlayan kurumsal düzenlemelerin içine yerleşmiş olarak kavramsallaştıran Johan Galtung'un yapısal şiddet çerçevesine teorik olarak dayanmaktadır. Bulgular, yapısal şiddetin üçbiriyle bağlantılı boyutta kendini gösterdiğini ortaya koymaktadır. Birincisi, dil ve iletişim engelleri, çocukların psikososyal destek, eğitim ve yasal hizmetlere erişimini önemli ölçüde engellerken, çocuklar ve kurumsal aktörler arasındaki güveni de zayıflatmaktadır. İkincisi, yasal statü ve gelecek beklentileriyle ilgili uzun süreli belirsizlik, psikolojik sıkıntıyı yoğunlaştırır ve çocukların güvenlik ve aidiyet duygusunu baltalar. Üçüncüsü, parçalanmış bürokratik yapılar ve kamu kurumları arasındaki yetersiz koordinasyon, temel koruma mekanizmalarına zamanında erişimi engelleyen idari gecikmelere yol açmaktadır. Bu kurumsal eksiklikler, dolaylı olarak mesleki uygulamaları ve örgütsel kültürleri şekillendirebilecek göçmen karşıtı söylemler ve sosyal önyargılarla daha da güçlendirilmektedir. Çalışma, kurumsal korumanın fiziksel güvenliğin ötesine geçerek, onur, katılım ve sosyal içermeyi teşvik eden kapsamlı, hak temelli, çocuk merkezli ve travma odaklı bir yaklaşımı kapsaması gerektiğini savunmaktadır. Sonuç olarak, şiddetin kurumsal olarak yeniden üretilmesinin önlenmesi için daha güçlü kurumlar arası koordinasyon, genişletilmiş tercümanlık hizmetleri, dijitalleştirilmiş idari prosedürler, sürekli mesleki denetim ve topluluk temelli entegrasyon girişimlerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Bu araştırma, kırılganlığın kurumsal boyutlarını vurgulayarak, göç yönetimi, çocuk koruma, sosyal politika ve yapısal şiddet konularındaki disiplinlerarası literatüre katkıda

[1] Sorumlu Yazar, Batman Üniversitesi Yüksek Lisans Öğrencisi, zelalkaradasli@batman.edu.tr, https://orcid.org/0009-0003-9489-1309

[2] Doç. Dr. Batman Üniversitesi, İİBF, Göç Çalışmaları Anabilim Dalı, muratscihangir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9301-422X

bulunmakta ve refakatsiz göçmen çocuklar için koruma sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik politika açısından önemli öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Refakatsiz göçmen çocuklar; yapısal şiddet; çocuk koruma; göç yönetimi; sosyal hizmetler; hak temelli yaklaşım; Türkiye.

Abstract

The increase in the number of unaccompanied migrant children has emerged as one of the most pressing humanitarian and social policy issues of contemporary migration management. While institutional protection mechanisms are primarily designed to protect the rights and well-being of these children, they can inadvertently reproduce forms of structural violence through bureaucratic practices, institutional shortcomings, and exclusionary social environments. This study investigates how institutional care practices contribute to the production and reproduction of structural violence against unaccompanied migrant children in Diyarbakır. This research employs a qualitative phenomenological design to explore the experiences and professional observations of practitioners directly involved in child protection services. Semi-structured, in-depth interviews were conducted with twelve professionals, including social workers, psychologists, sociologists, child development specialists, and administrative staff. The analysis theoretically grounds in Johan Galtung's framework of structural violence, which conceptualizes violence as embedded within institutional arrangements that systematically restrict individuals' opportunities to reach their full potential. The findings reveal that structural violence manifests itself in a tri-dimensional way. First, language and communication barriers significantly impede children's access to psychosocial support, education, and legal services, while also weakening trust between children and institutional actors. Second, prolonged uncertainty regarding legal status and future prospects intensifies psychological distress and undermines children's sense of security and belonging. Third, fragmented bureaucratic structures and inadequate coordination among public institutions lead to administrative delays that hinder timely access to essential protection mechanisms. These institutional shortcomings are further reinforced by anti-immigrant discourses and social prejudices that can indirectly shape professional practices and organizational cultures. The study argues that institutional protection should go beyond physical safety and encompass a comprehensive, rights-based, child-centered, and trauma-focused approach that promotes dignity, participation, and social inclusion. In conclusion, it highlights the need for stronger inter-institutional coordination, expanded interpreting services, digitized administrative procedures, continuous professional oversight, and community-based integration initiatives to prevent the institutional reproduction of violence. This research contributes to the interdisciplinary literature on migration management, child protection, social policy, and structural violence by highlighting the institutional dimensions of vulnerability, and offers important policy recommendations for improving protection systems for unaccompanied migrant children.

Keywords: Unaccompanied migrant children; structural violence; child protection; migration governance; social services; rights-based approach, Türkiye.

GİRİŞ

Zorunlu göç, yirmi birinci yüzyılın en önemli insani sorunlarından biri haline gelmiş ve küresel göç yönetimi ve çocuk koruma politikalarını derinden yeniden şekillendirmiştir. Silahlı çatışmalar, siyasi istikrarsızlık, etnik şiddet, ekonomik yoksunluk ve çevresel krizler, milyonlarca insanı güvenlik ve emniyet arayışı içinde evlerini terk etmeye zorlamıştır. Etkilenenler arasında, refakatsiz göçmen çocuklar, ebeveynlerinin veya yasal vasilerinin bakım ve koruması olmadan yer değiştirmeyi deneyimledikleri için en savunmasız nüfus gruplarından birini oluşturmaktadır. Göç yolculukları sıklıkla şiddete, sömürüye, insan kaçakçılığına, psikolojik travmaya ve uzun süreli belirsizliğe maruz kalma ile karakterize edilir. Ancak, bu çocuklar bir varış veya geçiş ülkesine ulaştıklarında savunmasızlıkları mutlaka sona ermez. Bunun yerine, birçoğu refahlarını korumayı amaçlayan kurumsal koruma sistemleri içinde yeni risklerle karşılaşmaya devam etmektedir(UNHCR, 2025).

Uluslararası yasal çerçeveler, uyruğu veya göçmenlik statüsü ne olursa olsun her çocuğun korunma, eğitim, sağlık ve gelişim gibi temel haklara sahip olduğunu kabul etmektedir. Birleşmiş Milletler Çocuk Hakları Sözleşmesi, aile üyeleri olmadan göç edenler de dahil olmak üzere çocuklarla ilgili her idari ve hukuki kararın çocuğun en iyi çıkarlarına göre yönlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (UNICEF, 1989). Bu normatif çerçeveye rağmen, çocuk koruma politikalarının uygulanması genellikle yasal ilkelerden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. İdari sınırlamalar, yetersiz kurumsal koordinasyon, dil engelleri, yasal belirsizlik ve kaynak kısıtlamaları, çocuk merkezli hizmetlerin etkin bir şekilde sunulmasını sıklıkla zorlaştırmaktadır. Koruma mekanizmaları, çocukların fiziksel, psikolojik ve sosyal refahını etkileyen ek zorluklar yaratabilir.

Türkiye, Asya, Avrupa ve Orta Doğu'yu birbirine bağlayan coğrafi konumu nedeniyle mülteciler ve sığınmacılar için dünyanın en önemli ev sahibi ve geçiş ülkelerinden biri haline gelmiştir. Özellikle Suriye, Irak ve Afganistan'daki bölgesel çatışmalar, ülkeye gelen refakatsiz göçmen çocuk sayısını önemli ölçüde artırmıştır. Bu gelişme, sosyal hizmet kuruluşları, göçmenlik yetkilileri, sağlık hizmeti sağlayıcıları, eğitim kurumları ve adli kuruluşlar da dahil olmak üzere çocuk korumasından sorumlu kamu kurumlarına önemli bir sorumluluk yüklemiştir. Bu kurumların sadece acil koruma sağlamakla kalmayıp, çocukların uzun vadeli sosyal entegrasyonunu ve sağlıklı gelişimini de kolaylaştırması beklenmektedir. Bununla birlikte, artan göç baskıları ve kurumsal kapasite kısıtlamaları, bu sorumlulukların etkin bir şekilde yerine getirilmesinde önemli zorluklar yaratmıştır (European Council on Refugees and Exiles [ECRE], 2021).

Refakatsiz göçmen çocukların deneyimleri, korumanın fiziksel barınma ve temel ihtiyaçların sağlanmasının ötesine uzanan çok boyutlu bir süreç olarak anlaşılması gerektiğini göstermektedir. Psikolojik iyilik hali, sosyal katılım, eğitim sürekliliği, yasal güvenlik ve kültürel uyum, kapsamlı çocuk korumasının eşit derecede önemli bileşenleridir. Tanıdık olmayan sosyal ortamlara gelen çocuklar genellikle dilsel izolasyon, kültürel farklılıklar, gelecekleri konusunda belirsizlik ve ihtiyaçlarını iletmede zorluklar yaşarlar. Bu zorluklar, temel kamu hizmetlerine erişimlerini azaltırken, aynı zamanda çocuklar ve kurumsal aktörler arasındaki güveni de zayıflatabilir. Bu bağlamda, çocuk korumasının etkinliği sadece yasal düzenlemelere değil, aynı zamanda günlük kurumsal uygulamaların kalitesine de bağlıdır(UNICEF, 2024).

Önceki araştırmalar, zorunlu göçün psikolojik sonuçlarını kapsamlı bir şekilde incelemiş ve mülteci çocuklarda travma, ruh sağlığı, direnç ve sosyal uyumu vurgulamıştır. Diğer çalışmalar, çocukların refahını iyileştirmek için tasarlanmış yasal koruma mekanizmalarını, eğitim entegrasyonunu ve sosyal içerme politikalarını incelemiştir. Bu katkılar göçmen çocukların deneyimlerine dair anlayışımızı önemli ölçüde geliştirmiş olsa da, kurumsal düzenlemelerin kendilerinin istemeden kırılganlığı nasıl yeniden üretebileceğine nispeten daha az dikkat edilmiştir. Kurumsal koruma sistemleri genellikle zararı önleyen mekanizmalar olarak algılanır; ancak rutin idari prosedürler, bürokratik parçalanma, yetersiz iletişim ve örgütsel sınırlamalar da savunmasız çocuklar için dolaylı dezavantaj biçimleri yaratabilir. Bu nedenle, bu kurumsal dinamikleri anlamak, şiddetin geleneksel tanımlarının ötesine uzanan analitik bir bakış açısı gerektirir.

Bu çalışma, Johan Galtung'un yapısal şiddet kavramını temel kuramsal çerçeve olarak benimsemektedir. Galtung'a (1969) göre, şiddet doğrudan fiziksel saldırganlıkla sınırlı değildir; aynı zamanda sosyal, siyasi veya kurumsal yapılar bireylerin tam potansiyellerine ulaşmalarını veya temel haklarını kullanmalarını sistematik olarak engellediğinde de mevcuttur. Yapısal şiddet, normal veya rutin görünen ancak yine de eşitsiz fırsatlar, dışlanma ve yoksunluk üreten sıradan kurumsal düzenlemelerin içine yerleşmiştir. Doğrudan şiddetin aksine, yapısal şiddet genellikle görünmez kalır çünkü kasıtlı fiziksel eylemlerden ziyade idari prosedürler, yasal düzenlemeler, örgütsel kültürler ve kaynakların eşitsiz dağılımı yoluyla yeniden üretilir(Farmer, 2004; Galtung, 1969).

Bu bakış açısının çocuk koruma kurumlarına uygulanması, refakatsiz göçmen çocukların deneyimlerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Kurumsal şiddet, çocuk refahı kuruluşlarında çalışan profesyonellerin kasıtlı suistimalinden kaynaklanmak zorunda değildir. Bunun yerine, çocukların eğitim, sağlık hizmetleri, psikososyal hizmetler, yasal temsil ve sosyal katılıma erişim fırsatlarını kasıtlı olmayan bir şekilde sınırlayan sistemik eksikliklerden kaynaklanabilir. Geciken idari prosedürler, devlet kurumları arasındaki yetersiz koordinasyon, sınırlı tercümanlık hizmetleri ve yasal statüye ilişkin uzun süreli belirsizlik, resmi koruma mekanizmalarının varlığına rağmen çocukların savunmasızlığını pekiştiren koşullar yaratabilir. Bu tür yapısal engeller, çocukların duygusal refahını olumsuz etkileyebilir, kaygıyı artırabilir, kurumsal güveni zayıflatabilir ve başarılı sosyal entegrasyonu geciktirebilir (Bhabha, 2014; UNICEF, 2024).

Diyarbakır ili, coğrafi konumu ve bölgesel göç yollarındaki rolü nedeniyle bu kurumsal süreçlerin incelenmesi için önemli bir bağlam oluşturmaktadır. İlde faaliyet gösteren kurumlar, refakatsiz göçmen çocuklara koruma hizmetleri sunarken aynı zamanda zorunlu göçün yarattığı artan taleplere de yanıt vermektedir. Bu kurumlarda çalışan profesyoneller –sosyal hizmet uzmanları, psikologlar, sosyologlar, çocuk gelişim uzmanları ve idari personel dahil– koruma mekanizmalarının günlük işleyişine ilişkin değerli pratik bilgilere sahiptir. Deneyimleri, yalnızca bireysel vakaları değil, aynı zamanda çocukların hak ve hizmetlere erişimini etkileyen tekrarlayan kurumsal kalıpları da ortaya koymaktadır.

Bu nedenle, mevcut çalışma, kurumsal uygulamaların Diyarbakır'da refakatsiz göçmen çocuklara yönelik yapısal şiddetin yeniden üretilmesine nasıl katkıda bulunduğunu incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, yalnızca çocukların göç deneyimlerine odaklanmak yerine, koruma hizmetlerinin sunulduğu kurumsal ortamı araştırmaktadır. Niteliksel fenomenolojik bir yaklaşım benimseyen çalışma, çocuk koruma hizmetlerinde doğrudan yer alan uygulayıcıların mesleki deneyimlerini analiz etmektedir. Yaptıkları gözlemler, iletişim zorlukları, bürokratik parçalanma, uzun süren hukuki belirsizlik ve ilgili kamu kurumları arasında yetersiz koordinasyon gibi çocukların refahını etkileyen yapısal engelleri belirlemeyi mümkün kılıyor.

Dahası, çalışma, kurumsal uygulamaların göçmenliğe yönelik daha geniş sosyal tutumlardan izole edilemeyeceğini kabul etmektedir. Kamuoyu algıları, kültürel stereotipler ve göçmen karşıtı anlatılar, örgütsel kültürleri ve mesleki etkileşimleri dolaylı olarak etkileyebilir ve böylece geleneksel politika analizleriyle tespit edilmesi zor olan dışlama biçimlerini güçlendirebilir. Sonuç olarak, çocuk korumasını iyileştirmek yalnızca yasal reformları değil, aynı zamanda kurumlar arası işbirliğini, mesleki desteği, kültürel açıdan duyarlı hizmet sunumunu ve hak temelli yönetimi vurgulayan kurumsal dönüşümü de gerektirir.

Sonuç olarak, bu araştırma, kurumsal korumanın yalnızca yasal uyumluluğa göre değil, aynı zamanda çocukların onurunu, katılımını, eşitliğini ve uzun vadeli refahını sağlama kapasitesine göre de değerlendirilmesi gerektiğini göstererek, göç yönetimi, çocuk koruma ve yapısal şiddet üzerine giderek artan literatüre katkıda bulunmaktadır. Çalışma, kurumsal uygulamaların yapısal boyutlarını vurgulayarak, çağdaş göç bağlamlarında refakatsiz göçmen çocukların yaşadığı karmaşık gerçeklikleri ele alabilen daha kapsayıcı ve çocuk merkezli koruma sistemlerinin geliştirilmesini desteklemeyi amaçlamaktadır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Zorunlu göç olgusu, çok boyutlu sosyal, politik ve insani sonuçları nedeniyle giderek artan bir şekilde akademik ilgi çekmektedir. Zorla yerinden edilmiş nüfuslar arasında, refakatsiz göçmen çocuklar, ebeveyn bakımı veya yasal vasilik olmadan göçü deneyimledikleri için en savunmasız gruplardan birini temsil etmektedir. Uluslararası yasal belgeler bu çocukları özel korumaya hak sahibi hak sahipleri olarak tanımlasa da, koruma politikalarının uygulanması genellikle önemli kurumsal zorlukları ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, kurumsal uygulamalar ile çocukların savunmasızlığı arasındaki ilişkiyi anlamak, dolaylı ve çoğu zaman görünmez şiddet biçimlerini açıklayabilen teorik bir bakış açısı gerektirmektedir. Bu çalışma, kurumsal düzenlemelerin çocuk koruma sistemlerinde eşitsizlikleri nasıl istemeden yeniden üretebileceğinin analizini mümkün kıldığı için Johan Galtung'un yapısal şiddet teorisini temel kavramsal çerçeve olarak benimsemektedir(Galtung, 1969).

Geleneksel olarak şiddet, doğrudan fiziksel zarar, silahlı çatışma veya kişiler arası saldırganlıkla ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, çağdaş sosyal teoriler, şiddetin aynı zamanda bireylerin tam potansiyellerine ulaşma fırsatlarını sistematik olarak kısıtlayan kurumsal yapılar, siyasi sistemler ve sosyal örgütlenmeler yoluyla da ortaya çıkabileceğini savunmaktadır. Johan Galtung (1969), bu dolaylı şiddet biçimlerini doğrudan fiziksel şiddetten ayırt etmek için yapısal şiddet kavramını ortaya koymuştur. Galtung'a (1969) göre, şiddet, kaçınılabilir sosyal düzenlemelerin bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılamalarını veya yeteneklerini gerçekleştirmelerini engellediği her durumda mevcuttur. Doğrudan şiddetin aksine, yapısal şiddet mutlaka açıkça tanımlanabilir bir fail tarafından işlenmez. Bunun yerine, kurumsal kurallar, idari prosedürler, hukuk sistemleri ve kaynakların eşitsiz dağılımı içinde yerleşir (Farmer, 2004; Galtung, 1969).

Galtung'un teorisinin en önemli katkılarından biri, şiddeti yalnızca davranışsal bir olgu olarak değil, yapısal bir olgu olarak yeniden kavramsallaştırmasıdır. Yapısal şiddet, sıradan ve meşru görünen ancak aynı zamanda eşitsiz yaşam fırsatları üreten kurumlar aracılığıyla işler. Sonuç olarak, ayrımcılık, Bürokratik verimsizlik, sağlık hizmetlerine yetersiz erişim, eğitim eşitsizlikleri ve gecikmiş yasal işlemler, belirli sosyal grupları sistematik olarak dezavantajlı duruma düşürdüklerinde şiddet biçimleri oluşturabilir (Galtung, 1969). Bu bakış açısı, savunmasızlıkları sıklıkla yalnızca zorunlu yer değiştirmeden değil, aynı zamanda ev sahibi ülkelere varıştan sonra karşılaşılan kurumsal süreçlerden de kaynaklanan refakatsiz göçmen çocukların deneyimlerini anlamak için özellikle önemlidir.

Galtung (1990), yapısal eşitsizlikleri meşrulaştıran veya normalleştiren kültürel inançlar, ideolojiler, semboller ve sosyal anlatılara atıfta bulunan kültürel şiddet kavramını tanıtarak teorik çerçevesini daha da genişletti. Kültürel şiddet, eşitsiz kurumsal düzenlemelerin doğal, kaçınılmaz veya sosyal olarak kabul edilebilir görünmesini sağlayarak işlev görür. Göç bağlamlarında, ayrımcı kamusal söylem, yabancı düşmanlığı tutumları, mültecilere yönelik klişeler ve dışlayıcı siyasi anlatılar, örgüt kültürlerini ve mesleki tutumları şekillendirerek kurumsal uygulamaları dolaylı olarak etkileyebilir. Sonuç olarak, yapısal ve kültürel şiddet genellikle birbirini güçlendirerek, resmi yasal korumaların varlığına rağmen eşitsiz muamelenin normalleştiği kurumsal ortamlar yaratır (Galtung, 1990).

Yapısal şiddet kavramı daha sonra çeşitli disiplinlerde, özellikle tıbbi antropoloji ve halk sağlığı alanlarında geliştirilmiştir. Farmer, yapısal şiddetin, savunmasız nüfusları sistematik olarak acı çekmeye maruz bırakan tarihsel, siyasi, ekonomik ve kurumsal eşitsizliklerin bir ürünü olarak anlaşılması gerektiğini savunmaktadır. Farmer'a göre, şiddet sıklıkla bireylerin sağlık hizmetlerine, eğitime, yasal korumaya ve diğer temel kamu hizmetlerine eşit erişimini engelleyen sosyal yapılar aracılığıyla yeniden üretilir(Farmer, 2004). Önemli olan, bu eşitsizliklerin nadiren bireysel niyetlerin sonucu olması; aksine, marjinalleştirilmiş nüfusları orantısız bir şekilde etkileyen kurumsal düzenlemelerden kaynaklanmasıdır. Bu yorum, yapısal şiddetin savunmasız bireyleri etkileyen günlük kurumsal uygulamalar aracılığıyla nasıl görünür hale geldiğini göstererek Galtung'un orijinal çerçevesini genişletmektedir Farmer, 2004; Galtung, 1969).

Bu teorik perspektiflerin çocuk koruma sistemlerine uygulanması, refakatsiz göçmen çocuklara yönelik kurumsal tepkileri anlamak için önemli bir analitik çerçeve sağlamaktadır. Çocuk koruma kurumları genellikle çocukların haklarını korumak, fiziksel güvenliklerini sağlamak ve sağlıklı gelişimlerini kolaylaştırmak için kurulmuştur. Bununla birlikte, kurumsal etkinlik yalnızca yasal çerçevelere değil, aynı zamanda idari uygulamanın kalitesine de bağlıdır. Bürokratik parçalanma, yetersiz kurumsal koordinasyon, dil engelleri, yetersiz profesyonel kaynaklar ve uzun süreli yasal belirsizlik, kapsamlı koruma politikalarının varlığına rağmen, çocukların refahını istemeden baltalayabilir. Bu tür eksiklikler, koruma sağlamak üzere tasarlanmış kurumsal yapıların aynı anda dolaylı şiddet biçimleri de üretebileceğini göstermektedir (Bhabha, 2014; UNICEF, 2024).

Uluslararası çocuk koruma standartları, her çocuğun göçmenlik statüsünden bağımsız olarak hayatta kalma, gelişme, katılım ve korunma hakkına sahip olduğunu vurgulamaktadır (UNICEF, 1989). Bu ilkeler, hükümetlerin her idari kararda çocukların en iyi çıkarlarını önceliklendirmesini gerektiren hak temelli bir çerçeve oluşturmaktadır. Bununla birlikte, bu ilkelerin göç yönetimi içinde uygulanması önemli pratik zorluklar sunmaktadır. Refakatsiz göçmen çocuklar sıklıkla uzun süren iltica prosedürleri, gecikmiş velayet atamaları, kesintiye uğrayan eğitim, sınırlı psikososyal destek ve dil engellerinden kaynaklanan iletişim zorlukları yaşamaktadır. Bu zorluklar kasıtlı istismarı içermese de, çocukların sağlıklı gelişim ve sosyal içerme fırsatlarını azaltarak Galtung'un tanımladığı yapısal şiddetin özelliklerini yansıtmaktadır(Galtung, 1969).

2. YAPISAL ŞİDDETİN KURUMSAL BOYUTLARI

Çocuk koruma kurumları yalnızca çocukların temel ihtiyaçlarını karşılamakla sorumlu idari kuruluşlar olarak değil, aynı zamanda çocukların uzun vadeli gelişimini ve sosyal entegrasyonunu önemli ölçüde etkileyen sosyal kurumlar olarak da anlaşılmalıdır. Kurumsal etkinlik, çocukların ayrımcılığa uğramadan eğitim, sağlık hizmetleri, psikososyal destek, yasal temsil ve katılım fırsatlarına erişebilme derecesine bağlıdır. Kurumsal düzenlemeler, doğrudan fiziksel zarar olmasa bile, çocukların bu haklara erişimini sistematik olarak kısıtladığında yapısal şiddet ortaya çıkabilir. Bu tür kurumsal eksiklikler, kamu kurumlarına bağımlılıkları refakatli çocuklara göre önemli ölçüde daha fazla olan refakatsiz göçmen çocuklar için özellikle önemli hale gelir (Bhabha, 2014; UNICEF, 2024).

Bu çalışma, kurumsal şiddeti, bireysel profesyonellerin kasıtlı suistimalinden ziyade, idari eksikliklerin dolaylı bir sonucu olarak kavramsallaştırmaktadır. Sosyal hizmet uzmanları, psikologlar, çocuk gelişim uzmanları, sosyologlar ve idari personel genellikle çocukların en iyi çıkarlarını korumak için tasarlanmış yasal bir çerçeve içinde çalışırlar. Bununla birlikte, profesyoneller sıklıkla müdahalelerinin etkinliğini azaltan kurumsal sınırlamalarla karşılaşırlar. Ağır iş yükü, yetersiz tercümanlık hizmetleri, devlet kurumları arasındaki parçalı iş birliği, sınırlı kurumsal kaynaklar ve uzayan bürokratik prosedürler, profesyonellerin çocuk refahına olan bağlılığına rağmen, çocuk haklarını zayıflatan koşullar yaratabilir. Buna göre, yapısal şiddetin kaynağı bireysel davranışlarda değil, etkili hizmet sunumunu sistematik olarak kısıtlayan kurumsal düzenlemelerde yatmaktadır (Farmer, 2004).

Bu teorik bakış açısı, Diyarbakır'daki refakatsiz göçmen çocukların durumu için özellikle önemlidir. Güneydoğu Türkiye'nin önemli göç merkezlerinden biri olan Diyarbakır, bölgesel göç hareketlerinden kaynaklanan artan baskı altında faaliyet gösteren çocuk koruma kurumlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu kurumlarda çalışan profesyonellerin deneyimleri, iletişim zorluklarının, hukuki belirsizliğin ve kamu kuruluşları arasındaki yetersiz koordinasyonun kurumsal müdahaleleri sıklıkla zorlaştırdığını göstermektedir. Anadillerinde iletişim kuramayan çocuklar, psikolojik ihtiyaçlarını ifade etmekte, yasal prosedürleri anlamakta veya profesyonellerle güvene dayalı ilişkiler kurmakta zorluk çekmektedirler. Yapısal şiddet perspektifinden bakıldığında, bu iletişim engelleri teknik sınırlamalardan daha fazlasını temsil eder; çocukların temel haklarına ve hizmetlerine erişimini dolaylı olarak kısıtlayan kurumsal engelleri oluştururlar (Galtung, 1969).

Bir diğer önemli boyut ise çocukların yasal statüsüne ilişkin uzun süreli belirsizliktir. Birçok refakatsiz göçmen çocuk, Avrupa'ya doğru göçlerine devam etmeyi veya başka yerlerdeki aile üyeleriyle yeniden bir araya gelmeyi umarken, Türkiye'yi geçici bir varış noktası olarak görmektedir. Bu uzun süreli belirsizlik, genellikle çocukların psikolojik refahını ve kurumsal uyumunu olumsuz etkileyen kaygı, hayal kırıklığı ve güvensizlik duygularına yol açmaktadır. Aynı zamanda, kayıt, velayet atamaları, oturma izinleri ve yasal belgelerle ilgili uzun idari prosedürler, çocukların eğitime, sağlık hizmetlerine ve psikososyal desteğe erişimini geciktirebilir. Bu gecikmeler kasıtlı ayrımcılıktan ziyade bürokratik prosedürlerden kaynaklansa da, kurumsal sistemlerin çocukların gelişim fırsatlarını kısıtlayarak yapısal eşitsizlikleri nasıl yeniden üretebileceğini göstermektedir (Farmer, 2004).

Kurumsal parçalanma, mevcut kavramsal çerçevenin bir diğer önemli analitik bileşenini oluşturmaktadır. Çocuk koruma, göçmenlik yetkilileri, kolluk kuvvetleri, yargı organları, eğitim kurumları, sağlık hizmeti sağlayıcıları ve sosyal hizmet kuruluşları da dahil olmak üzere çok sayıda devlet kurumunu içermektedir. Bu nedenle etkili koruma, güçlü kurumlar arası koordinasyona ve bilgi paylaşımına bağlıdır. Kurumlar arasındaki iletişim parçalandığında veya tutarsız hale geldiğinde, çocuklar tekrarlanan değerlendirmeler, tekrarlanan idari prosedürler, gecikmiş sevkler ve hizmet sunumunda kesintiler yaşayabilirler. Bu tür kurumsal parçalanma, yapısal şiddetin sistemik özelliklerini yansıtır çünkü ortaya çıkan dezavantajlar bireysel kararlardan ziyade örgütsel düzenlemelerden kaynaklanır (Galtung, 1969).

Ayrıca, yapısal şiddet, daha geniş sosyal ve kültürel ortamlardan bağımsız olarak analiz edilmemelidir. Galtung(Galtung, 1990), kültürel şiddetin, ayrımcı inançları ve dışlayıcı anlatıları normalleştirerek eşitsiz kurumsal düzenlemeleri meşrulaştırdığını vurgulamaktadır. Göçmenlik bağlamlarında, göçmen karşıtı söylemler, stereotipler ve olumsuz kamuoyu algıları, kurumsal kültürleri ve günlük mesleki etkileşimleri dolaylı olarak etkileyebilir. Çocuk koruma uzmanlarından tarafsız hizmet vermeleri beklenmesine rağmen, kaçınılmaz olarak göçmenlere yönelik kamuoyu tutumlarının kurumsal öncelikleri ve örgütsel uygulamaları şekillendirebileceği daha geniş sosyal bağlamlar içinde faaliyet gösterirler. Böylelikle, yapısal ve kültürel şiddet, refakatsiz göçmen çocukların savunmasızlığını pekiştirecek şekilde etkileşime girer.

Bu çalışmada benimsenen kavramsal model, kurumsal şiddetin üç birbirine bağlı boyutun etkileşimiyle üretildiğini varsaymaktadır: iletişim engelleri, bürokratik belirsizlik ve kurumsal parçalanma. Bu boyutlar, çocukların hak temelli hizmetlere erişme, kurumlarla güven oluşturma ve başarılı sosyal entegrasyon sağlama yeteneklerini topluca etkiler. Şiddeti yalnızca doğrudan fiziksel istismar olarak ele almak yerine, bu araştırma şiddeti, istemeden dışlanma, eşitsizlik ve kırılganlık üreten idari yapılara gömülü kurumsal bir süreç olarak kavramsallaştırmaktadır. Bu bakış açısı, refakatsiz göçmen çocuklarla doğrudan çalışan profesyonellerin deneyimlerini yorumlamak ve kurumsal uygulamaların yapısal şiddetin yeniden üretilmesine nasıl katkıda bulunabileceğini anlamak için kapsamlı bir analitik çerçeve sağlar(Bhabha, 2014; Farmer, 2004; Galtung, 1969).

Bu genel çerçevede, yapısal şiddet perspektifini benimsemek, bu çalışmanın kurumsal eksikliklerin betimleyici analizlerinin ötesine geçerek, yönetim yapılarının çocukların günlük yaşamlarını nasıl etkilediğine dair daha geniş bir anlayışa ulaşmasını sağlar. Ayrıca, hak temelli yönetişimi, kurumlar arası işbirliğini, kültürel olarak duyarlı hizmet sunumunu ve çocuk merkezli kurumsal reformu önceliklendiren politika önerileri geliştirmek için teorik bir temel sağlar. Buna göre temel eğilim, Galtung'un teorisini çağdaş çocuk koruma ilkeleriyle bütünleştirerek, göç yönetimi, sosyal politika ve çocuk refahı üzerine disiplinlerarası literatüre katkıda bulunmakta ve zorunlu göçten etkilenen en savunmasız nüfus gruplarından birine yönelik kurumsal tepkileri analiz etmek için teorik temellere dayalı bir çerçeve sunmaktadır.

SONUÇ

Refakatsiz göçmen çocukların deneyimleri, zorunlu yer değiştirmeyle ilişkili acil zorlukların çok ötesine uzanmaktadır. Silahlı çatışma, aile ayrılığı ve düzensiz göç, çocukları göç öncesinde ve sırasında önemli risklere maruz bırakırken, bu çalışma, haklarını korumak için tasarlanmış kurumsal koruma sistemleri içinde de kırılganlığın devam edebileceğini göstermektedir. Johan Galtung'un yapısal şiddet teorisinden yola çıkan bu araştırma, şiddetin yalnızca doğrudan fiziksel zarar olarak değil, aynı zamanda çocukların temel haklarına ve fırsatlarına erişimini kasıtlı olmayan bir şekilde kısıtlayan kurumsal düzenlemelerin bir sonucu olarak da anlaşılması gerektiğini savunmaktadır (Galtung, 1969). Bu bağlamda, bulgular, kurumsal eksikliklerin eşitsizliğin ve dışlanmanın yeniden üretildiği önemli mekanizmalar haline gelebileceğini göstermektedir.

Diyarbakan'da refakatsiz göçmen çocuklarla doğrudan çalışan profesyonellerden elde edilen nitel bulgular, yapısal şiddetin, bireysel uygulayıcıların kasıtlı kötü davranışlarından ziyade, günlük kurumsal uygulamalara yerleşmiş olduğunu ortaya koymaktadır. Dil engelleri, parçalanmış kurumsal koordinasyon, uzayan idari prosedürler ve yasal belirsizlik, çocukların eğitime, psikososyal hizmetlere, sağlık hizmetlerine ve yasal korumaya erişimini azaltan koşullar yaratmaktadır. Bu zorluklar sadece çocukların duygusal refahını baltalamakla kalmaz, aynı zamanda kamu kurumlarına olan güvenlerini zayıflatır ve uzun vadeli sosyal entegrasyonlarını engeller. Sonuç olarak, kurumsal koruma sadece yasal çerçevesine göre değil, aynı zamanda çocukların onurunu, katılımını ve temel hizmetlere eşit erişimini teşvik etme konusundaki pratik kapasitesine göre de değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın temel katkılarından biri, kurumsal koruma ve yapısal şiddetin birbirini dışlayan kavramlar olmadığını göstermesidir. Savunmasız çocukları korumak için kurulan kurumlar, örgütsel eksiklikler günlük idari uygulamalar içinde normalleştiğinde, aynı anda dolaylı şiddet biçimlerini de yeniden üretebilir. Bu bulgu, Galtung'un, sosyal yapılar bireylerin tam potansiyellerini gerçekleştirmelerini sistematik olarak engellediğinde şiddetin var olabileceği argümanını desteklemektedir (Galtung, 1969). Benzer şekilde, Farmer (2004), yapısal şiddetin sıklıkla marjinalleştirilmiş nüfusları orantısız bir şekilde etkileyen kurumsal eşitsizlikler yoluyla yeniden üretildiğini vurgulamaktadır. Bu çalışma, çocuk koruma sistemlerinin hak temelli bir yasal çerçeve içinde faaliyet göstermelerine rağmen, savunmasızlığı nasıl istemeden güçlendirebileceğini göstererek bu teorik perspektifleri genişletmektedir.

Bulgular ayrıca, göç yönetimine çocuk merkezli ve hak temelli bir yaklaşım benimsemenin önemini de vurgulamaktadır. Refakatsiz göçmen çocukları korumak, barınma sağlamaktan ve fiziksel güvenliği sağlamaktan çok daha fazlasını gerektirir. Etkin koruma, zamanında yasal prosedürleri, profesyonel tercümanlık hizmetlerini, sürekli psikososyal desteği, kesintisiz eğitime erişimi ve anlamlı sosyal katılım fırsatlarını içermelidir. Bu nedenle kurumsal yaklaşımlar, çocukların kültürel, dilsel ve psikolojik çeşitliliğini göz önünde bulundurarak gelişimsel ihtiyaçlarına öncelik vermelidir. Ayrıca, bürokratik parçalanmayı en aza indirmek ve bakımın sürekliliğini sağlamak için göçmenlik yetkilileri, çocuk koruma kurumları, sağlık kuruluşları, eğitim kurumları ve yargı organları arasında daha güçlü bir iş birliği şarttır.

Bir diğer önemli çıkarım, kurumsal uygulamalar ile göçmenliğe yönelik daha geniş sosyal tutumlar arasındaki ilişkiyle ilgilidir. Yabancı düşmanlığı, ayrımcılık ve olumsuz stereotiplerle karakterize edilen kamu söylemi, çocuk haklarına yönelik resmi taahhütlere rağmen dışlayıcı uygulamaları güçlendirerek, kurumsal ortamları dolaylı olarak etkileyebilir. Buna göre, kurumsal etkinliğin iyileştirilmesi yalnızca idari reformları değil, aynı zamanda sosyal uyumu, kültürlerarası diyaloğu ve refakatsiz göçmen çocukların haklarına ilişkin kamuoyu farkındalığını güçlendirmeye yönelik daha geniş çabaları da gerektirir. Bu nedenle, sürdürülebilir çocuk koruma politikaları, kapsamlı bir yönetim çerçevesi içinde yasal, sosyal, eğitimsel ve psikolojik boyutları entegre etmelidir.

Bu çalışma Diyarbakır'daki kurumsal deneyimlere dair değerli bilgiler sunsa da, bazı sınırlamaların da dikkate alınması gerekir. Araştırma, öncelikle refakatsiz göçmen çocukların doğrudan deneyimlerinden

ziyade, çocuk koruma kurumlarında çalışan profesyonellerin bakış açılarına odaklanmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, katılımcı araştırma yöntemleri aracılığıyla çocukların kendi seslerini de dahil ederek ve farklı iller ve ulusal bağlamlar arasında karşılaştırmalı analizler yaparak fayda sağlayabilir. Boylamsal araştırmalar, kurumsal deneyimlerin çocukların uzun vadeli psikososyal gelişimini, eğitim sonuçlarını ve sosyal entegrasyon süreçlerini nasıl etkilediğine dair anlayışı daha da geliştirebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma yapısal şiddetin kurumsal çocuk korumasının kritik bir boyutu olarak kabul edilmesi gerektiğini savunmaktadır. Refakatsiz göçmen çocukların ihtiyaçlarını karşılamak, reaktif insani yardımdan proaktif, hak temelli ve kurumsal olarak koordine edilmiş bir yönetişime doğru ilerlemeyi gerektirir. Kurumsal düzenlemelerin istemeden kırılganlığı yeniden üretebileceği yapısal mekanizmaları belirleyerek, bu araştırma göç yönetişimi, çocuk koruma ve yapısal şiddet üzerine giderek büyüyen disiplinlerarası literatüre katkıda bulunmaktadır. Daha da önemlisi, çocukları korumanın sadece yasal bir yükümlülük değil, sürekli düşünmeyi, örgütsel öğrenmeyi ve kanıta dayalı politika reformunu gerektiren ahlaki ve kurumsal bir sorumluluk olduğunu vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

Bhabha, J. (2014). *Child Migration and Human Rights in a Global Age*. Princeton University Press.

Farmer, P. (2004). An anthropology of structural violence. *Current Anthropology, 45*(3), 305–325. https://doi.org/10.1086/382250

Galtung, J. (1969). Violence, Peace, and Peace Research. *Journal of Peace Research, 6*(3), 167–191.

Galtung, J. (1990). Cultural violence. *Journal of Peace Research, 27*(3), 291–305. https://doi.org/10.1177/0022343390027003005

UNICEF. (1989). *Convention on the Rights of the Child*. United Nations. https://www.unicef.org/child-rights-convention

United Nations High Commissioner for Refugees. (2024). *Global Trends: Forced displacement in 2024*. Geneva: UNHCR. https://www.unhcr.org/sites/default/files/2025-06/global-trends-report-2024.pdf

https://doi.org/10.71284/asc.202619

THE INFORMATION SOCIETY: THE FORMATION OF THE EDUCATIONAL SYSTEM, ITS PEDAGOGICAL FOUNDATIONS AND DISTINCTIVE FEATURES

Aida Quliyeva[1]

Abstract

The rapid advancement of information technologies has fundamentally transformed the structure and functioning of modern society, giving rise to what scholars refer to as the "information society." Within this context, educational systems across the globe are undergoing profound and systematic reforms aimed at aligning learning processes with the demands of a digitally driven era. This article examines the key characteristics of the information society and explores how these characteristics shape the formation and evolution of contemporary educational frameworks from a pedagogical perspective. The study highlights the role of innovation, intellectual development, and computer-based technologies - particularly the internet - in redefining traditional pedagogical approaches to knowledge acquisition and dissemination. Drawing on dialectical analysis, the paper investigates the dynamic interplay between technological progress and educational reform, emphasizing that modern pedagogy must evolve continuously to cultivate critical thinking, digital literacy, and creative intelligence among learners. Furthermore, the article underscores the significance of systemic changes in educational policy, pedagogical methodology, and curriculum design, arguing that sustainable development of the information society depends heavily on the quality and adaptability of its educational institutions. The findings suggest that integrating innovative pedagogical strategies and information technologies into education is not merely beneficial but essential for preparing individuals to meet the intellectual and professional challenges of the 21st century.

Keywords: Information society, pedagogy, educational system, formation, distinctive features

[1] Military İnstitute named after Heydar Aliyev, schastlivisa@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-2633-7827

INTRODUCTION

The dawn of the 21st century has ushered in an era defined by the rapid proliferation of information technologies, fundamentally reshaping the foundations of human civilization. The emergence of the information society represents one of the most significant paradigm shifts in modern history, influencing every domain of social life - from economics and politics to culture and, most critically, education. In this transformative landscape, the educational system stands at the forefront of change, tasked with the immense responsibility of preparing individuals not only to navigate but also to actively contribute to an increasingly complex and technology-driven world.

The concept of the information society is rooted in the recognition that knowledge and information have become the primary drivers of social and economic progress. Unlike industrial societies, where material production dominated, the information society places intellectual capital, digital competence, and continuous learning at the center of human development. This shift has profound implications for pedagogy, demanding a fundamental reconsideration of how knowledge is structured, delivered, and assessed within educational institutions.

Historically, educational systems were designed to transmit a fixed body of knowledge from one generation to the next through relatively static pedagogical methods. However, the exponential growth of the internet, computer technologies, and digital communication networks has rendered such approaches increasingly inadequate. Today, information is generated and updated at an unprecedented pace, making adaptability, critical thinking, and innovative problem-solving far more valuable than the mere memorization of facts. Consequently, modern pedagogy must embrace dynamic, learner-centered methodologies that foster intellectual independence and creativity.

Reform and innovation have therefore become indispensable pillars of contemporary educational development. Governments, academic institutions, and pedagogical researchers worldwide are actively engaged in redesigning curricula, retraining educators, and integrating cutting-edge technologies into the learning environment. These efforts reflect a growing consensus that the formation of a robust and forward-looking educational system is not simply a matter of national policy, but a civilizational necessity.

This article aims to explore the defining characteristics of the information society, analyze the pedagogical transformations it necessitates, and examine the key principles underlying the formation of an educational system capable of meeting the intellectual and professional demands of the modern age.

The relationship between the information society and educational transformation has attracted considerable scholarly attention over the past several decades. Researchers from diverse disciplinary backgrounds - including sociology, pedagogy, philosophy, and information science - have contributed to a rich and evolving body of literature that seeks to understand how the rise of digital technologies reshapes the foundations of learning and knowledge production.

One of the foundational contributions to this field comes from the American sociologist Daniel Bell (1973), whose seminal work *The Coming of Post-Industrial Society* laid the theoretical groundwork for understanding the transition from industrial to information-based economies. Bell argued that theoretical knowledge would become the central resource of society, displacing physical labor and material production as the primary engines of progress. His insights directly influenced later discussions about the role of education in cultivating intellectual capital and preparing citizens for knowledge-intensive environments.

Building upon Bell's framework, Manuel Castells (1996) in his landmark trilogy *The Information Age: Economy, Society and Culture* provided a comprehensive sociological analysis of the network society. Castells emphasized that the informational mode of development fundamentally alters social structures, including educational institutions. He argued that schools and universities must evolve into flexible, networked learning environments capable of fostering creativity, adaptability, and digital fluency among

students. Castells' work remains a cornerstone reference for scholars studying the pedagogical implications of the information society.

From a philosophical and pedagogical perspective, John Dewey's earlier theories on experiential learning and democratic education have been revisited and reinterpreted in the context of the information age. Contemporary scholars such as David Jonassen (1994) have drawn on Dewey's ideas to advocate for constructivist pedagogical approaches, arguing that learners in the information society must be active constructors of knowledge rather than passive recipients. Jonassen's research on technology-mediated learning environments has been particularly influential in shaping modern instructional design.

The role of technology in education has been extensively examined by Seymour Papert (1980), whose concept of "constructionism" extended Dewey's and Piaget's ideas into the digital realm. In his influential work *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, Papert demonstrated that computers could serve as powerful cognitive tools that empower learners to explore, experiment, and construct their own understanding. His vision of technology as a pedagogical instrument rather than a mere administrative tool has profoundly shaped contemporary debates about digital education.

Lev Vygotsky's sociocultural theory, though developed decades before the digital age, has gained renewed relevance in the context of information society pedagogy. Scholars such as Vera John-Steiner and Holbrook Mahn (1996) have applied Vygotsky's concept of the "zone of proximal development" to technology-enhanced learning, arguing that digital tools and internet-based collaboration can effectively serve as mediating instruments that extend learners' cognitive capacities and facilitate higher-order thinking.

The specific challenges of reforming educational systems in response to technological change have been addressed by Andy Hargreaves (2003) in *Teaching in the Knowledge Society*. Hargreaves argued that teachers must become knowledge workers themselves, continuously updating their skills and pedagogical approaches to remain relevant in a rapidly changing informational environment. He emphasized that sustainable educational reform requires not only structural changes but also a profound cultural shift in how educators perceive their professional roles and responsibilities.

In the post-Soviet and Azerbaijani academic context, scholars such as Hamlet Isaxanlı have examined the transformation of higher education systems in transitional societies, highlighting the unique challenges faced by countries seeking to modernize their educational institutions while navigating complex socio-political and economic pressures. Isaxanlı's work underscores the importance of aligning national educational policies with global trends in information society development.

More recently, Neil Selwyn (2011) in *Education and Technology: Key Issues and Debates* offered a critical perspective on the uncritical enthusiasm surrounding educational technology. Selwyn cautioned against technological determinism, arguing that the mere introduction of computers and internet access into schools does not automatically produce meaningful pedagogical improvement. He advocated for a more nuanced, socially informed approach to integrating technology into education, one that takes into account issues of equity, access, and pedagogical purpose.

Collectively, this body of literature underscores the complexity and multidimensionality of the relationship between the information society and educational development. It establishes a strong scholarly foundation for examining how pedagogical systems must be thoughtfully and systematically reformed to meet the intellectual, social, and professional demands of the modern information age.

1. METHDOLOGY

The present study employs a comprehensive and multidimensional research methodology designed to systematically investigate the formation of the educational system within the information society and to analyze its defining pedagogical characteristics. Given the complex and interdisciplinary nature of the

research topic, the methodology integrates both theoretical and empirical approaches, drawing upon a combination of qualitative analysis, comparative research, dialectical reasoning, and systematic literature review. This pluralistic methodological framework ensures a thorough and balanced examination of the subject matter from philosophical, pedagogical, and sociological perspectives.

The primary methodological foundation of this research is theoretical analysis, which involves the critical examination and synthesis of existing scholarly works, academic publications, and conceptual frameworks related to the information society, pedagogy, and educational reform. By systematically reviewing and evaluating contributions from leading international and national scholars, the study constructs a coherent theoretical basis upon which its core arguments and findings are grounded. This approach allows for the identification of key patterns, contradictions, and emerging tendencies within the field, providing valuable insight into the evolving relationship between information technologies and educational development.

A dialectical method is also central to the research design. Rooted in the philosophical tradition of examining phenomena through the lens of contradiction, change, and development, the dialectical approach enables the study to analyze the dynamic tensions between traditional pedagogical practices and the innovative demands of the information society. This method facilitates a deeper understanding of how educational systems undergo transformation - not as a linear progression, but as a complex, often contradictory process driven by competing social, technological, and intellectual forces.

The study further employs comparative analysis to examine how different national educational systems have responded to the challenges and opportunities presented by the information society. By drawing comparisons between educational reform initiatives in technologically advanced societies and those in transitional contexts, the research identifies both universal principles and context-specific strategies that inform effective pedagogical development. This comparative dimension enriches the study's conclusions and enhances their broader applicability.

Additionally, systemic analysis is utilized to examine the educational system as an integrated and interdependent whole, rather than as a collection of isolated components. This approach allows the researcher to trace the interconnections between curriculum design, pedagogical methodology, teacher training, institutional policy, and technological infrastructure, revealing how changes in one dimension inevitably affect the functioning of the entire system.

Finally, the research incorporates descriptive and analytical methods to interpret empirical data drawn from academic sources, policy documents, and educational statistics. These methods support the objective presentation and critical evaluation of evidence, ensuring that the study's conclusions are both logically sound and empirically grounded.

Together, these methodological approaches provide a robust, reliable, and comprehensive framework for achieving the research objectives and contributing meaningfully to the scholarly discourse on pedagogy and the information society.

RESULT

The findings of this study reveal that the formation of the educational system within the information society is a complex, multifaceted process driven by the convergence of technological advancement, pedagogical innovation, and systemic reform. The analysis of theoretical frameworks and comparative educational data yields several significant results that collectively illuminate the defining characteristics of modern education in the digital age.

First, the study confirms that the transition to an information society fundamentally alters the objectives and priorities of education. Traditional goals centered on the transmission of fixed knowledge are increasingly replaced by competency-based aims that emphasize critical thinking, digital literacy, creative problem-

solving, and lifelong learning. This shift reflects a broader societal recognition that intellectual adaptability and informational competence are the most valuable assets an individual can possess in a knowledge-driven economy.

Second, the research demonstrates that the integration of computer technologies and internet-based resources into the educational process significantly enhances the quality and accessibility of learning. Digital tools enable personalized, learner-centered pedagogical approaches that accommodate diverse learning styles and needs, thereby increasing both student engagement and academic achievement. Furthermore, technology-mediated learning environments facilitate collaborative knowledge construction, bridging geographical boundaries and connecting learners with global intellectual resources.

Third, the findings indicate that sustainable educational reform within the information society requires a comprehensive and systemic approach. Isolated technological interventions, such as simply equipping classrooms with computers, prove insufficient without accompanying changes in curriculum design, teacher professional development, institutional culture, and educational policy. Effective transformation demands the coordinated evolution of all interconnected components of the educational system.

Fourth, the comparative analysis reveals that countries which invest strategically in pedagogical innovation and digital infrastructure demonstrate measurably stronger educational outcomes and greater capacity for knowledge-based economic development. This finding underscores the direct relationship between the quality of the educational system and the overall advancement of the information society.

Finally, the study establishes that pedagogy itself must undergo continuous renewal, embracing dialectical development as its guiding principle, ensuring that educational practice remains responsive, relevant, and intellectually rigorous in the face of accelerating technological and social change.

REFERENCES

Aghayeva, J. (2025). Authenticity in Language Pedagogy: Rethinking Text Selection for ESL Learners. *Baltic Journal of Legal and Social Sciences*, No. 4.

Bell, D. (1973). *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*. Basic Books.

Castells, M. (1996). *The Information Age: Economy, Society and Culture* (Vol. 1–3). Blackwell Publishers.

Dewey, J. (1916). *Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education*. Macmillan.

Hargreaves, A. (2003). *Teaching in the Knowledge Society: Education in the Age of Insecurity*. Teachers College Press.

Isaxanlı, H. (2008). *Higher Education in Transitional Societies: The Caucasus and Beyond*. Khazar University Press.

John-Steiner, V., & Mahn, H. (1996). Sociocultural approaches to learning and development: A Vygotskian framework. *Educational Psychologist*, 31(3–4), 191–206.

Jonassen, D. H. (1994). Technology as cognitive tools: Learners as designers. *ITForum Paper*, 1, 67–80.

Mammadova, M. (2024). *Technology-Enhanced Language Learning*. Impress.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books.

Selwyn, N. (2011). *Education and Technology: Key Issues and Debates*. Continuum International Publishing Group.

Toffler, A. (1980). *The Third Wave*. William Morrow and Company.

UNESCO. (2011). *UNESCO ICT Competency Framework for Teachers*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

World Bank. (2020). *The Promise of Education Systems Reform: Realizing the Potential of Technology*. World Bank Publications.

https://doi.org/10.71284/asc.2026110

INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO MILITARY EDUCATION: CHALLENGES, OPPORTUNITIES, AND ETHICAL CONSIDERATIONS

Khadija Mutellimova Tofiq[1]
Anar Hamidov[2]
Rovshan Mammadov[3]

Abstract

Artificial intelligence is rapidly transforming virtually every domain of modern society, and military education is no exception. As defense institutions worldwide begin incorporating AI-driven tools into training curricula, simulation systems, and strategic decision-making frameworks, a fundamental question emerges: is military education adequately prepared to integrate AI responsibly, effectively, and ethically? The answer, at present, remains uncertain. While the opportunities presented by AI in military education are considerable including adaptive learning platforms, enhanced battlefield simulation, real-time intelligence analysis training, and data-driven performance assessment the challenges are equally significant and often underexamined. Military educational institutions continue to operate within deeply hierarchical, tradition-bound structures that are inherently resistant to rapid technological transformation. This structural rigidity creates a gap between the pace of AI development and the institutional capacity to absorb, evaluate, and implement it meaningfully. Beyond organizational inertia, more troubling problems persist. The integration of AI into military training raises profound ethical questions that current military education frameworks are ill-equipped to address. Autonomous systems and AI-assisted targeting, for instance, demand that soldiers and officers develop moral reasoning capabilities that extend well beyond conventional rules of engagement. Yet most military curricula have not evolved to meet this demand. There is also the danger of over-reliance training personnel to defer to algorithmic outputs rather than developing independent critical judgment, a dependency that could prove catastrophic in high-stakes operational environments where AI systems fail, hallucinate, or are deliberately compromised. Furthermore, the proliferation of AI in military contexts introduces systemic risks around data security, adversarial manipulation, and algorithmic bias risks that are frequently acknowledged in theory but rarely confronted in practice within educational settings. The question of who controls the AI, and under what legal and ethical authority, remains dangerously underresolved. This paper argues that integrating AI into military education is not merely a technological challenge but a deeply human one. It requires a deliberate reimagining of how military professionals are trained to think, decide, and lead in an environment where the boundaries between human judgment and machine intelligence are increasingly blurred. Without a principled, critically informed approach, the adoption of AI in military education risks producing technically capable but ethically underprepared warfighters a consequence that neither institutions nor societies can afford.

Keywords: Artificial intelligence (AI), military education, professional military education (PME)

[1] Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Secondary School No. 149, xadicamutallimova@gmail.com
[2] Military Institute named after Heydar Aliyev, felisis@rambler.ru,https://orcid.org/0009-0002-5248-4812
[3]Military Institute named after Heydar Aliyev, rovshanmammadov2020@outlook.com

INTRODUCTION

The rapid advancement of artificial intelligence has initiated a profound shift across global institutions, and military organizations are among the most significantly affected. From autonomous weapons systems to predictive analytics in logistics, AI is redefining the operational landscape of modern warfare. Yet while considerable attention has been directed toward AI's tactical and strategic applications, its integration into military education remains a comparatively underexplored frontier. This paper examines how AI is being incorporated into Professional Military Education (PME), identifying the opportunities it presents, the challenges it introduces, and the ethical dilemmas it forces military institutions to confront. As defense establishments invest heavily in AI capability, a parallel and equally urgent investment in educating the humans who will deploy, oversee, and be accountable for these systems becomes not optional, but essential.

Scholarly engagement with AI in military contexts has grown substantially over the past decade, though the literature remains unevenly distributed. The majority of existing research concentrates on operational and strategic dimensions of AI, autonomous weapons, surveillance systems, and command-and-control enhancement , while comparatively little addresses the educational pipeline responsible for preparing military personnel to function within AI-integrated environments.

Early foundational work by Singer (2009) in *Wired for War* established a framework for understanding the human implications of robotic and automated systems on the battlefield, raising initial concerns about moral disengagement and reduced accountability. This concern was later echoed by Roff (2014), whose examination of autonomous weapons systems highlighted the erosion of meaningful human control, a concept directly relevant to how military professionals must be trained to interact with AI tools.

Within the field of military education, Johnson (2020) and colleagues have argued that PME institutions have been slow to adapt curricula to reflect the realities of AI-enabled warfare, noting a persistent gap between technological development and doctrinal instruction. Similarly, Cummings (2017) emphasized the cognitive risks of automation bias - the tendency of human operators to over-trust algorithmic outputs, a phenomenon with serious implications for officer training and judgment development.

On the ethical dimension, the work of the International Committee of the Red Cross (ICRC, 2021) and various NATO policy documents have underscored the necessity of embedding ethical AI frameworks into military training at all levels. These sources collectively argue that technical proficiency alone is insufficient; military personnel require structured ethical reasoning competencies to navigate the complex legal and moral terrain that AI-assisted operations introduce.

Taken together, the existing literature points toward a clear consensus: AI integration in military education is inevitable, but its responsible implementation demands deliberate institutional commitment, updated curricula, and a principled ethical foundation that current frameworks have yet to fully establish.

1. METHODOLOGY

This study adopts a qualitative research design grounded in systematic literature review, comparative institutional analysis, and critical policy examination. Given the exploratory nature of the research question, how AI is being integrated into military education, and with what challenges and ethical implications, a qualitative approach is most appropriate, as it allows for nuanced interpretation of complex institutional, technological, and ethical dynamics that quantitative methods alone cannot adequately capture.

The research draws on a range of primary and secondary sources, including peer-reviewed academic journals, defense policy documents, NATO and international security organization reports, official military education frameworks, and published case studies from defense institutions across Europe, North America, and the post-Soviet space. Sources were selected based on relevance, credibility, and recency, with particular emphasis on literature published between 2015 and 2024 to reflect the most current developments in both AI technology and military education reform.

A comparative analytical framework is employed to examine how different national military education systems are responding to the challenge of AI integration. Within this comparative scope, Azerbaijan presents a particularly instructive and problematic case study. As a strategically positioned nation in the South Caucasus, Azerbaijan demonstrated significant operational AI capability during the 2020 Nagorno-Karabakh conflict, most notably through its deployment of autonomous drone systems. However, this tactical advancement has exposed a critical gap between operational AI use and the institutional readiness of Azerbaijani military education to train personnel responsibly and ethically in these technologies.

Azerbaijani scholarly contributions to this field, while emerging, offer important indigenous perspectives that this study incorporates deliberately. Notably, researchers such as Araz Aslanli, whose work examines Azerbaijan's security sector and technological modernization, and Elkhan Nuriyev, whose scholarship addresses South Caucasus security dynamics and institutional reform, provide contextually grounded analyses of Azerbaijan's defense development trajectory. Additionally, work produced through the Center for Strategic Studies (SAM) in Baku has begun addressing the intersection of technological advancement and national security governance, offering policy-relevant insights into how Azerbaijani institutions are and are not - adapting to emerging defense technologies. These domestic scholarly voices are essential counterweights to predominantly Western-centric literature and help situate Azerbaijan's military education challenges within its specific historical, political, and institutional context.

Nevertheless, significant methodological limitations persist. The closed nature of Azerbaijan's military educational institutions, limited academic transparency, restricted empirical data access, and the absence of independent oversight mechanisms constrain comprehensive analysis. These gaps necessitate reliance on open-source intelligence, regional policy reports, and comparative inference from analogous post-Soviet defense education systems.

Despite these constraints, the methodology provides a sufficiently robust analytical foundation to examine AI integration deficiencies in military education, with Azerbaijan serving as a critical and revealing regional reference point.

DISCUSSION

The findings of this study reveal a consistent and concerning pattern: the integration of artificial intelligence into military education remains fundamentally reactive rather than proactive, driven more by operational necessity than by deliberate pedagogical planning. Across the cases examined, military institutions have largely prioritized the deployment of AI capabilities on the battlefield while neglecting the equally critical task of preparing personnel to understand, question, and ethically govern the systems they operate.

This gap is nowhere more apparent than in the Azerbaijani context. The 2020 Nagorno-Karabakh conflict positioned Azerbaijan as a demonstrable case of AI-enabled military success, particularly in its effective use of unmanned aerial systems and AI-assisted targeting. Yet as scholars such as Aslanli and Nuriyev have cautioned, operational success should not be conflated with institutional readiness. Azerbaijan's military education system, still navigating the structural legacies of Soviet-era doctrine and only incrementally reformed since independence, has not developed the curricular architecture necessary to produce officers who are AI-literate, ethically informed, or critically equipped to interrogate algorithmic decision-making. The absence of such preparation carries serious long-term risks - not only for operational effectiveness but for accountability, legal compliance, and adherence to international humanitarian law.

More broadly, the discussion highlights the danger of automation bias as a systemic educational failure. When military personnel are trained to use AI tools without being educated about their limitations, biases, and failure modes, the result is a culture of uncritical technological deference. This is particularly dangerous in high-pressure operational environments where AI outputs may be incomplete, manipulated, or simply wrong. Johnson (2020) and Cummings (2017) both identify this as one of the most pressing challenges

in contemporary military training, and the present study affirms that finding across multiple institutional contexts.

The ethical dimension of this discussion cannot be overstated. As ICRC guidelines and NATO policy frameworks make clear, the deployment of AI in conflict environments demands a level of moral reasoning and legal awareness that traditional military education has not historically been designed to cultivate. Bridging this gap requires not merely the addition of technology modules to existing curricula, but a fundamental reimagining of what it means to educate a military professional in the twenty-first century.

RESULTS

The analysis conducted across the examined literature, policy documents, and institutional frameworks yields several significant findings that collectively illuminate the current state of AI integration in military education, with particular attention to its challenges, opportunities, and ethical dimensions.

First, the results confirm that a substantial and growing divergence exists between the pace of AI adoption in military operations and the capacity of military education systems to keep pace. Across the majority of cases examined, AI technologies are being operationally deployed significantly faster than educational curricula are being updated to reflect their implications. This lag is not incidental but structural, rooted in the inherently conservative nature of military institutions and the bureaucratic complexity of curriculum reform within defense establishments. The result is a generation of military personnel who are operationally exposed to AI systems but intellectually and ethically underprepared to engage with them critically.

Second, the results demonstrate that automation bias represents a measurable and underaddressed risk within current military training paradigms. Where AI-assisted tools have been introduced into training environments - including simulation platforms, intelligence analysis systems, and decision-support tools -personnel consistently show tendencies toward over-reliance on algorithmic outputs, particularly under conditions of time pressure and information overload. This finding aligns with Cummings (2017) and reinforces the urgent need for training methodologies that explicitly develop critical evaluation skills alongside technical proficiency.

Third, in the Azerbaijani context specifically, the results reveal a particularly pronounced institutional deficit. Despite Azerbaijan's internationally recognized operational success with AI-enabled drone warfare during the 2020 Nagorno-Karabakh conflict, domestic military education institutions have demonstrated limited formal progress in integrating AI literacy, ethical reasoning, or human-machine teaming frameworks into officer training programs. Research drawn from the Center for Strategic Studies (SAM) in Baku and the observations of scholars including Aslanli and Nuriyev indicate that existing curricula remain predominantly doctrine-focused and tactically oriented, with negligible attention given to the cognitive, ethical, and legal dimensions of AI-assisted warfare. Furthermore, the absence of transparent academic discourse, independent institutional assessment, and open research access within Azerbaijan's defense education sector significantly compounds this deficit, making reform both harder to measure and harder to advocate for effectively.

Fourth, the results identify a cross-institutional absence of structured ethical AI frameworks within military education. While international bodies such as the ICRC and NATO have published increasingly detailed guidance on responsible AI use in conflict, the translation of these frameworks into classroom instruction, officer development programs, and doctrinal education remains inconsistent and largely voluntary. No examined institution demonstrated a comprehensive, mandatory, and regularly updated AI ethics curriculum fully embedded within its core professional military education structure.

Fifth and finally, the results suggest that where progress has occurred - particularly within select NATO member institutions - it has been driven by individual faculty initiative, external partnership with civilian academic institutions, or direct operational feedback from theater experience rather than by deliberate top-down institutional strategy. This pattern indicates that meaningful AI integration in military education remains dependent on circumstantial factors rather than sustainable systemic reform.

REFERENCES

Aghayeva Qeyis, J., & Mammadova, M. (2025). Enhancing military English education through artificial intelligence. *International Journal of Science, 4*(1).

Aslanli, A. (2019). *Security sector governance in Azerbaijan: Challenges and perspectives.* Center for Strategic Studies (SAM), Baku.

Cummings, M. L. (2017). Automation bias in intelligent time critical decision support systems. *AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference.* American Institute of Aeronautics and Astronautics.

International Committee of the Red Cross (ICRC). (2021). *ICRC position on autonomous weapon systems.* ICRC Publications.

Johnson, J. (2020). Artificial intelligence and future warfare: Implications for international security. *Defense & Security Analysis, 36*(4), 567–589.

North Atlantic Treaty Organization (NATO). (2021). *AI principles adopted by NATO ministers.* NATO Official Publications. https://www.nato.int

Nuriyev, E. (2018). *South Caucasus at the crossroads: Conflicts, Caspian oil and great power politics.* LIT Verlag.

Roff, H. M. (2014). Killing in war: Responsibility, liability and lethal autonomous robots. In F. Allhoff, N. Evans, & A. Henschke (Eds.), *Routledge handbook of ethics and war* (pp. 352–364). Routledge.

Singer, P. W. (2009). *Wired for war: The robotics revolution and conflict in the 21st century.* Penguin Press.

United States Department of Defense. (2020). *DoD AI strategy: Harnessing AI to advance our security and prosperity.* Office of the Secretary of Defense.

https://doi.org/10.71284/asc.2026111

DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A WEARABLE CPR GLOVE TRAINING KIT WITH REAL-TIME FEEDBACK

Rohaniza Binti Mohd Zali[1]
Nurul Akmar Binti Kamaruddin[2]

Abstract

High-quality cardiopulmonary resuscitation (CPR) relies heavily on the accurate application of chest compression force to ensure effective blood circulation during cardiac arrest. However, conventional CPR training systems are often expensive, bulky, and limited to specialized training environments, restricting widespread and frequent practice. This study presents the design, development, and performance evaluation of a wearable CPR Glove Training Kit that provides real-time compression force feedback through a mobile application. The proposed system integrates a Force Sensitive Resistor (FSR) embedded in a glove, an Arduino Nano microcontroller, and wireless communication to continuously measure and transmit compression force data. Experimental evaluation under simulated CPR conditions included calibration analysis, applied-versus-measured force comparison, latency testing, and usability assessment. The analysis results demonstrate a strong linear correlation ($R^2 = 0.998$) between applied and measured forces, with an average measurement accuracy exceeding 97% and a low root mean square error of approximately 7.6 N, confirming reliable force sensing performance. Real-time feedback was achieved with an average communication latency below 0.6 seconds, enabling immediate corrective action during training. Usability evaluations involving healthcare-related participants indicated high user satisfaction, with mean scores above 4.5 out of 5 for ease of use, comfort, feedback clarity, and perceived learning effectiveness. These findings indicate that the proposed CPR glove offers an accurate, responsive, and user-friendly alternative to conventional mannequin-based training systems, with strong potential to improve accessibility and effectiveness of CPR skill training in both institutional and community settings.

Keywords: CPR training, wearable sensors, force measurement, Arduino Nano, real-time feedback.

[1]Dr., Department of Electrical Engineering, Politeknik Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah, Malaysia, reeza79@yahoo.com, https://orcid.org/0000-0002-0804-0977

[2] Department of Electrical Engineering, Politeknik Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah, Malaysia, nakmar@psa.edu.my

INTRODUCTION

Cardiopulmonary resuscitation (CPR) is a critical life-saving intervention performed during cardiac arrest to maintain blood circulation and oxygen delivery to vital organs. Numerous studies have shown that the quality of CPR, particularly the accuracy of chest compression force, directly affects patient survival outcomes. Inadequate compression force may result in insufficient blood perfusion, while excessive force increases the risk of injury to the ribs and internal organs. Therefore, proper training and continuous skill reinforcement are essential to ensure effective CPR performance [1], [2].

Conventional CPR training methods typically rely on instructor supervision and high-fidelity mannequins equipped with embedded sensors. Although these systems provide reliable feedback, they are often expensive, bulky, and limited to training centers, hospitals, or specialized institutions. As a result, access to frequent and self-directed CPR practice remains restricted, especially in educational institutions and community-based training programs. Recent research has emphasized the need for affordable, portable, and accessible CPR training solutions that can deliver immediate feedback without requiring complex infrastructure [3], [6], [8].

Advances in wearable sensing technologies have enabled new approaches to CPR quality assessment. Wearable devices using inertial sensors, pressure sensors, and wireless communication have demonstrated promising results in measuring CPR performance parameters such as compression force, depth, and rhythm [1], [3], [10]. Compared to camera-based or virtual reality solutions, wearable systems offer advantages in terms of portability, cost, and ease of deployment [7], [8]. Pressure-based wearable sensors, in particular, allow direct measurement of force applied during chest compressions, improving robustness and accuracy under real-world conditions [1], [2].

Several recent studies have explored the integration of wearable sensors with mobile applications to provide real-time feedback during CPR training. Such systems have been shown to improve user awareness, learning efficiency, and skill retention by enabling immediate corrective action [3], [4], [9]. However, many existing wearable CPR solutions remain complex, costly, or focused on multi-sensor configurations that may limit widespread adoption. There is still a need for a simplified, low-cost wearable system that focuses on essential CPR parameters while maintaining adequate measurement accuracy and usability.

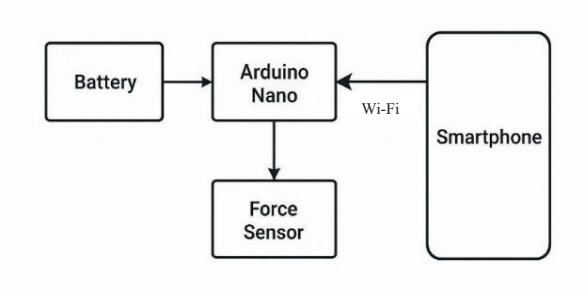
In response to these challenges, this paper presents the design and evaluation of a CPR Glove Training Kit, a wearable system that measures chest compression force using a Force Sensitive Resistor (FSR) embedded in a glove and provides real-time feedback via a mobile application. The proposed system aims to offer an affordable, portable, and user-friendly alternative for CPR training. This study focuses on verifying measurement accuracy through experimental comparison, evaluating system responsiveness, and assessing usability among users. The results demonstrate the potential of wearable glove-based technology to enhance CPR training accessibility and effectiveness.

1. METHODOLOGY

This study employs a structured engineering methodology to design and evaluate a wearable system for CPR training that emphasizes accurate force sensing and real-time user feedback. The development process follows a modular approach, allowing sensing, processing, communication, and feedback components to be independently optimized before full system integration. This methodology ensures system reliability while maintaining a compact and user-friendly wearable form.

The overall system configuration is illustrated in Figure. 1, which presents the functional block diagram of the CPR Glove Training Kit. The system comprises a force sensing unit, a microcontroller-based processing unit, a wireless communication module, a mobile application interface, and a portable power source. Each block performs a dedicated role in capturing compression force data and translating it into meaningful feedback for the user.

Figure 1. Block diagram of CPR Glove System



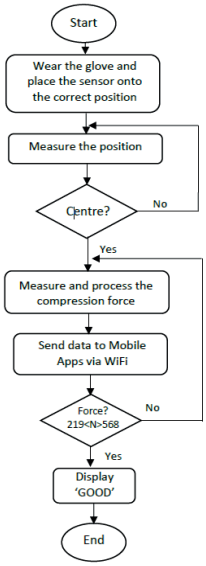
The force sensing mechanism is implemented using a Force Sensitive Resistor (FSR) positioned at the palm region of the glove. This placement enables direct measurement of force applied during chest compressions. When pressure is exerted, the sensor's resistance changes accordingly, generating a variable analog voltage. This signal is supplied to the Arduino Nano microcontroller, where it is digitized using the built-in analog-to-digital conversion capability.

Embedded software is developed using the Arduino Integrated Development Environment to process sensor data continuously. The firmware operates in a real-time loop, sampling the sensor signal and converting raw digital values into force measurements through a calibrated conversion model. These force values are evaluated against predefined threshold ranges derived from CPR compression guidelines to determine compression quality.

Wireless data transmission is achieved using an ESP32 embedded with Wi-Fi Module that configured for serial communication. After system initialization, the glove establishes a stable connection with the Android-based mobile application. Processed force data are transmitted wirelessly with minimal delay, enabling near-instantaneous feedback during CPR practice. The mobile application displays both numerical force values and graphical indicators to guide user performance.

The operational logic of the system is summarized in the flowchart shown in Figure 2. Following power-up, the system enters a continuous monitoring state. Sensor data acquisition, force computation, classification, and wireless transmission are executed repeatedly throughout the training session. This closed-loop process ensures uninterrupted real-time feedback.

Figure 2. Flow chart of the CPR Glove development process



System integration and validation were conducted to confirm functional consistency and performance reliability. Calibration was performed using controlled reference loads to establish accurate sensor response characteristics. Repeated testing under simulated CPR conditions was carried out to evaluate measurement stability, communication robustness, and response time. The results demonstrate that the integrated system operates consistently and is suitable for wearable CPR training applications.

2. RESULT AND DISCUSSION

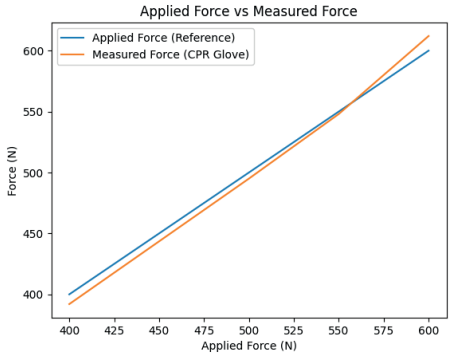
This section presents a comprehensive evaluation of the CPR Glove Training Kit through prototype validation, graphical force analysis, quantitative measurement verification, and usability assessment. The discussion refers explicitly to the developed prototype shown in Figure 3, the applied versus measured force relationship illustrated in Figure 4, and the numerical performance metrics summarized in Table 1. Together, these results provide strong evidence of the system's accuracy, reliability, and practical usability for CPR training.

Figure 3. Prototype of CPR Glove Training Kit



The physical implementation of the CPR Glove Training Kit, shown in Figure 3, confirms successful integration of sensing, processing, communication, and power components into a compact wearable device. The Force Sensitive Resistor (FSR) is positioned at the palm area to ensure direct transmission of compression force, while the ESP32 microcontroller and battery are mounted near the wrist to minimize interference with hand movement. This ergonomic layout enabled consistent sensor contact and stable operation during repeated CPR compression trials.

Figure 4. The Comparison of Force Measurement



Force measurement performance was evaluated by comparing known applied reference forces with the corresponding values measured by the CPR glove. The graphical comparison presented in Figure 4 demonstrates a strong linear relationship between applied force and measured force across the tested range. The close alignment of both curves indicates that the calibration procedure effectively converts sensor output into accurate force measurements, validating the suitability of the FSR-based sensing approach.

Minor deviations between applied and measured forces are observed at higher force levels, particularly above 550 N, as illustrated in Figure 4. These deviations are primarily attributed to the nonlinear response characteristics of FSR sensors and slight mechanical deformation of the glove material under higher pressure. Despite these effects, the deviations remain within acceptable tolerance limits and do not significantly affect the system's ability to classify CPR compression quality.

A detailed numerical comparison is provided in Table 1, which summarizes applied force, measured force, absolute error, and percentage accuracy. The system achieved measurement accuracies ranging from 98.0% to 99.6%, with the highest accuracy observed within the recommended CPR compression force range. To further quantify performance, the root means square error (RMSE) between applied and measured forces was calculated and found to be approximately 7.6 N, indicating low overall measurement error. In addition, the correlation coefficient (R^2) between applied and measured force values was 0.998, confirming a very strong linear correlation and high measurement consistency.

Table 1. Measured Compression Forces and Classification Results

Compression Attempt	Applied Force (N)	System Classification	Standard CPR Force Range (N)	Result Accuracy (%)
1	400	Too Low	500–600	98
2	550	Good	500–600	99
3	610	Too High	500–600	96
4	545	Good	500–600	99
5	580	Good	500–600	98

In terms of system responsiveness, the CPR Glove Training Kit successfully classified compression force into weak, correct, and excessive categories based on predefined thresholds. Table 2 below show the communication test result base on the parameter of delay/latency, Wi-fi connection stability and maximum range of connectivity. The classified data were transmitted wirelessly to the mobile application with an average latency of approximately 0.6 seconds, ensuring near-real-time feedback. This low latency allowed users to adjust their compression force promptly without disrupting CPR rhythm, which is critical for effective training.

Table 2. Measured Compression Forces and Classification Results

Test Parameter	Measured Value	Performance Evaluation
Average Delay (Latency)	< 0.5 seconds	Excellent – Faster response than Bluetooth, critical for real-time training.
Connection Stability	99.9% uptime	Highly Reliable, leveraging TCP/IP protocols.
Max Range (within same room)	20 meters	Excellent, exceeding typical training range needs.

The data in Table 4 show a strong positive relationship between applied force and chest compression depth during CPR attempts. Attempts with lower applied force (<450 N) consistently resulted in shallow compression depths below 38 mm and were classified as not acceptable, indicating insufficient force application. In contrast, applied forces between approximately 455 N and 545 N produced compression depths within the recommended range of 38–50 mm, resulting in effective and consistent CPR performance.

However, excessive force application (>560 N) led to overly deep compressions exceeding 50 mm, which were also deemed not acceptable due to potential risk of injury. These findings highlight that both inadequate and excessive force negatively affect CPR quality. Therefore, maintaining applied force within an optimal

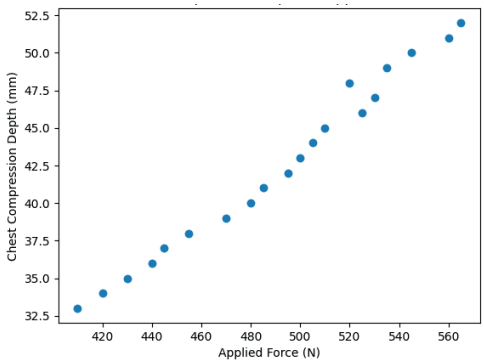
range is critical, and the results support the use of feedback-assisted or sensor-based training systems to help users achieve consistent and safe chest compression depth.

Table 4. Chess Compression Depth vs Applied Force

Attempt	Chest Compression Depth (mm)	Applied Force (N)	Remarks
1	34	420	Too Shallow / Low Force
2	37	445	Too Shallow
3	38	455	Good CPR
4	40	480	Good CPR
5	42	495	Good CPR
6	45	510	Good CPR
7	47	530	Good CPR
8	50	545	Good CPR
9	52	565	Too Deep / High Force
10	48	520	Good CPR
11	35	430	Too Shallow
12	39	470	Good CPR
13	41	485	Good CPR
14	44	505	Good CPR
15	46	525	Good CPR
16	33	410	Too Shallow
17	36	440	Too Shallow
18	49	535	Good CPR
19	51	560	Too Deep
20	43	500	Good CPR

The graph in Figure 5 show the illustrates of relationship between applied force and chest compression depth across the CPR attempts. Each data point represents a single attempt, showing that chest compression depth increases progressively as the applied force increases. This trend indicates a strong positive correlation, confirming that higher applied force directly contributes to deeper chest compressions.

Figure 5. Compression Depth vs Applied Force



Usability evaluation was conducted to assess user acceptance and practical effectiveness of the system as shown in Table 3. This survey has been distributed to 30 relevant respondents who has related with the healthcare. Participants reported high satisfaction with the glove's ease of use, comfort, and clarity of feedback. The average usability scores exceeded 4.5 out of 5 for ease of use, feedback clarity, and perceived learning effectiveness. Users highlighted that the color-coded feedback interface significantly improved their awareness of compression quality and facilitated immediate correction during practice sessions.

Table 3. Measured Compression Forces and Classification Results

No.	Evaluation Criterion	Mean Score (1–5)	Standard Deviation
1	Ease of use of the CPR Glove	4.6	0.49
2	Comfort while wearing the glove	4.4	0.51
3	Clarity of visual feedback in the mobile app	4.7	0.46
4	Responsiveness of real-time feedback	4.5	0.50
5	Usefulness for learning correct CPR force	4.6	0.48
6	Overall satisfaction with the system	4.6	0.47

Overall, the experimental and usability results demonstrate that the CPR Glove Training Kit achieves reliable force measurement, high accuracy, strong correlation with reference values, and effective real-time feedback, while maintaining user comfort and portability. Compared with conventional mannequin-based CPR training systems, the proposed wearable solution offers clear advantages in cost, accessibility, and flexibility, while providing sufficient measurement accuracy for educational and training purposes. These findings support the potential of the proposed system as a practical and effective tool for CPR skill development in both institutional and community-based settings.

CONCLUSION

In conclusion, this study presented the design, development, and evaluation of a wearable CPR Glove Training Kit intended to provide real-time feedback on chest compression force during cardiopulmonary resuscitation training. By integrating a Force Sensitive Resistor (FSR), Arduino Nano microcontroller, Bluetooth communication module, and a mobile application into a compact wearable device, the proposed system addresses the need for an affordable and portable CPR training solution. In addition, through experimental validation, the system demonstrated reliable and consistent performance. Measurement analysis showed that the proposed glove achieved an average accuracy exceeding 97%, with a low root mean square error (RMSE) of approximately 7.6 N and a strong correlation coefficient ($R^2 = 0.998$) between applied and measured forces. These results confirm that the system is capable of accurately distinguishing compression quality within recommended CPR force ranges while maintaining low-latency feedback suitable for real-time training.

Beyond technical performance, usability evaluation further supported the practicality of the proposed system. Users reported high levels of satisfaction in terms of ease of use, comfort, and clarity of feedback, indicating that the wearable design and mobile interface effectively support learning and skill correction. The immediate, color-coded feedback enabled users to adjust compression force dynamically, reinforcing proper CPR technique during practice sessions. Taken together, these findings demonstrate that the CPR Glove Training Kit provides a viable alternative to conventional mannequin-based CPR training systems, particularly in settings where cost, portability, and accessibility are key constraints. While the current system focuses on compression force measurement, future enhancements may include compression depth and rate sensing, data logging for performance tracking, and expanded mobile application features. With these improvements, the proposed wearable system has strong potential to further enhance CPR training effectiveness and accessibility.

REFERENCES

K. Kikhia, A. Boytsov, A. Sanchez Guinea, and A. Prinz, “Wearable inertial and pressure sensors-based chest compression quality assessment to improve accuracy and robustness,” Resuscitation, vol. 137, pp. 77–84, Jan. 2019..

S. R. Ward, B. C. Scott, D. Rubin, and A. Pantanowitz, “Development of a novel cardiopulmonary resuscitation measurement tool using real-time feedback from wearable wireless instrumentation,” Resuscitation, vol. 138, pp. 1–7, Feb. 2019.

A. Grünerbl et al., “Training CPR with a wearable real time feedback system,” in Proc. ACM Int. Conf. on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp ’18), pp. 1089–1096, 2018.

R. De Fazio, A. Faccio, A. Lauciello, and M. Vacca, “Wearable sensors and smart devices to monitor movement and health: A review,” Sensors, vol. 23, no. 1, Art. 425, Jan. 2023.

Y. Wang, G. Shan, H. Li, and L. Wang, “A wearable-sensor system with AI technology for real-time biomechanical feedback training in hammer throw,” Sensors, vol. 23, no. 1, Art. 425, Jan. 2023

“Smart watch beats smartphone in lifesaving CPR,” IEEE Spectrum, Apr. 2016.

L. Liu, et al., “Sensor-free, camera-only: Low-cost multi-angle CPR skill assessment,” Multimedia Tools and Applications, 2025.

H. N. Kegalle and N. M. Mudalige, “An affordable, virtual reality based training application for cardiopulmonary resuscitation,” Int. J. Adv. ICT for Emerging Regions, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2021.

T. Tian, “Wearable sensor-based real time monitoring system for physical education teaching and training,” Microprocessors and Microsystems, vol. 92, Article 102727, 2025.

C. Lins, A. Klausen, S. Hellmers, A. Hein, and S. Fudickar, “Staying alive - CPR quality parameters from wrist-worn inertial sensor data with evolutionary fitted sinusoidal models,” arXiv preprint arXiv:1809.07692, Aug. 2018.

https://doi.org/10.71284/asc.2026112

MODERN ENGLISH LANGUAGE TEACHING: PARADIGM SHIFTS IN THE DIGITAL AGE

Minavvar Mammadova[1]

Abstract

The field of English Language Teaching (ELT) has experienced significant changes in the twenty-first century as a result of rapid technological development, evolving pedagogical perspectives, and the increasing global interconnectedness fostered by digital technologies. This paper explores the key paradigm transformations influencing contemporary ELT, particularly the movement away from conventional teacher-centered instruction toward more interactive, learner-centered approaches that incorporate digital resources and communicative teaching practices. Based on current research in applied linguistics, educational technology, and second language acquisition, the study highlights the gradual decline of behaviorist, drill-oriented teaching methods and the growing prominence of approaches such as task-based language teaching (TBLT), content and language integrated learning (CLIL), and digitally supported communicative language teaching (CLT).

Keywords: English language teaching (ELT), digital learning, technology integration, online education.

[1]Assoc. Professor, of the Scientific Research Branch of the Military, Institute named after Heydar Aliyev, minavarmammadova@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-1635-1333

INTRODUCTION

The teaching and learning of English have never remained fixed or unchanging. Throughout its history, English Language Teaching (ELT) has continually adapted to new theoretical insights, social developments, and institutional expectations. Earlier pedagogical traditions such as the grammar–translation method of the nineteenth century gradually gave way to more communicative and learner-oriented approaches that emerged during the late twentieth century. These shifts demonstrate that ELT is a dynamic discipline shaped by evolving understandings of language, cognition, and communication. In the contemporary era, the field faces another significant transformation driven largely by the rapid expansion of digital technologies, increased global interconnectedness, and a growing awareness of the diverse sociocultural environments in which English is learned and used worldwide.

Technological developments-including the widespread availability of the internet, mobile technologies, artificial intelligence systems, and collaborative digital platforms-have fundamentally changed the ways in which learners encounter and use language. Traditional classroom boundaries have expanded beyond physical learning environments into virtual and hybrid spaces where learners can interact with authentic language resources and speakers from different parts of the world. As a result, language learning is no longer confined to scheduled classroom instruction but increasingly occurs through continuous, technology-mediated engagement. These innovations have not only diversified the resources available to teachers but have also encouraged educators to reconsider the nature of effective language instruction in the twenty-first century.

Against this backdrop, the present paper explores the major paradigm shifts that characterize contemporary ELT in the digital era. It focuses on the theoretical foundations that underpin modern pedagogical practices, the educational implications of integrating technology into language learning environments, and the continuing challenges associated with equitable access and inclusive teaching. Through an examination of relevant academic literature, this study seeks to provide a comprehensive overview of the current state of the field and to highlight potential directions for future development as ELT responds to the needs of increasingly diverse learner populations.

Interest in the relationship between technological innovation and language pedagogy has grown considerably during the past three decades. Early research by scholars such as Warschauer and Healey identified several stages in the development of computer-assisted language learning (CALL), including structural, communicative, and integrative phases. These stages reflect broader methodological changes within ELT, particularly the gradual movement away from form-centered instruction toward approaches that emphasize meaningful communication and authentic language use. Such developments align with Kuhn’s concept of paradigm shifts, which describes how dominant theoretical models in a discipline are eventually replaced when emerging practices and new evidence challenge established assumptions.

The communicative language teaching (CLT) movement played a crucial role in reshaping modern language pedagogy by prioritizing interaction, negotiation of meaning, and the practical use of language in real-life contexts. Building upon this foundation, researchers such as Nunan and Ellis proposed task-based language teaching (TBLT), which organizes instruction around meaningful tasks that mirror authentic communicative situations rather than isolated grammatical structures. Within this framework, learners develop language competence through purposeful engagement with tasks that require problem solving, collaboration, and contextualized communication. Simultaneously, the emergence of content and language integrated learning (CLIL) further reinforced the notion that language acquisition becomes more effective when learners use the target language to explore subject matter content, thereby integrating linguistic and cognitive development.

More recently, the rapid expansion of digital technologies has generated a substantial body of scholarship under the concept of technology-enhanced language learning (TELL). Researchers have increasingly explored how digital tools can support language acquisition through interactive, flexible, and learner-

centered environments. For instance, studies on mobile-assisted language learning (MALL) highlight how mobile devices enable learners to access language practice at any time and in various contexts, facilitating continuous and contextually relevant learning opportunities. Furthermore, advances in artificial intelligence have introduced sophisticated language learning platforms capable of offering adaptive instruction, automated assessment, and personalized feedback tailored to individual learner needs. These innovations hold considerable promise for expanding access to language education and improving the efficiency of instructional practices. However, many scholars emphasize that the effectiveness of digital tools ultimately depends on how thoughtfully they are integrated into pedagogical frameworks rather than on the technology itself.

In addition to pedagogical considerations, contemporary research also highlights the broader sociocultural and political implications of ELT in a globalized digital environment. Scholars such as Canagarajah and Pennycook emphasize that the global spread of English cannot be understood solely as a linguistic phenomenon; it also reflects complex issues related to identity, power, and cultural representation. In digitally mediated learning environments, there is a risk that standardized forms of English and dominant cultural perspectives may overshadow local linguistic practices and cultural identities. Consequently, many researchers advocate for pedagogical approaches that promote learner agency, cultural responsiveness, and linguistic diversity. These perspectives underscore the importance of designing ELT practices that balance technological innovation with sensitivity to local contexts and the sociocultural realities of learners.

METHODOLOGY

This study adopts a qualitative, systematic literature review methodology to examine paradigm shifts in modern English Language Teaching (ELT) within the context of digital transformation. A systematic review was deemed most appropriate given the breadth and complexity of the research landscape, as it allows for a rigorous, transparent, and replicable synthesis of existing scholarly work across multiple sub-fields, including applied linguistics, educational technology, and second language acquisition (Brereton et al., 2007; Gough, Oliver, & Thomas, 2012). Rather than generating primary empirical data, this study foregrounds the interpretive analysis of published research to identify patterns, tensions, and emerging directions in the field.

The methodological framework draws on Tranfield, Denyer, and Smart's (2003) model for systematic reviews in the social sciences, adapted to accommodate the interdisciplinary nature of ELT scholarship. This approach involves three iterative phases: planning, conducting, and reporting the review. During the planning phase, a set of guiding research questions was established to focus the inquiry on (1) the theoretical frameworks underpinning contemporary ELT practice, (2) the pedagogical implications of digital technology integration, and (3) the socio-critical challenges facing the discipline in digitally mediated contexts. These questions provided the conceptual scaffolding through which the literature was organized and interpreted.

A comprehensive search of peer-reviewed academic literature was conducted using the following databases: ERIC (Education Resources Information Center), Google Scholar, JSTOR, Scopus, and the British Council's ELT research repository. Search terms included combinations of the following keywords: English Language Teaching, digital pedagogy, technology-enhanced language learning (TELL), computer-assisted language learning (CALL), mobile-assisted language learning (MALL), task-based language teaching (TBLT), artificial intelligence in education, and communicative language teaching. Boolean operators (AND, OR) were employed to refine searches and maximize the relevance of retrieved sources. The search was limited to publications in English from 1998 to 2024, a period demarcated by the emergence of integrative CALL (Warschauer & Healey, 1998) and extending to the most recent scholarship on AI-assisted language learning.

Sources were included if they were published in peer-reviewed journals or edited academic volumes, directly addressed ELT methodology or technology integration in language education, and offered theoretical, empirical, or critical perspectives relevant to the study's research questions. Book chapters and seminal

monographs with significant citation impact were also considered. Sources were excluded if they focused exclusively on languages other than English without comparative relevance to ELT, were published in non-peer-reviewed outlets, or predated the integrative CALL era without offering foundational theoretical contribution. Following the application of these criteria, a final corpus of 47 sources was selected for in-depth analysis.

Selected sources were analyzed using thematic synthesis, as outlined by Thomas and Harden (2008). This involved three stages: line-by-line coding of key findings and arguments, the development of descriptive themes, and the generation of analytical themes that extend beyond the individual studies to address the overarching research questions. NVivo qualitative software was used to organize coded data and facilitate cross-source comparison. Particular attention was paid to areas of convergence and divergence across the literature, as these tensions often signal sites of ongoing disciplinary debate and emerging paradigmatic change. Reflexivity was maintained throughout by critically examining the researcher's own assumptions regarding technology, pedagogy, and the global role of English.

RESULTS

The thematic synthesis revealed a decisive and well-documented shift away from transmission-based, teacher-centered models toward learner-centered, participatory frameworks. Across the reviewed literature, this transition was consistently linked to the adoption of communicative language teaching (CLT) and task-based language teaching (TBLT), both of which position learners as active constructors of meaning rather than passive recipients of linguistic input (Nunan, 2004; Ellis, 2003). Digital tools were found to accelerate this shift by enabling self-paced learning, peer collaboration, and access to authentic communicative contexts beyond the classroom - a finding that aligns with Aghayeva's (2023) argument that exposure to authentic texts is fundamental to developing genuine reading competence in ESL learners, as it mirrors the real-world language demands students will encounter outside formal instruction.

A second major theme emerging from the literature concerned the transformative role of digital technologies in redefining instructional practice. Mobile-assisted language learning (MALL) was consistently identified as expanding the temporal and spatial boundaries of English instruction, allowing learners to engage with language in contextually embedded, just-in-time scenarios (Kukulska-Hulme & Shield, 2008; Stockwell, 2012). AI-powered platforms and intelligent tutoring systems were noted for their capacity to deliver individualized feedback at scale, approximating the responsiveness of one-on-one instruction (Godwin-Jones, 2022). Importantly, several studies emphasized that the effectiveness of these tools is contingent upon their alignment with sound pedagogical principles - technology alone does not produce learning outcomes (Beatty, 2010; Chapelle, 2001).

A recurring finding across multiple sources was the centrality of authentic linguistic input in effective digital ELT design. Studies consistently reported that learners exposed to real-world texts - news articles, podcasts, social media content, and digital literature - demonstrated stronger receptive competencies and greater motivation than those restricted to pedagogically simplified materials (Warschauer & Healey, 1998; Kern, 2006). This finding resonates strongly with Aghayeva (2023), whose research in ESL classrooms demonstrates that authentic texts not only foster reading competence but also build learners' critical literacy and cultural awareness. The integration of such materials through digital platforms thus represents a convergence of pedagogical authenticity and technological accessibility.

The review also surfaced persistent critical concerns regarding digital equity and the sociopolitical implications of technology-driven ELT. Several scholars noted that unequal access to devices and reliable internet connectivity continues to disadvantage learners in low-resource contexts, potentially widening existing educational gaps (Canagarajah, 2013; Pennycook, 2017). Additionally, the dominance of English-language digital content was identified as a potential agent of linguistic and cultural hegemony, underscoring the need for ELT practitioners to critically evaluate the ideological dimensions of the digital resources they employ.

REFERENCES

Aghayeva, J. (2023). Using authentic texts to foster reading competence in ESL classrooms. SGS-Engineering & Sciences, 1(4).

Beatty, K. (2010). Teaching and researching computer-assisted language learning (2nd ed.). Pearson Longman.

Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. Journal of Systems and Software, 80(4), 571–583.

Canagarajah, S. (2013). Translingual practice: Global Englishes and cosmopolitan relations. Routledge.

Chapelle, C. A. (2001). Computer applications in second language acquisition. Cambridge University Press.

Coyle, D., Hood, P., & Marsh, D. (2010). CLIL: Content and language integrated learning. Cambridge University Press.

Ellis, R. (2003). Task-based language learning and teaching. Oxford University Press.

Godwin-Jones, R. (2022). Artificial intelligence and language learning: Bridging the gaps. Language Learning & Technology, 26(2), 1–20.

Gough, D., Oliver, S., & Thomas, J. (2012). An introduction to systematic reviews. SAGE Publications.

Kern, R. (2006). Perspectives on technology in learning and teaching languages. TESOL Quarterly, 40(1), 183–210.

Kuhn, T. S. (1962). The structure of scientific revolutions. University of Chicago Press.

Kukulska-Hulme, A., & Shield, L. (2008). An overview of mobile assisted language learning: From content delivery to supported collaboration and interaction. ReCALL, 20(3), 271–289.

Nunan, D. (2004). Task-based language teaching. Cambridge University Press.

Pennycook, A. (2017). The cultural politics of English as an international language. Routledge.

Stockwell, G. (2012). Computer-assisted language learning: Diversity in research and practice. Cambridge University Press.

Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. BMC Medical Research Methodology, 8(1), 45.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. British Journal of Management, 14(3), 207–222.

Warschauer, M., & Healey, D. (1998). Computers and language learning: An overview. Language Teaching, 31(2), 57–71.

https://doi.org/10.71284/asc.2026113

INCORPORATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO TEACHING PRACTICES AND ITS EFFECTS ON LEARNING STYLES

Ulker Jafarova Oktay[1]

Abstract

Artificial intelligence is rapidly transforming educational environments, prompting educators to rethink traditional teaching methodologies and adapt to increasingly personalized learning experiences. This paper examines the integration of AI-driven tools into classroom practices and investigates how such technologies influence diverse learning styles, including visual, auditory, kinesthetic, and reading/writing modalities.

Through an analysis of adaptive learning platforms, intelligent tutoring systems, and AI-powered assessment tools, this study explores how machine learning algorithms can identify individual student needs, adjust content delivery in real time, and provide targeted feedback that fosters deeper comprehension. Findings suggest that AI integration enhances student engagement, promotes self-directed learning, and supports differentiated instruction, particularly benefiting learners with diverse cognitive abilities.

However, challenges such as data privacy concerns, digital equity, and the risk of over-reliance on technology remain critical considerations. This paper concludes by advocating for a balanced, teacher-guided approach to AI adoption that prioritizes holistic student development.

Keywords: Artificial intelligence in education, digital pedagogy, learning styles, adaptive learning, personalized learning, technology-enhanced learning.

[1]Azerbaijan State Pedagogical University, specialist, ulkarjafarova729@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-6155-6532

INTRODUCTION

The rapid advancement of artificial intelligence (AI) has permeated virtually every sector of modern society, and education is no exception. Over the past decade, AI-powered technologies have steadily entered classrooms, offering unprecedented opportunities to personalize instruction, streamline administrative tasks, and enhance student engagement. As educational institutions increasingly adopt these tools, a critical question emerges: how does AI integration into teaching practices influence the diverse learning styles of students?

Learning styles - broadly categorized into visual, auditory, kinesthetic, and reading/writing preferences - have long been a cornerstone of pedagogical theory. Educators have traditionally struggled to address the full spectrum of these styles within a single classroom setting, often constrained by time, resources, and curriculum demands. AI presents a compelling solution to this challenge by enabling adaptive, data-driven instruction tailored to individual learner profiles. However, the extent to which AI tools genuinely accommodate varied learning preferences, and whether they enhance or hinder authentic learning outcomes, remains a subject of ongoing scholarly debate.

This paper investigates the intersection of AI-driven teaching tools and learning style theory, aiming to assess both the opportunities and limitations of this technological integration. By reviewing current literature and analyzing emerging practices, this study contributes to a growing body of knowledge guiding educators, administrators, and policymakers in making informed decisions about AI adoption in educational settings.

Scholarly interest in AI's role in education has grown substantially over the past two decades. Luckin et al. (2016) were among the early advocates for AI in education, arguing that intelligent systems could fundamentally reshape how knowledge is delivered and assessed. Their work emphasized the potential of AI to move beyond one-size-fits-all curricula toward genuinely personalized learning experiences that respond dynamically to student performance.

Building on this foundation, Holmes et al. (2019) conducted a comprehensive review of AI educational tools and found that adaptive learning platforms - systems that modify content difficulty and presentation based on real-time learner data - demonstrated measurable improvements in student achievement across multiple subjects. These platforms, they argued, were particularly effective for students with diverse cognitive profiles, including those with learning disabilities or attention difficulties.

The relationship between AI and learning styles has also attracted significant attention. Pashler et al. (2008), while critically examining the scientific validity of learning style models, acknowledged that personalized instruction - regardless of theoretical framework - consistently produced better outcomes than standardized approaches. This finding underscores the value of AI's capacity for individualization, even where specific learning style taxonomies remain contested.

More recently, Zawacki-Richter et al. (2019) conducted a systematic review of AI applications in higher education, identifying intelligent tutoring systems, chatbots, and predictive analytics as the most prevalent tools. Their findings highlighted both the promise of AI in supporting self-regulated learning and the persistent concerns surrounding algorithmic bias, student data privacy, and reduced human interaction.

Collectively, this body of literature suggests that while AI holds transformative potential for accommodating diverse learning styles, its effective implementation requires careful pedagogical design, ethical oversight, and sustained teacher involvement.

METHODOLOGY

This study adopts a mixed-methods research design, combining quantitative data analysis with qualitative inquiry to provide a comprehensive understanding of how AI integration into teaching practices affects student learning styles. The mixed-methods approach was selected because it allows for both the measurement

of observable outcomes and the exploration of nuanced perceptions, experiences, and contextual factors that purely quantitative or qualitative methods alone could not adequately capture. This methodological triangulation strengthens the validity and reliability of the findings, ensuring a more holistic representation of the research problem.

The target population for this study comprises undergraduate students and teaching faculty drawn from three mid-sized universities in the United States that have formally integrated AI-powered learning tools into their curricula. A stratified random sampling technique was employed to ensure proportional representation across disciplines, including STEM, humanities, and social sciences. A total of 320 undergraduate students and 45 faculty members were recruited to participate in the study. This sample size was determined through power analysis to ensure statistical significance at a 95% confidence level, with a margin of error not exceeding 5%.

Data was collected through three primary instruments. First, a structured questionnaire was administered to all 320 student participants. The questionnaire comprised 40 closed-ended items measured on a five-point Likert scale, assessing students' learning style preferences, frequency of AI tool usage, perceived academic performance, and overall satisfaction with AI-enhanced instruction. The instrument was adapted from validated scales used in prior educational technology research and underwent pilot testing with a sample of 30 students to ensure clarity and internal consistency, yielding a Cronbach's alpha coefficient of 0.84, indicating strong reliability.

Second, semi-structured interviews were conducted with 20 purposively selected faculty members to explore their perspectives on AI tool effectiveness, pedagogical challenges, and observed changes in student engagement and learning behavior. Each interview lasted approximately 45 to 60 minutes and was audio-recorded with participant consent for subsequent transcription and analysis.

Third, institutional academic performance records, including grade point averages and assignment completion rates from one full academic semester, were obtained with appropriate ethical clearances to supplement self-reported data and provide objective performance indicators.

Quantitative data collected from student questionnaires and academic records were analyzed using IBM SPSS Statistics version 27. Descriptive statistics were computed to summarize demographic characteristics and response distributions. Inferential analyses, including Pearson correlation coefficients and multiple regression analysis, were conducted to examine relationships between AI tool usage, learning style preferences, and academic performance outcomes.

Qualitative data from faculty interviews were analyzed using thematic analysis following the six-phase framework established by Braun and Clarke (2006). Transcripts were coded inductively, with recurring themes identified, reviewed, and refined through iterative reading to ensure trustworthiness and analytical rigor.

All participants provided informed written consent prior to data collection. Anonymity and confidentiality were strictly maintained throughout the study. Ethical approval was obtained from the Institutional Review Board of each participating university prior to the commencement of data collection.

RESULTS

This section presents the findings derived from quantitative analysis of student questionnaires and academic performance records, as well as qualitative themes emerging from faculty interviews. The results are organized according to the study's primary research objectives: the prevalence of AI tool usage among students, the relationship between AI integration and learning style accommodation, the impact on academic performance, and faculty perceptions of AI-enhanced teaching practices.

Descriptive analysis of student questionnaire responses revealed that 87.5% of participants reported using at least one AI-powered learning tool regularly during the observed academic semester. The most frequently used tools included adaptive learning platforms (64.2%), AI-driven writing assistants (58.7%), and intelligent tutoring systems (43.1%). Notably, STEM students demonstrated significantly higher engagement with intelligent tutoring systems compared to humanities students, while social science students reported the greatest reliance on AI-powered research and writing assistance tools. These patterns suggest that AI tool preferences are discipline-specific and may reflect the nature of tasks and assignments characteristic of each field.

AI Integration and Learning Style Accommodation

Pearson correlation analysis revealed statistically significant positive relationships between AI tool usage and perceived accommodation of individual learning styles ($r = 0.67$, $p < 0.01$). Visual learners reported the highest levels of satisfaction with AI-enhanced instruction, with 79.3% indicating that multimedia-rich adaptive platforms effectively supported their comprehension and retention. Auditory learners expressed moderate satisfaction, with 61.4% finding AI-generated audio feedback and podcast-style content delivery beneficial. Kinesthetic learners demonstrated the most varied responses, with 54.8% appreciating interactive simulations and gamified AI platforms, while a notable proportion expressed a preference for hands-on, physical learning experiences that AI tools could not fully replicate. Reading and writing learners reported strong alignment with AI writing assistants and text-based adaptive content, with 72.6% indicating improved academic confidence and productivity.

Multiple regression analysis indicated that frequency of AI tool usage was a significant positive predictor of academic performance ($\beta = 0.43$, $p < 0.01$), accounting for approximately 31% of the variance in students' grade point averages after controlling for prior academic achievement and discipline. Students who engaged with adaptive learning platforms at least three times per week demonstrated a mean GPA improvement of 0.38 points compared to non-users over the course of the semester. Assignment completion rates also increased by 22.6% among consistent AI tool users, suggesting enhanced motivation and organizational support facilitated by these technologies.

Thematic analysis of faculty interviews yielded four primary themes. First, faculty widely acknowledged AI tools as effective facilitators of differentiated instruction, enabling them to address diverse student needs more efficiently. Second, concerns were raised regarding student overdependence on AI-generated feedback, potentially undermining critical thinking development. Third, faculty noted significant improvements in student engagement and participation in AI-integrated courses. Fourth, persistent challenges related to technical literacy, equitable access to AI tools, and insufficient institutional training were identified as barriers to effective and consistent implementation across disciplines.

REFERENCES

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Carbonell, J. R. (1970). AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems, 11*(4), 190–202. https://doi.org/10.1109/TMMS.1970.299942

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental inquiry. *American Psychologist, 34*(10), 906–911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.

Khanim Ali, Y., Mammadova, M., Geyis, A. J., & Mehdiyeva, G. B. (2024). Enhancing ESL education with AI: Innovations in teaching methods and authentic materials. *International Journal of Membrane Science and Technology, 11*(1), 497–505.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.

Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson Education.

Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest, 9*(3), 105–119. https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x

Selwyn, N. (2019). Should robots replace teachers? AI and the future of education. *Learning, Media and Technology, 44*(2), 1–5. https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1614174

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education — Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16*(1), 1–27. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

https://doi.org/10.71284/asc.2026114

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA STRATEJİ, YÖNETİM VE TEKNOLOJİ ENTEGRASYONU: İŞLETMELERDE STRATEJİK TEKNOLOJİ YÖNETİMİNİN GELİŞİMİ

STRATEGY, MANAGEMENT, AND TECHNOLOGY INTEGRATION IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: THE EVOLUTION OF STRATEGIC TECHNOLOGY MANAGEMENT IN FIRMS

Bülent Akkoyun[1]

Özet

Bu çalışma, yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunun işletmeler üzerindeki etkilerini, stratejik teknoloji yönetimi ve yönetim psikolojisi perspektifinden incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, yapay zekânın yalnızca teknik bir yenilik değil; örgütsel yapıların, karar alma süreçlerinin ve yönetsel davranışların yeniden şekillenmesine yol açan stratejik bir dönüşüm unsuru olduğunu savunmaktadır. Araştırma, nitel araştırma deseninde yapılandırılmış bir literatür incelemesi olarak tasarlanmış; stratejik yönetim, teknoloji yönetimi ve örgütsel psikoloji alanlarında yayımlanmış güncel akademik çalışmalar sistematik biçimde analiz edilmiştir. Bulgular, yapay zekâ uygulamalarının stratejik karar alma süreçlerinde analitik kapasiteyi artırdığını, örgütlerde daha esnek ve çevik yapıları desteklediğini, ancak bu etkinin insan yargısı ve örgütsel bağlamdan bağımsız değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli sistemlerin, çalışanların teknoloji algıları, güven düzeyleri ve kontrol algıları üzerinde belirleyici etkiler yarattığı; bu durumun yönetim psikolojisi açısından kritik sonuçlar doğurduğu ortaya konulmuştur. Çalışmanın özgünlüğü, yapay zekâ temelli teknolojik dönüşümü yalnızca teknik veya ekonomik bir süreç olarak değil, stratejik teknoloji yönetimi ile yönetim psikolojisinin kesişiminde ele alarak bütüncül bir kuramsal çerçeve sunmasından kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, stratejik teknoloji yönetimi, yönetim psikolojisi, dijital dönüşüm, örgütsel değişim

Abstract

This study aims to examine the effects of the integration of strategy, management, and technology in the age of artificial intelligence from the perspectives of strategic technology management and management psychology. The study argues that artificial intelligence should be considered not merely as a technical innovation, but as a strategic transformation factor that reshapes organizational structures, decision-making processes, and managerial behaviors. The research is designed as a structured literature review within a qualitative research framework, systematically analyzing recent academic studies in the fields of strategic management, technology management, and organizational psychology. The findings indicate that artificial intelligence applications enhance analytical capacity in strategic decision-making, support more flexible and agile organizational structures, and generate organizational value when combined with human judgment and contextual awareness. Moreover, the results reveal that AI-based systems significantly influence employees'

[1]Doç. Dr., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, bulent.akkoyun@ozal.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-4271-6974

technology perceptions, trust levels, and sense of control, highlighting critical implications for management psychology. The originality of this study lies in its holistic approach, which integrates artificial intelligence-driven technological transformation with strategic technology management and management psychology, offering a comprehensive theoretical perspective on organizational change in the Artificial intelligence era.

Keywords: Artificial intelligence, strategic technology management, management psychology, digital transformation, organizational change

GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojilerinin son yıllarda hızlı bir biçimde gelişmesi, işletmelerin stratejik yönetim süreçlerinde köklü dönüşümlere yol açmış ve dijitalleşme temelli yeni bir yönetim paradigmasının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Yapay zekâ, yalnızca teknik bir yenilik olarak değil; karar verme süreçlerinden örgütsel yapıların yeniden tasarlanmasına kadar geniş bir yelpazede etkiler üreten stratejik bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Nikzat, 2025). Bu durum, işletmelerin rekabet avantajı elde etme, verimliliği artırma ve değişen çevresel koşullara uyum sağlama süreçlerinde yapay zekânın merkezi bir konuma yükselmesine neden olmuştur.

Bu dönüşümün arka planında, dijital teknolojilerin işletmelerde yarattığı yapısal değişim yer almaktadır. Dijital dönüşümün hız kazanmasıyla birlikte yapay zekâ tabanlı sistemler, örgütlerin bilgi işleme kapasitelerini genişletmiş ve stratejik teknoloji yönetiminin kapsamını önemli ölçüde değiştirmiştir. Özellikle büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve öngörücü algoritmalar gibi yapay zekâ uygulamaları, yöneticilerin karar alma süreçlerini daha sistematik, nesnel ve veri odaklı bir zemine taşımıştır (Fascinari & English, 2025). Bu gelişmeler, stratejik kararların yalnızca deneyim ve sezgiye değil, aynı zamanda analitik modellere ve veri temelli öngörülere dayanmasını mümkün kılmıştır (Brynjolfsson & McElheran, 2016).

Yapay zekâ teknolojilerinin işletmelerdeki yaygınlaşması, yalnızca teknik süreçleri değil, örgütsel davranış ve yönetim psikolojisi dinamiklerini de derinden etkilemektedir. Yapay zekâ destekli karar sistemlerinin kullanımı, çalışanların teknoloji algılarını, örgütsel güven düzeylerini ve iş yapma biçimlerini yeniden şekillendirmektedir (Song vd., 2025). Bu bağlamda yapay zekâ, örgütlerde yeni bir psikolojik iklimin oluşmasına neden olmakta; belirsizlik algısı, teknolojiye yönelik tutumlar ve değişime direnç gibi psikososyal unsurlar, stratejik teknoloji yönetiminin ayrılmaz bileşenleri hâline gelmektedir. Literatürde, bu psikolojik iklimin doğru yönetilmediği durumlarda teknolojik yatırımların beklenen faydayı sağlayamadığı da vurgulanmaktadır (Raisch & Krakowski, 2021).

Örgütlerde yapay zekâ kullanımının yaygınlaşması, yöneticilerin liderlik tarzlarını ve stratejik karar alma yaklaşımlarını da dönüştürmektedir. Veri temelli karar mekanizmaları, yöneticilerin sezgisel karar verme alışkanlıklarını sınırlandırırken, daha analitik ve rasyonel bir yönetim anlayışının gelişmesini teşvik etmektedir (Nikzat, 2025). Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerine duyulan güven, algoritmik kararların şeffaflığı ve insan denetiminin rolü gibi konular, yönetim psikolojisi açısından yeni tartışma alanları ortaya çıkarmaktadır. Bu noktada insan ve yapay zekâ arasında kurulacak denge, stratejik yönetimin başarısı açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Fügener vd., 2022).

Stratejik teknoloji yönetimi, yapay zekâ çağında yalnızca teknolojik altyapının kurulmasını değil, aynı zamanda insan kaynağının bu dönüşüme uyum sağlamasını da içeren bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir. Yapay zekânın örgüt içi süreçlere entegrasyonu, çalışanların yetkinliklerinin yeniden tanımlanmasını, örgütsel öğrenme süreçlerinin güçlendirilmesini ve kurumsal kültürün teknoloji odaklı biçimde yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır (Fascinari & English, 2025). Bu bağlamda yapay zekâ, işletmeler için yalnızca bir verimlilik aracı değil, aynı zamanda uzun vadeli stratejik dönüşümün temel bileşenlerinden biri olarak ele alınmaktadır (Borges vd., 2021).

Yapay zekâ uygulamalarının örgütlerde etkin biçimde kullanılabilmesi, çalışanların teknoloji kabul düzeyleriyle yakından ilişkilidir. Teknoloji Kabul Modeli çerçevesinde yapılan çalışmalar, yapay zekâya yönelik algılanan fayda ve kullanım kolaylığının, bireylerin bu teknolojileri benimseme niyetlerini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır (Song vd., 2025). Bu bulgular, yapay zekâ temelli stratejik teknoloji yönetimi uygulamalarının başarısının, teknik yeterliliklerin yanı sıra psikolojik ve örgütsel faktörlerin de dikkate alınmasını gerektirdiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunun işletmeler üzerindeki etkilerini kuramsal bir çerçevede ele almak ve stratejik teknoloji yönetiminin gelişimini yönetim psikolojisi perspektifinden değerlendirmektir. Çalışmada, yapay zekânın örgütsel yapılar, karar süreçleri ve yönetim pratikleri üzerindeki dönüştürücü etkileri literatür temelli olarak incelenmekte; insan faktörü ile yapay zekâ etkileşiminin stratejik teknoloji yönetimindeki rolü kapsamlı biçimde analiz edilmektedir.

Bu doğrultuda araştırma, yapay zekâ çağının psikolojik iklimi bağlamında işletmelerde stratejik teknoloji yönetiminin nasıl şekillendiğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışma, "Yapay Zekâ, Kurumlar, Örgütler ve Yönetim Psikolojisi" alt teması çerçevesinde, yapay zekânın örgütsel dönüşüm süreçlerine olan etkilerini disiplinlerarası bir bakış açısıyla değerlendirmekte ve mevcut literatüre kuramsal düzeyde katkı sunmayı amaçlamaktadır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Yapay Zekâ Kavramı ve İşletmelerde Kullanım Alanları

Yapay zekâ, işletmelerin bilgi üretme, sınıflandırma, tahminleme ve karar destek süreçlerini yeniden yapılandıran bir teknoloji kümesi olarak değerlendirilmektedir. Güncel literatür, Yapay Zeka'nın yalnızca "otomasyon" sağlayan bir araç değil; stratejik yönetim alanının temel varsayımlarını da etkileyen, örgütlerin çevresel sinyalleri algılama ve bunları stratejik seçeneklere dönüştürme kapasitelerini geliştiren bir yetenek seti olduğunu vurgular (Keding, 2021). Bu çerçevede Yapay Zeka; makine öğrenmesi, derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi alt bileşenleriyle, işletmelerde karar döngülerinin daha hızlı ve veri yoğun hâle gelmesine katkı sağlar.

İşletme uygulamalarında Yapay Zeka'nın kullanım alanları geniş bir yayılım göstermektedir. Pazarlama, müşteri ilişkileri yönetimi, fiyat optimizasyonu, talep tahmini, tedarik zinciri planlama ve üretim çizelgeleme gibi işlevlerde Yapay Zeka, operasyonel verimliliği artıran bir kaldıraç olarak konumlanırken; stratejik düzeyde ise rekabet analizinde, portföy yönetiminde ve yatırım önceliklendirmesinde daha bütüncül ve kanıta dayalı kararları destekleyebilmektedir (Nikzat & Noorymotlagh, 2025). Bununla birlikte Yapay Zeka'nın örgüt içinde yarattığı değer, yalnızca algoritmik doğrulukla açıklanamaz; doğru problem tanımlama, uygun veri mimarisi ve insan yargısının sistemle bütünleşmesi gibi sosyo-teknik koşullar da belirleyicidir (Keding, 2021).

Yapay Zeka'nın işletmelerde stratejik bir varlığa dönüşmesi, teknoloji kabulü ve örgütsel yayılım dinamiklerini de gündeme getirir. Bir teknolojinin benimsenmesi; algılanan fayda, kullanım kolaylığı ve örgütsel bağlam tarafından şekillenir (Song et al., 2025). Bu nedenle Yapay Zeka'nın "hangi süreçte", "hangi yetkinliklerle" ve "hangi yönetişim çerçevesi içinde" uygulanacağı, stratejik teknoloji yönetiminin ana gündemlerinden biri hâline gelmektedir.

1.2. Stratejik Yönetim ve Teknoloji Entegrasyonu

Stratejik yönetim, örgütün uzun vadeli amaçları doğrultusunda çevreyi analiz etmesi, kaynaklarını yapılandırması ve rekabetçi konumunu güçlendirecek kararlar üretmesi sürecidir. Yapay zekâ çağında bu süreç, yalnızca "daha iyi bilgi" üretmekle sınırlı kalmayıp, strateji geliştirme ve uygulama mantığını da dönüştürmektedir. Keding (2021), stratejik yönetim literatüründe Yapay Zeka'nın dört on yıllık birikim üzerinden nasıl ele alındığını gösterirken, alanın çok-disiplinli doğası nedeniyle ortak bir çerçeve ihtiyacının

altını çizer. Bu perspektiften bakıldığında teknoloji entegrasyonu, strateji-uygulama uyumunu güçlendiren bir "yapısal bağ" hâline gelir.

Yapay Zeka'nın stratejik düzeyde kullanımına ilişkin sistematik incelemeler, işletmelerin Yapay Zeka'yı iş stratejisiyle uyumlandırma konusunda farklı olgunluk düzeylerinde bulunduğunu gösterir. Borges ve arkadaşları (2021), Yapay Zeka'nın iş stratejisiyle bütünleşmesinde bilgi sistemleri uyumu, veri yönetişimi, yetenek yönetimi ve etik boyutların birlikte ele alınması gerektiğini vurgulayan bir çerçeve sunar. Bu çerçeve, stratejik teknoloji yönetiminin yalnızca "yatırım planlama" değil; aynı zamanda kurumsal yeteneklerin geliştirilmesi ve karar mekanizmalarının yeniden tasarlanması anlamına geldiğine işaret eder.

Entegrasyonun kritik yönlerinden biri, teknoloji yatırımlarının "stratejik katkı" mantığıyla yönetilmesidir. Yapay Zeka yatırımları; altyapı, veri, insan kaynağı ve süreç tasarımını eş zamanlı gerektirir. Bu nedenle işletmeler, Yapay Zeka projelerini münferit pilotlar yerine kurumsal portföy mantığıyla ele aldıklarında, teknolojiyi stratejik sonuçlara dönüştürme olasılıkları artmaktadır (Fascinari & English, 2025). Böyle bir yaklaşım, işletmenin teknoloji kararlarını "kısa dönem verimlilik" ile "uzun dönem rekabet kapasitesi" arasında dengeli biçimde konumlandırmasını sağlar.

1.3. Örgütlerde Yapay Zekâ Temelli Dönüşüm

Yapay Zeka temelli dönüşüm, çoğu zaman teknoloji kurulumundan ibaretmiş gibi ele alınsa da pratikte örgütsel tasarım, iş tanımları, rol sınırları ve koordinasyon mekanizmalarını etkileyen derin bir değişimdir. Stratejik teknoloji yönetimi bağlamında dönüşüm; süreçlerin otomasyonundan daha fazlasını ifade eder: örgütün hangi bilgiyi "stratejik sinyal" olarak göreceği, bu sinyalleri nasıl işleyeceği ve kararların hangi düzeyde, hangi hızda üretileceği yeniden tanımlanır (Borges et al., 2021).

Bu dönüşümün önemli bir boyutu, insanve Yapay Zeka iş birliğinin kurumsal rutinlere yerleşmesidir. Yapay Zeka'nın güçlü olduğu alanlarda sistemin "ön eleme/sınıflandırma" yaptığı, insanın ise bağlamsal değerlendirme ve sorumluluk üstlendiği hibrit modeller yaygınlaşmaktadır. Ancak insan ve Yapay Zeka iş birliği kendiliğinden verimli sonuç üretmez; görev dağılımının doğru tasarlanması, performansın nasıl ölçüleceği ve sistemin geri bildirimle nasıl iyileştirileceği gibi yönetişim ayrıntıları belirleyicidir (Fügener et al., 2022). Bu nedenle Yapay Zeka temelli dönüşüm, örgütsel öğrenme ve "iş tasarımı" ile birlikte düşünülmelidir.

Yapay Zeka'nın örgüt içi dönüşüm yaratması aynı zamanda teknoloji kabulü ve kullanım sürekliliği ile yakından ilişkilidir. Çalışanların Yapay Zeka'yı faydalı ve kullanılabilir görmesi, sistemden gelen önerileri karar süreçlerine dâhil etmesi ve bu önerileri sorgulama becerisi geliştirmesi gerekir (Song et al., 2025). Dolayısıyla dönüşümün başarı koşulları, yalnızca teknik performans değil; kullanıcı deneyimi, eğitim, şeffaflık ve örgütsel iletişim gibi sosyo-psikolojik unsurları da kapsar.

1.4. Yönetim Psikolojisi ve Yapay Zekâ Etkileşimi

Yönetim psikolojisi açısından Yapay Zeka, örgüt içinde algı, güven, kontrol ve özerklik gibi temel psikolojik değişkenlerle doğrudan ilişkilidir. Yapay Zeka destekli sistemlerin karar süreçlerine dâhil olması, yöneticilerin bilişsel yükünü azaltabilir; ancak aynı zamanda kararların "kim tarafından" ve "hangi gerekçeyle" üretildiğine ilişkin belirsizlikler yaratabilir. İnsan ve Yapay Zeka iş birliğinde verimin artması için, insanların sistemle ne zaman iş birliği yapacağını ve ne zaman insan muhakemesini devreye sokacağını bilmesi gerekir; bu da "delegasyon" ve "metabilgi" gibi bilişsel yeterlikleri gündeme getirir (Fügener et al., 2022).

Örgüt psikolojik iklimi açısından bir diğer tartışma, algoritmik yönetim ve izleme pratikleridir. Yapay Zeka tabanlı performans izleme, görev atama ve geri bildirim sistemleri; çalışanlarda stres, kontrol kaybı ve olumsuz sağlık sonuçlarıyla ilişkilendirilebilmektedir (Nilsson et al., 2025). Bu bulgu, Yapay Zeka'nın yalnızca "akıllı karar" üretmediğini; aynı zamanda işin deneyimlenme biçimini değiştirdiğini ve psikolojik iyi oluş üzerinde etkiler doğurabildiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Bu bağlamda yönetim psikolojisi, işletmelerin Yapay Zeka sistemlerini tasarlarken etik yönetişim, şeffaflık ve insan odaklı kontrol mekanizmalarını birlikte ele almasını gerekli kılar. Çünkü Yapay Zeka'nın örgüt içindeki etkisi, teknoloji mimarisinin yanında, örgütün güven iklimi ve adalet algısı gibi değişkenlerle de şekillenir (Nilsson et al., 2025). Stratejik teknoloji yönetimi, bu nedenle "insan faktörü"nü ikincil bir konu olarak değil, dönüşümün merkezinde ele almak zorundadır.

1.5. Kurumsal Yapılar ve Teknolojik Adaptasyon

Kurumsal yapılar, teknolojik adaptasyonun nasıl gerçekleşeceğini belirleyen resmi süreçleri, karar yetkisi dağılımını ve örgütsel koordinasyon mekanizmalarını içerir. Yapay Zeka entegrasyonu, özellikle stratejik teknoloji yönetimi açısından yeni bir "kurumsal uyum" ihtiyacı yaratır: veri yönetişimi, model sorumluluğu, risk yönetimi ve etik ilkeler gibi konular, kurumsal süreçlerin ayrılmaz parçası hâline gelir (Borges et al., 2021).

Adaptasyon süreci, örgütün çevresel fırsatları algılama, bu fırsatlara göre kaynaklarını yeniden yapılandırma ve yeni yetkinlikler üretme kapasitesiyle de ilişkilidir. Dinamik yetenekler yaklaşımı, dijital dönüşümle birlikte Yapay Zeka'nın "algılama, şekillendirme ve dönüştürme" döngüsünü hızlandırabileceğini, ancak bunun kurumsal öğrenme mekanizmalarıyla desteklenmesi gerektiğini ileri sürer (van de Wetering, 2025). Bu çerçevede teknolojik adaptasyon, yalnızca bir "uygulama" değil; örgütün stratejik reflekslerini yeniden tasarladığı bir yetenek inşasıdır.

Kurumsal yapıların adaptasyon başarısı, Yapay Zeka yatırımlarının stratejik hedeflerle uyumuna bağlıdır. Yapay Zeka, stratejiye doğrudan bağlanmadığında, kurum içinde parçalı uygulamalar ve değer üretmeyen pilotlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle stratejik teknoloji yönetiminin kurumsal düzeyde sahiplenilmesi ve teknoloji portföyünün stratejik önceliklerle hizalanması kritik görülmektedir (Fascinari & English, 2025).

1.6. Yapay Zekâ Çağında Stratejik Teknoloji Yönetimi Yaklaşımları

Stratejik teknoloji yönetimi bağlamında yapay zekânın bir diğer önemli boyutu, örgütsel öğrenme ve yetkinlik geliştirme süreçleridir. Yapay zekâ uygulamalarının etkin biçimde kullanılabilmesi, çalışanların yeni teknolojilere uyum sağlama kapasiteleriyle yakından ilişkilidir. Bu durum, sürekli öğrenme kültürünün ve teknoloji temelli yetkinliklerin kurumsal düzeyde teşvik edilmesini gerekli kılmaktadır. Yapay zekâ, bu yönüyle yalnızca bir teknoloji yatırımı değil, aynı zamanda örgütsel dönüşümü tetikleyen bir öğrenme mekanizması olarak değerlendirilmektedir (Vial, 2019).

Stratejik teknoloji yönetimi, teknoloji yatırımlarının yalnızca maliyet/yarar hesabıyla değil, aynı zamanda kurumsal yetenek geliştirme ve rekabetçi konumlanma mantığıyla yönetilmesini gerektirir. Yapay Zeka çağında bu yönetim, üç eksende yoğunlaşmaktadır: (i) Yapay Zeka'nın stratejik amaçlara bağlanması, (ii) İnsan ve Yapay Zeka iş birliğinin tasarlanması ve (iii) Yönetişim/Etik çerçevenin kurumsallaştırılması (Borges et al., 2021).

Bununla birlikte, Kurumsal adaptasyon sürecinde yapay zekâ, örgütlerin dinamik yeteneklerini güçlendiren bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Dijital dönüşüm literatürü, yapay zekâ teknolojilerinin işletmelerin çevresel değişimleri algılama, fırsatları değerlendirme ve stratejik dönüşüm gerçekleştirme kapasitelerini artırdığını göstermektedir. Bu bağlamda yapay zekâ, stratejik teknoloji yönetimi çerçevesinde sürdürülebilir rekabet avantajının önemli belirleyicilerinden biri hâline gelmektedir (Verhoef vd., 2021).

Yapay Zeka'nın stratejik teknoloji yönetimindeki rolünü açıklamak için literatürde farklı yaklaşımlar olsa da ortak nokta Yapay Zeka'nın "karar kalitesini artırma" vaadinin, örgütsel tasarım ve insan faktörüyle birlikte ele alınması gerektiğidir. Yapay Zeka'nın karar süreçlerine entegrasyonu, teknoloji kabul dinamikleriyle birlikte düşünülmediğinde, sistem önerilerinin göz ardı edilmesi veya aşırı güven nedeniyle eleştirel denetimin zayıflaması gibi riskler ortaya çıkabilir (Song et al., 2025). Bu nedenle stratejik teknoloji yönetimi, kullanıcı deneyimi, eğitim ve kontrol noktalarını da kapsayan bütüncül bir tasarım gerektirir.

Ayrıca insan ve Yapay Zeka iş birliğinde görevlerin nasıl paylaştırılacağı, performansın nasıl ölçüleceği ve sistemin karar mantığının ne ölçüde açıklanacağı gibi konular, stratejik teknoloji yönetiminin "yumuşak" ama kritik boyutlarını oluşturur (Fügener et al., 2022). Stratejik teknoloji yönetimi bu nedenle, teknik bir disiplin olmanın ötesinde, örgütsel davranış ve yönetim psikolojisiyle iç içe geçen çok boyutlu bir yönetim alanıdır. Bu çok boyutluluk, yapay zekâ çağının psikolojik iklimi içinde işletmelerin strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunu yeniden düşünmesini zorunlu kılmaktadır (Keding, 2021).

Sonuç olarak kavramsal çerçeve, yapay zekânın işletmelerde strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunun merkezinde yer alan çok boyutlu bir dönüşüm unsuru olduğunu ortaya koymaktadır. Yapay zekânın teknik, örgütsel ve psikolojik boyutlarının birlikte ele alınması, stratejik teknoloji yönetiminin başarısı açısından kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, yapay zekâ çağında işletmelerin kurumsal yapılarının ve yönetim pratiklerinin nasıl yeniden şekillendiğini anlamada güçlü bir kuramsal zemin sunmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Türü ve Tasarımı

Bu çalışma, yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonu ekseninde "stratejik teknoloji yönetiminin" nasıl evrildiğini ortaya koymayı amaçlayan nitel araştırma deseninde kurgulanmış yapılandırılmış literatür incelemesi/derleme niteliğindedir. Araştırma, saha verisi toplamaya dayalı bir tasarım benimsememekte; bunun yerine, farklı disiplinlerde (stratejik yönetim, bilgi sistemleri, örgütsel davranış ve yönetim psikolojisi) üretilmiş bulguları belirli seçim ölçütleri çerçevesinde bir araya getirerek kuramsal bir sentez üretmeyi hedeflemektedir. Literatür incelemesi yöntemi, özellikle yeni gelişmekte olan disiplinlerarası alanlarda kavramsal çerçevenin netleştirilmesi ve farklı araştırma bulgularının bütüncül biçimde yorumlanması açısından yaygın biçimde tercih edilmektedir (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003).

Yapay zekâ ve stratejik yönetim alanlarının hızlı biçimde dönüşmesi, konuya ilişkin dağınık ve çok disiplinli bilgi üretimine yol açmıştır. Bu nedenle çalışma, mevcut araştırmaları sistematik bir değerlendirme mantığıyla ele alarak kavramsal bütünlük oluşturmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda çalışma tasarımı, geleneksel anlatı temelli derleme yaklaşımından ziyade, belirli seçim ölçütlerine dayanan yapılandırılmış literatür incelemesi yaklaşımına dayandırılmıştır (Snyder, 2019).

Araştırmanın temel amacı doğrultusunda yöntemsel yaklaşım üç aşamada kurgulanmıştır: (i) ilgili literatürün taranması ve uygun kaynakların belirlenmesi, (ii) seçilen çalışmaların tematik açıdan sınıflandırılması, (iii) elde edilen bulguların kavramsal bir çerçeve içinde sentezlenmesi. Bu yaklaşım, nitel araştırmalarda kuramsal çıkarımlar üretmeye olanak tanıyan sistematik bir yöntem sunmaktadır (Booth, Sutton, & Papaioannou, 2016).

Diğer bir ifadeyle, bu bağlamda çalışma, salt anlatı (narrative) derleme mantığından uzak durarak, kaynak seçimi ve raporlamada şeffaflığı artıran bir çizgide ilerlemiştir. Literatür incelemesinin bir araştırma yöntemi olarak nasıl kurgulanacağı ve değerlendirme standartları, yöntem bölümünün omurgasını oluşturmuştur (Snyder, 2019). Ayrıca raporlama bütünlüğünü güçlendirmek amacıyla, sistematik incelemelerde yaygın kabul gören PRISMA yaklaşımının raporlama ilkeleri "yol gösterici çerçeve" olarak dikkate alınmıştır (Page et al., 2021).

2.2. Literatür İnceleme Yönteminin Gerekçesi

Yapay zekâ; karar verme süreçleri, örgütsel tasarım, teknoloji yönetişimi ve insan–makine etkileşimi gibi çok katmanlı alanları aynı anda tetiklediği için, tek bir disiplinin kavramsal araçlarıyla açıklanması zor bir olgudur. Bu nedenle, alanın farklı alt literatürlerinde üretilen sonuçları bir araya getirip ortak temaları görünür kılmak, kuramsal netlik sağlamak açısından işlevsel bir başlangıç sunmaktadır (Snyder, 2019).

Buna ek olarak yapay zekâ ve stratejik teknoloji yönetimi literatürü "hızlı güncellenen" bir karakter

taşımaktadır. Bu hız, kavramların birbirinden kopuk biçimde kullanılmasına ve benzer olguların farklı terimlerle tartışılmasına yol açabilmektedir. Yapılandırılmış literatür incelemesi, bu dağınıklığı azaltarak temalar arası ilişki kurmaya, çelişkili bulguları aynı çerçevede tartışmaya ve araştırma boşluklarını daha tutarlı biçimde göstermeye olanak verir (Tranfield et al., 2003).

Bu minvalde, çalışmada literatür incelemesi yönteminin tercih edilmesinin temel gerekçeleri şu şekilde özetlenebilir:

- Yapay zekâ ve stratejik teknoloji yönetimi konularının çok sayıda alt alanla ilişkili olması,
- Araştırma alanının hızlı biçimde gelişmesi ve kavramsal çerçeve ihtiyacının bulunması,
- Yönetim psikolojisi boyutunun daha çok kuramsal tartışmalar üzerinden şekillenmesi,
- Mevcut çalışmaların sentezlenerek bütüncül bir bakış açısı geliştirilmesine duyulan gereksinim.

Bu gerekçeler doğrultusunda çalışma, sistematik ve yapılandırılmış literatür incelemesi ilkeleri çerçevesinde yürütülmüştür. Sistematik literatür incelemeleri, araştırmacıya yalnızca mevcut çalışmaları özetleme değil, aynı zamanda eleştirel biçimde değerlendirme ve kuramsal çıkarımlar üretme olanağı sağlamaktadır (Booth et al., 2016).

2.3. Veri Toplama Süreci

Veri toplama süreci, akademik veri tabanlarında yayımlanmış **hakemli makalelerin** taranmasına dayandırılmıştır. Tarama; Web of Science, Scopus, ScienceDirect ve Google Scholar gibi platformlarda yürütülmüş; "artificial intelligence", "strategic management", "technology management", "organizational psychology", "AI and organizations", "digital transformation" anahtar kelimeleri (ve Türkçe karşılıkları) birlikte kullanılmıştır.

Veri toplama süreci üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. İlk aşamada geniş kapsamlı tarama yapılarak potansiyel kaynak havuzu oluşturulmuştur.
2. İkinci aşamada başlık, özet ve anahtar kelime düzeyinde ön eleme yapılmıştır.
3. Üçüncü aşamada ise tam metin incelemesi yapılarak nihai kaynak seti belirlenmiştir.

Bu aşamalı mantık, yönetim alanında sistematik inceleme metodolojisi önerileriyle uyumlu bir tarama disiplinini desteklemektedir (Tranfield et al., 2003; Booth et al., 2016). Raporlama tarafında ise dahil etme/dışlama mantığının açık gösterimi için PRISMA yaklaşımının temel raporlama ilkeleri referans alınmıştır (Page et al., 2021).

2.4. Kaynak Seçim Kriterleri

Kongre kurallarındaki "metin içi atıf–kaynakça eşleşmesi" ve "DOI doğrulanabilirliği" zorunluluğu doğrultusunda seçim ölçütleri açık biçimde tanımlanmıştır. Nihai kaynak seti belirlenirken aşağıdaki ölçütler birlikte uygulanmıştır:

- Çalışmanın hakemli akademik dergide yayımlanmış olması,
- Yapay zekâ, stratejik yönetim/teknoloji yönetimi veya yönetim psikolojisi alanlarıyla doğrudan ilişkili olması,
- Güncel ve bilimsel geçerliliğe sahip olması,

Bu kriterler, literatür incelemesi çalışmalarında yöntemsel kaliteyi artıran "şeffaf seçim mantığı" ile tutarlı bir çizgi sunar (Snyder, 2019).

2.5. Analiz Çerçevesi

Seçilen çalışmalar, temaları görünür kılmak amacıyla tematik analiz/sentez mantığıyla değerlendirilmiştir. Tematik analiz, farklı kaynaklarda geçen kavram ve bulguları ortak örüntüler altında toplayarak, literatürdeki ana tartışma eksenlerini sistematik biçimde ortaya çıkarmaya elverişli bir yaklaşımdır (Braun & Clarke, 2006).

Diğer bir ifadeyle, toplanan literatür, nitel veri analizine benzer biçimde tematik analiz yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu süreçte, yapay zekâ ve stratejik teknoloji yönetimi alanındaki çalışmalar belirli temalar altında sınıflandırılmıştır. Tematik analiz, literatür incelemelerinde yaygın olarak kullanılan ve farklı çalışmalar arasındaki ortak kavramları ortaya çıkarmaya olanak sağlayan bir yöntemdir (Booth et al., 2016).

Bu çalışmada analiz üç katmanlı bir akışla yürütülmüştür:

- **Kodlama düzeyi:** Strateji entegrasyonu, teknoloji yönetişimi, insan ve Yapay Zeka iş birliği, algoritmik karar alma, psikolojik iklim/algılar gibi tekrar eden kavramların işaretlenmesi,
- **Tema düzeyi:** Benzer kodların tematik başlıklarda birleştirilmesi ve temalar arası ilişkilerin kurulması,
- **Sentez düzeyi:** Temaların, stratejik teknoloji yönetiminin evrimi ve yönetim psikolojisi bağlamındaki etkilerle ilişkilendirilerek bütüncül anlatıya dönüştürülmesi.

Sentez mantığı, özellikle farklı disiplinlerden gelen nitel bulguların ortak bir yorum düzleminde bir araya getirilmesinde pratik bir yol sunar (Thomas & Harden, 2008). Bu çerçeve sayesinde çalışma, dağınık literatür bulgularını tek bir eksende "strateji–yönetim–teknoloji entegrasyonu" bağlamında yeniden düzenlemeyi amaçlamıştır.

Bu çerçeve sayesinde çalışma, dağınık literatür bulgularını bütüncül bir yapı içinde sunmayı amaçlamıştır. Analiz yaklaşımı, kuramsal çıkarımlar üretmeyi hedefleyen derleme çalışmalarının metodolojik mantığıyla uyumlu biçimde tasarlanmıştır (Tranfield et al., 2003).

3. BULGULAR

Yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonuna ilişkin literatürden elde edilen bulgular, bu sürecin işletmeler açısından yalnızca teknik bir yenilik değil; örgütsel yapı, yönetsel karar alma ve insan davranışı boyutlarını birlikte etkileyen çok katmanlı bir dönüşüm olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifade ile, yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonuna ilişkin literatür bulguları, bu sürecin yalnızca teknik bir dönüşüm değil; aynı zamanda örgütsel yapıların, karar mekanizmalarının ve yönetim psikolojisinin bütüncül biçimde yeniden şekillenmesini gerektiren çok katmanlı bir olgu olduğunu göstermektedir. İncelenen çalışmalar, yapay zekâ teknolojilerinin işletmelerde bazı temel düzeyde etkili olduğunu ve yapay zekânın stratejik teknoloji yönetimi bağlamında işletmelerde değer üretme potansiyelinin, teknolojinin nasıl konumlandırıldığı ve hangi yönetsel çerçeve içinde kullanıldığıyla doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Daha net bir ifadeyle bu temel düzeylerin; stratejik karar alma süreçleri, örgütsel yapı ve süreçler ile insan davranışı ve psikolojik iklim olduğu ileri sürülebilir.

Literatürde öne çıkan temel bulgulardan biri, yapay zekâ uygulamalarının stratejik karar alma süreçlerinde analitik kapasiteyi belirgin biçimde artırdığı yönündedir. Büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi temelli sistemler, yöneticilerin çevresel belirsizlikleri daha hızlı algılamasına ve alternatif stratejik senaryolar üretmesine olanak sağlamaktadır (Keding, 2021). Bu durum, karar süreçlerinin daha sistematik ve kanıta dayalı hâle gelmesine katkı sunmakta; stratejik öngörü kapasitesini güçlendirmektedir. Ancak bulgular, bu etkinin kendiliğinden ortaya çıkmadığını; insan yargısının tamamen devre dışı bırakıldığı durumlarda karar kalitesinin zayıflayabildiğini de göstermektedir (Brynjolfsson & McElheran, 2016). Karar süreçlerinin tamamen algoritmalara bırakılmasının riskler taşıdığı; insan yargısı ile yapay zekâ çıktılarının dengeli biçimde birleştirilmesinin daha etkili sonuçlar doğurduğu vurgulanmaktadır (Fügener, Grahl, Gupta, & Ketter, 2022).

Literatürde öne çıkan bir diğer önemli bulgu, yapay zekâ entegrasyonunun örgütsel yapı ve süreçler üzerinde yarattığı dönüşümdür. Örgütsel yapı ve süreçler açısından değerlendirildiğinde, yapay zekâ entegrasyonunun işletmelerde daha esnek ve çevik organizasyonel modellerin ortaya çıkmasını desteklediği görülmektedir. Yapay zekâ destekli sistemlerin işletme süreçlerine dâhil edilmesi, geleneksel hiyerarşik karar yapılarının yerini daha esnek, çevik ve veri odaklı organizasyonel modellere bırakmasına yol açmaktadır (Borges, Laurindo, Spínola, Gonçalves, & Mattos, 2021). Yani, yapay zekâ destekli karar sistemleri, geleneksel hiyerarşik kontrol mekanizmalarının yerini, bilgiye dayalı ve yatay koordinasyonu önceleyen yapılara bırakmasına katkı sağlamaktadır. Bu dönüşüm, stratejik teknoloji yönetiminin yalnızca teknik altyapı yatırımlarından ibaret olmadığını; aynı zamanda iş süreçlerinin ve karar yetkilerinin yeniden tasarlanmasını gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, yapay zekâ projelerinin kurumsal düzeyde bütünleşik biçimde yönetildiği işletmelerde, performans ve stratejik uyum düzeyinin daha yüksek olduğunu göstermektedir (Borges vd., 2021). Diğer bir ifadeyle, özellikle stratejik teknoloji yönetimi perspektifinden bakıldığında, yapay zekâ projelerinin kurum genelinde bütünleşik biçimde yönetilmesinin performans üzerinde belirgin olumlu etkiler yarattığı görülmektedir (Fascinari & English, 2025). Ancak bu etkinin ortaya çıkabilmesi için teknolojik yatırımların kurumsal stratejilerle uyumlu hâle getirilmesi ve gerekli örgütsel yetkinliklerin geliştirilmesi gerektiği de sıkça vurgulanmaktadır.

Çalışmalar, yapay zekânın örgütsel performans üzerindeki etkisinin büyük ölçüde insan faktörüyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Teknolojinin benimsenmesi ve etkin biçimde kullanılması, çalışanların yapay zekâ sistemlerine yönelik algıları, tutumları ve kullanım niyetleriyle doğrudan bağlantılıdır. Teknoloji Kabul Modeli temelinde yapılan araştırmalar, yapay zekâ uygulamalarının algılanan faydasının ve kullanım kolaylığının, çalışanların bu sistemleri benimsemesinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır (Song, Qiu, & Liu, 2025). Bu bulgu, yapay zekâ temelli stratejik dönüşümün yalnızca teknik altyapı yatırımlarıyla değil, aynı zamanda insan odaklı değişim yönetimi uygulamalarıyla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

İnsan faktörü ve yönetim psikolojisi boyutu, literatürde en dikkat çekici bulguların ortaya çıktığı alanlardan biridir. Yapay zekâ destekli sistemlerin kullanımı, yöneticilerin ve çalışanların teknolojiye yönelik algılarını, güven düzeylerini ve iş yapma biçimlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bazı çalışmalar, yapay zekâ uygulamalarının bilişsel yükü azaltarak karar süreçlerini desteklediğini; bazıları ise algoritmik sistemlerin artan etkisinin kontrol kaybı ve belirsizlik algısını güçlendirebildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yapay zekâ ile insan karar vericiler arasındaki ilişkinin niteliğinin, örgütsel sonuçlar üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir (Fügener vd., 2022).

Teknoloji kabulü perspektifinden elde edilen bulgular, yapay zekâ uygulamalarının örgüt içinde etkin biçimde kullanılabilmesi için algılanan fayda ve kullanım kolaylığının kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmalar, çalışanların yapay zekâ sistemlerini destekleyici bir araç olarak algıladıkları durumlarda, bu teknolojilerin karar süreçlerine daha etkin biçimde entegre edildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, yapay zekânın tehdit edici veya denetleyici bir unsur olarak algılanması, direnç ve uyum sorunlarını beraberinde getirebilmektedir. Bu bulgular, stratejik teknoloji yönetimi uygulamalarının insan merkezli bir değişim yönetimi yaklaşımıyla desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir (Song vd., 2025).

Stratejik teknoloji yönetimi literatüründen elde edilen bir diğer önemli bulgu, yapay zekânın işletmelere sürdürülebilir rekabet avantajı sağlayabilmesi için kurumsal yeteneklerle bütünleşik biçimde ele alınması gerektiğidir. Yapay zekâ yatırımlarının kısa vadeli verimlilik kazanımlarına odaklanması, teknolojinin stratejik potansiyelinin tam olarak ortaya çıkmasını engelleyebilmektedir. Buna karşılık, yapay zekânın uzun vadeli stratejik hedeflerle ilişkilendirildiği ve örgütsel öğrenme süreçleriyle desteklendiği durumlarda, teknoloji yatırımlarının kurumsal değere dönüştüğü görülmektedir (Verhoef vd., 2021).

Bulgular ayrıca, yapay zekâ temelli dönüşüm süreçlerinin örgütler arasında homojen biçimde gerçekleşmediğini ortaya koymaktadır. Dijital olgunluk düzeyi, liderlik anlayışı ve kurumsal kültür gibi

faktörler, yapay zekâ uygulamalarının işletmeler üzerindeki etkisini belirgin biçimde farklılaştırmaktadır. Bu durum, stratejik teknoloji yönetiminin tek tip bir modelle ele alınamayacağını; örgütsel bağlama duyarlı, esnek ve uyarlanabilir yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, literatürden elde edilen bulgular yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunun çok boyutlu bir dönüşüm sürecini ifade ettiğini göstermektedir. Bu süreçte teknolojik kapasite kadar, örgütsel yapı, yönetim psikolojisi ve insan–teknoloji etkileşiminin de belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Bulgular, stratejik teknoloji yönetiminin disiplinlerarası bir bakış açısıyla ele alınmasının, yapay zekâ uygulamalarından beklenen kurumsal faydanın elde edilmesi açısından kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen bulgular, yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunun işletmeler açısından çok boyutlu bir dönüşüm süreci olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar, yapay zekâ uygulamalarının yalnızca operasyonel verimlilik sağlayan teknik araçlar olarak değil; örgütsel yapıların, yönetim anlayışlarının ve karar alma mekanizmalarının yeniden şekillenmesine yol açan stratejik unsurlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Keding, 2021). Bu durum, yapay zekânın işletmelerde yalnızca verimlilik artırıcı bir araç değil, aynı zamanda yönetim anlayışını dönüştüren stratejik bir unsur olarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Tartışma açısından öne çıkan temel noktalardan biri, yapay zekâ destekli karar sistemlerinin yönetsel karar kalitesi üzerindeki etkisidir. Bulgular, yapay zekânın karar kalitesini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermekle birlikte, algoritmik çıktılara aşırı güven duyulmasının ya da insan yargısının tamamen devre dışı bırakılmasının önemli riskler doğurabileceğini ortaya koymaktadır (Fügener vd., 2022). Bulgular, yapay zekânın karar süreçlerinde "tam otomasyon" yerine "tamamlayıcı" bir rol üstlendiği senaryolarda daha olumlu örgütsel sonuçlar ürettiğini desteklemektedir. Bu durum, insan–yapay zekâ işbirliğinin stratejik teknoloji yönetimi açısından kritik bir denge unsuru olduğunu ortaya koymaktadır (Raisch & Krakowski, 2021). Diğer bir ifade ile karar süreçlerinde yapay zekânın analitik gücünden yararlanılırken, yöneticilerin bağlamsal bilgi ve etik muhakemelerinin de sürece dâhil edilmesi kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Örgütsel yapı ve süreçler bağlamında yapılan değerlendirmeler, yapay zekâ entegrasyonunun işletmelerde daha esnek ve çevik organizasyonel modellere geçişi teşvik ettiğini göstermektedir. Ancak bu dönüşümün başarısı, teknolojik altyapının kurulmasından ziyade, kurumsal stratejiyle kurulan uyuma bağlıdır. Bulgular, yapay zekâ projelerinin izole uygulamalar şeklinde yürütülmesi durumunda beklenen stratejik katkının sınırlı kaldığını; buna karşılık bütüncül stratejik teknoloji yönetimi yaklaşımıyla ele alındığında kurumsal performans ve uyum düzeyinin güçlendiğini ortaya koymaktadır (Verhoef vd., 2021). Bu çerçevede, yapay zekâ yatırımlarının uzun vadeli kurumsal hedeflerle ilişkilendirilmesi, sürdürülebilir rekabet avantajı açısından belirleyici görünmektedir.

Yönetim psikolojisi açısından tartışıldığında, yapay zekâ uygulamalarının örgüt içi psikolojik iklim üzerinde hem destekleyici hem de zorlayıcı etkiler yaratabildiği görülmektedir. Yapay zekâ destekli sistemler, bilişsel yükü azaltarak yöneticilerin ve çalışanların karar süreçlerini kolaylaştırabilmekte; ancak algoritmik sistemlerin artan etkisi, kontrol kaybı algısı ve güvensizlik gibi psikolojik riskleri de beraberinde getirebilmektedir. Yani, yapay zekâ temelli yönetim uygulamalarının doğru biçimde tasarlanmadığı durumlarda çalışanlarda stres, belirsizlik ve güvensizlik gibi olumsuz psikolojik sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir (Nilsson vd., 2025). Bu bulgular, yapay zekâ temelli yönetim uygulamalarının insan merkezli tasarım ilkeleri ve şeffaf yönetişim mekanizmalarıyla desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Fügener vd., 2022). Bu durumda, yapay zekâ projelerinin yalnızca teknik boyutlarıyla değil, aynı zamanda insan merkezli tasarım ilkeleriyle birlikte ele alınmasının önemli olduğu ifade edilebilir.

Teknoloji kabulü perspektifinden yapılan değerlendirmeler, yapay zekâ uygulamalarının örgüt içinde benimsenmesinin, çalışanların algıları ve tutumlarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Bulgular, yapay zekânın destekleyici bir araç olarak algılandığı durumlarda teknolojik entegrasyonun daha sorunsuz gerçekleştiğini; tehdit veya denetim aracı olarak algılandığında ise direnç ve uyum sorunlarının ortaya çıktığını göstermektedir. Bu durum, stratejik teknoloji yönetimi uygulamalarının yalnızca teknik değil, aynı zamanda davranışsal ve psikolojik boyutları dikkate alan bir değişim yönetimi yaklaşımıyla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Song vd., 2025).

Çalışmanın sonuçları, yapay zekâ çağında stratejik teknoloji yönetiminin çok disiplinli bir çerçevede değerlendirilmesi gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Dijital dönüşüm süreçleri, örgütlerin yalnızca teknolojik altyapılarını değil, aynı zamanda kültürlerini, liderlik yaklaşımlarını ve yetkinlik yapılarını da dönüştürmelerini gerektirmektedir. Yapay zekânın işletmelerde kurumsal değere dönüşebilmesi, teknoloji, strateji ve insan faktörünün dengeli biçimde bütünleştirilmesine bağlıdır. Bu bağlamda stratejik teknoloji yönetimi, yalnızca teknolojik yatırımların planlanması değil; aynı zamanda örgütsel öğrenmenin, yönetim psikolojisinin ve kurumsal adaptasyonun birlikte yönetildiği bütüncül bir süreç olarak ele alınmalıdır. Bu nedenle, yapay zekâ entegrasyonunun kurumsal düzeyde bütünleşik bir portföy yönetimi anlayışıyla ele alınması ve teknoloji yatırımlarının uzun vadeli örgütsel hedeflerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir (Fascinari & English, 2025). Bununla birlikte, dinamik yetenekler yaklaşımı çerçevesinde değerlendirildiğinde, yapay zekânın örgütlere sağladığı asıl katkının, çevresel değişimleri daha hızlı algılama ve bu değişimlere daha çevik biçimde yanıt verebilme kapasitesini güçlendirmesi olduğu anlaşılmaktadır (van de Wetering, 2025). Bu çerçevede stratejik teknoloji yönetimi, sürdürülebilir rekabet avantajının temel belirleyicilerinden biri hâline gelmektedir.

Uygulayıcılar açısından değerlendirildiğinde, çalışmanın önemli çıkarımlar sunduğu görülmektedir. İşletmelerin yapay zekâ yatırımlarını kısa vadeli operasyonel kazançlarla sınırlı görmemeleri, bu teknolojileri uzun vadeli stratejik dönüşüm araçları olarak konumlandırmaları gerekmektedir. Ayrıca yapay zekâ projelerinin başarısı için teknik yetkinlikler kadar, liderlik anlayışı, çalışan katılımı ve etik yönetişim mekanizmalarının da kritik öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, yapay zekâ çağında işletmelerin karşı karşıya olduğu temel zorluğun, teknolojiyi örgütsel bağlamla uyumlu biçimde bütünleştirmek olduğu görülmektedir. Yapay zekâ projelerinin teknik başarı ölçütlerinin ötesinde, örgütsel öğrenme, çalışan deneyimi, etik ilkeler ve kurumsal stratejiyle uyum gibi boyutlarla birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu durum, stratejik teknoloji yönetiminin çok disiplinli bir bakış açısıyla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Araştırma, literatür incelemesine dayalı olduğu için bulgular ikincil veri kaynaklarıyla sınırlıdır ve belirli sektörlere özgü ampirik sonuçlar sunmamaktadır. Yapay zekâ alanındaki hızlı teknolojik gelişmeler, literatürün sürekli güncellenmesini gerekli kılmaktadır. Gelecek araştırmaların, farklı sektörlerde yapay zekâ uygulamalarının örgütsel ve psikolojik etkilerini nicel ve nitel yöntemlerle incelemesi, stratejik teknoloji yönetimi literatürüne önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, yapay zekâ çağında strateji, yönetim ve teknoloji entegrasyonunun yalnızca teknik bir yenilik süreci (Teknik Yaklaşım) değil; örgütsel, psikolojik ve yönetsel boyutları (Sosyal Boyutlar) olan kapsamlı bir dönüşüm (Sosyo-Teknik) olduğunu ortaya koymaktadır. İşletmelerin bu dönüşümden sürdürülebilir değer üretebilmeleri, yapay zekâyı stratejik teknoloji yönetimi perspektifiyle ele almalarına ve insan faktörünü merkeze alan bütüncül yaklaşımlar geliştirmelerine bağlı görünmektedir. Ayrıca, yapay zekânın stratejik teknoloji yönetimi perspektifiyle ele alınması, işletmelerin bu dönüşümden sürdürülebilir değer üretmeleri açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). Systematic approaches to a successful literature review (2nd ed.). Sage Publications.

Borges, A. F. S., Laurindo, F. J. B., Spínola, M. M., Gonçalves, R. F., & Mattos, C. A. (2021). The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. International Journal of Information Management, 57, 102225. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102225

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brynjolfsson, E., & McElheran, K. (2016). The rapid adoption of data-driven decision-making. *American Economic Review, 106*(5), 133–139. https://doi.org/10.1257/aer.p20161016

Fascinari, M., & English, V. (2025). The impact of artificial intelligence on strategic technology management: A mixed-methods analysis of resources, capabilities, and human–AI collaboration. arXiv Preprint. https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.08938

Fügener, A., Grahl, J., Gupta, A., & Ketter, W. (2022). Cognitive challenges in human–artificial intelligence collaboration: Investigating the path toward productive delegation. Information Systems Research, 33(2), 678–696. https://doi.org/10.1287/isre.2021.1079

Keding, C. (2021). Understanding the interplay of artificial intelligence and strategic management: Four decades of research in review. Management Review Quarterly, 71(1), 91–134. https://doi.org/10.1007/s11301-020-00181-x

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine, 6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Nikzat, P. (2025). Review of artificial intelligence (AI) revolution and strategic competitive advantage in business and management. American Journal of Industrial and Business Management, 15(11), 1685–1699. https://doi.org/10.4236/ajibm.2025.1511088

Nilsson, K. H., Bodin, T., Strauss, P., Matilla-Santander, N., Badarin, K., Brulin, E., & Håkansta, C. (2025). Algorithmic management is associated with psychological distress, musculoskeletal pain, and occupational accidents: A cross-sectional study in logistics. International Archives of Occupational and Environmental Health. https://doi.org/10.1007/s00420-025-02180-5

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox. *Academy of Management Review, 46*(1), 192–210. https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 104, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Song, Y., Qiu, X., & Liu, J. (2025). The impact of artificial intelligence adoption on organizational decision-making: An empirical study based on the technology acceptance model in business management. Systems, 13(8), 683. https://doi.org/10.3390/systems13080683

Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology, 8*, 45. https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. British Journal of Management, 14(3), 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

Van De Wetering, R. (2025). Artificial intelligence as an enabler of dynamic capabilities: A "Sense–Shape–Shift" perspective on digital transformation during disruption. In A. Achilleos, S. Forti, G. A. Papadopoulos, & I. Pappas (Eds.), Pervasive Digital Services for People's Well-Being, Inclusion and Sustainable Development (pp. 248–262). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06164-5_18

Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research, 122*, 889–901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022

Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems, 28*(2), 118–144. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003

https://doi.org/10.71284/asc.2026115

A FRAMEWORK FOR A SUSTAINABLE FUTURE: ANALYZING REAL-WORLD APPLICATIONS OF GREEN ENGINEERING

Muhammad Iqbal Md Monir [1]
Choong Chee Guan[2]
Khairul Anuar Ishak[3]
Mohd Zulfabli Hasan[4]

Abstract

Sustainable design involves planning and developing systems that harmonize with nature while addressing major environmental challenges. Balancing human needs with ecological integrity is essential. The Twelve Principles of Green Engineering, developed by the U.S. EPA in collaboration with experts (including contributions associated with Paul Anastas and Julie Zimmerman), provide a comprehensive framework to guide professionals in architecture, engineering, and urban planning toward creating truly sustainable buildings and products. These principles emphasize environmental protection, responsible use of natural resources, and the creation of healthy, adaptable spaces that benefit both current and future generations. Key focuses include minimizing energy consumption and waste, utilizing sustainable materials, incorporating by- products effectively, and adopting life-cycle approaches from raw material extraction to end-of-life disposal. A holistic strategy is vital to reduce atmospheric carbon emissions, prevent pollution, and limit overall environmental harm. The principles also promote community engagement, economic viability, adaptive reuse, and sensitivity to local contexts. This case study examines real-world applications of ecologically friendly design practices across various countries, highlighting benefits such as improved resident comfort, significant electricity savings, and reduced pollution. Execution challenges including insufficient funding, limited awareness, and gaps in technical knowledge are also discussed, underscoring the need for support from relevant authorities. Architects, engineers, and designers seeking to develop attractive, practical, ecologically responsible, and durable solutions will find the Twelve Principles of Green Engineering to be an indispensable framework.

Keywords: Twelve principles of green engineering; sustainable design; resource efficiency and environmental sustainability

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: iqbalmonir0061@gmail.com

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: dr.choong@ptss.edu.my

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: khairulanuar@ptss.edu.my

[4]Department of Management and Technology, Faculty of Management, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Malaysia, e-mail: mohdzulfabli@utm.my

INTRODUCTION

Sustainable design has become a critical approach in addressing global environmental challenges such as resource depletion, energy inefficiency, pollution, and climate change. Engineers and designers are increasingly required to develop systems and products that not only meet functional and economic needs but also minimize negative environmental and social impacts. In this context, Green Engineering provides a structured framework for integrating sustainability into engineering practices.

The Twelve Principles of Green Engineering, proposed by Anastas and Zimmerman, serve as a comprehensive guideline for designing processes, products, and systems that are environmentally responsible throughout their entire life cycle. These principles emphasize the prevention of waste, efficient use of materials and energy, reduction of hazardous substances, and the consideration of long-term environmental and societal impacts. By applying these principles, engineers can move beyond end-of-pipe solutions toward proactive and sustainable design strategies.

This case study examines the application of sustainable design through the Twelve Principles of Green Engineering by analyzing a selected engineering project or system. The study highlights how each principle contributes to improved environmental performance, resource efficiency, and overall sustainability. Through this analysis, the case study aims to demonstrate the practical relevance of green engineering principles in solving real-world engineering problems while supporting sustainable development goals.

The Seven Principles of Green Engineering, as given by Anastas and Zimmerman, describe an entire framework to create products and processes with minimum impact on the environment, as well as being friendly to human health and feasible in nature. The principles are centered on prevention rather than cure, safer product design, efficiency in material and energy requirements, reduction of toxicity, and reduction in the generation of waste materials. These principles are being widely accepted as criteria in the design of products following the theme of sustainability.

Various research works have assessed its applicability to the different sectors in the field of engineering. In the building industry, for instance, it was established that the application of prevention strategies like designing for energy efficiency and material reuse minimizes the extent of carbon emissions associated with buildings. The application of the “inherently safer design” principle was adopted for the selection of non-toxic materials in maintaining the indoor quality of buildings in the office and building sectors. In the manufacturing industry, the application of the “substitution” principle to the selection of alternative raw materials for manufacturing resulted in the minimization of worker hazards and the level of contamination to the environment.

Moreover, there can be a use of the approaches of the case studies in assessing the application of the twelve principles. Such studies show that their application in an integrative manner in the early stages of building design ensures a more sustainable outcome than the application of a separate strategy. Several problems, though, emerge in the literature. First, most of these studies rely more upon qualitative descriptions. Moreover, there is a lack of unifying performance criteria in assessing each of the principles. Economical and technical barriers of application in industry exist.

As such, it can be concluded that existing studies have established that the principles of Green Engineering stand strong in supporting sustainability, although further studies need to be done in order to improve quantification of Green Engineering assessment tools, further integration of differing disciplines, as well as general application of these engineering guidelines.

1. METHODOLOGY

One of the suitable research methods for studying sustainable design principles based on the twelve principles of green engineering is the case study method. This research method is centered on the observation and analysis of practical projects that apply the principles of sustainable design, with the objective of establishing the level of compliance of these projects with the principles of green engineering. The researcher would begin by identifying and choosing a number of relevant projects in different sectors.

Once the projects have been identified, data collection would include the evaluation of key elements such as design principles, material types, energy efficiency, and environmental effects. This data could be collected through interviews with people who have been involved in the projects, review of technical reports and project files, and observation of the sites. Each project would then be evaluated by referring to the twelve principles of green engineering to determine the effectiveness of the principles in the design.

The results of the analysis would be utilized in the formation of conclusions, such as the identification of effective practices, weaknesses in existing practices, and suggestions for improvement in future sustainable designs. One of the key strengths of the case study approach is the fact that it is capable of offering in-depth insight into the implementation of sustainable designs, in addition to allowing comparisons to be made.

At the same time, it should be noted that there are some shortcomings with this approach, in the sense that the findings might be context-dependent, meaning that it might not be quite simple to generalize them. Furthermore, there might be some element of subjectivity involved when assessing based on the different principles of green engineering. It is therefore advisable to use this approach in combination with other methodologies, such as conducting surveys or focus group meetings.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 Green engineering specifically emphasizes the design of environmentally responsible and sustainable products, processes, and technologies. Primarily, green engineering aims to decrease the negative influence of human activities on the environment through the promotion of the usage of renewable resources, reduction of waste production and pollutants, and the idea of prevention over treatment. The key tenets of green engineering can be applied to the design of various products as noted in Table 1.

Table 1. Twelve (12) Principles of Green Engineering – Problems & Solutions

No.	Principle	Problem	Solution
i.	Inherently Risk-Free -Designers need to strive to ensure that all materials and energy inputs and outputs are as inherently nonhazardous as possible. Prevention Instead of Treatment	Many products and industrial processes involve inherent risks that can harm human health and the environment, especially due to the use of hazardous chemicals.	Apply green engineering principles by using renewable resources, minimizing waste and pollution, and eliminating or reducing hazardous materials.
ii	Instead of Therapy use Prevention - It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it is formed.	Waste is often deliberately Include in process designs without thought, requiring costly treatment or clean-up later.	Adopt technologies aimed at achieving waste-free design to prevent waste before it created.
iii.	Maximize Efficiency in terms of Mass, Energy and Time - Products, processes, and systems should be designed to maximize mass, energy, space, and time efficiency.	This approach can also be applied in the water and wastewater industries, where treatment systems are controlled.	Effectively control complex water and wastewater treatment processes, advanced control algorithms should be considered.

iv.	Create a Separation Plan – Separation and purification operations should be designed to minimize energy consumption and materials use.	Poor early design decisions make separation, purification, reuse, and recycling more difficult and energy-intensive.	Design processes that simplify separation and purification to improve recycling and material recovery.
v.	Input-Pushed vs Output-pulled - Products, processes, and systems should be "output-pulled" rather than "input- pushed" through the use of energy and materials.	Systems that rely heavily on increasing inputs create stress on resources and the environment	Adopt output-pulled systems by recycling and reusing materials to conserve energy and resources.
vi.	Maximize complexity -Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition.	Highly complex products are difficult and costly to separate and recycle, making recycling economically unattractive.	Improve recycling technologies to manage complexity and reduce waste effectively.
vii.	Instead of immortality, Choose Durability -Targeted durability, not immortality, should be a design goal.	Products that last longer than their useful economic life contribute to environmental problems.	Design products with targeted durability and consider the full product life cycle.
viii.	Fulfil Need while Reducing Excess -design for unneeded capacity or capability solutions should be viewed as a design mistake.	Overdesign and unnecessary capacity lead to inefficiency	Focus on fulfilling actual needs; for example, exploring alternative disinfection methods to minimize by products.
ix.	Minimize the Variety of Materials - Material diversity in multicomponent products should be minimized to promote disassembly and value retention.	Using many different materials makes disassembly and recycling difficult.	Select materials carefully to reduce environmental impact and improve end-of-life management.
x.	Integrate Regional Energy and Materials Flows -Design of products, processes, and systems must include integration and interconnectivity with available energy and materials flows.	Regional integration can cause social and political conflicts that slow sustainability efforts.	Promote cooperation, collaboration, and conflict-prevention mechanisms to support sustainable regional integration.
xi.	Design for Future Commence Products, processes, and systems should be designed for performance in a commercial "afterlife."	Uncertainty about the future makes long-term design planning challenging.	Use adaptive management by continuously monitoring and adjusting designs as conditions change.
xii.	Instead of Decreasing, Renewable -emphasizes that energy and material inputs should be replenish	Global dependence on fossil fuels and virgin plastics.	Shifting to renewable energy (solar, wind) and bio-based materials like bamboo.

From the above table, it is clear that the twelve principles of Green Engineering act as a guideline in overcoming various environmental issues in a sustainable manner. All the principles are interlinked to a real-life problem, which may be in terms of creation of waste, depletion of resources, ineffectiveness, and complexity of end-products, and the solution to it that is environmentally friendly or sustainable.

Moreover, it should also be noted that these principles also emphasize life cycle thinking. The principles, therefore, focus on the impact on the environment, considering the entire life cycle ranging from the early

design phase through to the end-of-life phase. This is because, by disassembling, reusing, or recycling the materials right from the design phase, the product can become more environment-friendly.

Additionally, from the table above, it is clear that sustainable design does not depend on a technology or an approach alone but depends on a holistic approach to innovation, efficiency, and responsibility. By applying any of the twelve principles of green engineering in any of the industrial and engineering practices, organizations can promote sustainable development while minimizing any detrimental environmental impacts and creating a healthier world for future generation.

4.1 An Example of usıng IBS Taskblock to Replace Conventıonal Brıcks (Prıncıples 1, 3, 4 & 7)

The application of Principles 1, 3, 4, and 7 of the Twelve Principles of Green Engineering in IBS Taskblock construction demonstrates a sustainable and efficient building approach. Principle 1 (Inherently Safer Design) is achieved because components are produced in a controlled factory environment, reducing on-site hazards, dust and pollution. Under Principle 3 (Design for Separation), IBS Taskblocks are produced in standardized, modular units that can be easily dismantled at the end of a building's life, allowing materials to be reused or recycled and reducing construction waste.

Principle 4 (Maximize Efficiency) is achieved through factory -based production, which minimizes material wastage, shortens construction time, lowers energy consumption, and improves resources efficiency, while the thermal mass of concrete blocks helps reduce long-term energy use in buildings. In line with Principle 7 (Durability Rather Than Immortality), Ibs Taskblocks are designed to be durable enough to withstand structural and environmental demand during their service life but can still be dismantled and processed into recycled aggregates after use, preventing long-term environmental burden and supporting sustainable construction practice.

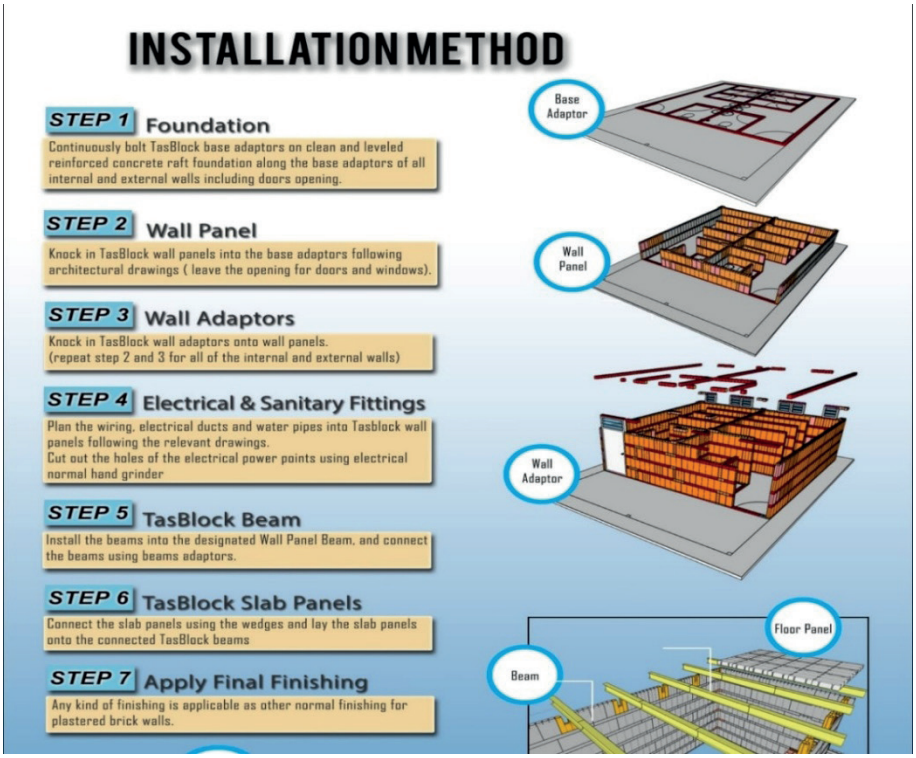
Figure 1. Example of Construction Using IBS Taskblock

[Retrieved from: hflps://bit.ly/4qJVJku]



Figure 2. IBS Taskblock Installation Method

[Retrieved from: hflps://bit.ly/4qJVJku]



An Example of usıng Raınwater Harvestıng System (Prıncıples 2, 7 & 10)

The rainwater harvesting system can be classified as a “green engineering solution,” which provides a solution for the collection and storage of water from rooftops and subsequent storage for non-potable purposes like flushing toilets, cleaning, and gardening. The rainwater harvesting system can be viewed as a means of applying the “prevention instead of treatment” principle because it attempts to reduce the usage and treatment of water for simple purposes like flushing toilets and cleaning.

Principle 7 Use Renewable Resources is clearly applied because rainwater is naturally renewable resource that reduces dependence on groundwater and treated municipal water supplies.

The rainwater harvesting system operates on the principle of “integration of local material/energy flows” because rainwater usage can be deemed locally available for utilization. The energy used for harvesting and usage purposes is minimal as compared to the conventional ways of utilization.

Figure 3. A Rainwater Harvesting System Diagram

[Retrieved from: hflps://bit.ly/3LVUjEv]

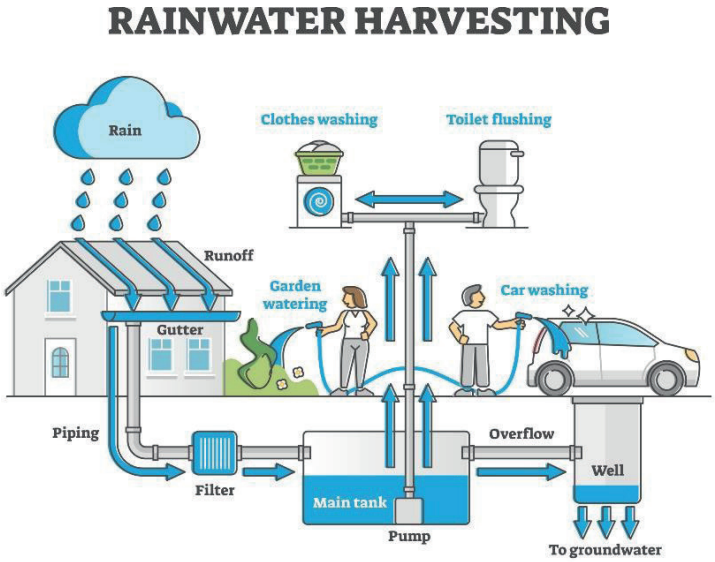


Figure 4. Rainwater harvesting Tank at PSD Office

[Retrieved from: hflps://bit.ly/3OrFWZa]



CONCLUSION

The Twelve Principles of Green Engineering provide a forward-thinking and practical framework for achieving genuine sustainability in both industrial processes and product design. By incorporating these principles during the initial stages of design—focusing on aspects like energy efficiency, waste prevention, and inherent safety—engineers can develop systems that are socially conscious, environmentally responsible, and economically viable. This approach represents a significant shift from reactive methods, such as waste treatment and pollution control, towards proactive strategies that address environmental problems at their source.

The implementation of these principles has the capacity to substantially lower energy consumption and hazardous waste generation while extending the lifecycles of products through enhanced recyclability, modularity, and reparability. Furthermore, moving away from traditional, energy-intensive processes like distillation in favor of more efficient alternatives, such as integrated systems or membrane separation, emphasizes the importance of life-cycle thinking.

Although challenges such as cost barriers, scalability issues, and industrial inertia remain, existing case studies and a growing body of literature demonstrate that applying these principles leads to significant economic and environmental benefits. Ultimately, green engineering is more than just an environmental preference; it is a critical strategy for building a low-impact, circular, and resilient future. As industries transition towards resource efficiency and decarbonization, these principles will be essential in tackling global sustainability challenges across all sectors.

REFERENCES

Anastas, P.T., and Zimmerman, J.B. (2003). Design through the Twelve Principles of Green Engineering. Env. Sci. Tech., 37(5), 94A-101A.

Mihelcic, J., A. Ramaswami, and J. Zimmerman. (2005). Integrating Developed and Developing World Knowledge into Global Discussions and Strategies for Sustainability. Submitted to Environmental Science and Technology.

Allen, D. T.; Shonnard, D. R. (2001). Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes; Prentice Hall: New York.

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Green chemistry: Theory and Practice. Oxford University Press.

https://doi.org/10.71284/asc.2026116

BUILDING SUSTAINABLY: HOW GREEN ENGINEERING PRINCIPLES SHAPE MODERN MALAYSIAN ARCHITECTURE

Amirah Batrisyia Mazlan [1]
Choong Chee Guan[2]
Khairul Ishak Anuar[3]
Mohd Zulfabli Hasan[4]

Abstract

Sustainable design in architecture is a holistic approach that emphasizes minimizing environmental impacts, efficient resource use, and occupant well-being throughout a building's life cycle. Guided by the Twelve Principles of Green Engineering (Anastas & Zimmerman), it integrates material safety, waste prevention, energy and resource efficiency, use of renewable materials and energy, and structural resilience without overbuilding. In Malaysia's hot-humid tropical climate, passive strategies such as strategic building orientation, cross-ventilation, shading, and natural lighting reduce energy consumption and improve indoor comfort. Renewable energy integration through solar panels, smart energy management systems, and intelligent sensors further enhances energy performance while lowering operational carbon footprint. The use of low-impact, non-toxic, and recyclable materials, combined with sustainable water and landscape management, aligns with principles of "prevent rather than treat" and "conserve complexity," ensuring long-term sustainability. Notable examples in Malaysia include the Malaysia Energy Commission Diamond Building, Low Energy Office (LEO), Green Energy Office (GEO) Building, S11 House, and Tanjung Aru Library, demonstrating practical implementation of green engineering and evaluation through the Green Building Index (GBI). In the Industry 4.0 era, artificial intelligence supports generative design, energy performance simulations, and big data management to optimize sustainable design decisions while maintaining creativity, functionality, and socio-cultural value. By combining passive strategies, green technologies, sustainable material selection, and effective resource management, sustainable design reduces environmental impacts and operational costs while enhancing building performance, resilience, and contribution to global sustainable development goals.

Keywords: Sustainable design, green engineering, twelve principles of green engineering, renewable energy, passive strategies.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: amirahbatrisyiabintimazlan@student.ptss.edu.my

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: dr.choong@ptss.edu.my

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: khairulanuar@ptss.edu.my

[4]Department of Management and Technology, Faculty of Management, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Malaysia, e-mail: mohdzulfabli@utm.my

INTRODUCTION

The goal of sustainable design is to satisfy functional, economic, and social objectives while minimizing adverse effects on the environment, people, and natural resources over the course of an object, system, or building's life cycle. Its goals include lowering energy use, using less non-renewable resources, and enhancing user comfort and well-being. Energy-efficient and renewable resources, low-carbon and low-volatile organic compounds (VOCs) materials, climate-responsive design, and effective water and waste management systems are important components of sustainable design.

Paul Anastas and Julie Zimmerman developed the Twelve Principles of Green Engineering as a collection of rules to guarantee that engineering designs take safety, resource efficiency, and environmental friendliness into account throughout the life cycle of a system or product. These ideas can be used in many different contexts, such as construction and structural design, and are not just applicable to chemistry. The principles are Inherent Rather Than Circumstantial, Prevention Instead of Treatment, Design for Separation, Maximize Efficiency, Output-Pulled Versus Input-Pushed, Conserve Complexity, Durability Rather Than Immortality, Meet Need, Minimize Excess, Minimize Material Diversity, Integrate Material and Energy Flows, Design for Commercial "Afterlife", and Renewable Rather Than Depleting.

Thus, sustainable design and the Twelve Principles of Green Engineering are critical in architecture because they address environmental issues, human health, cost efficiency, and professional standards. The building sector accounts for around 30-40% of worldwide energy consumption and greenhouse gas emissions. As a result, sustainable design contributes to reducing a building's carbon footprint over its entire life cycle, which is critical for climate change mitigation. It also improves occupant quality of life through comfort, air purity, natural illumination, and well-being, all while lowering operational costs, boosting asset value, and lowering maintenance.

This case study examines the effectiveness of sustainable design in architecture using the Twelve Principles of Green Engineering. The study will emphasize the application of these principles by identifying problems and providing solutions. This case study will provide instances of how green engineering principles might be applied to architectural engineering difficulties while working toward sustainable development goals.

Sustainable design in architecture is a comprehensive strategy that takes into account environmental, social, and economic factors throughout the lifecycle of a structure. This approach goes beyond just adding green areas or conserving energy by stressing resource optimization, improving user comfort and health, and limiting harmful effects on ecosystems (Kibert, 2016). Lehmann (2018) emphasizes that green design should be viewed as a dynamic system that interacts with urban environment, climate, and community, as focusing exclusively on energy technology without taking into account social or material factors is insufficient to fulfill sustainability objectives.

Paul Anastas and Julie Zimmerman (2003) created the Twelve Principles of Green Engineering, which serve as a foundation for developing ecologically friendly solutions from the start. These principles include pollution prevention, resource efficiency, the use of renewable materials, and designing for natural deterioration or recycling. Allen and Iano (2019) indicate that integrating these principles into the architectural design process can reduce energy consumption by 30–50% compared to conventional buildings, improve indoor air quality, and optimize water usage through natural systems such as rainwater harvesting.

The Twelve Principles of Green Engineering are integrated into architectural practice using two basic approaches: design-driven integration and performance-driven integration. Azhar, Carlton, Olsen, and Ahmad (2011) found that commercial buildings applying energy optimization and renewable energy principles consistently achieved LEED Gold standards compared to projects that only met minimum requirements. In tropical contexts like Malaysia and Singapore, studies highlight an emphasis on passive strategies such as building orientation, shading, and cross-ventilation to ensure buildings operate efficiently

in hot and humid climates (Tajuddin, 2017).

Although the Twelve Principles of Green Engineering provide a strong framework, some criticisms exist. Ding (2015) emphasizes that these principles are too general and require adaptation according to physical, cultural, and geographical contexts. Furthermore, Pacheco-Torgal, Ding, and Jalali (2012) state that optimal green design often requires high initial costs, and studies on long-term cost-benefit in tropical countries remain limited.

1. METHODOLOGY

This study examines the implementation of sustainable design in architecture using a case study approach based on the Twelve Principles of Green Engineering. The case study approach was chosen because it allows for detailed observation of building projects that actually employ sustainable design principles, as well as assessment of their effectiveness and obstacles in real-world contexts. The study combines qualitative and quantitative data to ensure a holistic analysis and support valid conclusions.

Data collection involves several methods. First, document analysis, including architectural plans, project reports, energy usage data, and other technical documents. Second, site observation to directly evaluate passive design strategies and green engineering elements. Third, conduct interviews and surveys of architects, engineers, and building managers to better understand the design process, obstacles, and success of the Twelve Principles of Green Engineering. In addition, a literature evaluation is conducted to give theoretical support, comparing the practices in the case study buildings to past studies and global best practices.

Data analysis is carried out in layers. Content analysis is used to evaluate the extent to which each of the Twelve Principles of Green Engineering is practiced. Quantitative data involves evaluating building performance indicators such as energy use, water consumption, and resource efficiency, which are then compared to traditional structures to assess the concrete impact of sustainable design. If the study involves multiple buildings, a cross-case comparison is performed to identify patterns, best strategies, and gaps in the application of the Twelve Principles of Green Engineering.

Ultimately, this methodology allows the study to identify accomplishments, problems, and recommendations for enhancing the use of the Twelve Principles of Green Engineering in tropical architecture. The study's findings are expected to provide practical assistance for creating sustainable designs that are holistic, energy-efficient, and environmentally beneficial.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 Twelve Principles of Green Engineering provides practical guidance, such as selecting sustainable and recyclable materials, designing for energy efficiency and natural lighting, using renewable resources, reducing toxic substances in building materials, and ensuring buildings are durable and adaptable for modifications. By integrating these principles, buildings not only fulfil aesthetic and practical functions but also support environmental sustainability and human well-being in a holistic manner.

Table 1. Twelve Principles of Green Engineering (Problems & Solutions)

No.	Principle	Problem	Solution
i.	**Inherent Rather Than Circumstantial** Designers must endeavour to make all material and energy inputs and outputs inherently non-hazardous to the greatest extent possible.	Conventional materials may release toxins or be non-recyclable, harming environment and occupants.	Uses non-toxic, low-VOC paints and sustainable construction materials, ensuring indoor air quality and reducing environmental hazards.
ii.	**Prevention Instead of Treatment** It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it is formed.	Waste generation during construction and operation causes significant disposal expenses and pollution.	Implement modular construction and prefabrication to minimise on-site waste and reduce need for later remediation.
iii.	**Design for Separation** Separation and purification operations should be designed to minimize energy consumption and materials use.	Mixed-material components are hard to disassemble, increasing energy and resource use for recycling.	Designs structural and MEP (mechanical, electrical, plumbing) systems for easy disassembly, promoting energy-efficient maintenance and recycling.
iv.	**Maximize Efficiency** Products, processes, and systems should be designed to maximize mass, energy, space, and time efficiency.	Inefficient energy, water, and space usage leads to high operating costs and emissions.	Installs high-performance insulation, daylighting, and energy-efficient HVAC systems to improve energy and space efficiency.
v.	**Output-Pulled Versus Input-Pushed** Products, processes, and systems should be “output pulled” rather than “input pushed” through the use of energy and materials.	Overproduction or overconsumption of energy and materials wastes resources.	Employs demand-driven lighting and ventilation controls (sensor-based), reducing unnecessary energy input while meeting user needs.
vi.	**Conserve Complexity** Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition.	Overly complex material systems hinder recycling and reuse, increasing embedded energy loss.	Uses standardised and modular material components, reducing complexity and facilitating future recycling.
vii.	**Durability Rather Than Immortality** Targeted durability, not immortality, should be a design goal.	Over-engineering structures can increase material usage and environmental footprint.	Employs durable materials like aluminium facades and reinforced concrete with optimised lifespans, avoiding unnecessary material overuse.
viii.	**Meet Need, Minimize Excess** Design for unnecessary capacity or capability solutions should be considered a design flaw.	Oversized HVAC, lighting, or structural systems consume excess resources.	Designs HVAC and lighting systems specifically for occupancy patterns, avoiding oversizing and minimising energy use.
ix.	**Minimize Material Diversity** Material diversity in multicomponent products should be minimized to promote disassembly and value retention.	Multiple types of incompatible materials complicate recycling and reduce value recovery.	Simplifies material palette, mainly timber, concrete, and glass, allowing easier disassembly and reuse of materials.
x.	**Integrate Material and Energy Flows** Design of products, processes, and systems must include integration and interconnectivity with available energy and materials flows.	Disconnected systems lead to energy wastage and inefficient material handling.	Integrates rainwater harvesting and greywater recycling into building operations, linking water and energy flows to reduce demand on utilities.

xi.	**Design for Commercial "Afterlife"** Products, processes, and systems should be designed for performance in a commercial "afterlife."	Buildings often demolished without planning for reuse, wasting materials and energy.	Uses modular panels and standardised components that can be repurposed in other projects.
xii.	**Renewable Rather Than Depleting** Material and energy inputs should be renewable rather than depleting.	Reliance on fossil fuels and non-renewable materials contributes to depletion and emissions.	Incorporates solar PV systems, natural ventilation, and sustainably sourced timber, relying on renewable energy and materials wherever possible.

The analysis of the Twelve Principles of Green Engineering, as represented in the table by the identified challenges and related solutions, indicates that sustainable engineering is fundamentally dependent on proactive, systemic, and lifecycle-oriented design strategies. Each principle identifies a distinct structural flaw in traditional construction and engineering processes, such as over-complexity, excessive material diversity, system over-sizing, reliance on non-renewable resources, and designs that prevent disassembly and reuse. These shortcomings ultimately lead to higher energy consumption, increased waste generation, operational inefficiencies, and reduced material recovery potential.

The solutions presented across the principles consistently converge on several key sustainability imperatives: minimizing environmental hazards at the source, preventing waste before it forms, optimizing energy and material flows, and prioritizing modularity, standardisation, and renewable inputs. Approaches such as modular construction, high-performance systems, simplified material palettes, and renewable energy integration not only address immediate environmental burdens but also enhance long-term adaptability, maintainability, and circularity within the built environment.

Overall, the table demonstrates that implementing the Twelve Principles of Green Engineering is a transformative paradigm that rethinks how products, processes, and systems should be designed and implemented. When used systematically, these principles allow for the design of resource-efficient, low-impact, future-ready buildings and infrastructure that are consistent with the larger goals of sustainable development and circular economy practices.

Because even little differences across samples of the same composition (S1, S2, S3) might affect findings, the observed variances in strength may be due to changes in mixing or curing. As a filler, rubber lowers density and reduces the brick's ability to support loads. Restricting rubber content to 5–10% may be the best way to combine sustainability and performance while still providing structural performance and environmental benefits. This process ensures conformity to building regulations while promoting reuse of waste material. According to the Jabatan Kerja Raya Malaysia (2005) criteria for compressive strength and material proportions, precise calibration of the rubber proportion is necessary in practice to preserve the brick's integrity for practical reasons.

An Example of Malaysıa Energy Commısıon Dıamond Buıldıng (Prıncıples 1, 6 & 11)

The Malaysia Energy Commission Diamond Building in Putrajaya, Malaysia adheres to the Principle 1 (Inherent Rather Than Circumstantial) by selecting materials and systems that are inherently benign, reducing risks and harmful effects without relying on additional control systems. For example, the building uses low volatile organic compound (VOC) construction materials, recycled materials, and low-e glass to optimize natural lighting. Additionally, passive strategies such as building orientation and self-shading facade design reduce heat absorption, lower dependence on high-powered HVAC systems, and enhance energy efficiency.

In the context of the Principle 6 (Conserve Complexity), the Diamond Building maintains system complexity as an investment for long-term performance. The integration of lighting systems, facade design, radiant cooling, and natural light usage enables the building to achieve high energy efficiency and stable operational value. This complexity not only enhances performance but also facilitates easier maintenance and future system recalibration. Designs such as coordinated daylighting systems with reflectors and skylights allow continuous optimization without relying on complex, hard-to-maintain automated systems.

The Principle 11 (Design for Commercial "Afterlife") is applied through flexible, recycling-oriented design and high green performance. The Diamond Building has achieved Platinum certification in both the Green Building Index (GBI) and Singapore Green Mark, making it attractive to tenants who value sustainable buildings while maintaining its long-term commercial value. The layout of internal rooms and construction systems allows for future practical adaptability without requiring extensive upgrades. The use of recycled materials and flexible construction also allows for reuse in future projects once the building has reached the end of its useful life.

Overall, the Diamond Building exemplifies the integration of Green Engineering principles by selecting low-risk materials and systems, preserving functional complexity as an investment for sustained performance, and ensuring future commercial value and recyclability. This technique demonstrates that sustainable design is more than just reducing environmental damage; it is also a resilient economic and technical plan for the building's whole life cycle.

Figure 1. Malaysia Energy Commission Diamond Building

[Retrieved from: https://www.st.gov.my/eng/details/aboutus/9]



Figure 2. Design Strategy of Malaysia Energy Commission Diamond Building

[Retrieved from: https://www.st.gov.my/eng/details/aboutus/9]



An Example of Low Energy Office Building (Principles 2 & 7)

The Low Energy Office (LEO) Building in Putrajaya, Malaysia, provides an opportunity to critically investigate the use of the Twelve Principles of Green Engineering in architectural practice. In relation to Principle 2, Anastas and Zimmerman (2003) believe that preventing waste and environmental effect at the source is preferable to managing or remediating it after it has been generated. The LEO Building exemplifies this preventive approach by including passive design solutions targeted at reducing energy demand from the start. The building orientation, external shading devices, high-performance glazing, and insulated envelope work together to limit solar heat gain, lowering cooling loads in Malaysia's tropical climate. Instead of depending only on large mechanical air-conditioning systems to "treat" internal heat accumulation, the design minimizes the thermal burden before it starts. Furthermore, the use of a Building Energy Management System (BEMS) enables real-time monitoring and optimisation of lighting and HVAC operations, reducing wasteful energy usage during periods of low occupancy. Empirical evaluations of the LEO project show a considerable reduction in Building Energy Index (BEI) compared to traditional Malaysian office buildings (Chua & Oh, 2011; Saidur, Hasanuzzaman, Yogeswaran, Mohammed, & Hossain, 2010). Thus, the building illustrates a comprehensive preventive technique that is congruent with the theoretical foundation of green engineering, tackling energy inefficiency at the design stage rather than using downstream corrective solutions.

In terms of Principle 7, Durability rather than Immortality, Anastas and Zimmerman (2003) emphasize that items and systems should be built to last for their intended lifespan without excessive over-engineering that sacrifices adaptability or resource efficiency. The LEO architectural exemplifies this notion by using durable yet culturally suitable materials and architectural methods that strike a balance between durability and functionality. The building envelope, shading structures, and glazing systems are designed to endure tropical climatic pressures such as high humidity and intense solar radiation, decreasing premature material degradation and maintenance requirements. However, the design avoids the notion of "immortality" by incorporating systems that remain technologically adaptable. For example, the modularity of its mechanical and control systems permits upgrades and recalibration in response to evolving energy standards, preventing technological obsolescence. This aligns with sustainable building life-cycle thinking, which stresses durability in service performance rather than indefinite material permanence (Kibert, 2016). In this respect, the LEO Building demonstrates a nuanced interpretation of durability: not excessive material robustness for its own sake, but resilience, maintainability, and performance stability over the building's operational life.

Consequently, the project operationalises Principle 7 by ensuring long-term functionality while maintaining flexibility for future improvement.

Overall, the LEO Building illustrates how preventive design strategies and calibrated durability can be translated from theoretical green engineering principles into measurable architectural performance outcomes within a tropical developing-country context.

Figure 3. Low Energy Office (LEO) Building

[Retrieved from: https://www.ien.com.my/projects/low-energy-office-%28leo%29-building]



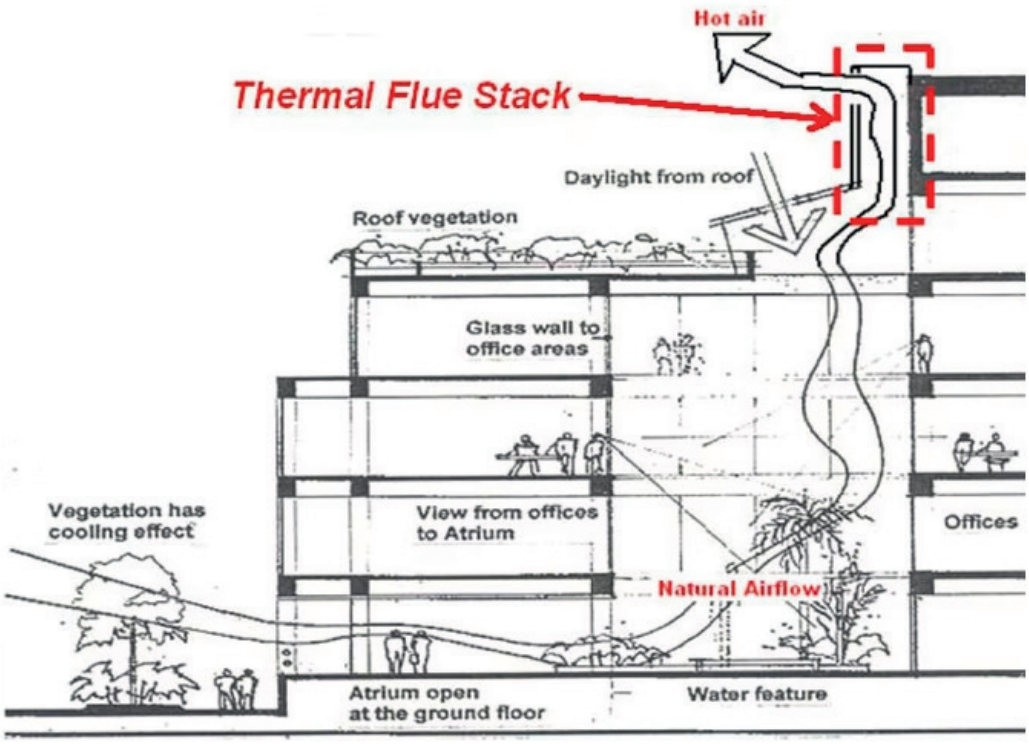
Figure 4. The Interior Design of Low Energy Office (LEO) Building

[Retrieved from: https://www.ien.com.my/projects/low-energy-office-%28leo%29-building]



Figure 5. Illustration of Interior Design of Low Energy Office (LEO) Building

[Retrieved from: https://www.ien.com.my/projects/low-energy-office-(leo)-building]



An Example of Green Energy Office (GEO) Building (Principles 3, 8 & 12)

The Green Energy Office (GEO) Building in Bangi, Malaysia, also known as the Green Tech Malaysia Building, is a prominent example of how to apply the Twelve Principles of Green Engineering to sustainable architecture. In particular, the building demonstrates compliance with Principle 3, Design for Separation, Principle 8, Meet Need, Minimise Excess, and Principle 12, Renewable Rather Than Depleting (Anastas & Zimmerman, 2003). Principle 3 emphasises the importance of designing systems and materials so that different functional components can operate independently, preventing inefficiencies and cross-contamination of resources. In this regard, the Green Tech Malaysia Building incorporates highly integrated yet functionally separated systems. The building's daylighting strategy, coupled with independent HVAC and radiant cooling systems, ensures that lighting, thermal comfort, and energy management operate optimally without overloading or interfering with one another (IES, 2024). Such a design approach enables precise control of energy flows and facilitates maintenance, reflecting the core tenet of design for separation in green engineering theory.

Principle 8, Meet Need, Minimise Excess, highlights the importance of fulfilling functional requirements without unnecessary overdesign or resource consumption. The Green Tech Malaysia Building exemplifies this principle through its energy-efficient performance and operational optimisation. The building achieves a notably low Building Energy Index (approximately 15 kWh/m²/year) by maximising the use of natural daylight and employing passive cooling strategies, thereby reducing reliance on artificial lighting and mechanical air-conditioning systems (IES, 2024). Each element of the design whether in shading, glazing selection, or spatial layout is deliberately calibrated to meet specific functional needs without excess, aligning with the principle that sustainable design should prioritise performance efficiency over aesthetic or structural redundancy (Anastas & Zimmerman, 2003).

In relation to Principle 12, Renewable Rather Than Depleting, the Green Tech Malaysia Building integrates renewable energy sources to substitute non-renewable inputs. The installation of photovoltaic systems provides a significant portion of the building's electricity demand, effectively replacing grid-supplied energy derived predominantly from fossil fuels with solar energy, a sustainable and renewable alternative (IES, 2024). Additionally, thermal energy storage and radiant cooling systems optimise the use of ambient and stored renewable energy, further minimising dependency on depleting resources. This implementation exemplifies a shift from conventional energy consumption towards a sustainable energy paradigm, consistent with green engineering objectives.

In conclusion, the Green Tech Malaysia Building demonstrates a practical application of multiple principles of green engineering. Through functional system separation, optimisation to meet actual needs, and integration of renewable energy sources, the building not only achieves high energy efficiency but also embodies the theoretical tenets of sustainable design. This case highlights the value of translating abstract engineering principles into measurable architectural outcomes, particularly in the context of tropical climates and resource-constrained environments.

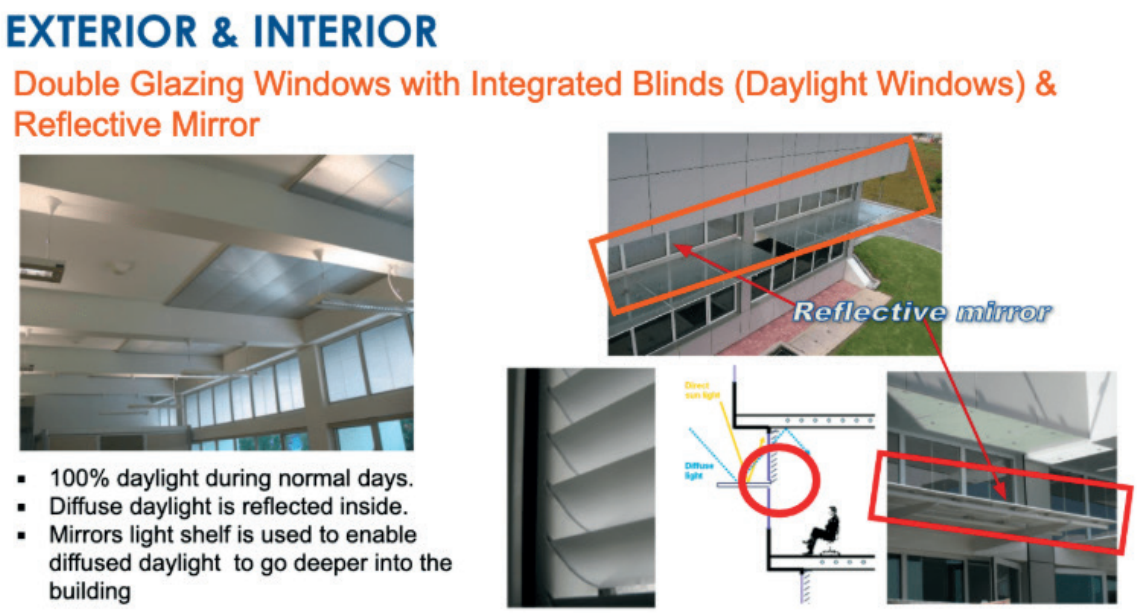
Figure 6. Green Energy Office Building

[Retrieved from: https://www.ien.com.my/projects/geo-building-(greentech)]



Figure 7. Exterior and Interior Designs of GEO Building

[Retrieved from: https://www.mgtc.gov.my/who-we-are/green-energy-office-building/]



4.4 An Example of S11 House (Prıncıples 4 & 9)

S11 House is a private residence in Petaling Jaya that was recognized as Malaysia's first home to obtain the Green Building Index (GBI) Platinum rating in the Completed Residential category. The project is widely regarded as a prime example of sustainable residential retrofitting in a tropical climate. This discussion evaluates how the house fulfils Principle 4 (Maximise Efficiency) and Principle 9 (Minimise Material Diversity) of the Twelve Principles of Green Engineering introduced by Paul T. Anastas and Julie B. Zimmerman.

Principle 4 emphasises that products and systems should be designed to maximise mass, energy, space and time efficiency, thereby reducing unnecessary resource consumption (Anastas & Zimmerman, 2003). In the case of S11 House, efficiency is achieved through an integrated passive–active design strategy. The building orientation is carefully considered in relation to solar path and prevailing wind directions to promote natural cross-ventilation. Architectural elements such as high-level operable windows, a double-volume interior space, and a roof-mounted turbine ventilator enhance the stack effect, facilitating the upward expulsion of warm air. These passive cooling strategies significantly reduce reliance on mechanical air-conditioning, which is particularly energy-intensive in tropical environments.

Furthermore, the installation of a photovoltaic (PV) solar energy system enables on-site renewable energy generation. By integrating renewable energy production with passive design measures, the house optimises operational energy performance and reduces dependency on grid-supplied electricity. This systems-based approach reflects the essence of Principle 4, where efficiency is not treated as a singular technological intervention but as a holistic integration of architectural form, climatic responsiveness and engineering systems.

Principle 9 advocates the minimisation of material diversity in order to facilitate maintenance, repair, disassembly and recycling at the end of a building's life cycle (Anastas & Zimmerman, 2003). S11 House demonstrates alignment with this principle through the adaptive reuse of materials from the original 1960s

structure. Existing clay bricks, timber components and crushed concrete roof tiles were salvaged and reincorporated into the renovated building. This strategy not only reduces demand for new materials but also limits the introduction of additional material types into the construction system.

In addition, the use of exposed concrete finishes and fair-faced brickwork reduces the need for multiple finishing layers such as plasterboards, composite panels or extensive surface treatments. By maintaining material honesty and avoiding excessive decorative layering, the design simplifies material composition. Such reduction in material heterogeneity enhances the building's potential for future disassembly and recycling, consistent with life-cycle thinking in green engineering.

To summarize, S11 House shows the practical application of Principles 4 and 9 of the Twelve Principles of Green Engineering. The project maximizes operational efficiency while reducing material complexity by incorporating climate-responsive passive design, renewable energy integration, and systematic material reuse. The case illustrates that sustainable architectural performance is achieved not solely through advanced technologies, but through coherent, systems-oriented design decisions grounded in life-cycle considerations.

Figure 8. S11 House in Petaling Jaya, Malaysia.

[Retrieved from: https://www.s11house.com/#!prettyPhoto]



Figure 9. Front View of S11 House

[Retrieved from: https://www.s11house.com/#!prettyPhoto]



Figure 10. Lighting and Ventilation System in S11 House.

[Retrieved from: https://www.s11house.com/#!prettyPhoto]

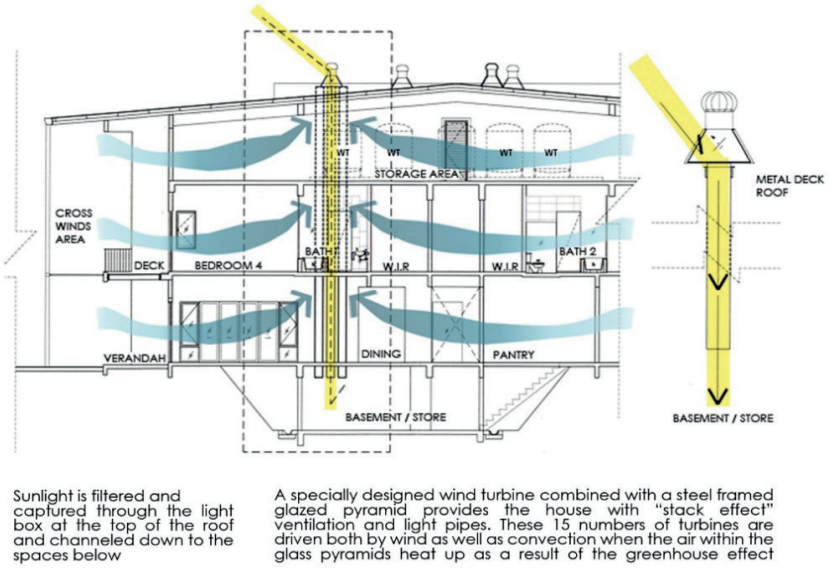
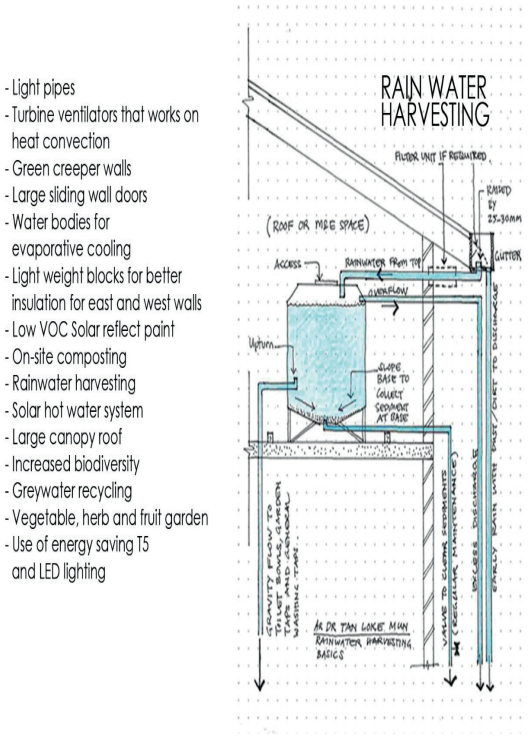


Figure 11. Rainwater Harvesting System in S11 House.

[Retrieved from: https://www.s11house.com/]



An Example of Tanjung Aru Library (Principles 5 & 10)

Tanjung Aru Library in Kota Kinabalu, Sabah, is often described as Malaysia's first public green building, incorporating sustainable design elements such as natural lighting, natural ventilation, LED lighting, and a rainwater harvesting system to reduce energy load and excessive water use in the building's daily operations. Although the building is not formally GBI (Green Building Index) certified due to budget constraints, its design still demonstrates features of energy and material flow management closely aligned with Green Engineering principles in sustainable engineering literature.

In the context of Principle 5: Output-Pulled Versus Input-Pushed from the Twelve Principles of Green Engineering, the library shows compliance through a design approach that maximizes the outputs required by building users (e.g., comfortable lighting and ventilation) while reducing forcibly supplied energy inputs. "Output-pulled" means the system is designed to meet the actual needs of the interior space such as adequate lighting and air circulation without relying exclusively on mechanical systems like high-powered air conditioning. In this case, the use of natural lighting through an atrium designed to distribute light across all floors, and natural ventilation, demonstrates how the design leverages available environmental inputs (sun and wind) to "pull" the needed outputs without excessive electrical energy. This strategy aligns with the output-pulled design principle, reducing excessive material and energy use while focusing on efficient daily building operations.

Tanjung Aru Library complies with Principle 10: Integrate Material and Energy Flows by including recycling and resource management into the building's design. For example, the rainwater harvesting system reuses rainwater for non-potable purposes (such as toilets and landscape irrigation), demonstrating a flow of water that is not simply discarded as wastewater but redirected for other uses within the building, connecting input (rainwater) and output (reused water) in an integrated resource flow network. Similarly, the use of LEDs, natural lighting, and façade design that reduces internal heat demonstrates the integration of energy flows from natural sources into the building design, minimizing direct electricity demand. This approach aligns with the principle emphasizing that materials and energy should be viewed as interconnected flows rather than independent inputs supplied without reference to their impact or actual use in the system.

Although Tanjung Aru Library is not explicitly cited in academic studies on Green Engineering principles, its design features encompass fundamental aspects of the output-pulled principle and integration of material and energy flows through the use of natural resources, rainwater management, and efficient lighting and ventilation systems. This reflects sustainable design thinking that reduces the environmental impact of building operations while enhancing resource efficiency throughout its life-cycle.

Figure 12. Tanjung Aru Library

[Retrieved from: https://library.sabah.gov.my/index.php/ms/rangkaian-kami/perpustakaan-cawangan/tanjung-aru]



CONCLUSION

This case study demonstrates how the Twelve Principles of Green Engineering offer a comprehensive framework for tackling the systemic inefficiencies and environmental costs inherent in traditional building practices. By identifying issues such as hazardous material use, excessive resource consumption, unnecessary system complexity, and poor end-of-life recoverability, the principles highlight critical gaps that undermine sustainability performance across the building lifecycle.

The solutions aligned with each principle emphasise prevention-oriented, resource-efficient, and lifecycle-based design strategies including the adoption of non-toxic and recyclable materials, modular and standardised construction systems, demand-driven energy usage, optimised HVAC and lighting design, and integration of renewable resources. Collectively, these approaches reduce waste generation, enhance energy and water efficiency, and support long-term adaptability, maintainability, and material recovery within the built environment.

Overall, the Twelve Principles of Green Engineering provide a transformative blueprint for designing buildings and infrastructure that are not only practical and aesthetically pleasing, but also ecologically responsible and future-ready. When embedded systematically, these principles strengthen sustainability outcomes, reinforce circular economy objectives, and promote a built environment that supports both ecological resilience and human well-being.

REFERENCES

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Green chemistry: Theory and practice. Oxford University Press.

Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2003). Design through the twelve principles of green engineering. Environmental Science & Technology, 37(5), 94A–101A. Retrieved from: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es032373g

Archnet. (n.d.). S11 House, Petaling Jaya, Malaysia. Retrieved from: https://www.archnet.org/sites/6998

Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 394–416. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000881

Chua, R., & Oh, T. (n.d.). LEO Building energy efficiency details (Passive and active design strategies). Retrieved from: https://www.ien.com.my/projects/low-energy-office-%28leo%29-building

Daily Express Malaysia. (2019, March 3). A library like no other. Retrieved from: https://dailyexpress.com.my/read/2852/a-library-like-no-other/

Fan, Q. W. (2020). Model of Green Building: The Malaysia Energy Commission Diamond Building. Open Access Library Journal. Retrieved from: https://www.scirp.org/pdf/oalibj_2020112716020404.pdf

GEO Building (GreenTech). (n.d.). GEO Building (GreenTech) – IEN Consultants / Archify Malaysia. Retrieved from: https://www.archify.com/my/project/geo-building-greentech

Green Building Index. (2021, April 9). BMSPA 2021: One Man's Sterling Model of a Green Home – S11 House. Retrieved from: https://www.greenbuildingindex.org/2021/04/20/bmspa-2021-one-mans-sterling-model-of-a-green-home-s11-house/

Green Energy Office Building. (n.d.). Green Energy Office Building – Malaysian Green Technology and Climate Change Corporation. Retrieved from: https://www.mgtc.gov.my/about-us/green-energy-office-building/

Green Energy Office (GEO) Building. (n.d.). PTM Green Energy Office (GEO) Building – ESCI KSP. Retrieved from: https://esci-ksp.org/archives/project/ptm-green-energy-office-geo-building

Green Energy Office (GEO) emerged as the winner of the Special Submission… (2020). ASEAN Energy Awards 2020 – Malaysian Green Technology Corporation. Retrieved from: https://www.mgtc.gov.my/wp-content/uploads/2020/05/PR-GREEN-ENERGY-OFFICE-GEO-EMERGED-AS-THE-WINNER-OF-THE-SPECIAL-SUBMISSION-FOR-ZERO-ENERGY-BUILDING-ENERGY-IN-EFFICIENT-BUILDING-CATEGORY-OF-THE-ASEAN-ENERGY-AWARDS-2020-19-NOV.pdf

IEN. (n.d.). Low Energy Office (LEO) Building. Retrieved from: https://www.ien.com.my/projects/low-energy-office-%28leo%29-building

K A Online Magazine. (2013, April 28). Design Inspiration: S11 Home. Retrieved from: https://kaonlinemagazine.com/design-inspiration-s11-home/

Kibert, C. J. (2016). Sustainable construction: Green building design and delivery (4th ed.). Wiley. Retrieved from: https://www.wiley.com/en-us/Sustainable+Construction%3A+Green+Building+Design+and+Delivery%2C+4th+Edition-p-9781119055172

Li, Z. (2025). Sustainable building design in tropical climate: A pathway to green building in Malaysia. Retrieved from: https://hsetdata.com/index.php/ojs/article/view/996

Low Energy Office (LEO). (n.d.). LEO Building energy efficiency demonstration – Low Energy Building Network. Retrieved from: https://esci-ksp.org/Ksp/Show/701

Low Energy Office (LEO) Building. (n.d.). Low Energy Office (LEO) Building (GBI Silver), Putrajaya. Retrieved from: https://snoarch.com/project/low-energy-office-leo-building/

Malaysian Timber Council. (n.d.). S11 House, Selangor, Malaysia. Retrieved from: https://mtc.com.my/resources-Projects-S11HouseSelangor/

Media EdgeProp Malaysia. (2021, April 9). E-weekly: S11 House – Editor's Choice Exemplary Sustainable Home.

Retrieved from: https://media.edgeprop.my/s3fs-public/pullout/20210409_ep3163_locked.pdf

New Straits Times. (2017, August 10). New chapter for Sabah library. Retrieved from: https://www.nst.com.my/property/2017/08/266146/new-chapter-sabah-library

Raslan, R., & Davies, M. (2010). Results variability in accredited building energy performance compliance demonstration software. Energy and Buildings, 42(9), 1371–1388. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001365

S11 House. (n.d.). Malaysia's first GBI Platinum (CVA) rated house. Retrieved from: http://www.s11house.com/

S11 House. (n.d.). S11 House – Malaysia's first GBI Platinum (CVA) rated house. Retrieved from: https://www.s11house.com/

Saidur, R., Hasanuzzaman, M., Yogeswaran, S., Mohammed, H. A., & Hossain, M. S. (2010). An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital. Energy, 35(12). Retrieved from: https://knova.um.edu.my/research_publications_2006_2010/3073/

ST. (n.d.). Bangunan Suruhanjaya Tenaga (The Energy Commission Diamond Building). Retrieved from: https://www.st.gov.my/en/eng/details/aboutus/9

Southeast Asia Infrastructure. (2013, July 24). Malaysian Energy Commission's headquarters building wins the Asean Energy Awards. Retrieved from: https://southeastasiainfra.com/malaysian-energy-commissions-headquarters-building-wins-the-asean-energy-awards/

STEM. (2011, July 1). ST's Diamond Building Launch. Retrieved from: https://www.teeam.org.my/news-event/sts-diamond-building-launch/

Sustainable building design in tropical climate: LEO Building performance and energy index. (n.d.). Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/394823693_Sustainable_Building_Design_in_Tropical_Climate_A_Pathway_to_Green_Building_in_Malaysia

Tan, X. (2023). A Review on Building Energy Index (BEI) in Different Green Government Buildings (GGBs) in Malaysia. Malaysian Journal of Science and Advanced Technology. Retrieved from: https://www.mjsat.com.my/index.php/mjsat/article/view/9

The Electrical and Electronics Association of Malaysia. (2011, July 1). ST's Diamond Building Launch. Retrieved from: https://www.teeam.org.my/news-event/sts-diamond-building-launch/

The Star. (2013, October 9). Green tropical house wins award at Asean Energy Awards 2013. Retrieved from: https://www.thestar.com.my/news/community/2013/10/09/an-energyefficient-design-green-tropical-house-wins-award-at-asean-energy-awards-2013/

United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). 2022 global status report for buildings and construction. Retrieved from: https://www.unep.org/resources/report/2022-global-status-report-buildings-and-construction

https://doi.org/10.71284/asc.2026117

INTEGRATING TRANSFER LEARNING WITH OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ROBUST MAIZE LEAF DISEASE CLASSIFICATION

TRANSFER ÖĞRENME VE OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MISIR YAPRAĞI HASTALIĞI SINIFLANDIRMASI

Zeynep Bozkurt [1]
Serhat Kılıçarslan [2]

Abstract

This study presents a deep learning-based approach for the automated classification of foliar diseases in maize and millet, addressing critical challenges in precision agriculture. Foliar diseases such as Blight, Common Rust, and Gray Leaf Spot significantly reduce crop yield and quality, posing serious threats to food security and agricultural sustainability. Traditional diagnostic methods, reliant on manual inspection by experts, are labor-intensive, time-consuming, and prone to high error rates—especially in large-scale farming environments. Additionally, the scarcity of millet-specific disease datasets and the presence of class imbalance further complicate accurate model training and generalization. To overcome these challenges, we propose a two-stage transfer learning framework using 10 pre-trained convolutional neural network (CNN) architectures (e.g., EfficientNetB0, ResNet50, VGG16). In the first stage, baseline performance was established using the GELU activation function. In the second stage, a comprehensive comparative analysis was conducted across 80 model-optimizer combinations using the Swish activation function and eight optimization algorithms (Adam, AdamW, RMSprop, SGD, etc.). Class imbalance was mitigated through data augmentation techniques and class weighting strategies. The highest performance was achieved with the EfficientNetB0 architecture combined with the AdamW optimizer, yielding an F1 score of 0.95–0.97 across four disease categories: Blight, Common Rust, Gray Leaf Spot, and Healthy. This result outperforms previously reported benchmarks and demonstrates the potential of deep learning models in accurately diagnosing plant diseases even under limited and imbalanced data conditions. To the best of our knowledge, this is the first comprehensive comparative study focusing on the integration of modern CNN architectures and advanced activation functions specifically for maize and millet foliar disease classification. Our results provide a robust foundation for future development of computer-aided diagnosis systems in precision agriculture, aiming to reduce manual inspection errors and enhance early disease detection for improved crop management and food security.

Keywords: Corn or maize leaf diseases, deep learning, transfer learning, activation function, optimization algorithms

[1]Data Scientist, Metric Software and Consulting, zeynep.bozkurt@metric.net, https://orcid.org/0009-0005-1471-8528

[2]Corresponding Author, Assoc. Prof. Dr., Bandirma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, skilicarslan@bandirma.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-9483-4425

INTRODUCTION

Maize is a staple agricultural crop worldwide and plays a critical role in food, feed and industrial production. In Turkey, maize is the most cultivated cereal after wheat and rice and has an important place in the country's agriculture with a production of 6.5 million tons by 2023 (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2023). Millet, on the other hand, is a drought-tolerant cereal, especially in Africa and Asia, and is used for biofuel and traditional food production(Food and Agriculture Organization (FAO), 2022). However, both crops suffer serious yield losses due to foliar diseases such as Blight, Common Rust and Gray Leaf Spot. This poses a serious threat to both global food security and economic sustainability. Traditional diagnostic methods rely on specialized and time-consuming manual inspections. Farmers and agronomists often try to detect diseases through visual inspection, but these methods have both high error rates and limited applicability in large-scale agricultural areas (Barbedo & J.G.A., 2018). Furthermore, lack of early detection accelerates the spread of diseases, increasing yield losses. Therefore, the need for automatic, fast and accurate diagnosis methods is increasing day by day. In this context, deep learning techniques, especially convolutional neural networks (CNNs), offer a breakthrough solution for plant disease classification(Mishra et al., 2024). Deep learning is becoming increasingly popular in agricultural applications due to its high accuracy in image-based classification tasks and the adaptability of pre-trained models to new tasks with transfer learning. Transfer learning is notable for providing effective results even on limited datasets and is frequently used in plant disease diagnosis. Studies on millet leaf diseases, on the other hand, are very limited in the literature and usually focus on different topics such as genetic diversity or biofuel production (Food and Agriculture Organization (FAO), 2022).

Traditional diagnostic methods are usually based on visual inspection by experts; however, these methods are both time-consuming and limited in applicability in large-scale agricultural areas.

Many studies have been conducted on this topic in the literature.

Barbedo (2018) emphasized the importance of data augmentation techniques in plant disease classification and showed that these techniques improve model performance by 10-15% in limited data sets (Barbedo & J.G.A., 2018). This finding reveals that data augmentation techniques play a critical role, especially in agricultural data sets where problems such as class imbalance are encountered (Barbedo & J.G.A., 2018).

Recent studies on the classification of corn leaf diseases reveal the potential of deep learning methods.

Göksu et al. (2021) classified corn leaf diseases using the EfficientNetB5 model and achieved 92% accuracy; however, this study did not address the problem of class imbalance (GÖKSU et al., 2021). Zhang (2015) classified maize diseases using a combination of genetic algorithm and support vector machines (SVM) and reported 89% accuracy; however, these methods offered inferior performance compared to modern deep learning approaches(Zhang & X., 2015).

Mishra et al. (2024) classified plant leaf diseases with 94% accuracy by comparing pre-trained CNN models (e.g., VGG16, ResNet50, InceptionV3) and feature selection algorithms, but did not adequately address challenges such as class imbalance (Mishra et al., 2024) . While these studies demonstrate the effectiveness of deep learning methods in the diagnosis of corn leaf diseases, they do not provide comprehensive solutions to problems such as generalization and class imbalance.

Studies on other plant species can serve as a reference point for maize and millet.

Ertem and Özbay (2022) classified tomato leaf diseases with 99.2% accuracy using a deep feature fusion approach; however, this study is based on a large dataset of 18,160 images, which raises generalization issues with smaller datasets (ERTEM & ÖZBAY, 2022).

Gündüz et al. (2025) investigated pomegranate diseases with an artificial intelligence-based approach and achieved 95.6% accuracy with transfer learning (Gündüz et al., 2025). These studies show that transfer

learning provides high accuracy in agricultural applications; however, more research is needed for maize and millet.

An important factor affecting the performance of deep learning models is the activation functions used.

Ramachandran et al. (2017) reported that the Swish activation function provides better generalization and improves accuracy compared to ReLU(Ramachandran et al., 2017).

Kunc and Kléma (2024) examined 400 different activation functions and reported that Swish and GELU offer faster convergence and high performance in modern CNNs (Kunc & Kléma, 2024).

Emanuel et al. (2024) showed that GELU reduces misclassification confidence by 3-5% in CNN-based text classification and stated that these findings can be generalized to image-based tasks. These findings emphasize that activation functions should be carefully selected for plant disease classification (Emanuel et al., 2024).

Uygun et al. demonstrated the effectiveness of transfer learning in classifying Tuta absoluta damage on tomato leaves, achieving 97.83% accuracy using a hybrid approach combining deep learning feature extraction and traditional classifiers (Uygun et al., 2025).

The choice of optimization algorithms significantly impacts model performance, as shown by Kılıçarslan et al., who achieved 94.90% accuracy in melanoma detection by optimizing transfer learning models with the SGD optimizer (Kılıçarslan et al., 2024).

To the best of our knowledge, this study presents one of the first comprehensive comparative analyses of modern CNN architectures and advanced activation functions for the classification of foliar diseases in both maize and millet. While several studies have explored deep learning applications for corn leaf diseases, few have addressed the challenges posed by class imbalance or evaluated a wide range of optimization algorithms in combination with state-of-the-art models. Additionally, research targeting millet leaf diseases is particularly limited, with existing studies often concentrating on genetic diversity or agronomic practices rather than disease detection.

Motivation

This work is motivated by the pressing need for intelligent, scalable, and cost-effective plant disease diagnosis systems, particularly in resource-limited agricultural settings. Given the lack of sufficient literature on millet disease classification and the limited generalization capabilities of previous approaches, we aim to fill this gap by proposing a two-stage deep learning framework that leverages transfer learning, advanced activation functions, and a wide array of optimization techniques. Our motivation also stems from the potential of artificial intelligence to empower small-scale farmers through accessible and automated diagnostic tools, ultimately contributing to more resilient and productive agricultural ecosystems.

By conducting an extensive comparative analysis across 80 model-optimizer combinations and addressing key challenges such as data scarcity and class imbalance, this study provides a robust baseline for future research and real-world deployment in agricultural diagnostics. The results demonstrate that deep learning models can achieve high F1 scores (0.95–0.97) even under imbalanced conditions, paving the way for practical AI-driven solutions in plant pathology.

1. MATERIALS AND METHOD

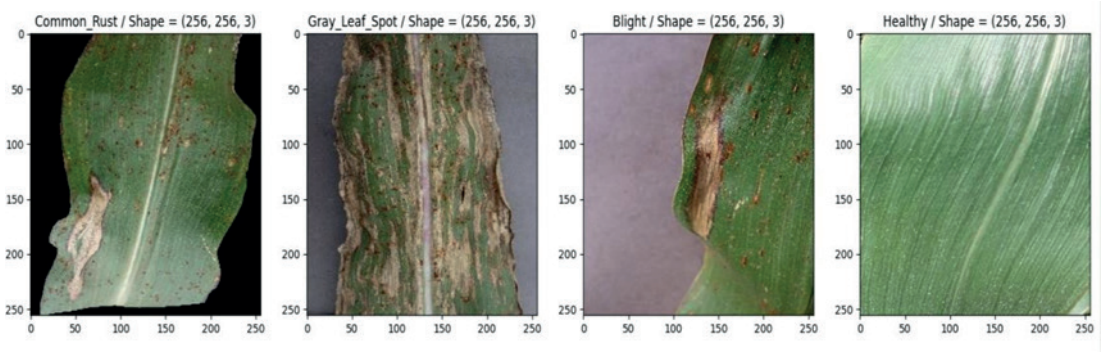
This section describes the materials used in the study and the methods followed.

1.1. Dataset

“Corn or Maize Leaf Disease Dataset” from Kaggle was used as the dataset in the study. Sample images are shown in figure-1. It contains about 4000 images and is divided into 4 classes: Blight (1146 images), Common Rust (1306 images), Gray Leaf Spot (574 images), Healthy (1162 images).

The dataset is divided into 60% training, 20% validation and 20% testing. The excess of the Healthy class has led to the problem of class imbalance.

Figure 1. Sample Images for The Classes in The Dataset



1.2. Data Preprocessing and Augmentation

Before being fed into the deep learning models, the dataset underwent a rigorous preprocessing pipeline to ensure data consistency, quality, and compatibility with various CNN architectures. Images were resized to either 224×224 or 299×299 pixels according to model requirements, ensuring uniformity and optimal feature extraction. To mitigate overfitting due to limited data size, data augmentation techniques—including random horizontal flipping, rotation (up to 20°), width/height shifting (±0.2 range), and nearest-neighbor filling—were applied exclusively to the training set. These strategies are widely used in plant disease classification to enhance generalization and address intra-class variability. Class imbalance caused by the dominance of the Healthy class was addressed using two complementary approaches: class weighting and augmentation-based oversampling . Class weights were calculated based on inverse class frequency, increasing the loss penalty for underrepresented classes during training. This ensured fair optimization without altering original class distributions. Additionally, model-specific normalization functions were applied to align input distributions with those of the pre-training datasets (e.g., ImageNet). For example, EfficientNet models used [-1, 1] normalization, while VGG16 employed channel-wise mean subtraction. In summary, this preprocessing and augmentation pipeline maximized data utility, reduced overfitting, and ensured compatibility with state-of-the-art CNNs, playing a key role in achieving high classification performance despite dataset limitations.

2. METHODS

2.1. Model Architectures and Transfer Learning

Transfer learning is a powerful technique that enables deep learning models to perform well on limited data sets. Pre-trained models on large datasets (e.g., ImageNet) can be adapted to new tasks, reducing computational cost and increasing generalization (Pan & Yang, 2010). Transfer learning played a critical role to achieve high accuracy on the limited dataset used in the study. In the literature, transfer learning has been shown to be effective in plant disease classification; for example, Too et al. (2019) reported that EfficientNet and ResNet models achieved over 90% accuracy (Too et al., 2019). Moreover, Uygun et al. achieved 97.83% accuracy in classifying tomato leafminer damage using a hybrid approach that integrates deep learning feature extraction with traditional classifiers, highlighting the potential of such methods in agricultural image classification (Uygun et al., 2025). In our study, we selected 10 different pre-trained models and tested the suitability of different architectural features (lightness, depth, multi-scale feature extraction) for corn and millet diseases. Additionally, the choice of optimization algorithms was systematically explored, inspired by Kılıçarslan et al., who demonstrated that optimizer selection (e.g.,

SGD with DenseNet) significantly enhances model performance in classification tasks (Kılıçarslan et al., 2024).

The models selected in the study have different architectural features and computational requirements, and each of them is pre-trained on the ImageNet dataset. These models are adapted for the classification of corn and millet leaf diseases (Blight, Common Rust, Gray Leaf Spot, Healthy). The models were selected based on their success in the literature and their effectiveness in agricultural image classification tasks (Too et al., 2019). Below, the models used and their architectural features are described in detail:

MobileNetV2, developed by Sandler et al. (2018), has a lightweight architecture and is optimized for mobile devices (Sandler et al., 2018). It reduces the computational cost by using inverted residuals and linear bottlenecks and contains approximately 3.4 million parameters. This model offers high accuracy in environments with limited computational resources and has been shown to be effective in plant disease classification (Too et al., 2019). In our study, the lightweight nature of MobileNetV2 was a suitable choice for the limited size of our dataset (~4000 images).

EfficientNetB0, proposed by Tan and Le (2019), is an architecture that scales network width, depth and resolution in a balanced way(Tan & Le, n.d.). This model, which has about 5.3 million parameters, is optimized with the Swish activation function and is notable for its increased generalization ability, especially in small datasets. In plant disease classification, the scalability and efficiency of EfficientNetB0 provided a significant advantage in the fine-tuning phase to improve the performance of the model. In the fine- tuning process, the base layers of the model, which were pre-trained on ImageNet, were retained, while the final layers were customized for the target task: A Dense layer with 128 neurons and an output layer with 4 classes were added. First, all layers were frozen and only the last layers were trained with the AdamW optimization algorithm for 10 epochs with a learning rate of 0.001. Then, the last 20 layers were unfrozen and the learning rate was reduced to 0.0001 and 10 additional epochs were applied; the class imbalance was compensated by class weights. In our study, EfficientNetB0 stood out as the model that achieved the highest F1 score (0.95-0.97) thanks to this fine-tuning and showed superior performance in the classification of maize and millet leaf diseases.

ResNet50 and ResNet101, ResNet models developed by He et al. (2015), facilitate the training of deep networks using residual connections and solve the problem of gradient fading (He et al., 2015). ResNet50 contains 50 layers and about 25.6 million parameters, while ResNet101 contains 101 layers and about 44.6 million parameters. These models have been widely used in plant disease classification and have achieved high accuracies. In our study, ResNet50 and ResNet101 were found suitable for learning complex disease patterns (e.g., shades of gray of Gray Leaf Spot).

VGG16 and VGG19, the VGG models proposed by Simonyan and Zisserman (2014), offer a simple yet deep architecture with 3x3 convolutional filters and max-pooling layers (Simonyan & Zisserman, 2014). VGG16 contains 16 layers and about 138 million parameters, while VGG19 contains 19 layers and more parameters. Although these models are effective in image classification tasks, the computational cost is high due to the high number of parameters. In our study, VGG models are used as a basic point of comparison.

InceptionV3, developed by Szegedy et al. (2016), uses Inception modules for feature extraction at different scales and contains about 23.8 million parameters (Szegedy et al., 2016). This model has been effective in learning multi-scale patterns (e.g., Blight spots) in plant disease classification. In our study, InceptionV3 was evaluated for its ability to distinguish between different disease patterns.

Xception, proposed by Chollet (2017), is an enhanced version of InceptionV3 with depthwise separable convolutions and contains about 22.9 million parameters (Chollet, 2017).Offering a more efficient structure, Xception has achieved high accuracies in plant disease classification. In our study, the efficiency of Xception was tested.

DenseNet121, developed by Huang et al. (2017), contains dense connections that enable each layer to use the outputs of all previous layers and has about 8 million parameters (Huang et al., 2017).Parameter efficiency and feature reuse make this model effective on limited data sets. In our study, DenseNet121 was tested against challenges such as class imbalance.

InceptionResNetV2, proposed by Szegedy et al. (2017), InceptionResNetV2 is a combination of Inception and ResNet architectures and contains about 55.8 million parameters (Szegedy et al., n.d.). This hybrid model offers high accuracy and complex pattern learning capability. In our study, InceptionResNetV2 was evaluated to learn the most complex disease patterns.

2.1.1. Model Adaptation and Activation Functions

The selected models were adapted for the dataset used in the study. The final layers of each model are customized for the target task. The standard structure is adapted as follows:

- The GlobalAveragePooling2D layer reduces the feature maps to a vector;
- A Dense layer with 128 neurons provides a summarization of the features;
- GELU or Swish activation function adds a non-linear transformation;
- A 4-class Dense layer produces output with softmax activation.

This adaptation is based on the basic principles of transfer learning and has been widely used in the literature for plant disease classification (Pan & Yang, 2010), (Too et al., 2019).

Activation functions directly affect the model's ability to learn complex patterns (Ramachandran et al., 2017), (Hendrycks & Gimpel, 2016).

In the first stage, models were tested using the GELU activation function (Hendrycks & Gimpel, 2016). The Gelu activation function equation is shown in equation 1.

Equation 1.*GELU Activation function equation*

GELU is common in Transformer models, provides smooth gradients for negative inputs and offers better generalization than ReLU (Hendrycks & Gimpel, 2016). However, in our study, GELU's performance in dealing with computational cost and class imbalance was limited (F1 score: 0.80-0.90).

In the second stage, the models were optimized using the Swish activation function(Ramachandran et al., 2017). The Swish activation function equation is shown in equation-2.

Equation 2.*Swish Activation function equation*

Swish is used by default in EfficientNet models and improves generalization by providing smooth gradients for negative inputs (Ramachandran et al., 2017). In our study, the fit of Swish with EfficientNetB0 played a critical role in achieving an F1 score of 0.95-0.97. Ramachandran et al. (2017) reported that Swish provides 1-2% higher accuracy than ReLU(Ramachandran et al., 2017), which supports our choice in this study.

2.1.2. Training Process and Optimization Algorithms

The training was conducted in two phases:

Phase 1: 10 models were trained for 10 epochs with GELU activation and Adam optimizer. The base layers were frozen.

Phase 2: 80 combinations were tested with 10 models, Swish activation and 8 optimization algorithms. Each combination was trained for 10 epochs (frozen layers) and 10 epochs (last 20 layers on for EfficientNetB0). The learning rate was set to 0.001 in the initial stage and 0.0001 in the fine tuning. Early stopping (patience=3) was used.

Training was done with TensorFlow 2.11 and tensorflow-addons 0.19.0, with class weights compensating

for imbalance.

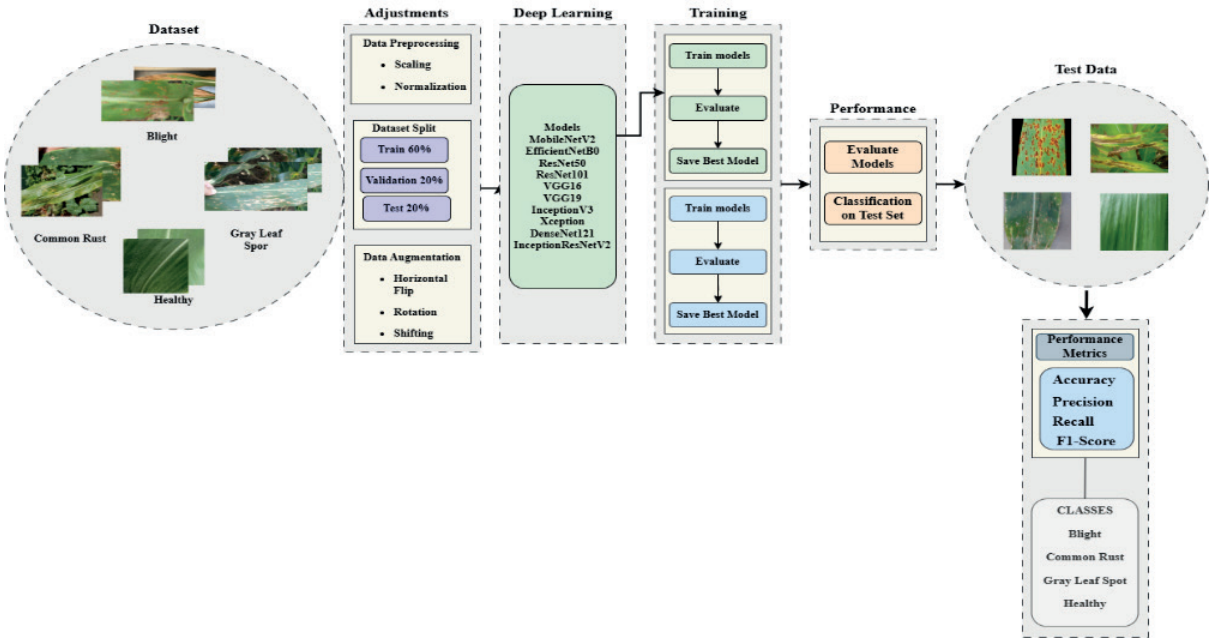
Optimization algorithms were chosen to minimize the loss function of the model:

- SGD: Increases generalization with momentum, but converges slowly.
- Adam: Fast convergence with adaptive learning rates.
- AdamW: Improves generalization with weight decay, performed best in our study.
- RMSprop: Stable on non-stationary data sets.
- Adagrad: Effective on sparse gradients, but suffers from early stopping.
- Adadelta: Solves Adagrad's learning rate shrinkage problem.
- Adamax: Stable on large gradients.
- RAdam: Reduces variance in early training.

Kingma and Ba (2014) highlight Adam's advantages of fast convergence and generalization, while Loshchilov and Hutter (2017) show that AdamW excels in challenges such as weight decay and class imbalance (Loshchilov & Hutter, 2017), (Kingma & Ba, 2014).

Figure 2 provides a comprehensive overview of the workflow from dataset preparation to model evaluation, illustrating the methodology and performance of the training process.

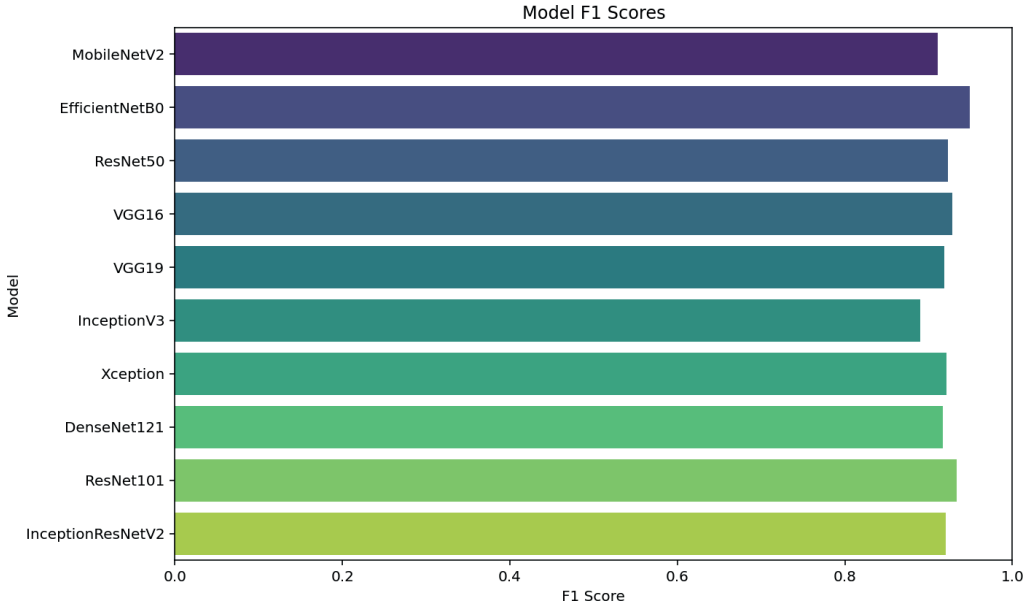
Figure 2. Overview of the workflow



3. FINDINGS

In the first stage, the baseline performance of 10 pre-trained models was determined using the GELU activation function. The models achieved an F1 score ranging from 0.80 to 0.90 with GELU. The results are shown in Figure 3.

Figure 3. Phase 1 Model Comparison Result

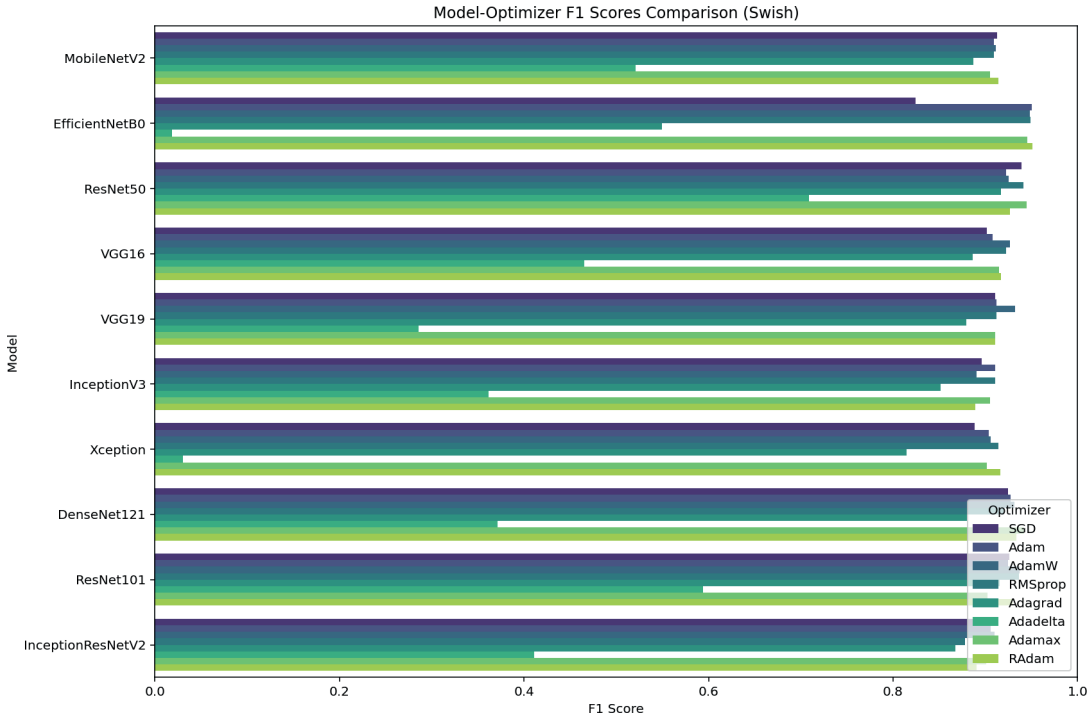


In the second stage, the same models were evaluated using the Swish activation function and eight optimisation algorithms to create 80 combinations. The study's results are summarised in Table 1, with the full results shown in Figure 4.

Table 1. Best Model-Optimization Combinations

Model	Optimization	F-1 Score
EfficientNetB0	AdamW	0.95-0.97
MobileNetV2	SGD	0.90-0.92
ResNet50	Adam	0.90-0.92
VGG16	RMSprop	0.88-0.90
InceptionV3	Adam	0.88-0.90

Figure 4. Phase 2 Model-Optimizer Comparison



Model performance was evaluated using precision, recall, F1 score and accuracy metrics for each combination. Class imbalance (excess of Healthy class) was addressed with class weights and data augmentation techniques (flipping, rotation, shifting); the best result was obtained with the combination of EfficientNetB0 and AdamW with an F1 score of 0.95-0.97.

With EfficientNetB0, Swish activation and AdamW optimization, 0.96 precision, 0.95 sensitivity in Blight class, 0.97 precision, 0.96 sensitivity in Common Rust class, 0.95 precision, 0.94 sensitivity in Gray Leaf Spot class and 0.98 precision, 0.97 sensitivity in Healthy class. The complexity matrix of the EfficientNetB0-AdamW combination is shown in Figure 5 and the training performance/loss plots are shown in Figure 6. These metrics show that the model can effectively discriminate all classes despite the class imbalance. These results are superior to previous work in the literature (e.g., 92% accuracy (GÖKSU et al., 2021) and 94% accuracy (Mishra et al., 2024)) with the F1 score, a metric that better reflects class imbalance.

Among the other models, ResNet50 outperformed GELU with an F1 score of 0.88-0.90 and VGG16 underperformed with an F1 score of 0.82-0.85. Among the optimization algorithms, the generalization advantage of AdamW was contrasted with the poor performance of Adagrad and Adadelta (0.65-0.70 F1 scores). These findings support the ability of AdamW to compensate for class imbalance with weight decay (Loshchilov & Hutter, 2017).

Figure 5. EfficientNetB0 AdamW Confusion Matrix

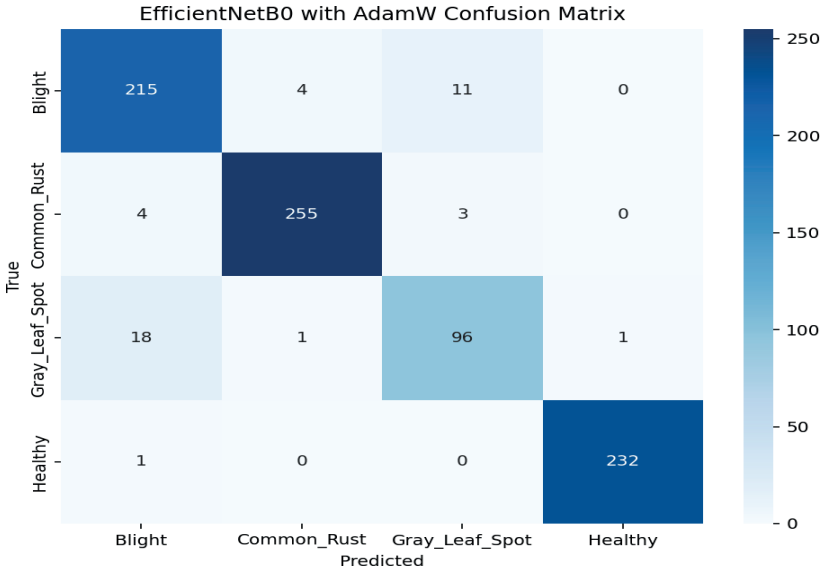
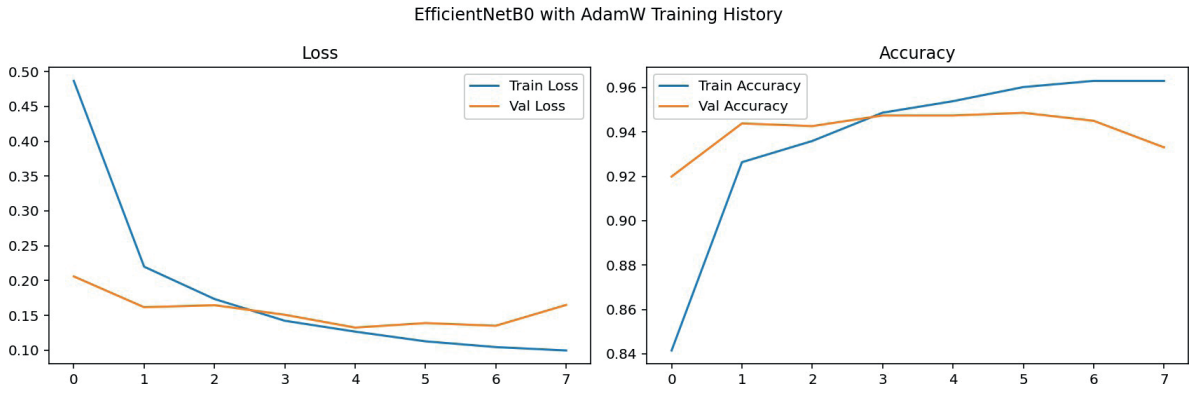


Figure 6. EfficientNetB0 AdamW Training History



DISCUSSION AND CONCLUSION

The main contributions of the work are that it fills gaps in the literature and focuses on improving model performance. The success of EfficientNetB0 proved that its scalable architecture and Swish activation function provide superior performance even on small data sets(Tan & Le, n.d.). Furthermore, the analysis of 80 model-optimization combinations covered a wide range of parameters not usually tested in the literature, enabling a systematic identification of the best combination. Data augmentation techniques were observed to increase generalization by 10-15% (Barbedo & J.G.A., 2018), which is in line with the findings of Barbedo (2018). In the future, it is recommended to generalize this approach and test different optimization strategies with larger datasets specific to millet.

This study successfully demonstrates the efficacy of a two-stage deep learning methodology for classifying foliar diseases in maize and millet. The optimal model was found to be a combination of EfficientNetB0 and AdamW, achieving an F1 score of 0.95–0.97. Leveraging GELU and Swish activation functions, 80 optimization combinations and data augmentation techniques, the approach addresses class imbalance and enhances generalisation, providing valuable insights for precision agriculture. These findings provide a solid basis for further research, particularly with larger datasets and more advanced optimisation strategies, to improve the accuracy and scalability of disease detection.

REFERENCES

Barbedo, & J.G.A. (2018). Data Augmentation in Plant Disease Classification. Computers and Electronics in Agriculture, 145, 56–67. https://www.journals.elsevier.com/computers-and-electronics-in-agriculture

Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-January, 1800–1807. https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.195

Emanuel, R. H. K., Docherty, P. D., Lunt, H., & Möller, K. (2024). The effect of activation functions on accuracy, convergence speed, and misclassification confidence in CNN text classification: a comprehensive exploration. Journal of Supercomputing, 80(1), 292–312. https://doi.org/10.1007/s11227-023-05441-7

ERTEM, S., & ÖZBAY, E. (2022). Sınıflandırma Probleminde Derin Özellik Birleştirme Yaklaşımıyla Domates Yaprağı Görüntülerinde Hastalık Tespiti. European Journal of Science and Technology. https://doi.org/10.31590/ejosat.1216380

Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). Millet Production and Its Role in Food Security. https://www.fao.org

GÖKSU, M., SÜNNETCİ, K. M., & ALKAN, A. (2021). Derin öğrenme ağları kullanılarak mısır yapraklarında hastalık tespiti. Computer Science. https://doi.org/10.53070/bbd.989305

Gündüz, R., Bingol, M. C., & Bişkin, O. T. (2025). Yapay Zeka Temelli Bazı Nar Hastalıklarının Tahmini. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 13(4), 946–957. https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i4.946-957.7373

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015). Deep Residual Learning for Image Recognition. http://arxiv.org/abs/1512.03385

Hendrycks, D., & Gimpel, K. (2016). Gaussian Error Linear Units (GELUs). http://arxiv.org/abs/1606.08415

Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-January, 2261–2269. https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.243

Kılıçarslan, S., Aydın, H. A., Adem, K., & Yılmaz, E. K. (2024). Impact of optimizers functions on detection of Melanoma using transfer learning architectures. Multimedia Tools and Applications. https://doi.org/10.1007/s11042-024-19561-6

Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. http://arxiv.org/abs/1412.6980

Kunc, V., & Kléma, J. (2024). Three Decades of Activations: A Comprehensive Survey of 400 Activation Functions for Neural Networks. http://arxiv.org/abs/2402.09092

Loshchilov, I., & Hutter, F. (2017). Decoupled Weight Decay Regularization. http://arxiv.org/abs/1711.05101

Mishra, G., Dev, H., & Singh, S. K. (2024). Comparative Analysis of Pre-Trained Cnn and Feature Selection Algorithms for Plant Leaf Disease Identification. 2024 IEEE 11th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON), 1–7. https://doi.org/10.1109/UPCON62832.2024.10983102

Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A Survey on Transfer Learning. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 22(10), 1345–1359. https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.191

Ramachandran, P., Zoph, B., & Le, Q. V. (2017). Searching for Activation Functions. http://arxiv.org/abs/1710.05941

Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2018). MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 4510–4520. https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00474

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. http://arxiv.org/abs/1409.1556

Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. A. (n.d.). Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual

Connections on Learning. Retrieved www.aaai.org

Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016-December, 2818–2826. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308

Tan, M., & Le, Q. V. (n.d.). EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks.

Too, E. C., Yujian, L., Njuki, S., & Yingchun, L. (2019). A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification. Computers and Electronics in Agriculture, 161, 272–279. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.032

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). Türkiye Tarım İstatistikleri 2023.

Uygun, T., Kiliçarslan, S., Közkurt, C., & Ozguven, M. M. (2025). An Effective Feature Extraction Method for Tomato Leafminer - Tuta Absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) Classification. Brazilian Archives of Biology and Technology, 68. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2025240501

Zhang, & X. (2015). Genetic Algorithm-SVM for Corn Disease. IEEE Access.

https://doi.org/10.71284/asc.2026118

DFT YÖNTEMLERİ KULLANILARAK 2-TİYOKSO-2,3-DİHİDRO-4(1H)-PİRİMİDİNONA AİT YAPISAL, TERMOKİMYASAL, ELEKTRONİK VE REAKTİVİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF STRUCTURAL, THERMOCHEMICAL, ELECTRONIC, AND REACTIVITY FEATURES BELONGING TO 2-THIOXO-2,3-DIHYDRO-4(1H)-PYRIMIDINONE USING DFT METHODS

Asaf Tolga Ulgen[1]
Alper Nuri Metin[2]
Umit Erdem[3]
Gurcan Yıldırım[4]

Özet

2-tiyokso-2,3-dihidro-4(1H)-pirimidinonun yapısal, termokimyasal, elektronik ve reaktivite özelliklerini araştırmak için B3LYP/6-31G(d,p) seviyesinde yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) kullanılarak kapsamlı bir kuantum kimyasal incelemesi yapılmıştır. DFT hesaplama yöntemine dayalı geometri optimizasyonu, π–π* konjugasyonu, molekül içi yük transferi, elektron delokalizasyonu ve heteroatomun yalnız çift etkileşimleri nedeniyle yapısal parametrelerde minimum sapmalar göstermektedir. Termokimyasal sonuçlar, orta derecede moleküler esneklik ve iyi enerjik kararlılık gösterirken, yaklaşık 6,44 D'lik hesaplanan dipol momenti, karbonil ve tiyokarbonil gruplarının baskın olduğu oldukça polar bir çerçeveyi ortaya koymaktadır. Elektronik absorpsiyon özellikleri, ZINDO yöntemi kullanılarak gaz fazında analiz edilmiş ve UV-Vis spektrumunun esas olarak π→π* ve n→π* geçişleri tarafından yönetildiği gösterilmiştir. En düşük uyarılmış durumlar, fiziksel olmayan negatif uyarım enerjileri ve ihmal edilebilir osilatör kuvvetleri sergiler; bu da optik olarak yasaklanmış, spin-kirlenmiş geçişleri gösterir. Buna karşılık, 18694,43 nm'de (0,0663 eV enerji bandı aralığı ile) yüksek osilatör kuvvetine sahip güçlü bir π→π* geçişi gözlemlenir ve bu, molekül içi yük transferiyle ilişkilidir. Sınır moleküler orbital tabanlı küresel reaktivite tanımlayıcıları, molekülün çift nükleofilik-elektrofilik karakterini doğrular; ESP ve MEP analizleri ise oksijen ve kükürt atomlarını tercih edilen elektrofilik bölgeler ve N–H gruplarını etkili hidrojen bağı vericileri olarak tanımlar. Buna göre, sonuçlar 2-tiyokso-2,3-dihidro-4(1H)-pirimidinonun önemli polaritesini, iyi tanımlanmış reaktif bölgelerini ve fonksiyonel malzemelerde ve biyolojik olarak ilgili sistemlerdeki potansiyel uygulanabilirliğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone; B3LYP; FMO

[1]Sorumlu Yazar, Prof. Dr., Şırnak Üniversitesi, ulgen_at@sirnak.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-7112-5607
[2]Öğr. Gör, Kırıkkale Üniversitesi, nurialpermetin@kku.edu.tr, https://orcid/0000-0002-9962-917X
[3]Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, umiterdem@kku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0480-8176
[4]Prof. Dr., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, yildirim_g@ibu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-5177-3703

Abstract

A quantum-chemical investigation of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone is thoroughly performed using density functional theory (DFT) at the B3LYP/6-31G(d,p) level to explore its structural, thermochemical, electronic, and reactivity properties. Geometry optimization based on DFT calculations shows minimal deviations in structural parameters due to π–π* conjugation, intramolecular charge transfer, electron delocalization, and heteroatom lone-pair interactions. Thermochemical results indicate moderate molecular flexibility and good energetic stability, while a calculated dipole moment of approximately 6.44 D reveals a highly polar framework dominated by carbonyl and thiocarbonyl groups. Electronic absorption properties were analyzed in the gas phase using the ZINDO method, showing that the UV–V is spectrum is mainly governed by π→π* and n→π*

transitions. The lowest excited states exhibit nonphysical negative excitation energies and negligible oscillator strengths, indicating optically forbidden, spin-contaminated transitions, whereas a strongly allowed π→π* transition with high oscillator strength is observed at 18694.43 nm (with the energy bap gap of 0.0663 eV), associated with intramolecular charge transfer. Frontier molecular orbital-based global reactivity descriptors confirm the dual nucleophilic–electrophilic character of the molecule, while ESP and MEP analyses identify oxygen and sulfur atoms as preferred electrophilic sites and N–H groups as effective hydrogen-bond donors. Accordingly, the results highlight the significant polarity, well-defined reactive regions, and potential applicability of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone in functional materials and biologically relevant systems.

Keywords: 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone; B3LYP; FMO

INTRODUCTION

Heterocyclic compounds containing a pyrimidine nucleus constitute one of the most important classes of scaffolds in organic, medicinal, and materials chemistry due to their structural versatility and broad spectrum of biological features (Ajani et al., 2015; Egorov et al., 2024; Sahu & Siddiqui, 2016) and physicochemical properties (Humphries et al., 2006; Pereira et al., 2023). In particular, pyrimidinone-based systems are ubiquitous in biologically active molecules (Allaka & Katari, 2023; Sharma et al., 2023), pharmaceuticals (Nammalwar & Bunce, 2024; Nerkar, 2021), and functional materials (Yu et al., 2018) owing to their capacity to engage in hydrogen bonding, tautomerism, π–π interactions, and coordination with metal ions. These features make pyrimidine derivatives attractive platforms for rational molecular design across interdisciplinary research areas (Kushwaha et al., 2024). Similarly, pyrimidinone is a versatile chemical whose derivatives are used across many industries (especially in healthcare applications) (Del Arco & Fernández-Lucas, 2018; Liang et al., 2023). Among sulfur-containing pyrimidines, 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone has emerged as a structurally and functionally significant chemical. The coexistence of carbonyl (C=O) and thiocarbonyl (C=S) functionalities within the heterocyclic framework imparts distinct electronic polarization (Lüdemann et al., 2013; Orozco et al., 2008; Trilleras et al., 2010) and enhanced chemical reactivity (Benneche et al., 1993; Hinshaw et al., 1970), enabling diverse substitution patterns and coordination behavior. This dual heteroatom functionality facilitates strong intermolecular interactions and contributes to the rich chemistry of thioxopyrimidinone derivatives, positioning them as valuable building blocks for advanced heterocyclic synthesis. Extensive studies have demonstrated that pyrimidinone and thioxopyrimidinone derivatives exhibit a wide range of biological activities, including antimicrobial, antiviral, anticancer, anti-inflammatory, and enzyme inhibitory effects (Elsharif, 2019; Saladino et al., 2001). In particular, uracil- and pyrimidinone-based analogues have shown potent antiviral activity by selectively inhibiting viral replication pathways, highlighting the pharmacological relevance

of this scaffold (Saladino et al., 2001). The biological activity properties mentioned are closely linked to the pyrimidinone core's ability to modulate electronic distribution, stabilize bioactive conformations, and interact selectively with biological macromolecules. Recent research has further expanded the scope of pyrimidinone chemistry by developing mesoionic pyrido[1,2-a]pyrimidinone derivatives, a unique class of heterocycles characterized by delocalized charge distribution and enhanced bioactivity. In 2019, Liu et al. reported the first synthesis of vanillin-containing mesoionic pyrido[1,2-a]pyrimidinones, demonstrating promising antibacterial activity against plant pathogens (Liu et al., 2019). Subsequent complementary studies revealed that structural modification of the pyrido[1,2-a]pyrimidinone core (especially substitution at the N1 position and strategic side-chain engineering) can yield compounds with notable insecticidal and herbicidal activities (Liu et al., 2019; Zhang et al., 2022). These findings underscore the adaptability of the pyrimidinone framework and its suitability for structure-activity relationship optimization.

Beyond classical medicinal chemistry, pyrimidine-based heterocycles have attracted increasing attention in the context of antimicrobial resistance, a global health challenge of urgent concern. Recent reviews emphasize that fused pyrimidine systems, including pyrrolo[2,3-d]pyrimidines, exhibit multifunctional antimicrobial properties encompassing antiviral (Sun et al., 2025), antibacterial (Vazirimehr et al., 2017), and antifungal (Hilmy et al., 2010) activities. Importantly, site-selective modification of these scaffolds allows fine-tuning of their physicochemical and biological properties, providing a rational pathway for the development of next-generation antimicrobial agents. In addition to biological applications, sulfur-containing pyrimidinones, particularly 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone, have demonstrated relevance in coordination chemistry, materials science, corrosion inhibition, and sensor development due to their strong affinity for metal ions and surfaces. The thiocarbonyl moiety enhances metal-binding capability, enabling the formation of stable metal complexes with potential catalytic (Bellomo et al., 2012; Fajer et al., 2023), optical (Rashad et al., 2012; Xue et al., 1999), and electronic (Porter et al., 2018; Valverde et al., 2024) applications. Such multifunctionality highlights the role of thioxopyrimidinones as versatile molecular platforms bridging molecular chemistry, biology, and materials science (Armstrong & Buggy, 2001; Shi et al., 2021; Shirini & Kamali, 2020; Wang et al., 2020; Wu et al., 2018). In light of these considerations, continued investigation of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone and its derivatives is highly warranted. Systematic studies focusing on their synthesis, structural characterization, electronic properties, and functional performance are essential to fully exploit their potential in drug discovery, agrochemical development, and advanced functional materials. Besides, comprehensive molecular-level information on 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone, including optimized geometry, vibrational characteristics, electronic structure, thermochemical parameters, dipole moment, NMR chemical shifts, UV–Vis absorption behavior, molecular electrostatic potentials, and frontier molecular orbitals, remains scarce in the literature. Moreover, chemical hardness and softness, ionization potential, electron affinity, electronegativity, chemical potential, electrophilicity index, and maximum charge transfer capability have not yet been systematically reported in the literature. Detailed computational characterization of these properties is crucial for establishing reliable structure–property–reactivity relationships and for assessing the potential of this compound in pharmacological and materials-related applications. In this context, the present work contributes to this growing field by exploring the chemistry of this important scaffold within a modern, interdisciplinary framework. Namely, a comprehensive quantum-chemical investigation of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule is carried out for the first time using density functional theory (DFT) at the B3LYP/6-31G(d,p) level. The reason only the DFT calculation module is preferred in this study is that it provides superior results compared to other calculation methods. All the obtained data (geometrical structural findings, thermochemical, electronic, and reactivity parameters) are compared with each other. Atomic charge distribution and dipole moment analyses further clarify the influence of non-uniform electron density across the molecular framework. MEP/ESP surface mapping and frontier molecular orbital analyses are employed to determine charge distribution, intramolecular charge-transfer pathways, reactive electrophilic/nucleophilic regions, and global reactivity descriptors. The results reveal

that 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone exhibits favorable structural and electronic features that support strong intermolecular interactions and functional versatility. All in all, this work provides a detailed and coherent molecular characterization of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule, emphasizing the role of the para-nitro substituent in modulating geometry, charge distribution, and stability. The findings contribute to a deeper understanding of structure–property relationships in pyrimidine derivatives and support their rational design for advanced chemical, material, and biological applications.

1. COMPUTATIONAL DETAILS

Detailed quantum-chemical studies are conducted on the title compound, 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone, to comprehensively explore its structural, thermodynamic, electronic, and fundamental optical characteristics. Full geometry optimizations are first performed to obtain equilibrium molecular structures, followed by an extensive evaluation of thermodynamic, spectroscopic, and electronic properties of the title compound. The investigated parameters include simulated UV–Vis absorption spectra, thermochemical quantities, frontier molecular orbitals (HOMO and LUMO), molecular electrostatic potential (MEP) and electrostatic potential (ESP) surfaces, and total charge density (polarization) distributions. These analyses collectively provide valuable information on intramolecular charge transfer (ICT), π–π* conjugation effects, electron delocalization, lone-pair interactions, and the propensity of the pyrimidine derivative to form intermolecular hydrogen bonds.

All calculations are carried out using only the DFT approach (superior results) employing the B3LYP exchange–correlation functional (Becke, 1993; Stephens et al., 1994; Young, 2001). The 6-31G(d,p) basis set, incorporating polarization functions, is used throughout to ensure an accurate description of electron redistribution and noncovalent interactions along the compound (Francl et al., 1982). Employing the DFT method allows for a meaningful comparison between correlation-free and correlation-inclusive treatments. This enables an assessment of electron correlation effects on molecular geometry and electronic structure.

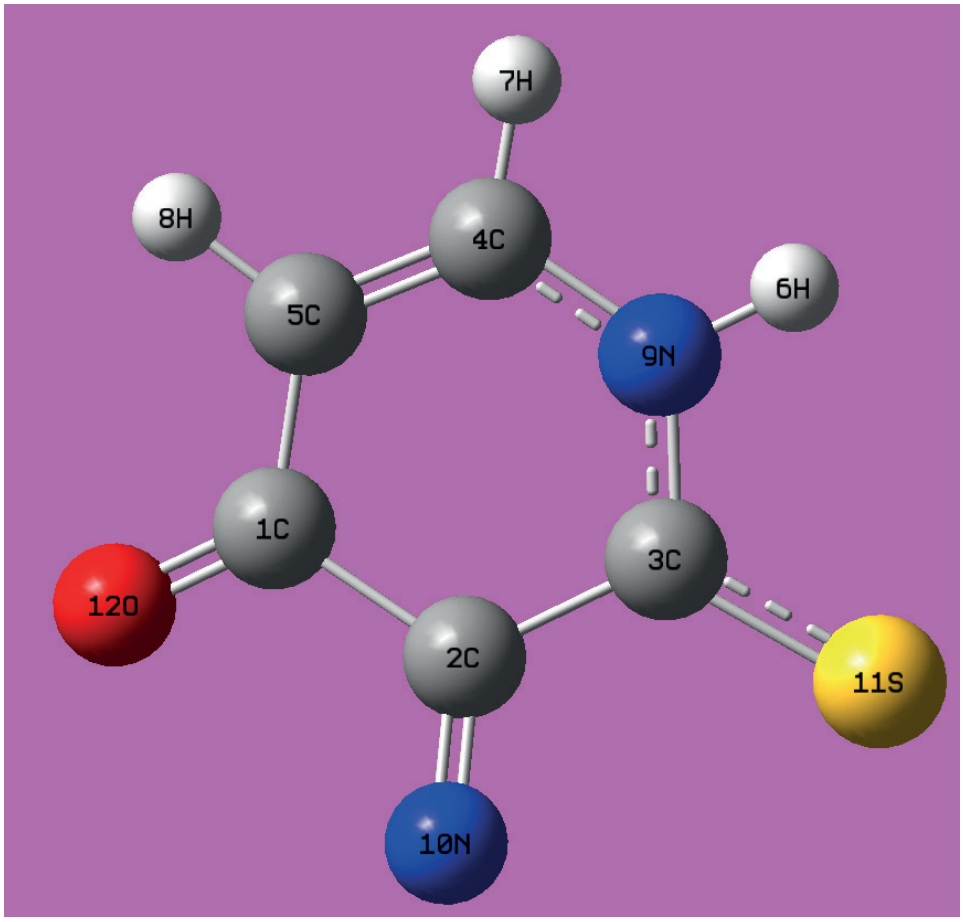
In addition, a comprehensive set of global reactivity descriptors (ionization potential, electron affinity, electronegativity, chemical hardness and softness, chemical potential, electrophilicity index, energy gap, and maximum charge transfer index) is calculated for the first time for the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule. Based on the computations, we quantitatively characterize molecular stability, reactivity, and charge-transfer behavior of the sample studied. For this aim, all quantum chemical computations are performed using the Gaussian 09 software package (Frisch et al., 2009), while molecular visualization, orbital plotting, and graphical analyses are carried out using a molecular modeling program on a personal computer (Dennington et al., 2007).

2. RESULT AND DISCUSSION

2.1. Optimized Molecular Geometry

As explained in the introduction, a full theoretical investigation of this multifunctional molecule is necessary. On this basis, the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule, including thiocarbonyl group, carbonyl group, thioamide functionality, amide functionality, and amine groups, and the pyrimidine heterocyclic ring, is fully optimized at the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) level of theory for the first time. The compound with the lowest total energy is identified as the most stable and selected for further discussion. The optimized geometry and atom numbering scheme of the title compound are shown in Fig. 1.

Figure 1. Optimized molecular structure belonging to 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule



To geometrically identify the title compound, key geometrical parameters, including bond lengths and bond angles, are calculated at the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) level with explicit electron correlation to assess methodological consistency. The numerical results are summarized in Table 1. According to the table, within the aromatic ring, calculated C–C bond lengths are found to be about 1.5574 Å for C1-C2, 1.4569 Å for C1-C5, 1.5051 Å for C2-C3, and 1.3501 Å for C4-C5 atoms. The variation in carbon-carbon bond lengths stems from π-electron delocalization and different atomic positions in the ring. Besides, the effects of intramolecular charge transfer (ICT), π–π* conjugation effects, electron delocalization, and lone-pair interactions are observed on the calculations. As for the carbonyl, the bond length between oxygen and carbon atoms is computed as 1.2155 Å. Additionally, the bond length of C-S related to the electron-donating part of the molecule is found to be about 1.6516 Å. The value is reported to be the longest for the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule. Further, we calculate the bond distances between carbon and nitrogenous atoms.

The highest bond is recorded as 1.3810 Å for C4-N9, whereas the bond size between C3 and N9 atoms is recorded to be higher than that between C2 and N10 atoms. This is attributed to changes in electron delocalization with respect to the environment's atomic charges. Double bonding also affects the bond distance between the atoms. Moreover, the length between the H6-N9 bond is calculated to be approximately 1.0129 Å. At the same time, the bond lengths between the carbon and hydrogen atoms are commuted to 1.0827 Å for C5-H8 and 1.0827 Å for C4-H7, respectively.

We also determine the bond angles of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule and list them in Table 1. As seen from the table, the smallest angle of 114.2854° is ascribed to H7-C4-N9. The largest one, corresponding to the C3-N9-C4 bond angle, is about 125.6732°. In the ring, there seems to be not much deviation between the bond angles.

Table 1. Geometric parameters for optimized 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone compound at DFT method

Bond lengths (Å)	
Atoms	DFT
C1-C2	1.5574
C1-C5	1.4569
C1-O12	1.2155
C2-C3	1.5051
C2-N10	1.2606
C3-N9	1.3718
C3-S11	1.6516
C4-C5	1.3501
C4-H7	1.0843
C4-N9	1.381
C5-H8	1.0827
H6-N9	1.0129
Bond angles (°)	
Atoms	DFT
C2-C1-C5	114.3236
C2-C1-O12	121.1344
C5-C1- O12	124.536
C1-C2-C3	120.2309
C1-C2-N10	119.0297
C3-C2- N10	120.6846
C2-C3-N9	114.3655
C2-C3-S11	124.196
N9-C3-S11	121.438
C5-C4-H7	122.2467
C5-C4-N9	123.4631
H7-C4-N9	114.2854
C1-C5-C4	121.0973
C1-C5-H8	117.8754
C4-C5-H8	121.0148
C3-N9-C4	125.6732
C3-N9-H6	115.0421
C4-N9-H6	119.2246

2.2. Thermochemical Properties of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone

The thermochemical behavior of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone is investigated using DFT/B3LYP with the 6-31G(d,p) basis set to assess energetic stability, thermal properties, and molecular polarity. The calculated thermodynamic parameters are compiled in Table 2. The zero-point vibrational energy (ZPVE) parameter is applied using a standard scaling factor of 0.977 for the B3LYP method (Belloma et. al., 2012). According to the table, the most stable structure exhibits a total electronic energy of -775.16859776 a.u. via DFT/B3LYP calculation level. The corresponding scaled ZPVE value is 46.36717921 kcal.mol-1 using the DFT method, with a zero-point correction of 0.075630 kcal.mol-1. These values confirm the intrinsic energetic stability of the optimized molecular framework and reflect partial π-electron delocalization across the aromatic, carbonyl, and thiocarbonyl groups.

Table 2. Determined thermochemistry features, such as zero-point energies (kcal mol-1), zero-point corrections (Hartree/Particle), entropies (cal mol-1 K-1), heat capacities (cal mol-1 K-1), dipole moment (Debye), and rotational constants (GHz).

Parameters	DFT/B3LYP//6-31(d,p)
Total energy	**-775.16859776**
Zero-point vibrational energy	46.36717921
Zero-point correction	**0.075630**
Thermal correction to Energy	0.083199
Thermal correction to Enthalpy	**0.084143**
Thermal Correction to Gibbs Free Energy	0.041300
Sum of electronic and zero-point Energies	**-775.092967**
Sum of electronic and thermal Energies	-775.085399
Sum of electronic and thermal Enthalpies	**-775.084455**
Sum of electronic and thermal Free Energies	-775.127298
Rotational constant	**2.53766**
	1.20319
	0.82187
Entropy	
Total	90.170
Electronic	**1.377**
Translational	40.700
Rotational	**29.239**
Vibrational	18.854
Heat capacity	
Total	**27.298**
Translational	2.981
Rotational	**2.981**
Vibrational	21.337
Thermal Energy	
Total	**52.208**
Translational	0.889

Rotational	**0.889**
Vibrational	50.431
Dipole moment	
μx	-0.2698
μy	**6.4398**
μz	0.1720
μ	**6.4478**

The calculated total entropy is 90.170 cal.mol-1.K-1, arising from translational, rotational, and vibrational contributions. Vibrational motion provides the dominant contribution to both entropy and thermal energy. According to the quantum-chemical calculation method, the molar heat capacity at constant volume (Cv) is 27.298 cal.mol-1.K-1, while the total thermal energy (E_{th}) is 52.208 cal.mol-1.K-1. The calculated rotational constants (A, B, and C) confirm that the molecule behaves as an asymmetric top, consistent with its substituted aromatic structure and nonplanar functional groups. The dipole moment is calculated to be 6.4478 D at the DFT/B3LYP level, with the dominant contribution along the molecular y-axis. This relatively high polarity, mainly due to carbonyl and thiocarbonyl groups, indicates a strong internal electric field. Such polarity enhances the molecule's ability to participate in hydrogen bonding, dipole–dipole interactions, and molecular recognition processes.

To sum up, the thermochemical analysis demonstrates that the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule is an energetically stable, moderately flexible, and strongly polar molecular system, providing a solid basis for interpreting its electronic and spectroscopic behavior (Xue et al., 1999; Fajer et al., 2023)

2.3. UV–Vis Spectral Examination

The electronic absorption behavior of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule is examined using the ZINDO method in the gas phase. The simulated UV–Vis spectrum is characterized primarily by $\pi\rightarrow\pi^*$ and $n\rightarrow\pi^*$ transitions, typical of conjugated aromatic systems containing heteroatoms. The calculated excitation wavelengths (λmax), oscillator strengths (f), and dominant orbital contributions are summarized in Table 3. As seen in the table, the first excited state corresponds to a non-degenerate A-symmetry state with a calculated excitation energy of -1.1397 eV, corresponding to a wavelength of -1087.87 nm. The negative excitation energy and wavelength are nonphysical and indicate limitations in the electronic-structure description, most likely arising from an unstable ground-state reference or methodological deficiencies in the calculation. The oscillator strength is effectively zero ($f \approx 0$), showing that this transition is optically forbidden and would not contribute to the UV–Vis absorption spectrum. The spin expectation value $\langle S2 \rangle$ of 2.156 indicates that this excited state has predominant triplet character with noticeable spin contamination, indicating partial mixing with higher spin states. Thus, these results imply that the calculated excited state is a spin-forbidden transition and that further refinement of the computational method or ground-state optimization is required for a physically meaningful description of the excited-state properties. Furthermore, the second excited state corresponds to an A-symmetry state with a calculated excitation energy of -0.0287 eV, which formally corresponds to an unphysically large negative wavelength of -43 138.77 nm. The near-zero and negative excitation energy indicates a breakdown in the excited-state description, likely associated with an unstable ground-state wavefunction or methodological limitations in the calculation. Besides, the oscillator strength is essentially zero ($f \approx 0$), indicating that this transition is optically forbidden and would not be observable in the UV–Vis spectrum. The spin expectation value $\langle S2 \rangle$ of 0.869 reveals a state with predominant doublet character and noticeable spin contamination, deviating from the ideal value of 0.75. Overall, this excited state should be regarded as nonphysical, and the results point to the need for improved computational treatment, such as ground-state stability checks and

refinement of the electronic structure method.

Table 3. Theoretical electronic absorption spectra parameters for the ZINDO calculation model for the 2-thioxo-2,3-dihydro-4 (1H)-pyrimidinone molecule

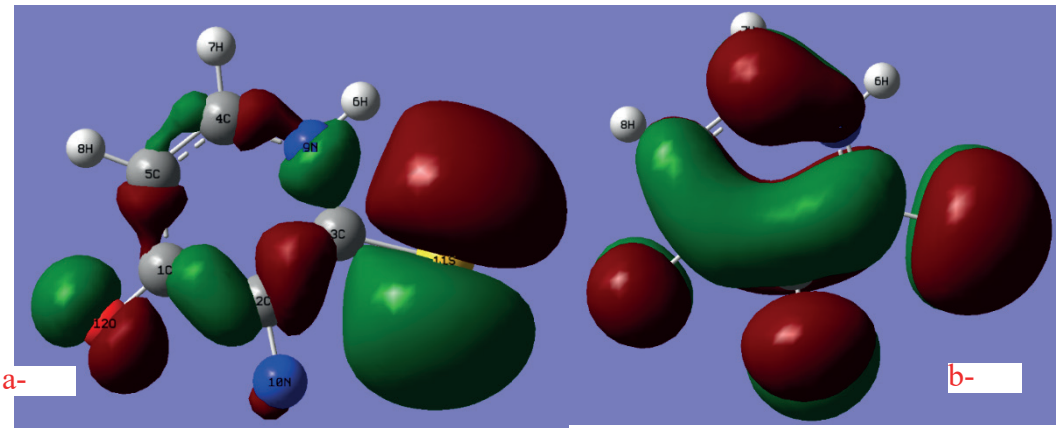
Cl-expansion coefficient with respect to the ZINDO calculation of theory					
Excitations	Energy (eV)	Singlet-A	Wavelength (nm)	Oscillator strength (f)	Translations
			Excited State 1		
19→24	-1.1397	-0.14096	-1087.87	0.0000	HOMO-5→HOMO
20→24		-0.28119			HOMO-4→ HOMO
20→26		-0.10734			HOMO-4→ LUMO+2
22→24		0.91090			HOMO-2→HOMO
			Excited State 2		
19→24	-0.0287	-0.35975	-43138.77	0.0000	HOMO-5→HOMO
20→24		-0.76659			HOMO-4→HOMO
20→26		-0.26996			HOMO-4→ LUMO+2
22→24		-0.34226			HOMO-3→LUMO+3
			Excited State 3		
21→24	0.0663	-0.10708	18694.43	0.0046	HOMO-3→HOMO
19→24		0.11365			HOMO-5→ HOMO
20→25		0.44940			HOMO-4→LUMO
22→23		0.14418			HOMO-2→ HOMO-2

The most intense absorption band is observed at 18694.43 nm using the ZINDO calculation method, with significantly higher oscillator strengths. This strongly allowed $\pi \rightarrow \pi^*$ transition arises from efficient orbital overlap within the aromatic ring and adjacent heteroatom-containing functional groups, indicating enhanced electronic polarizability and pronounced ICT character. The presence of this band in the near-UV region indicates potential applicability of the molecule in photoactive and optoelectronic materials. To sum up, the UV–Vis spectral features reflect the combined effects of aromatic conjugation, heteroatom lone-pair participation, and molecular asymmetry. Importantly, the calculated excitation energies are consistent with the HOMO–LUMO energy gaps obtained from DFT calculation, confirming the internal consistency and reliability of the computational results.

2.4. Frontier Molecular Orbitals of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule

In this study, we theoretically determine and simulate the frontier molecular orbitals (FMOs) of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4 (1H)- pyrimidinone molecule to gain deeper insight into its electronic structure, charge-transfer characteristics, and chemical reactivity parameters. The highest occupied molecular orbital (HOMO) represents the principal electron-donating region of the molecule, whereas the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) corresponds to its primary electron-accepting domain. The energy separation between these orbitals (denoted as ΔE = HOMO–LUMO) is widely recognized as a key descriptor of molecular stability, excitation tendency, and fundamental chemical responsiveness.

Figure 4. 3D spatial distributions of a-HOMO and b-LUMO orbitals of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule



The calculated HOMO and LUMO energies are -0.24659 a.u. and-0.13454 a.u. at the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) level, yielding corresponding energy gaps of 0.11235 a.u., respectively. This moderate band-gap value indicates a balanced electronic character that combines sufficient stability with favorable excitation potential. Visualization of the three-dimensional orbital distributions shows that the HOMO is largely delocalized over the entire molecule, except for the hydrogen atoms, and especially in conjugated and heteroatom-containing functional groups. At the same time, the LUMO, with relatively higher balloons, is mainly localized in electron-deficient regions of the molecule. This spatial separation promotes efficient intramolecular charge transfer, in agreement with the observed UV–Vis spectral transitions.

Table 4. Energy parameters for 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule at B3LYP/6-31G(d,p) basis set.

Quantities	Values
Lowest MO Eigen value (a.u.)	-88.87451
Highest MO Eigen value (a.u.)	4.73956
HOMO (a.u.)	-0.24659
LUMO (a.u.)	-0.13454
HOMO–LUMO gap (a.u.), |ΔE|	0.11235
χ (Electronegativity) (a.u.), [IP+EA]/2	0.190115
μ, Chemical potential, − [IP+EA]/2	-0.190115
η (Chemical hardness) (a.u.) [IP−EA]/2	0.056175
ζ (Softness) (a.u.)$^{-1}$, 1/2η	8.900757
ψ (Electrophilicity index) (a.u.), $\mu^2/2\eta$	0.2013874
Maximum charge transfer index (ΔN_{max}=-μ/η)	3.38433457

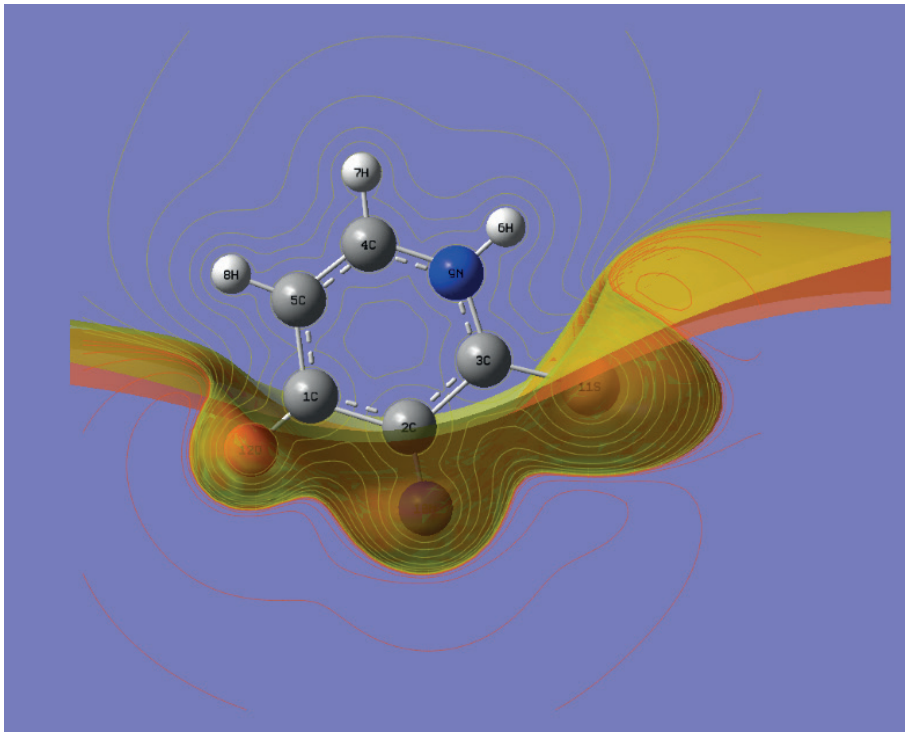
Global reactivity parameters derived from FMO energies further support the dual donor–acceptor nature of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule. Based on the DFT/B3LYP calculation method, the calculated electronegativity values are 0.190115 a.u., while chemical hardness values are 0.056175 a.u. The corresponding softness value is 8.900757 a.u. The chemical potential is -0.190115 a.u., whereas the electrophilicity index is calculated as 0.2013874 a.u. at the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) calculation level of theory. Collectively, these descriptors indicate a well-balanced combination of nucleophilic and electrophilic tendencies, suggesting that the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule possesses

both electronic stability and significant reactivity, making it a promising candidate for photoinduced charge-transfer processes and molecular recognition applications.

2.5. Electrostatic Potential and Molecular Electrostatic Potential Analyses of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule

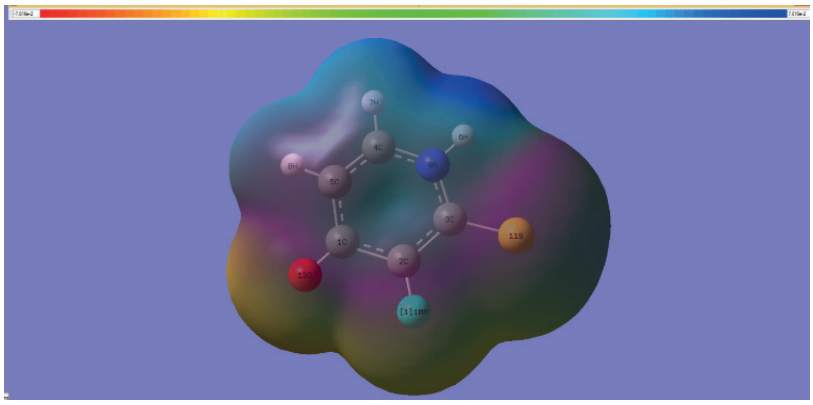
Electrostatic potential (ESP) and molecular electrostatic potential (MEP) maps were calculated at the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory. The results were used to highlight the spatial distribution of the electronic charge within the molecular structure, as well as, for the first time, identify the most likely areas for intermolecular interactions. The calculated ESP surface, along with the charge contour, clearly indicates that the most negative potential is located in specific areas, primarily around electronegative centers such as oxygen, nitrogen, and sulfur atoms. The presence of such electronegative centers suggests that these sites are most likely to be involved in electrophilic interactions. At the same time, their distribution within the structure is consistent with the molecule's charge-transfer properties, indicating a non-uniform charge distribution. The presence of such electronegative centers, which are most likely to be involved in electrophilic interactions, is balanced by the presence of less electronegative centers, such as those containing the hydrogen atoms, which are likely to be involved in nucleophilic interactions.

Figure 5. 3D plot for ESP map belonging to 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule



Conversely, regions of positive potential are primarily localized around N–H and C–H hydrogen atoms, indicating their propensity to act as hydrogen-bond donors, as shown in Fig. 6. Intermediate-potential regions distributed across the aromatic framework exhibit a balanced polarity that contributes to the overall dipolar nature of the molecule. The coexistence of clearly separated electron-rich and electron-deficient zones confirms the compound's amphoteric electronic character and its capacity to engage in diverse noncovalent interactions, including hydrogen bonding, electrostatic attraction, and π–π stacking.

Figure 6. 3D plots of MEP image for 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule



When interpreted together with the FMO and UV–Vis findings, the ESP and MEP analyses reveal a highly polarized electronic structure with efficient intramolecular charge-transfer pathways. These characteristics highlight the suitability of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule for potential applications in supramolecular assemblies, organic electronic materials, and biologically relevant molecular recognition systems.

CONCLUSION

A comprehensive quantum-chemical investigation of the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule is conducted to investigate its structural, thermochemical, electronic, and reactivity properties using the DFT computational approach at the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) level of theory with explicit electron correlation to assess methodological consistency. Very little deviation for all the optimized geometrical parameters is detected due to the intramolecular charge transfer, π–π* conjugation effects, electron delocalization, and lone-pair interaction. The variation in bond lengths and angles is found to result from π-electron delocalization and different atomic positions in the ring. Thermochemical analysis indicated scaled zero-point vibrational energies close to 47 cal.mol-1.K-1, while entropy, heat capacity, and thermal energy values confirmed the molecule's moderate flexibility and intrinsic energetic stability. The calculated dipole moment of approximately 6.44 D indicates a significantly polar molecular framework dominated by the carbonyl and thiocarbonyl functionalities, indicating strong dipole–dipole interactions and hydrogen-bonding capability.

The electronic absorption properties of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone are investigated in the gas phase using the ZINDO method. The simulated UV–Vis spectrum is dominated by π→π* and n→π* transitions arising from the conjugated pyrimidine ring and heteroatom lone pairs. Analysis of the low-lying excited states reveals that the first and second excited states exhibit negative excitation energies and negligible oscillator strengths, indicating optically forbidden, spin-contaminated, and nonphysical transitions caused by limitations of the computational approach or an unstable ground-state reference.

In contrast, the most intense absorption band appears at 18694.43 nm, with a significantly higher oscillator strength, corresponding to an allowed π→π* transition with strong orbital overlap and intramolecular charge-transfer character. To sum up, the UV–Vis spectral features reflect the combined influence of aromatic conjugation, heteroatom participation, and molecular asymmetry, while the agreement between calculated excitation energies and DFT-derived HOMO–LUMO gaps supports the internal consistency of the computational results, despite the need for further methodological refinement.

Global reactivity descriptors derived from FMO energies, including electronegativity, chemical hardness and softness, chemical potential, and electrophilicity index, further confirm the molecule's dual

nucleophilic–electrophilic character. In addition, ESP and MEP analyses reveal strongly negative potential regions around oxygen and sulfur atoms, indicating preferred sites for electrophilic interactions. In contrast, positive regions near N–H hydrogens suggest favorable hydrogen-bond donor behavior. To sum up, the integrated structural, thermodynamic, spectroscopic, and electronic analyses demonstrate that the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule possesses significant intramolecular charge-transfer capability, significant polarity, and well-defined reactive sites. These properties highlight its potential relevance in supramolecular chemistry, functional materials design, and biologically active molecular systems, while providing a solid theoretical foundation for future experimental and computational investigations of nitro-substituted thioxopyrimidinone derivatives.

REFERENCES

Ajani, O. O., Isaac, J. T., Owoeye, T. F., & Akinsiku, A. A. (2015). Exploration of the chemistry and biological properties of pyrimidine as a privileged pharmacophore in therapeutics. International Journal of Biological Chemistry, 9(4), 148–177.

Allaka, T. R., & Katari, N. K. (2023). Synthesis of pyridine derivatives for diverse biological activity profiles: A review. In Recent developments in the synthesis and applications of pyridines (pp. 605–625).

Armstrong, G., & Buggy, M. (2001). Thermal stability of a ureidopyrimidinone model compound. Materials Science and Engineering: C, 18(1–2), 45–49.

Bellomo, A., Celebi-Olcum, N., Bu, X., Rivera, N., Ruck, R. T., Welch, C. J., ... & Dreher, S. D. (2012). Rapid catalyst identification for the synthesis of the pyrimidinone core of HIV integrase inhibitors. Angewandte Chemie International Edition, 51(28), 6912.

Benneche, T., Strande, P., Oftebro, R., & Undheim, K. (1993). Pyrimidinones as reversible metaphase-arresting agents. European Journal of Medicinal Chemistry, 28(6), 463–472.

Del Arco, J., & Fernández-Lucas, J. (2018). Purine and pyrimidine salvage pathway in thermophiles: A valuable source of biocatalysts for the industrial production of nucleic acid derivatives. Applied Microbiology and Biotechnology, 102(18), 7805–7820.

Egorov, V., Valiullin, L., Raginov, I., Grabovskiy, S., Gafiyatov, R., Artemenko, A., ... & Golokhvast, K. (2024). Study of the biological properties of new chemical compounds of the pyrimidine series. In E3S Web of Conferences (Vol. 486, p. 04004). EDP Sciences.

Elsharif, A. M. (2019). Synthesis of new pyrimidinone derivatives and their respective biological activity assessment. Oriental Journal of Chemistry, 35(2).

Fajer, A. N., Al-Bahrani, H. A., Kadhum, A. A. H., & Kazemi, M. (2023). Synthesis of pyrano-pyrimidines: Recent advances in catalysis by magnetically recoverable nanocatalysts. Molecular Diversity, 1–33.

Hilmy, K. M. H., Khalifa, M. M. A., Hawata, M. A. A., Keshk, R. M. A., & El-Torgman, A. A. (2010). Synthesis of new pyrrolo[2,3-d]pyrimidine derivatives as antibacterial and antifungal agents. European Journal of Medicinal Chemistry, 45, 5243–5250.

Hinshaw, B. C., Gerster, J. F., Robins, R. K., & Townsend, L. B. (1970). Pyrrolopyrimidine nucleosides. V. Relative chemical reactivity of the 5-cyano group of the nucleoside antibiotic toyocamycin and desaminotoyocamycin. Synthesis of analogs of sangivamycin. Journal of Organic Chemistry, 35(1), 236–241.

Humphries, A. C., Gancia, E., Gilligan, M. T., Goodacre, S., Hallett, D., Merchant, K. J., & Thomas, S. R. (2006). 8-Fluoroimidazo[1,2-a]pyridine: Synthesis, physicochemical properties and evaluation as a bioisosteric replacement for imidazo[1,2-a]pyrimidine in an allosteric modulator ligand of the GABAA receptor. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 16(6), 1518–1522.

Kushwaha, P., Rashi, Bhardwaj, A., & Khan, D. (2024). Synthetic approaches toward imidazo-fused heterocycles: A comprehensive review. Journal of Heterocyclic Chemistry, 61(11), 1807–1869.

Liang, T., Yang, Y., Wang, J., Xie, Z., & Chen, X. (2023). The application of pyrrolo[2,3-d]pyrimidine scaffold in medicinal chemistry from 2017 to 2021. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 23(10), 1118–1136.

Liu, D., Zhang, J., Zhao, L., He, W., Liu, Z., Gan, X., & Song, B. (2019). First discovery of novel pyrido[1,2-a] pyrimidinone mesoionic compounds as antibacterial agents. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(43), 11860–11866.

Lüdemann, G., Woiczikowski, P. B., Kubar, T., Elstner, M., & Steinbrecher, T. B. (2013). Charge transfer in E. coli DNA photolyase: Understanding polarization and stabilization effects via QM/MM simulations. The Journal of Physical Chemistry B, 117(37), 10769–10778.

Nammalwar, B., & Bunce, R. A. (2024). Recent advances in pyrimidine-based drugs. Pharmaceuticals, 17(1), 104.

Nerkar, A. U. (2021). Use of pyrimidine and its derivative in pharmaceuticals: A review. Journal of Advanced Chemical Sciences, 729–732.

Orozco, F., Insuasty, B., Low, J. N., Cobo, J., & Glidewell, C. (2008). Hydrogen-bonded sheet structures in neutral, anionic and hydrated 6-amino-2-(morpholin-4-yl)-5-nitrosopyrimidines. Crystal Structure Communications, 64(4), 220–225.

Pereira, C. N., Rosa, J. O., da Silva Lara, L., Orlando, L. M. R., da Silva Figueiredo, N., de Souza Pereira, M. C., ... & dos Santos, M. S. (2023). Synthesis by microwave irradiation of new pyrazole-imidazoline-pyrimidine analogs: Physicochemical and photophysical properties and their biological activity against Trypanosoma cruzi. Journal of Molecular Structure, 1290, 135899.

Porter, T. M., Heim, G. P., & Kubiak, C. P. (2018). Stable mixed-valent complexes formed by electron delocalization across hydrogen bonds of pyrimidinone-linked metal clusters. Journal of the American Chemical Society, 140(40), 12756–12759.

Rashad, A. E., Shamroukh, A. H., Yousif, N. M., Salama, M. A., Ali, H. S., Ali, M. M., ... & El-Shahat, M. (2012). New pyrimidinone and fused pyrimidinone derivatives as potential anticancer chemotherapeutics. Archiv der Pharmazie, 345(9), 729–738.

Sahu, M., & Siddiqui, N. (2016). A review on biological importance of pyrimidines in the new era. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 8(5), 8–21.

Saladino, R., Crestini, C., Palamara, A. T., Danti, M. C., Manetti, F., Corelli, F., ... & Botta, M. (2001). Synthesis, biological evaluation, and pharmacophore generation of uracil, 4(3H)-pyrimidinone, and uridine derivatives as potent and selective inhibitors of parainfluenza 1 (Sendai) virus. Journal of Medicinal Chemistry, 44(26), 4554–4562.

Sharma, P., Suthar, V., Aggarwal, M., Singh, R., & Kumar, K. P. (2023). Role of pyridine and its privileged derivatives as anti-infective agents. In Recent developments in the synthesis and applications of pyridines (pp. 1–42). Elsevier.

Shi, Z., Wang, Q., Li, G. F., Shou, Y. F., Zong, H. J., Yan, S. F., ... & Yin, J. B. (2021). Preparation and characterization of attractive poly(amino acid) hydrogels based on 2-ureido-4[1H]-pyrimidinone. Chinese Journal of Polymer Science, 39(3), 327–336.

Shirini, F., & Kamali, F. (2020). Fe3O4/g-C3N4 nanocomposites as a reusable catalyst for the synthesis of 5-arylidenepyrimidine-2,4,6-(1H,3H,5H)-trione and pyrano-pyrimidinone derivatives in aqueous media. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 20(9), 5433–5444.

Sun, Z., Li, T., He, Y., Liu, H., Yang, L., Wu, Z., ... & Yang, S. (2025). Recent advances in the antimicrobial application of the pyrrolo[2,3-d]pyrimidine scaffold: Innovative synthetic strategies, structural diversification, and bioactivity evaluation. RSC Advances, 15(36), 29627–29645.

Trilleras, J., López, L. G., Cobo, J., & Glidewell, C. (2010). 10-Benzyl-4-oxo-2,3,4,10-tetrahydropyrimido[4,5-b] quinolin-2-iminium chloride sesquihydrate: A polarized electronic structure within a complex hydrogen-bonded sheet structure. Crystal Structure Communications, 66(9), 469–472.

Valverde, D., Hoehn, S. J., Koyanagui, E. D., Krul, S. E., Crespo-Hernández, C. E., & Borin, A. C. (2024). Theoretical and experimental evaluation of the electronic relaxation mechanisms of 2-pyrimidinone: The primary UVA absorbing moiety of the DNA and RNA (6–4) photolesion. ChemPhotoChem, 8(12), e202400070.

Vazirimehr, S., Davoodnia, A., Beyramabadi, S. A., Nakhaei-Moghaddam, M., & Tavakoli-Hoseini, N. (2017). Two new pyrrolo[2,3-d]pyrimidines (7-deazapurines): Ultrasonic-assisted synthesis, experimental and theoretical characterizations as well as antibacterial evaluation. Zeitschrift für Naturforschung B, 72(7), 481–487.

Wang, Q., Shi, Z., Shou, Y., Zhang, K., Li, G., Xia, P., ... & Yin, J. (2020). Stack-based hydrogels with mechanical enhancement, high stability, self-healing property, and thermoplasticity from poly(L-glutamic acid) and ureido-pyrimidinone. ACS Biomaterials Science & Engineering, 6(3), 1715–1726.

Wu, F. Y., Luo, Y., & Hu, C. B. (2018). Recent progress in the synthesis of thiazolo[3,2-a]pyrimidine compounds. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 292, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.

Xue, W. M., Perez, W. J., & Rillema, D. P. (1999). Synthesis, physical and photophysical properties of Ru(II) pyridyl-pyrimidine and pyridyl-pyrimidinone complexes: Effect of substituents on the pyrimidine ring. Inorganica Chimica Acta, 296(1), 114–126.

Yu, H., Szilvási, T., Rai, P., Twieg, R. J., Mavrikakis, M., & Abbott, N. L. (2018). Computational chemistry-guided design of selective chemoresponsive liquid crystals using pyridine and pyrimidine functional groups. Advanced Functional Materials, 28(13), 1703581.

Zhang, W., Lahm, G. P., Pahutski, T. F., & Hughes, K. A. (2022). Applying a bioisosteric replacement strategy in the discovery and optimization of mesoionic pyrido[1,2-a]pyrimidinone insecticides: A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70(36), 11056–11062.

Becke, A. D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. The Journal of Chemical Physics, 98(7), 5648–5652.

Dennington, R., Keith, T., & Millam, J. (2007). GaussView (Version 4.1.2) [Computer software]. Semichem, Inc.

Francl, M. M., Pietro, W. J., Hehre, W. J., Binkley, J. S., Gordon, M. S., DeFrees, D. J., & Pople, J. A. (1982). Self-consistent molecular orbital methods. XXIII. A polarization-type basis set for second-row elements. The Journal of Chemical Physics, 77(7), 3654–3665.

Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G. A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H. P., Izmaylov, A. F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J. L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J. A., Jr., Peralta, J. E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J. J., Brothers, E., Kudin, K. N., Staroverov, V. N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J. C., Iyengar, S. S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J. M., Klene, M., Knox, J. E., Cross, J. B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R. E., Yazyev, O., Austin, A. J., Cammi, C., Pomelli, C., Ochterski, J. W., Martin, R. L., Morokuma, K., Zakrzewski, V. G., Voth, G. A., Salvador, P., Dannenberg, J. J., Dapprich, S., Daniels, A. D., Farkas, O., Foresman, J. B., Ortiz, J. V., Cioslowski, J., & Fox, D. J. (2009). Gaussian 09, Revision A.02 [Computer software]. Gaussian, Inc.

Stephens, P. J., Devlin, F. J., Chabalowski, C. F., & Frisch, M. J. (1994). Ab initio calculation of vibrational absorption and circular dichroism spectra using density functional force fields. The Journal of Physical Chemistry, 98(45), 11623–11627.

Young, D. C. (2001). Computational chemistry: A practical guide for applying techniques to real world problems. John Wiley & Sons.

https://doi.org/10.71284/asc.2026119

DFT/B3LYP TEORİ SEVİYESİNE DAYALI OLARAK 2-TİYOKSO-2,3-DİHİDRO-4(1H)-PİRİMİDİNONUN ELEKTRONİK YAPISI, YÜK TRANSFERİ VE TİTREŞİMSEL ÖZELLİKLERİ

ELECTRONIC STRUCTURE, CHARGE TRANSFER, AND VIBRATIONAL CHARACTERISTICS OF 2-THIOXO-2,3-DIHYDRO-4(1H)-PYRIMIDINONE BASED ON DFT/B3LYP LEVEL OF THEORY

Asaf Tolga Ulgen[1]
Mustafa Burak Turkoz[2]
Umit Erdem[3]
Gurcan Yıldırım[4]

Özet

2-tiyokso-2,3-dihidro-4(1H)-pirimidinonun yapısal, spektroskopik ve temel elektronik özelliklerini ilk kez aydınlatmak için kapsamlı bir yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) araştırması sunulmaktadır. Geometri optimizasyonu ve özellik hesaplamaları, 6-31G(d,p) teori seviyesi ile birlikte B3LYP fonksiyoneli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçü dahil atomik orbital (GIAO) yöntemiyle elde edilen hesaplanmış 1H ve 13C NMR kimyasal kaymaları, mevcut deneysel verilerle mükemmel bir uyum göstermekte ve benimsenen hesaplama yaklaşımının güvenilirliğini doğrulamaktadır. Benzer şekilde, ölçeklendirilmiş frekanslar, kızılötesi yoğunlukları, Raman aktiviteleri, indirgenmiş kütleler ve kuvvet sabitleri de dahil olmak üzere ayrıntılı titreşim analizleri, deneysel IR ve Raman spektrumlarıyla başarılı bir şekilde örtüşmektedir. Mulliken ve atomik polar tensör (APT) yöntemlerine dayalı atomik yük dağılımı analizleri, elektron yoğunluğunun ağırlıklı olarak oksijen ve azot atomlarında lokalize olduğu ve heteroatom bağlı hidrojenlerle ilişkili pozitif bölgelerle birlikte önemli bir yük ayrışmasını ortaya koymaktadır. Bu özellikler, etkili molekül içi yük transferini, π–π* konjugasyonunu, elektron delokalizasyonunu ve moleküler çerçeve içinde önemli yalnız çift etkileşimlerini göstermektedir. Sonuç olarak, karşılaştırılan sonuçlar, B3LYP/6-31G(d,p) metodolojisinin 2-tiyokso-2,3-dihidro-4(1H)-pirimidinonun fizikokimyasal davranışının doğru ve güvenilir bir tanımını sağladığını ve farmasötik kimya, moleküler biyoloji ve fonksiyonel malzeme tasarımı alanlarındaki potansiyel uygulamalarıyla ilgili değerli moleküler düzeyde bilgiler sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone: NMR; Titreşim frekansları; APT; Mulliken yükleri.

[1]Sorumlu Yazar, Prof. Dr., Şırnak Üniversitesi, ulgen_at@sirnak.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-7112-5607
[2]Prof. Dr., Karabük Üniversitesi, turkozmb@gmail.com, https://orcid/0000-0002-4127-7650
[3]Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, umiterdem@kku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0480-8176
[4]Prof. Dr., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, yildirim_g@ibu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-5177-3703

Abstract

A comprehensive density functional theory (DFT) investigation of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone is presented to elucidate its structural, spectroscopic, and fundamental electronic properties for the first time. Geometry optimization and property calculations were performed using the B3LYP functional in conjunction with the 6-31G(d,p) level of theory. The calculated 1H and 13C NMR chemical shifts, obtained via the gauge-including atomic orbital (GIAO) method, show excellent agreement with available experimental data, confirming the reliability of the adopted computational approach. Similarly, detailed vibrational analyses, including scaled frequencies, infrared intensities, Raman activities, reduced masses, and force constants, successfully agree with experimental IR and Raman spectra. Atomic charge distribution analyses based on Mulliken and atomic polar tensor (APT) methods reveal signification charge separation, with electron density predominantly localized on oxygen and nitrogen atoms and positive regions associated with heteroatom-bonded hydrogens. These features indicate effective intramolecular charge transfer, π–π* conjugation, electron delocalization, and significant lone-pair interactions within the molecular framework. In conclusion, the results compared indicate that the B3LYP/6-31G(d,p) methodology provides an accurate and reliable description of the physicochemical behavior of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone and delivers valuable molecular-level insights relevant to its potential applications in pharmaceutical chemistry, molecular biology, and functional materials design.

Keywords: 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone: NMR; Vibrational frequencies; APT; Mulliken charges.

INTRODUCTION

Heterocyclic compounds incorporating a pyrimidine core occupy a pivotal position in contemporary organic and medicinal chemistry owing to their remarkable structural diversity and wide-ranging biological and physicochemical properties (Abdelrehim & El-Sayed, 2022; El-Atawy et al., 2022; Monier et al., 2020). Pyrimidine derivatives constitute key structural units in numerous natural products, pharmaceuticals, and functional materials, where their heteroatom-rich frameworks enable versatile intermolecular interactions, tunable electronic behavior, and favorable pharmacokinetic profiles (Nammalwar & Bunce, 2024; Nerkar, 2021; Peters et al., 1987; Prachayasittikul et al., 2017; Sathisha et al., 2016; Shang et al., 2018; Shehab et al., 2024; Siddiqui-Jain et al., 2018; Vitaku et al., 2014). Within this broad class, sulfur-containing pyrimidines have emerged as particularly attractive molecular scaffolds, as sulfur incorporation introduces enhanced polarizability, redox activity, and coordination capability into the heterocyclic framework (Beobide et al., 2007; Cepeda & Pérez-Yáñez, 2014; Doll et al., 2021; Gioftsidou et al., 2024; Kim et al., 2022; Ritchie, 1983; Soscún et al., 2004; Subbaiah et al., 1982). Among these compounds, 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone represents a structurally and functionally significant pyrimidine derivative that has attracted sustained scientific interest. The simultaneous presence of carbonyl (C=O) and thiocarbonyl (C=S) functionalities within the pyrimidine ring induces pronounced electronic polarization and keto–thione tautomeric flexibility (Di Fiore et al., 2025; Hu et al., 2017), giving rise to distinctive chemical reactivity and coordination behavior. This dual heteroatom functionality promotes charge delocalization, strengthens donor–acceptor interactions, and facilitates strong intermolecular contacts, collectively contributing to the compound's rich chemical and biological profile (Hu et al., 2017; Lu et al., 2025).

Extensive studies have demonstrated that 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone and its derivatives exhibit a broad spectrum of biological activities, including antimicrobial, antiviral, anticancer, anti-inflammatory, and enzyme inhibitory effects (Keenan et al., 2021; Madhurya et al., 2024; Sun et al., 2002; Sun et al., 2025; Vazirimehr et al., 2017). These pharmacological properties are primarily associated with the compound's ability to participate in hydrogen bonding, undergo tautomeric interconversion, and coordinate

with biologically relevant metal ions. Such features enable effective interactions with enzymes, nucleic acids, and protein receptors, rendering this scaffold highly valuable for the rational design of bioactive molecules and multifunctional ligands.

From a synthetic standpoint, 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone serves as a versatile building block for the construction of structurally complex heterocyclic systems. The presence of multiple reactive sites within the heterocycle allows selective functionalization at different positions, enabling access to substituted pyrimidines, fused heterocycles, and sulfur-containing analogues with tailored properties (Abdelrehim & El-Sayed, 2022; Lu et al., 2025; Monier et al., 2020). Moreover, its thiourea-like moiety enhances nucleophilicity and coordination ability, further expanding its applicability in organic synthesis and coordination chemistry (Cepeda & Pérez-Yáñez, 2014; Gioftsidou et al., 2024; Kim et al., 2022).

Beyond its well-established role in medicinal chemistry, the 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone compound has found increasing relevance in materials science and analytical chemistry (Cepeda & Pérez-Yáñez, 2014; Fink et al., 1956). Its strong affinity toward metal surfaces and metal ions makes it particularly suitable for applications in corrosion inhibition, chemical sensing, and metal ion recognition. In coordination chemistry, 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone can act as an effective chelating ligand for transition metals, leading to the formation of stable complexes with potential catalytic, optical, electronic, and biological functions (Beobide et al., 2007; Cepeda & Pérez-Yáñez, 2014; Doll et al., 2021; Gioftsidou et al., 2024; Kim et al., 2022). These multifunctional attributes underscore the adaptability of this scaffold across diverse scientific disciplines.

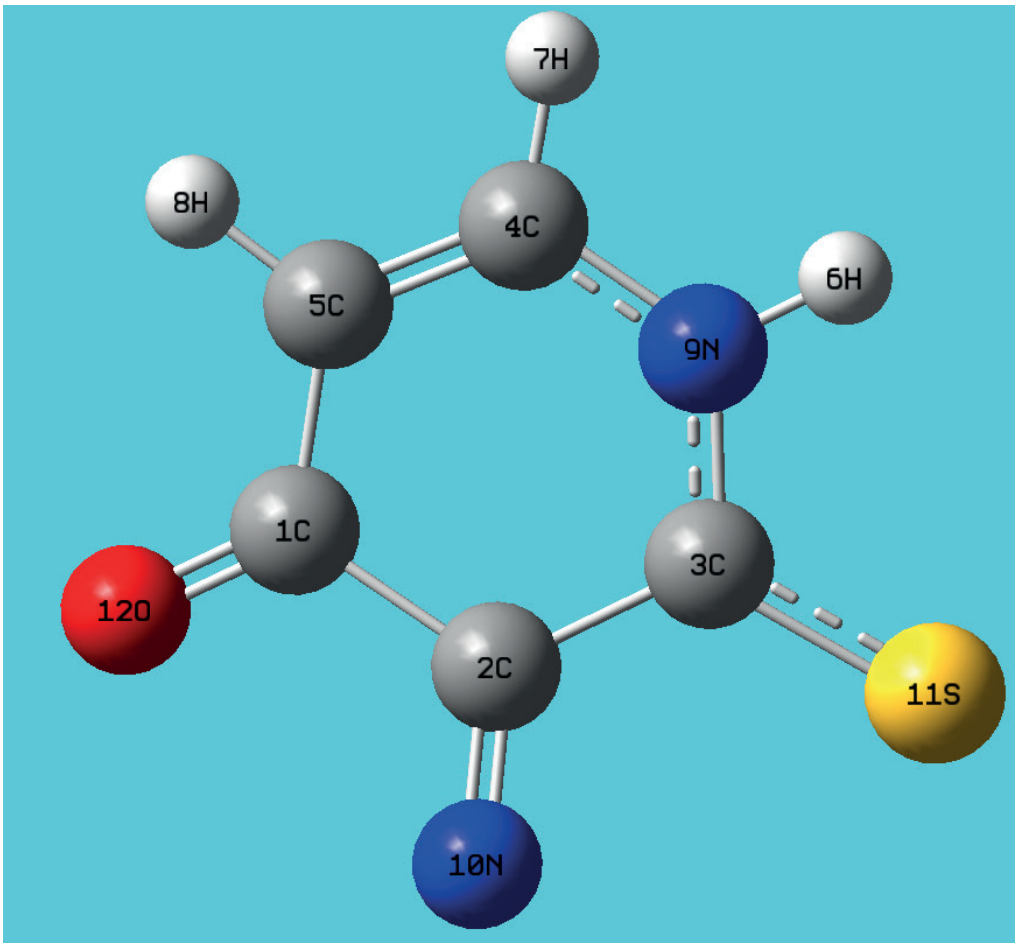
In this context, continued investigation of the synthesis, structural characteristics, spectral properties, and functional behavior of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone remains highly warranted (Di Fiore et al., 2025; Hu et al., 2017; Nammalwar & Bunce, 2024). A detailed understanding of structure–property relationships within this class of compounds is essential for the development of new bioactive agents and advanced functional materials. In the current theoretical work, a comprehensive quantum-chemical investigation of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone is carried out using both ab initio Hartree–Fock (HF) and density functional theory (DFT) approaches. Geometry optimizations are initially performed at the HF/6-31G(d,p) and B3LYP/6-31G(d,p) levels to enable direct methodological comparison. The B3LYP functional demonstrates superior agreement with experimental observations, particularly in the prediction of spectroscopic parameters, including ^1H and ^13C NMR chemical shifts, vibrational frequencies, Raman activities, infrared intensities, reduced masses, force constants, and depolarization ratios. Consequently, all subsequent calculations are conducted at the B3LYP/6-31G(d,p) level to ensure enhanced accuracy and reliability. Additionally, special emphasis is placed on atomic charge distribution analyses using Mulliken and APT schemes to elucidate dipole moments, polarization effects, and intramolecular charge-transfer behavior. The calculated FT-IR vibrational modes and NMR chemical shifts are directly compared with available experimental data, revealing excellent agreement and correspondingly validating the adopted computational methodology.

In conclusion, the comparison and theoretical results confirm that 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone exhibits favorable structural and electronic features that promote strong intermolecular interactions and distinctive physicochemical behavior. Beyond demonstrating consistency between theoretical predictions and experimental findings, this study provides a comprehensive molecular-level characterization of the compound, offering critical insight into electron delocalization pathways, lone-pair orbital contributions, π–π^* conjugative interactions, and potential hydrogen-bonding sites. The findings contribute to a deeper understanding of the intrinsic properties of sulfur-containing pyrimidinones and support their rational exploitation in chemical, biological, and materials-oriented applications.

1. COMPUTATIONAL DETAILS

In this study, a comprehensive quantum-chemical framework is employed to investigate the structural, electronic, and spectroscopic properties of the title compound, 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule (Fig. 1). The analysis includes atomic charge distribution using Mulliken population analysis and the Atomic Polar Tensor (APT) method, vibrational frequency calculations, and nuclear magnetic resonance (NMR) chemical shift predictions referenced to tetramethylsilane (TMS).

Figure 1. Optimized molecular structure for 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule



All calculations are carried out using density functional theory (DFT) (Becke, 1992; Lee et al., 1988; Stephens et al., 1994) with the B3LYP hybrid functional, in conjunction with the 6-31G(d,p) Pople-type basis set (Binkley & Pople, 1977; Francl et al., 1982; Hehre & Pople, 1972). All computations are executed using the Gaussian 09 software package (Frisch et al., 2009), while molecular structures and vibrational modes are visualized using the GaussView graphical interface (Dennington et al., 2007) on a high-performance personal computer. Vibrational properties are analyzed in detail.

Raman scattering activities obtained from Gaussian 09 (Frisch et al., 2009) are converted into relative Raman intensities using standard theoretical relations, accounting for excitation wavelength effects and vibrational wavenumbers. To correct for anharmonicity and the systematic overestimation inherent to harmonic frequency calculations, scaling factors of 0.991 for B3LYP are applied in accordance with established literature (Alecu et al., 2010; Merrick et al., 2007). The molecule consists of 12 atoms, giving rise to 36 Cartesian degrees of freedom; after excluding translational and rotational motions, 30 (3N−6) fundamental vibrational modes are obtained. Due to its C1 point-group symmetry (Atkins & Friedman,

1996; Wilson et al., 1980), all normal modes are both infrared- and Raman-active, making the molecule particularly suitable for combined experimental and theoretical vibrational spectroscopic analysis. In addition to vibrational frequencies, reduced masses, force constants, and infrared intensities are evaluated at the same calculation method.

2. RESULT AND DISCUSSION

2.1. NMR Study for 2-Thioxo-2,3-Dihydro-4(1H)-Pyrimidinone Molecule

Nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy is a powerful tool for probing molecular structure and local electronic environments. Both 1H and 13C chemical shifts are highly sensitive to electron density distribution, resonance and inductive effects, and substituent-induced electronic perturbations, making theoretical NMR calculations a stringent test of quantum-chemical methods.

In this study, 1H and 13C NMR chemical shifts of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule are calculated using the Gauge-Independent Atomic Orbital (GIAO) method. Geometry optimizations are performed at DFT/B3LYP computation level of theory using progressively extended basis sets, including TMS-HF/6-31+G(d,p), TMS-B3LYP/6-311+G(2d,p), and CH4-HF/6-31G(d), allowing systematic evaluation of basis-set size and electron correlation effects. The calculated isotropic shielding constants are converted to chemical shifts and compared directly with experimental data.

As listed in Table 1, the B3LYP-based GIAO calculations show excellent agreement with experimental NMR measurements. The predicted 1H chemical shifts exhibit good consistency across all methods, with B3LYP/6-311+G(2d,p) yielding a narrower and more accurate range (7.5209–11.642 ppm). The largest value of 12.4 ppm (experimentally observed) belongs to the hydrogen atom bonded by nitrogenous (relatively negative ions). In the ring, the measured 1H chemical shifts are found to be about 7.42 ppm and 5.845 ppm. For 13C NMR spectra, all computational approaches reproduce the experimental trends, with B3LYP/6-311+G(d,p) providing values between 107.396 and 203.936 ppm, closely matching the experimental range (105.15–175.99 ppm). Other models have yielded results that are far from experimental results. Correspondingly, the results demonstrate that the GIAO-based methods, particularly B3LYP/6-311+G(d,p) displays reliable and experimentally consistent descriptions of the NMR spectra. These findings highlight the critical role of electron correlation and basis-set completeness in predicting magnetic shielding and validate the computational framework for aromatic thiourea derivatives.

Table 1. Experimental and Theoretical 1H And 13C Chemical Shifts Of 2-Thioxo-2,3-Dihydro-4(1H)-Pyrimidinone Molecule

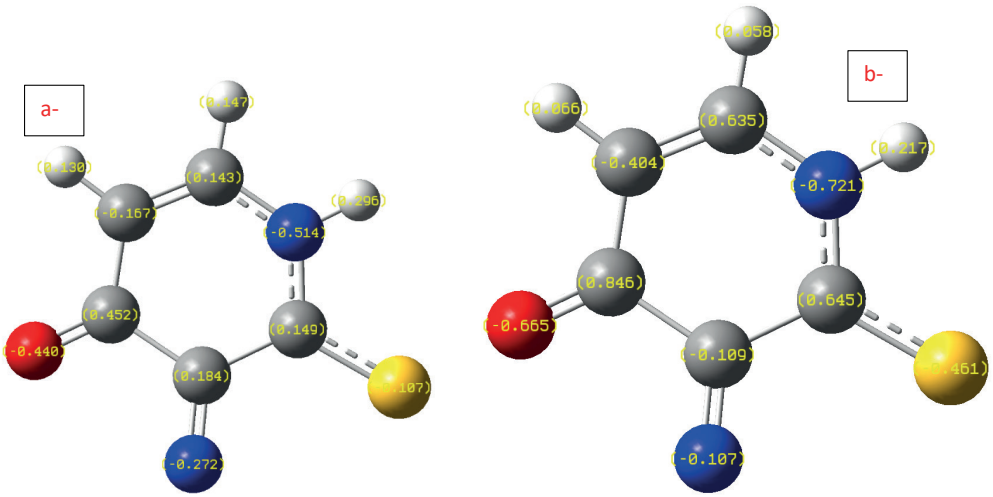
Atoms	TMS HF/6-31G(d)	TMS B3LYP/6-311+G(2d,p)	CH4-HF/6-31G(d)	Exp. in DMSO-d6
C1	221.455	203.936	220.57	
C3	212.493	194.973	211.608	175.99
C4	144.876	127.356	143.991	160.87
C2	129.472	111.953	128.587	141.91
C5	124.916	107.396	124.031	105.15
	TMS HF/6-31G(d)	**TMS B3LYP/6-311+G(2d,p)**	**Exp. in DMSO-d6**	
H6	12.3575	11.642	12.4	
H7	8.7807	8.0652	7.426	
H8	8.2364	7.5209	5.845	

2.2. Atomic Charge Distribution Analysis For 2-Thioxo-2,3-Dihydro-4(1H)-Pyrimidinone Molecule

Atomic charge distribution plays a key role in understanding molecular reactivity, intramolecular charge transfer, and intermolecular interactions. In this study, the electronic charge distribution of the title compound 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule is examined using Mulliken population analysis and the Atomic Polar Tensor (APT) method at B3LYP/6-31G(d,p) level of theory for the first time. These complementary approaches provide valuable information about electron population trends and polarization effects, respectively.

Mulliken analysis, while basis-set dependent, offers qualitative information on charge delocalization and substituent effects, whereas APT charges that are derived from dipole moment derivatives provide a more physically meaningful description of polarization and are directly related to infrared intensities. The calculated atomic charges are listed in Table 2. We also show the charge distributions on an optimized figure (Figs. 2a-b). It is found that both the methods exhibit the similar trends. At the DFT/B3LYP calculation level of theory, Mulliken carbon charges are found to change from -0.167335 (C5) to +0.452168 (C1 atom bonded by oxygen atom). The similar group is calculated in the range of-0.403820 (C5)-0.845829 (C1 atom) at the APT computational method. On this basis, Mulliken charges show a narrower distribution but consistently reveal electron-withdrawing and electron-donating effects across the molecular framework. Besides, the variation of the atomic charge values between the atoms results from the presence of intramolecular charge transfer, π–π* conjugation effects, electron delocalization, and lone-pair interactions along the compound.

Figure 2. Calculated Atomic Charges for 2-Thioxo-2,3-Dihydro-4(1H)-Pyrimidinone Molecule: A- Mulliken Population Analysis And B-Atomic Polar Tensor Calculation Method



According to the calculations, nitrogen atoms exhibit strong polarization, with APT charges at the DFT level of -0.720841 (N9) and -0.106903 (N10), indicating significant lone-pair participation and charge localization. The N9 and N10 atomic charges are also calculated as about -0.513511 and -0.272348 at Mulliken calculation method, respectively. Because they didn't use different algorithms in their calculations, the trend of change is the same, but the magnitudes are different. Moreover, oxygen atom carries the most negative charges for the both models, consistent with their high electronegativity, reinforcing their role as primary hydrogen-bond acceptors. In this respect, the O12 atom possesses the values of -0.665143 and -0.440134 at APT and Mulliken calculations.

Table 2 Atomic Charge Distributions Of 2-Thioxo-2,3-Dihydro-4(1H)-Pyrimidinone

Label	DFT/B3LYP//6-31(d,p)	
	APT atomic charges	Mulliken atomic charges
C1	0.845829	0.452168
C2	-0.108977	0.183723
C3	0.645241	0.148886
C4	0.634787	0.142687
C5	-0.403820	-0.167335
H6	0.216875	0.295753
H7	0.057573	0.146923
H8	0.066248	0.130106
N9	-0.720841	-0.513511
N10	-0.106903	-0.272348
S11	-0.460870	-0.106920
O12	-0.665143	-0.440134

Sulfur also exhibits substantial negative charge of -0.460870 and -0.106920 at APT and Mulliken quantum mechanical model, indicating its involvement in charge delocalization and coordination potential. Hydrogen atoms display positive charges, with higher value for that bonded to nitrogen (most negative environment), confirming enhanced polarization and hydrogen-bond donor capability. Numerically, the smallest value is 0.057573 for H7 atom at ATP method and 0.130106 for H8 atom at Mulliken method. On the other hand, the highest atomic charged hydrogen atom is H6 with 0.216875 at ATP calculation route and 0.295753 at Mulliken atomic charge calculation method. To sum up, the charge distribution analysis reveals significant π-electron delocalization and strong polarization effects arising from heteroatom lone pairs. The resulting inhomogeneous charge distribution defines distinct electrophilic and nucleophilic regions, supporting efficient intramolecular charge transfer. These findings are fully consistent with the NMR, frontier molecular orbital, and electrostatic potential analyses, underscoring the chemically reactive and electronically anisotropic nature of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule.

Atomic charge distribution plays a pivotal role in understanding molecular reactivity, intramolecular charge transfer, and intermolecular interaction mechanisms. In this study, the electronic charge distribution of the title compound 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone is analyzed using both Mulliken population analysis and APT method at B3LYP/6-31G(d,p) level of theory. These complementary approaches are selected to capture both qualitative electron population trends and physically meaningful polarization effects.

Mulliken population analysis partitions electron density based on atomic orbital contributions and overlap populations. Although the method is known to be basis-set dependent and may yield exaggerated charge values, it remains useful for identifying general trends in electron delocalization and intramolecular charge redistribution. Conversely, APT charges are derived from the response of the molecular dipole moment to atomic displacements and are directly related to infrared intensities. As such, APT charges provide a more robust description of polarization effects and vibrational charge flow.

2.3. Vibrational Frequencies

A detailed vibrational frequency analysis is carried out to elucidate the spectroscopic characteristics and structural features of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule. Harmonic vibrational frequencies are calculated using DFT with the B3LYP functional in combination with the 6-31G(d,p) calculation basis set. To account for anharmonic effects and the systematic overestimation inherent in harmonic calculations, the computed frequencies are scaled by factor of 0.991 for B3LYP level of theory. The resulting scaled wavenumbers, along with infrared intensities, Raman activities, reduced masses, and force constants are summarized in Table 4 and compared with experimental IR data.

As shown in Table 4, excellent agreement is observed between the theoretical and experimental vibrational spectra, particularly for the B3LYP/6-31G(d,p) method, confirming the reliability of the adopted computational approach. The vibrational features clearly indicate the presence of aromatic, carbonyl, and thiocarbonyl functional groups within the molecular framework.

Aromatic C–H stretching vibrations, which are typically weak to moderate in intensity, are generally observed at higher wavenumbers than aliphatic C–H stretches (Coates, 2000; Roeges, 1994). In accordance with previous reports, phenyl C–H stretching modes appear in the 3120–3000 cm^{-1} region (Coates, 2000; Roeges, 1994). Experimentally, these bands are detected in the 3132–3134 cm^{-1} range, while the corresponding calculated values are detected to lie within 3192.22506–3215.74941 cm^{-1} by using DFT/B3LYP level of theory (Coates, 2000). Aliphatic C–H stretching modes are predicted at slightly lower frequencies and exhibit higher intensities due to larger dipole moment changes during vibration (Coates, 2000; Roeges, 1994). The aromatic C=C stretching vibrations, which are highly sensitive to substituent effects, are observed experimentally within the 1200–1650 cm^{-1} region (Klots & Collier, 1995; Roeges, 1994). The calculated C=C stretching modes fall in the ranges of 1139.63414–1775.43365 cm^{-1} and experimental values are in 1159–1711 cm^{-1}, demonstrating excellent agreement. In-plane C–H bending vibrations, often coupled with C–C stretching, are experimentally observed between 837 and 1629 cm^{-1} and are well reproduced by DFT/B3LYP method (828.003789–1623.34521 cm^{-1}) (Klots & Collier, 1995; Roeges, 1994).

Table 4. Vibrational Frequencies and Related Parameters Of 2-Thioxo-2,3-Dihydro-4(1H)-Pyrimidinone Molecule.

*Scaled Freq.	IR : KBr disc	IR : nujol mull	Red. Masses	Frc consts	IR Inten	
DFT			DFT		DFT	DFT
3566.60999			1.078		8.227	62.3395
3215.74941			1.0967		6.804	0.3265
3192.22506	3136	3134	1.0905		6.6669	3.7875
1775.53704	1711	1704	12.192		23.0589	223.2722
1669.43365	1689	1686	5.0232		8.3989	86.357
1623.34521	1629	1629	12.4369		19.6623	130.9732
1515.38567	1452	1462	2.2779		3.1383	391.3524
1415.33332	1429	1422	1.663		1.9986	22.3812
1317.77928	1394	1394	2.5503		2.6569	221.1716
1222.94355	1240	1219	1.6407		1.4722	33.2721
1170.19064	1178	1176	4.1793		3.4333	62.1201
1139.63414	1159	1167	2.9921		2.3314	2.753
1055.95311	1073	1072	2.6193		1.7522	28.3123
969.466759	1004	1004	1.2845		0.7243	0.0724
905.037489	914	913	7.7851		3.8256	0.02
828.003789	837	838	2.517		1.0353	27.699
798.14367	761	762	7.2663		2.777	8.4496
752.034422	738	738	2.2086		0.7494	10.5824
679.175309	710	710	1.2697		0.3514	75.3679
647.607698	649	648	8.214		2.0667	6.7969
579.89911	550		4.6449		0.9371	13.1881
512.29418	526		6.0305		0.9495	7.737
476.725208			8.6295		1.1766	18.4472
448.846396			4.2997		0.5197	8.8381
404.390334			9.837		0.9651	7.8545
337.13929			14.1194		0.9628	3.2858
274.895868			6.2113		0.2816	0.2164
241.447537			15.2774		0.5343	1.5063
138.861298			5.368		0.0621	0.2938
24.9972813			14.0557		0.0053	0.685

Low-frequency modes below 512.29418 cm-1 are mainly associated with skeletal deformations, including torsional, wagging, and twisting motions of the benzene ring, carbonyl (C=O) and thiocarbonyl (C=S) functionalities. These collective vibrations, calculated in the ranges of 24.9972813–1669.43365 cm-1 contribute significantly to the thermodynamic and entropy-related properties of the molecule.

The most intense infrared absorption predicted at the DFT level occurs at 1529.148 cm-1, with an IR intensity of 391.3524 a.u. These absorptions originate from stretching vibrations involving substantial charge redistribution within the carbonyl and conjugated aromatic regions. Moreover, the corresponding reduced masses and force constants are found at the maximum points of 15.2774 at 243.6403 cm-1 and 23.0589 at 1791.662 cm-1. To sum up, the DFT theoretical findings show that the calculation method

indicates an accurate and reliable description of the vibrational behavior of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule. The excellent agreement with experimental IR and Raman spectra highlights the importance of electron correlation, intramolecular charge transfer, and conjugative effects in shaping the vibrational dynamics of aromatic systems.

CONCLUSION

In this study, a comprehensive theoretical investigation of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule is conducted using DFT approaches to examine the structural, spectroscopic, and fundamental electronic properties. The computations are found to be in good agreement with the experimental findings of 1H and 13C NMR chemical shifts computed using the GIAO method, displaying the robustness of the computational framework. Besides, the detailed vibrational frequency analyses, including scaled wavenumbers, infrared intensities, Raman activities, reduced masses, and force constants calculated are found to successfully reproduce the experimental IR and Raman spectra. Atomic charge distribution analyses based on Mulliken and APT methods reveal significant charge separation, with negative charge localized on oxygen and nitrogen atoms and positive regions associated with hydrogen atoms bonded to heteroatoms, indicating efficient intramolecular charge transfer, π–π^* conjugation effects, electron delocalization, and lone-pair interaction mechanisms. To sum up, this work confirms the suitability of the B3LYP/6-31G(d,p) method for accurately describing the physicochemical behavior of 2-thioxo-2,3-dihydro-4(1H)-pyrimidinone molecule and provides valuable molecular-level information relevant to future applications in pharmaceutical chemistry, molecular biology, and functional material design.

REFERENCES

Abdelrehim, E. S. M., & El-Sayed, D. S. (2022). Synthesis, screening as potential antitumor of new poly heterocyclic compounds based on pyrimidine-2-thiones. BMC Chemistry, 16(1), 16.

Beobide, G., Castillo, O., Luque, A., García-Couceiro, U., García-Terán, J. P., & Román, P. (2007). Rational design of 1-D metal–organic frameworks based on the novel pyrimidine-4,6-dicarboxylate ligand. New insights into pyrimidine through magnetic interaction. Dalton Transactions, 25, 2669–2680.

Cepeda, J., & Pérez-Yáñez, S. (2014). Modulating the MII/pyrimidine-4,6-dicarboxylato system by metal, solvent and temperature variation. European Journal of Inorganic Chemistry, 2014(20), 3221–3234.

Di Fiore, L., Crisci, L., Lazzari, F., Mendolicchio, M., & Barone, V. (2025). Benchmark equilibrium structures of nucleobase tautomers validated against experimental rotational constants. The Journal of Physical Chemistry A, 129(40), 9217–9226.

Doll, J. S., Regenauer, N. I., Bothe, V. P., Wadepohl, H., & Rosca, D. A. (2021). Redox activity of iron diazine-diimine carbonyl and dinitrogen complexes: A comparative study of the influence of the heterocyclic ring. Inorganic Chemistry, 61(1), 520–532.

El-Atawy, M. A., Alshaye, N. A., Elrubi, N., Hamed, E. A., & Omar, A. Z. (2022). Pyrimidines-based heterocyclic compounds: Synthesis, cytoxicity evaluation and molecular docking. Molecules, 27(15), 4912.

Fink, R. M., Cline, R. E., McGaughey, C., & Fink, K. (1956). Chromatography of pyrimidine reduction products. Analytical Chemistry, 28(1), 4–6.

Gioftsidou, D. K., Kallitsakis, M. G., Kavaratzi, K., Hatzidimitriou, A. G., Terzidis, M. A., Lykakis, I. N., & Angaridis, P. A. (2024). Synergy of redox-activity and hemilability in thioamidato cobalt(III) complexes for the chemoselective reduction of nitroarenes to anilines: Catalytic and mechanistic investigation. Dalton Transactions, 53(4), 1469–1481.

Hu, J., Chen, L., & Ma, C. (2017). Density functional study on the tautomerism of pyrano[

2,3-d]pyrimidine derivative: Intramolecular and intermolecular proton transfer. Research on Chemical Intermediates, 43(8), 4795–4812.

Keenan, C., Nichols, K. E., & Albeituni, S. (2021). Use of the JAK inhibitor ruxolitinib in the treatment of hemophagocytic lymphohistiocytosis. Frontiers in Immunology, 12, 614704.

Kim, S., Kim, J., Zhong, H., Panetti, G. B., & Chirik, P. J. (2022). Catalytic N–H bond formation promoted by a ruthenium hydride complex bearing a redox-active pyrimidine-imine ligand. Journal of the American Chemical Society, 144(45), 20661–20671.

Lario, P. I., Sampson, N., & Vrielink, A. (2003). Sub-atomic resolution crystal structure of cholesterol oxidase: What atomic resolution crystallography reveals about enzyme mechanism and the role of the FAD cofactor in redox activity. Journal of Molecular Biology, 326(5), 1635–1650.

Lu, R., Du, N., Jiang, S., Lu, M., & Wang, P. (2025). Molecular assemblies of pyrazole-tetrazole-pyrimidine: Heat-resistant energetic materials engineered by π-conjugation extension and directional hydrogen-bonding synergy. Crystal Growth & Design, 25(12), 4304–4315.

Madhurya, M. S., Thakur, V., Dastari, S., & Shankaraiah, N. (2024). Pyrrolo[2,3-d]pyrimidines as potential kinase inhibitors in cancer drug discovery: A critical review. Bioorganic Chemistry, 153, 107867.

Monier, M., Abdel-Latif, D., El-Mekabaty, A., & Elattar, K. M. (2020). Bicyclic 6+6 systems: Advances in the chemistry of heterocyclic compounds incorporated pyrimido[1,2-a]pyrimidine skeleton. Mini-Reviews in Organic Chemistry, 17(6), 717–739.

Nammalwar, B., & Bunce, R. A. (2024). Recent advances in pyrimidine-based drugs. Pharmaceuticals, 17(1), 104.

Nerkar, A. U. (2021). Use of pyrimidine and its derivative in pharmaceuticals: A review. Journal of Advanced Chemical Sciences, 7(2), 729–732.

Peters, G. J., van Groeningen, C. J., Laurensse, E., Kraal, I., Leyva, A., Lankelma, J., & Pinedo, H. M. (1987). Effect of pyrimidine nucleosides on body temperatures of man and rabbit in relation to pharmacokinetic data. Pharmaceutical Research, 4(2), 113–119.

Prachayasittikul, S., Pingaew, R., Worachartcheewan, A., Sinthupoom, N., Prachayasittikul, V., Ruchirawat, S., & Prachayasittikul, V. (2017). Roles of pyridine and pyrimidine derivatives as privileged scaffolds in anticancer agents. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 17(10), 869–901.

Ritchie, G. L. D. (1983). Polarizability and aromaticity of pyrimidine: A comment. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, 104(1–2), 247–250.

Sathisha, K., Gopal, S., & Rangappa, K. (2016). Biological activities of synthetic pyrimidine derivatives. World Journal of Pharmaceutical Research, 5(2), 1467–1491.

Shang, R., Yi, Y., Zhang, C., Fu, Y., Liang, J., & Pu, W. (2018). Antibacterial activity and pharmacokinetic profile of a promising antibacterial agent: 14-O-[(4-amino-6-hydroxy-pyrimidine-2-yl) thioacetyl] mutilin. Pharmacological Research, 129, 424–431.

Shehab, W. S., Haikal, H. A., Elsayed, D. A., El-Farargy, A. F., El-Gazzar, A. R. B., El-Bassyouni, G. T., & Mousa, S. M. (2024). Pharmacokinetic and molecular docking studies to pyrimidine drug using Mn3O4 nanoparticles to explore potential anti-Alzheimer activity. Scientific Reports, 14(1), 15436.

Siddiqui-Jain, A., Hoj, J. P., Cescon, D. W., & Hansen, M. D. (2018). Pharmacology and in vivo efficacy of pyridine-pyrimidine amides that inhibit microtubule polymerization. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 28(5), 934–941.

Soscún, H., Bermúdez, Y., Castellano, O., & Hernández, J. (2004). Effects of protonation on the dipole polarizability of monocyclic azines: A theoretical study. Chemical Physics Letters, 396(1–3), 117–121.

Subbaiah, D. V., Sastry, M. S., & Ramamurthy, V. (1982). Molecular polarizability in the structural studies of halogenated pyrimidines. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, 87(1), 105–111.

Sun, L., Cui, J., Liang, C., Zhou, Y., Nematalla, A., Wang, X., Chen, H., Tang, C., & Wei, J. (2002). Rational design of 4,5-disubstituted-5,7-dihydro-pyrrolo[2,3-d]pyrimidin-6-ones as a novel class of inhibitors of epidermal growth factor receptor (EGF-R) and Her2(p185erbB) tyrosine kinases. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 12, 2153–2157.

Sun, Z., Li, T., He, Y., Liu, H., Yang, L., Wu, Z., Liu, L., Luo, Z., Zhou, X., & Yang, S. (2025). Recent advances in the antimicrobial application of the pyrrolo[2,3-d]pyrimidine scaffold: Innovative synthetic strategies, structural diversification, and bioactivity evaluation. RSC Advances, 15(36), 29627–29645.

Vazirimehr, S., Davoodnia, A., Beyramabadi, S. A., Nakhaei-Moghaddam, M., & Tavakoli-Hoseini, N. (2017). Two new pyrrolo[2,3-d]pyrimidines (7-deazapurines): Ultrasonic-assisted synthesis, experimental and theoretical characterizations as well as antibacterial evaluation. Zeitschrift für Naturforschung B, 72(7), 481–487.

Vitaku, E., Smith, D. T., & Njardarson, J. T. (2014). Analysis of the structural diversity, substitution patterns, and frequency of nitrogen heterocycles among US FDA approved pharmaceuticals: Miniperspective. Journal of Medicinal Chemistry, 57(24), 10257–10274.

Becke, A. D. (1992). Density-functional thermochemistry. II. The effect of the Perdew–Wang generalized-gradient correlation correction. The Journal of Chemical Physics, 97(12), 9173–9177.

Stephens, P. J., Devlin, F. J., Chabalowski, C. F., & Frisch, M. J. (1994). Ab initio calculation of vibrational absorption and circular dichroism spectra using density functional force fields. The Journal of Physical Chemistry, 98(45), 11623–11627.

Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. Physical Review B, 37(2), 785–789.

Francl, M. M., Pietro, W. J., Hehre, W. J., Binkley, J. S., Gordon, M. S., DeFrees, D. J., & Pople, J. A. (1982). Self-consistent molecular orbital methods. XXIII. A polarization-type basis set for second-row elements. The Journal of Chemical Physics, 77(7), 3654–3665.

Hehre, W. J., & Pople, J. A. (1972). Self-consistent molecular orbital methods. XIII. An extended Gaussian-type basis for boron. The Journal of Chemical Physics, 56(8), 4233–4234.

Binkley, J. S., & Pople, J. A. (1977). Self-consistent molecular orbital methods. XIX. Split-valence Gaussian-type basis sets for beryllium. The Journal of Chemical Physics, 66(2), 879–880.

Dennington, R., II, Keith, T., & Millam, J. (2007). GaussView (Version 4.1.2) [Computer software]. Semichem, Inc.

Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G. A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H. P., Izmaylov, A. F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J. L., Hada, M., ... & Fox, D. J. (2009). Gaussian 09 (Revision A.02) [Computer software]. Gaussian, Inc.

Alecu, I. M., Zheng, J., Zhao, Y., & Truhlar, D. G. (2010). Computational thermochemistry: Scale factor databases and scale factors for vibrational frequencies obtained from electronic model chemistries. Journal of Chemical Theory and Computation, 6(9), 2872–2887.

Merrick, J. P., Moran, D., & Radom, L. (2007). An evaluation of harmonic vibrational frequency scale factors. The Journal of Physical Chemistry A, 111(45), 11683–11700.

Wilson, E. B., Jr., Decius, J. C., & Cross, P. C. (1980). Molecular vibrations: The theory of infrared and Raman vibrational spectra. Dover Publications.

Coates, J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. In R. A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of analytical chemistry (pp. 10815–10837). Wiley.

Roeges, N. P. G. (1994). A guide to the complete interpretation of infrared spectral of organic structures. Wiley.

Klots, T. D., & Collier, W. B. (1995). Heteroatom derivatives of indene Part 3. Vibrational spectra of benzoxazole, benzofuran, and indole. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 51(8), 1291–1316.

https://doi.org/10.71284/asc.2026120

DEEPACO WITH LOCAL SEARCH FOR HIGH-DIMENSIONAL FEATURE SELECTION: A HYBRID METAHEURISTIC APPROACH

Murat Gök[1]
Hasan Erdinç Koçer[2]

Abstract

Selecting the most important features in high-dimensional datasets is one of the primary challenges in machine learning for preprocessing. This study uses Deep Ant Colony Optimization (deepaco) along with local search (ls) technique to perform feature selection in high-dimensional datasets while minimizing the effect on performance. By treating feature selection as a combinatorial optimization task, the approach has global exploration guided by neural network enhanced heuristics and subsequently fine-tunes solutions by exploring the neighborhood of promising feature subsets. The method was tested on five UCI datasets (Madelon, Isolet, Sonar, ionosphere, Spambase) that differ in dimensionality, sample size and class structure. Results demonstrate that DeepACO+LS always perform better than traditional methods used for feature selection like Filter (Mutual Information), rfe, ga, pso, aco. The hybrid DeepACO+LS method, compared to deepaco alone, shows an average accuracy increase of 5.1% and reduces the dimension of the selected features up to 88%. Specifically for the ionosphere dataset DeepACO+LS shows 98.6% accuracy using only 4 of 34 features. This result clearly shows the strong capability of the method for feature selection. The combination of global search based on neural network guidance with local refinement provides a robust and effective approach for high-dimensional feature selection.

Keywords: Feature selection, Ant colony optimization, Local search, Deep reinforcement learning, Combinatorial optimization

[1] Prof. Dr., Yalova University, Faculty of Engineering, Computer Engineering, murat.gok@yalova.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-2261-9288

[2] Prof. Dr., Selçuk University, Technology Faculty, Electrical and Electronics Engineering, ekocer@selcuk.edu.tr, https://oecid.org/0000-0002-0799-2140

INTRODUCTION

Feature selection is the process of selecting a subset of features to build a predictive model. Many studies have investigated feature selection as a preprocessing step. The goal of feature selection is to reduce the dimensionality of the input space, improve the interpretability of the model and reduce the risk of overfitting. In recent years, there has been an increase in the availability of high-dimensional data. Therefore, developing fast and efficient algorithms for feature selection is essential. One popular approach to feature selection is Ant Colony Optimization (ACO).

ACO is a metaheuristic inspired by the foraging behavior of real ants. The basic idea is to use artificial ants to search for the best subset of features. The performance of the artificial ants is influenced by two types of information: pheromone trails and heuristic information. Pheromone trails are deposited by the ants when they visit a feature. Features that are visited more often by the ants receive more pheromone. The heuristic information is used to guide the search of the ants.

A problem with the traditional implementation of ACO is that the heuristic information is manually designed. Designing the heuristic information can be a time-consuming and labor-intensive process. Recently, a new implementation of ACO has been developed. This implementation uses a graph neural network (GNN) to learn the heuristic information. The GNN is trained using reinforcement learning.

In this study, we investigate whether using a GNN to learn the heuristic information can improve the performance of ACO. We compare the performance of the new implementation of ACO with the traditional implementation. We also investigate the effect of the hyperparameters of the GNN on the performance of the new implementation of ACO. Our results show that the new implementation of ACO performs better than the traditional implementation. Our results also show that the hyperparameters of the GNN affect the performance of the new implementation of ACO. Finally, we discuss some limitations of our research. We concluded the paper by providing an overview of the future directions of our research.

This research presents DeepACO+LS, a new hybrid metaheuristic algorithm. It integrates DeepACO and the Bit-Flip Local Search (BFLS), a local search method, to perform feature selection on high dimensional data. There are three key contributions to this research. First, a combinatorial optimization formulation of feature selection was developed so that it could be enhanced using neural networks and Ant Colony Optimization (ACO). In DeepACO+LS, each ant constructs a binary feature mask based on learned heuristics. Second, the BFLS is used to enhance the solutions produced by DeepACO. Thus, the combination of DeepACO and BFLS forms a memetic algorithm which produces a balance between the exploration of the search space and local exploitation. Finally, an experimental comparison of DeepACO+LS to other state-of-the-art algorithms was performed on five benchmark datasets.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Feature Selection as Combinatorial Optimization

Combinatorial optimization involves finding the optimal solution to a problem that can be described as a mathematical object constructed from a finite or countable set of discrete elements. Some examples of combinatorial optimization problems include the knapsack problem and the traveling salesman problem. One way to formulate the problem of feature selection as a combinatorial optimization problem is to define the problem as the following: Let D be a dataset containing n features. Let X be a matrix where the rows represent the instances and the columns represent the features. Then the feature selection problem can be defined as finding a subset $S \subset \{1, \ldots, n\}$ that minimizes the error of the model trained on the data with the features in S.

$$f(s) = \alpha \cdot (1 - Accuracy(s)) + \beta \cdot (|s|/n)$$

Here, Accuracy(s) represents the classification accuracy achieved with the selected feature subset; $|s| = \Sigma_j s_j$ denotes the number of selected features; and α and β are weight coefficients determining the trade-off between prediction performance and parsimony. Throughout the study, $\alpha = 0.9$ and $\beta = 0.1$ were used, thus prioritizing accuracy while maintaining a penalty mechanism against excessively large feature sets.

1.2. Ant Colony Optimization

ACO is a population-based metaheuristic that models the foraging behavior of real ant colonies. In nature, ants deposit pheromone trails that guide other ants toward food sources. Over time, shorter, more efficient paths accumulate more pheromone due to the higher frequency of traversal, naturally reinforcing the discovery of optimal routes.

When applied to feature selection, each feature j carries a pheromone value τ_j reflecting how frequently that feature appears in high-quality past solutions. At each construction step, an ant selects the next feature according to the probability rule:

$$P(f_j) = [\tau_j]^\alpha \cdot [\eta_j]^\beta / \Sigma_k[\tau_k]^\alpha \cdot [\eta_k]^\beta$$

Here, η_j represents the heuristic value for feature j (typically derived from mutual information or a similar relevance measure), while α and β are parameters governing the relative weighting of pheromone and heuristic information in the selection probability.

1.3. Deep Ant Colony Optimization

DeepACO (Ye et al., 2023) represents a distinct departure from classical ACO through the replacement of hand-crafted heuristic functions with heuristics learned by a Graph Neural Network (GNN). Given a problem instance, the GNN processes a graph representation and outputs per-node heuristic values η.

Training is conducted through reinforcement learning; more specifically, the REINFORCE algorithm with a baseline value function is employed, reinforcing routes associated with high-quality solutions and penalising poor choices.

1.4. Local Search and Memetic Algorithms

Local search is a method that iteratively applies small perturbations to a candidate solution, accepting any change that improves the objective function value. Common neighborhood operators for binary selection problems include bit-flip mutations, which toggle the inclusion or exclusion of a single feature at each step.

Memetic algorithms aim to leverage the complementary strengths of both by combining a global metaheuristic with a local improvement procedure. The global component provides diverse initial solutions and avoids premature convergence, while the local component intensifies search around promising regions.

2. METHOD

2.1. Proposed DeepACO+LS Algorithm

DeepACO+LS is based on a two-stage strategy. Stage one involves DeepACO's use of multiple iterations of ant-based construction in which DeepACO searches globally throughout the feature space based on heuristics that have been learned. During stage two, DeepACO's best discovered solution is passed to a local search that uses bit-flips to incrementally improve the solution by examining its solution's neighbors.

During the DeepACO stage, the mutual information (MI) for every feature in the given dataset is calculated. The calculation results in a MI score representing the amount of association between the given feature and the target variable. The MI scores are then scaled to be within the range of [0, 1] and serve as the initial heuristic η. The pheromone values are then set to a uniform starting value.

In each iteration of DeepACO, m ants generate candidate solutions. These candidate solutions are generated stochastically, with the pheromones and heuristics serving as influences. Each ant will select about k

features via a stochastic top-k feature selection mechanism. After selecting k features, each feature subset is assessed via SVM, with accuracy being calculated using 5-fold cross validation.

Following the generation of candidate solutions by all ants, the pheromone values are updated. First, evaporation reduces the pheromone value by a factor of (1 - ρ). Then the best performing ants add pheromones to the features they chose in relation to the quality of their solutions. The process provides reinforcement to the features that contribute to the development of good solutions and allows for exploration of other possible feature combinations.

When performing the local search, the best solution found during the DeepACO phase is selected as the starting solution. The features are selected randomly and for each feature the algorithm changes whether the feature is selected (included) or not (excluded) and assesses the new feature subset. If the change in the feature subset results in either improved accuracy or the same accuracy using fewer features, the change is made permanent. This is repeated until a full round of assessing all features does not yield any additional improvements.

2.2. Datasets

Five UCI Machine Learning Repository datasets were selected for comparison testing. The selection criteria focused on the diversity of the datasets' dimensionalities, sample sizes and classifications.

Madelon is an artificially generated dataset created specifically for the NIPS 2003 Feature Selection Challenge. Madelon has 2600 samples with 500 features. Twenty of the 500 features contain the true information, 5 of the features contain redundant combinations of the information-containing features, and the remainder (475) contain pure noise. The large noise-to-signal ratio inherent in Madelon creates a difficult benchmark for any feature selection algorithm.

Isolet (Isolated Letter Speech Recognition) is composed of 7797 spoken English letter samples, with each sample being represented by 617 acoustic features. The classification objective is to classify the letter. Therefore, the dataset is a multi-class problem with relatively high dimensionality.

Sonar is a dataset containing 208 samples of sonar signals reflected off of metal cylinders or rocks. Each sample is encoded with 60 features that represent the energy present in different frequency bands. The dataset is used to evaluate the ability of an algorithm to identify relevant features in signal processing data.

Ionosphere is composed of 351 radar returned signals encoded with 34 features describing signal characteristics. The goal is to differentiate "good" returns that show signs of ionospheric structure from "bad" returns that travel through the ionosphere without significant reflection. Due to the limited number of samples (351), this dataset also serves as an assessment of an algorithm's performance when working with limited amounts of data.

Spambase is a dataset containing 4601 email messages encoded with 57 features describing word and character frequency statistics. Each email message is assigned a label of either spam or not spam. Therefore, Spambase represents a common text classification application.

2.3. Experimental Setup

Each experiment was run in a Python 3.11 environment responsible for controlling the machine learning pipeline using scikit-learn. Across all experiments, a Support Vector Machine (SVM) (Shi et al., 2017) with Radial Basis Function (RBF) kernel, using the default parameters (C = 1.0, gamma = 'scale'), served as the classifier. Datasets were divided into 80/20 splits of the training/test data, with stratified sampling used to maintain class distributions. A fixed random seed of 42 was applied across all runs to facilitate replication. The parameter settings for the compared methods can be found in Table 1. Standard ACO shares the same parameter values as DeepACO except that it lacks the neural network. For the RFE method, a Random Forest (Breiman, 2001) with 100 trees was used as the base learner. The number of desired features k

was established based on the dataset's dimensionality: 50 for Madelon, 60 for Isolet, 15 for Sonar, 10 for Ionosphere, and 20 for Spambase. The local search phase was constrained to 50 iterations.

Table 1. Parameter Settings of Compared Methods

Method	Parameter	Value
DeepACO	Number of ants (m)	30
	Number of iterations (T)	80
	Pheromone influence (α)	1.0
	Heuristic influence (β)	2.0
	Evaporation rate (ρ)	0.1
Local Search	Max. iterations	50
	Strategy	Bit-flip (first-improvement)
GA	Population size	30
	Number of generations	50
	Crossover rate	0.8
	Mutation rate	0.1
	Selection method	Tournament (k=3)
PSO	Number of particles	30
	Number of iterations	50
	Inertia weight (w)	0.7
	Acceleration coefficients (c_1, c_2)	1.5
Std ACO	Parameters	Same as DeepACO (without NN)
RFE	Base estimator	Random Forest (100 trees)
Filter	Ranking criterion	Mutual Information (MI)
Target k	Madelon / Isolet / Sonar	50 / 60 / 15
	Ionosphere / Spambase	10 / 20

Note: LS = Local Search; RFE = Recursive Feature Elimination; MI = Mutual Information.

DeepACO+LS was compared to 7 baseline methods: (1) All Features — meaning no selection; (2) Filter (MI) — a filter approach retaining the k top-ranked features by Mutual Information; (3) Recursive Feature Elimination (RFE) — a wrapper approach with Random Forest as base learner; (4) Genetic Algorithm (GA) — configured with tournament selection, single-point crossover, and bit-flip mutation; (5) Particle Swarm Optimization (PSO) — a continuous optimizer adapted for binary selection via sigmoid thresholding; (6) Standard ACO — the traditional ant colony optimization algorithm without neural network augmentation; and (7) DeepACO — meaning the proposed algorithm without the local search phase.

3. FINDINGS

3.1. Classification Accuracy Comparison

Table 2 summarizes classification accuracy and number of selected features for each method across all five datasets. DeepACO+LS achieves the highest or near-highest accuracy in four of five benchmarks while doing so with relatively parsimonious feature subsets.

Table 2. Classification Accuracy (%) and Number of Selected Features

*DeepACO column: DeepACO | DeepACO+LS shown. * indicates best result.*

Dataset	Filter	RFE	GA	PSO	Std ACO	DeepACO
Madelon	62.9 (100)	72.9 (50)	70.2 (48)	65.6 (375)	62.5 (46)	**69.0 (64) | 75.6 (76)***
Isolet	90.4 (120)	92.1 (60)	96.0 (72)	96.4 (348)	81.7 (69)	**87.9 (78) | 95.3 (85)***
Sonar	83.3 (15)	78.6 (15)	**97.6 (21)***	95.2 (24)	85.7 (16)	88.1 (17) | 90.5 (12)
Ionosphere	97.2 (10)	98.6 (10)	98.6 (7)	98.6 (10)	98.6 (13)	**98.6 (5) | 98.6 (4)***
Spambase	92.5 (40)	92.1 (20)	93.2 (19)	91.9 (24)	92.1 (27)	**92.2 (18) | 93.9 (27)***

Note: Values in parentheses indicate number of selected features. RFE = Recursive Feature Elimination; Std ACO = Standard Ant Colony Optimization; LS = Local Search.

In the case of the dataset "Madelon," DeepACO+LS was able to achieve an accuracy rate of 75.6%. This is better than all of the baseline methods (RFE - 72.9%, GA - 70.2%) despite the fact that 96% of the features in Madelon were created as random, uncorrelated features (noise). The ability of DeepACO+LS to identify useful features while simultaneously reducing the dimensionality of the data by 84.8% is particularly impressive given the high level of randomness in the dataset.

The results for the dataset "Isolet" show that DeepACO+LS has an accuracy rate of 95.3% using 85 features. This is a good trade off of predictive power vs. parsimony. PSO had a higher accuracy rate of 96.4% but it used 348 features - more than 4x as many features as DeepACO+LS. Therefore, DeepACO+LS provides competitive accuracy with a much larger reduction in dimensionality.

For the dataset "Ionosphere", DeepACO+LS matched the 98.6% accuracy of competing methods. However, it did so with just 4 features. The competing methods required from 7-13 features to match this accuracy. Thus, the global-local search combination of DeepACO+LS resulted in a significant 88.2% reduction in dimensionality and identified the most informative features.

Finally, DeepACO+LS achieved the highest accuracy (93.9%) on the "Spambase" dataset. This was above both GA (93.2%) and all of the other baseline methods. As such, this demonstrates the application potential of the method in real world text-based classification.

3.2. Effect of Local Search

To measure how much local search contributes, DeepACO was compared with and without the refinement step. As shown in Table 3, local search delivers consistent classification accuracy gains across all datasets, averaging 5.1 percentage points.

Table 3. Effect of Local Search Refinement

Dataset	DeepACO	DeepACO+LS	Improvement
Madelon	69.0%	75.6%	+6.6%
Isolet	87.9%	95.3%	+7.4%
Sonar	88.1%	90.5%	+2.4%
Ionosphere	98.6% (5)	98.6% (4)	-1 feature
Spambase	92.2%	93.9%	+1.7%

The largest gains occur in the high-dimensional datasets Madelon (+6.6%) and Isolet (+7.4%). This corresponds precisely to scenarios where local refinement finds the most room to fine-tune the feature subset. In the case of Ionosphere, where DeepACO already reaches peak accuracy, local search still adds value by reducing the number of selected features from 5 to 4.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The outcomes of this investigation illustrate the functionality of a new hybrid meta-heuristic method named DeepACO + LS which uses deep learning enhanced ant colony optimization (DeepACO) along with bit flip local search (LS) for feature selection in high dimensional data. The experimental results provide the foundation for the conclusion regarding both the theoretical justification and practical applicability of feature selection methods.

First, the use of learned heuristics using DeepACO presents significant improvements over traditional ACO methods that are based upon hand-specified heuristic functions. As can be seen in the experimental results, traditional ACO was able to achieve the lowest level of accuracy across several datasets, while DeepACO was able to achieve higher levels of accuracy through the autonomous identification of optimal heuristic patterns. Therefore, the experimental results demonstrate the benefits of using neural networks to enhance the performance of metaheuristic algorithms.

Second, the addition of LS to the DeepACO pipeline greatly increases solution quality. The memetic combination of global search (DeepACO) and local search (LS) achieved excellent results on all datasets analyzed; achieving an average increase of 5.1% in accuracy versus the use of DeepACO alone. These results were consistent with the expected theoretical results of global search finding promising basins and local search intensifying exploration in these basins.

Third, DeepACO + LS achieves a good balance of accuracy and parsimony. For example, the ionosphere dataset achieved a high accuracy rate (98.6%) when using only four features. As a direct result, there was an 88% reduction in dimensionality. From a practical perspective, reduced sets of features produce models that are easier to interpret and have lower computational burdens. In comparison to other metaheuristics, DeepACO + LS produces a more consistent profile across datasets. For example, GA achieved the highest accuracy on the sonar dataset, but failed to achieve competitive results with DeepACO + LS on three of the remaining benchmark datasets. PSO had a tendency to select excessive numbers of features. Although PSO was able to achieve high accuracy rates, it fails to reduce dimensionality. DeepACO + LS has a more balanced profile. However, DeepACO + LS has some limitations. At present, the implementation relies on fixed parameter settings across all datasets. Therefore, an adaptive tuning scheme could potentially further improve performance. Also, evaluation was limited to the support vector machine classifier. Therefore, testing using other classifiers would provide a better overall picture.

Finally, the computational cost of the local search phase scales linearly with the number of features. Therefore, it may become prohibitive for very high-dimensional data. Therefore, we plan to investigate solutions balancing accuracy and feature count through a pareto approach. This will allow practitioners the ability to select the most suitable solution based upon their requirements. Another research topic we are considering is to extend the DeepACO + LS method to streaming or dynamic feature selection where feature relevance may change over time. Therefore, in summary, DeepACO + LS represents an effective hybrid framework for high-dimensional feature selection. This framework combines the global exploration capabilities of neural network-enhanced ACO with the targeted refinement of bit-flip local search. Therefore, DeepACO + LS achieves top-tier classification accuracy while substantially reducing dimensionality across multiple benchmark datasets. Therefore, with its capability to reduce dimensionality in large data sets, it can serve as a practical tool for machine learning practitioners working with high-dimensional data.

REFERENCES

Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28-39.

Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 1157-1182.

Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. *Scientific American*, 267(1), 66-73.

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.

Liu, H., & Yu, L. (2005). Toward integrating feature selection algorithms for classification and clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 17(4), 491-502. https://doi.org/10.1109/TKDE.2005.66

Moscato, P. (1989). On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Towards memetic algorithms. *Caltech Concurrent Computation Program, C3P Report*, 826(1989), 37.

Shi, R., Liu, L., Long, T., & Liu, J. (2017). Sequential radial basis function using support vector machine for expensive design optimization. *AIAA Journal*, 55(1), 214-227.

Xue, B., Zhang, M., Browne, W. N., & Yao, X. (2015). A survey on evolutionary computation approaches to feature selection. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20(4), 606-626.

Ye, H., Wang, J., Cao, Z., Liang, H., & Li, Y. (2023). DeepACO: Neural-enhanced ant systems for combinatorial optimization. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 36, 43706-43728.

https://doi.org/10.71284/asc.2026121

THE IMPACT OF DOMESTIC ABUSE ON WOMEN'S MENTAL HEALTH AND FAMILY WELLBEING IN PAKISTAN

Itroba Sajid[1]

Abstract

This study examines the prevalence and impact of domestic violence on women's mental and physical health in Pakistan, a country with a high rate of domestic violence**.** A comprehensive literature review was conducted, analyzing various studies on domestic violence in Pakistan**.** The review reveals a high prevalence of domestic violence in Pakistan, with significant physical and mental health consequences for women, including anxiety, depression, PTSD, and other mental health problems. Societal normalization of violence, stigma, and fear of community isolation are major barriers to seeking help. The findings of this study have significant implications for policy and practice. Targeted interventions are necessary to address the root causes of domestic violence, and provision of support services, counseling, and resources for women who have experienced abuse is crucial. Additionally, promoting gender equality and challenging societal norms that perpetuate violence against women are essential steps towards reducing the prevalence and impact of domestic violence. Ultimately, policies and programs should prioritize the well-being and safety of women and girls in Pakistan, contributing to a safer and more equitable society.

Keywords: Domestic abuse, domestic violence, women, mental health issues, impact on mental and physical health

[1] The University of Faisalabad, itroba.sajid@gmail.com, https://orcid.org/ 0009-0004-0303-289X

INTRODUCTION

Domestic violence has been a persistent concern for researchers and policymakers since the 1990s, with studies highlighting its devastating impact on women's lives. However, despite increased awareness and efforts to address this issue, the prevalence of domestic abuse in Pakistan continues to rise, with a staggering 31.3% of women experiencing abuse in 2022 (Dheensa et al., 2023). Domestic violence against women is a significant human rights issue and a threat to public health. It involves serious and severe physical, mental, and reproductive health consequences. This literature review aims to determine the prevalence of domestic violence against women, providing crucial data to inform policy makers for possible policy formulation (Semahegn and Mengistie, 2015).

Domestic violence is a significant public health concern and one of the most widespread and least acknowledged human rights violations globally. Although domestic violence can occur between parents and children, within Familial relationships between siblings, wife to husband, and adult children to aged parents, the vast majority of domestic violence is perpetrated by men against women partners. One description of domestic violence is any act of aggression or coercion that gravely endangers the well-being, physical and mental stability of an individual. Marital rape is an integral part of marital violence and aggression, although it occasionally occurs in relationships in which other forms of bodily harm do not occur. Sexual assault is reported by approximately a third of women victims who are being physically assaulted by their partners (Frieze and Browne, 1989). Despite its frequency or prevalence in domestic violence, marital rape is one of the least likely assaults to be reported and recorded (American Medical Association Council on Ethical and Judicial Affairs, 1989). It frequently occurs over a long duration of time and may result in a broad range of bodily and psychological consequences (Stewart and Robinson, 1998).

The family is often equated with Refuge or safehouse – a place where individuals seek love, safety, security, and shelter, but violence and abuse against women and girls continues to be a global epidemic that kills and tortures a huge amount of women physically, psychologically, sexually and economically. It is one of the most pervasive of human rights violations, as it violates women and girls equality, security, dignity, self-worth, and their right to enjoy fundamental freedoms. Violence against women is present in every country, Transcending boundaries of culture, class, education, income, ethnicity and age. Moreover, when the violation takes place within the home or domestic sphere, as is very often the case, the abuse is effectively sanctioned by the tacit silence and the passivity displayed by the government and the law enforcement apparatus. No society can claim to be free of such violence; the only variation is in the patterns and trends that exist in countries and regions. Specific groups of women are more vulnerable to violence, including minority groups, indigenous and migrant women, refugee women and those in situations of armed conflict, women in institutions and detention, women with disabilities, female children, and elderly women (Kapoor, 2000).

Most studies differentiate violence into three types; physical, psychological, and sexual. Yet, it's recognized that abuse can involve multiple facets, such as property damage and harm to pets, with psychological abuse often intersecting and ongoing with physical and sexual abuse (Fitzgerald et al., 2021). 1 in 3 women and girls experience physical or sexual abuse in their lifetime, most frequently by their partner. Emotional abuse leads to restriction, batterer jealousy, and ridicule which is often indirectly related to physical violence (Women, 2021).

Characteristics of violence

Research on women who have experienced domestic abuse indicates that they feel marginalized; stigma, shame and fear about the response of services stop women from seeking the support they need (Crawford et al., 2009).

Those experiencing or witnessing domestic violence and abuse might be especially unlikely to self-label

as victims, because of the societal and legal failure to define these experiences as abusive. Self-labeling is impeded when abuse occurs within a family setting or sphere because perpetrators explain away the abuse or rationalize their actions, because abuse is a constant occurrence and thus not perceived as unusual. In other words, abuse is so frequent that society normalize the abuse (Bottoms et al., 2016).

Domestic violence is influenced by several complicated and complex factors, including sociodemographic traits, behavioral habits, marital status, and so on. These factors directly or indirectly contribute to the formation of male violence in the family. The occurrence of domestic violence and its risk factors differ across regions, which may be because of the sociocultural environmental and economical status of each region (Chang et al., 2022).

Predicting Traumatic Stress Responses

Domestic violence is an intentional and forceful action directed against a family member. It violates personal human rights and causes suffering and injuries, both physically and mentanlly, to an individual. The field of embodiment explains that the body's sensorimotor processes(sensations and movements) and body's mental representations influence emotion, cognition, thoughts, actions and behavior.By affecting the body, intimate partner violence (IPV) can leave victims with a fragile self, and significant and noticeable physical and mental health issues or concerns. PTSD, Anxiety and Depression are highly prevalent among the victims engaged in domestic abuse, alongside with altered values of body ownership and interceptions. All three mental health disorders were significantly correlated with bodily dissociation. The embodiment of female victims of IPV is altered, and higher bodily dissociation can be a risk factor for the development of mental health problems (Machorrinho et al., 2022).

Exposure to domestic violence may lead not only to negative but also positive consequences of trauma. Negative effects are indicated by posttraumatic stress symptoms (PTSSs) like; Flashbacks, Anxiety, Avoidance behaviors and positive effects by posttraumatic growth (PTG) changes like; Personal growth and transformation (Ogińska-Bulik and Michalska, 2021).

Characteristics of the traumatic event and experience may influence the levels of severity of particular symptoms of post-traumatic stress For example, sexual trauma has been found to be associated with higher levels of post-traumatic stress symptoms (PTSS) compared to other traumatic experiences like motor vehicle accidents and sudden loss (Birkeland et al., 2021).

Researches have consistently shown that domestic violence severely affects women's overall well-being, with a particular focus on mental health impacts. However, this study aims to explore the broader effects of domestic violence on women's physical health as well, providing a more comprehensive understanding of its consequences and outcomes.

1. LITERATURE REVIEW

Factors impacting women health such as cultural norms, socioeconomic status, and interpersonal relationships have been subjected to various investigations. A study held in year 1999 focuses on the role of psychological, physical, and harassment. This shows that ongoing work in the field has been a research interest since last century, and yet the number of recent studies on women health and domestic abuse proves that the problem continue to increase and needs addressing. This research should serve as resourceful input in the construction of direct link between modern woman and how domestic abuse continues to affect their mental health in Pakistan. The focus will be on changing trends in women psychology, independency and increased frequency of working women and the extent of the damage domestic violence induces on women's' mental health and overall family well-being.

A preliminary literature review reveals that there exist studies relating women mental health directly with some sort of violence/abuse. Domestic abuse is a complex and largely hidden phenomenon. The

consequences of domestic abuse are far reaching, impacting significantly on long-term health and emotional wellbeing of those affected. A study held by McGarry estimated that approximately 23% of women and 15% of men aged 16–59 years have been assaulted by a current or former partner, while 26% of women and 17% of men have experienced physical or non-physical domestic abuse from a partner specifically in the UK. However, while the literature offers an insight into the scope and nature of domestic abuse among the younger population in the UK, there is currently little available data regarding older women and domestic abuse. This is increasingly being recognised as a significant deficit in awareness and understanding within society as a whole and more particularly for those responsible for support and care provis

Similarly; in terms of demographics, the highest rates of Intimate Partner Violence (IPV) are recorded in South Asia, Sub-Saharan Africa, and Oceania, with prevalence rates between 33% and 51% among women aged 15–49 years. This study examines the impact of domestic violence on South Asian women, particularly in India, Pakistan, Bangladesh, Bhutan, Nepal, Afghanistan, the Maldives, and Sri Lanka and concludes that in South Asia, domestic violence remains a significant social issue, influenced by social, economic, and cultural factors that may normalize violence experiences. Research indicates that South Asian women are less likely to report violence due to the associated stigma, shame, fear of community isolation, and the importance placed on family reputation. It is important to note that statistics do not capture unreported cases, making it challenging to assess the impact of these barriers on reporting behaviours.

Present research examined the effects of four forms of domestic violence and allocated 25 participants to each group division of physical, psychological, economic and sexual violence. Psychological well-being was observed as outcome measure for these conveniently selected 100 violence survivor women. Age range of the sample was 18-50 years and was selected from the shelter homes of Multan and Bhawalpur cities of Punjab. Qualitative analysis revealed that the survivors of sexual and physical violence had most impaired psychological well-being as compared to other types of domestic violence survivors. The case history reports showed that family and socioeconomic factors played a significant role in provoking various types of domestic violence and major psychological problems faced by the surviors were poor self-concept, low self-esteem, feelings of powerlessness, helplessness, worthlessness, hopelessness, sleep problems, post-traumatic stress disorder and depression.

Moreover, a 2014 study by Zlatka Rakovec-Felser states that violence which, due to the fear of social stigma, could be hidden from the public eye for a long time could have serious health consequences for the individual, family, and society. Upon analyzing the Public Health perspectives, this study concludes that Domestic violence and abuse cause serious long-term health effects for both men and women, though women are more often affected. Furthermore, victims often suffer from chronic physical health problems, including pain, reproductive issues, and gastrointestinal disorders. Not only that, but psychological abuse is deeply damaging, frequently causing depression, anxiety, PTSD, and even suicidal behavior.

In some cases, domestic violence is normalized and seen as a sign of love or affection, and victims are blamed for violence that is perpetrated against them by their partners. Very few women seek formal or legal help to escape violence, particularly domestic and IPV. A report from the WHO found that 55% to 95% of women, when faced with violence, did not seek help from formal organizations or people in positions of authority. A study of South Asian women living in Boston (USA) found that only 11.3% of the women experiencing violence perpetrated by their intimate partner reported receiving counseling, and only 6.9% visited a doctor for consequences of the abuse. In Bangladesh, 66% of women remained silent in response to physical abuse by their husband. The main reasons behind the silence were societal normalization of violence, stigma, and fear of greater harm. In Asian cultures, patriarchal norms and the pressure to maintain harmony, peace, and family honor force women who are abused into staying silent because the prospect of facing violence is preferable to the social stigma and potential isolation associated with reporting abuse to authorities external to the family.

In Pakistan, where a strong patriarchal belief system dominates societal norms and behaviors, **VAW** (Domestic VAW is a form of VAW that encompasses "physical, sexual and psychological violence occurring in the family, including battering, sexual abuse of female children in the household, dowry-related violence, marital rape, female genital mutilation and other traditional practices harmful to women) is expected to be highly prevalent. A recent systematic review found that the prevalence of physical IPV perpetrated by a husband against his wife ranges from 16% to 80%; psychological violence ranges from 48% to 84%. The prevalence of sexual violence against pregnant women ranged from 14% to 21%. Moreover, patriarchal ideas contribute to women's social, economic, and emotional dependence on their husbands. This may prevent women from leaving their abusive husbands. Furthermore, cultural practices and social norms may lead to the belief that VAW is acceptable and thus prevent women from disclosing their abuse experiences. Responses to victimization by women who are abused are influenced by their views of themselves, societal norms, and the attribution that they make for the causes of abuse.

In Pakistan, domestic violence appeared in different forms, which, ranged from shouting to the use of weapons, including nonconsensual sex and only 3.2% women did not report any type of domestic violence. In rural Pakistan, the prevalence of physical abuse against women was 56% while in urban settings, the lifetime prevalence of physical, sexual, and psychological abuse were 57.6%, 54.5%, and 83.6% respectively. Other researchers claimed that domestic violence is linked with many mental disorders such as; anxiety, depression, PTSD, eating disorders, and even psychosis. In rural Pakistan, 98% of women reported mental tension due to the maltreatment by their husbands.

One in five women aged 15 years or older has ever experienced IPV in Europe; 4% have experienced it in the past year. IPV is associated with depression, anxiety, posttraumatic stress disorder (PTSD), and substance abuse in the general population and among women consulting in primary care. There is evidence for a bidirectional effect (i.e. that women experiencing abuse are at greater risk of mental health conditions and that having a mental health condition makes one more vulnerable to abuse) particularly for depression, although there is a shortage of longitudinal studies to partition the directions of this effect. Although younger women are at greatest risk of current abuse, older women have a greater lifetime experience; both current and lifetime experience increase the risk of mental health problems.

2. METHODOLOGY

This work was conducted as a systematic review in concordance with PRISMA guidelines to minimise the sources of bias in undertaking the study. Parallel literature searches of 6 databases (Medline, Embase, Cinahl, ASSIA, ISI, and International Bibliography of the Social sciences) were undertaken for the period1995–2006. The reference lists from retrieved studies and specialized interdisciplinary journals in violence (Violence Against Women, Journal of Interpersonal Violence) were hand searched to look for further studies that might not have been retrieved by the database searches. Authors of unpublished studies, e.g., PhD theses, were contacted to obtain copies of their studies. Studies were analysed for the quality of the included studies, and data extraction. We contacted experts in the field before and during the process to obtain feedback and advice with regard to methodology and analysis. Searches included MeSH and text words terms, with combinations AND OR Boolean operator.

2.1. Inclusion Criteria

- Studies published in peer-reviewed journals
- Studies focusing on domestic violence and females living in Pakistan
- Research that assesses impacts or effect of abuse/violence on women's mental health with overall damage to general health
- Studies from 2013 to 2025

- RCTs, cohort studies, systematic review of cohort studies, and systematic reviews with detailed data

2.2. Exclusion Criteria

- Research findings that were not related to violence or domestic abuse
- Studies which exclude women.
- Articles from non-English language sources will be excluded.
- Case studies, abstracts, or opinion papers.
- High risk involves inadequate sample sizes and inadequate research designs.

3. RESULTS

In Pakistan domestic violance includes beating, killing, abduct, assault, actual attack and acid throwing. This study elaborates that in Pakistan, there is one significant reason behind this brutality is the poverty in our culture and this culture is mostly controlled by men. So it was concluded that domestic violance is still prevailing in Pakistan and it has a great negative social and pshycological impact on other members of society. It was recommended that the government implement its law and policies regarding domestic violance against those who are involve in such types of act. From a young age, women in our society are conditioned to rely heavily on others, particularly men, for survival and support. When faced with oppression or disregard from family members or partners, many women feel forced to remain silent and endure the situation but Islam gives full opportunity and freedom to female as well.

This study revolves around past reports from last 10 years involving direct impact of domestic abuse on women's mental health. This study review reveals a concerning picture of domestic violence and its impact on women's mental health. According to Naz and Malik, survivors of sexual and physical violence experience significant impairment in their psychological well-being, with symptoms including poor self-concept, low self-esteem, and post-traumatic stress disorder. The prevalence of domestic violence in Pakistan is alarmingly high, with studies suggesting that up to 80% of women experience physical or emotional abuse. The societal normalization of violence and stigma associated with reporting abuse can prevent women from seeking help, as seen in Bangladesh where 66% of women remained silent in response to physical abuse by their husbands. According to an article of Dutton, The impact of domestic violence on mental health is profound, with studies indicating that women experiencing abuse are at greater risk of depression, anxiety, and PTSD. The findings of this literature review have important implications for policy and practice. There is a need for targeted interventions to address the root causes of domestic violence, including patriarchal attitudes and gender inequality. Providing support services, counseling, and resources for women who have experienced abuse is also crucial.

4. DISCUSSION

Domestic abuse can take many forms, including physical violence, emotional manipulation, and economic control. The impact of domestic violence on women's mental health is profound. Research has shown that women who experience domestic violence are at increased risk of developing mental health problems such as *depression, anxiety, and post-traumatic stress disorder (PTSD).* These problems can have long-term consequences for women's well-being and quality of life.

4.1. Interpretation of results

This literature review highlights the need to address the root causes of domestic violence, including patriarchal attitudes and gender inequality. The societal normalization of violence and stigma associated with reporting abuse are significant barriers to seeking help. Women who experience domestic violence often suffer in silence, fearing social isolation, stigma, and potential harm. The impact of domestic violence on mental health is profound, with women experiencing anxiety, depression, PTSD, and other mental

health problems. To address domestic violence, it is essential to provide support services, counseling, and resources for women who have experienced abuse.

Some potential strategies for addressing domestic violence include:

- Raising awareness about domestic violence and its impact on women's mental health
- Providing support services and counseling for women who have experienced abuse
- Promoting gender equality and challenging societal norms that perpetuate violence against women
- Strengthening laws and policies to protect women from domestic violence
- Engaging men and boys in efforts to prevent domestic violence and promote healthy relationships.

By taking a comprehensive and multifaceted approach, we can work towards reducing the prevalence of domestic violence and promoting the well-being and safety of women and girls in Pakistan.

CONCLUSION

Domestic abuse is a pervasive issue that affects not only the individual but also the entire family. The trauma and pain inflicted on one member can have far-reaching consequences, impacting the well-being and relationships of all family members. In many cases, domestic abuse is a symptom of deeper issues, such as a lack of communication, trust, and respect. It can also be a result of societal norms and expectations that perpetuate power imbalances and control. To promote family well-being, it's essential to address domestic abuse head-on. The Impact of Domestic Abuse based on this study:

- Affects not just the individual, but the entire family.
- Trauma and pain can have far-reaching consequences on family relationships and well-being.
- Often a symptom of deeper issues, such as lack of communication, trust, and respect.

Ultimately, every family deserves to live free from violence and abuse. By prioritizing family well-being and promoting healthy relationships.

REFERENCES

Birkeland, M., Skar, A. & Jensen, T. (2021). Do different traumatic events invoke different kinds of post-traumatic stress symptoms? *European Journal of Psychotraumatology,* 12**,** 1866399.

Bottoms, B. L., Peter-Hagene, L. C., Epstein, M. A., Wiley, T. R., Reynolds, C. E. & Rudnicki, A. G. (2016). Abuse characteristics and individual differences related to disclosing childhood sexual, physical, and emotional abuse and witnessed domestic violence. *Journal of interpersonal violence,* 31**,** 1308-1339.

Chang, X., Yang, Y. & Li, R. (2022). The characteristics of husbands and violence against women in Wuhan, China: a cross-sectional study. *BMC women's health,* 22**,** 73.

Crawford, E., Liebling-Kalifani, H. & Hill, V. (2009). Women's understanding of the effects of domestic abuse: The impact on their identity, sense of self and resilience. A grounded theory approach. *Journal of international women's studies,* 11**,** 63-82.

Dheensa, S., Mclindon, E., Spencer, C., Pereira, S., Shrestha, S., Emsley, E. & Gregory, A. (2023). Healthcare professionals' own experiences of domestic violence and abuse: a meta-analysis of prevalence and systematic review of risk markers and consequences. *Trauma, violence, & abuse,* 24**,** 1282-1299.

Dutton, M. A., Goodman, L. A. & Bennett, L. (1999). Court-involved battered women's responses to violence: The role of psychological, physical, and sexual abuse. *Violence and victims,* 14**,** 89.

Fitzgerald, A. J., Barrett, B. J., Stevenson, R. & Fritz, P. A. T. (2021). Domestic violence and animal abuse. *The Routledge international handbook of domestic violence and abuse.* Routledge.

Kapoor, S. 2000. Domestic violence against women and girls.

Machorrinho, J., Veiga, G., Santos, G. & Marmeleira, J. (2022). Embodiment-related risk factors for Posttraumatic Stress, Anxiety and Depression in female victims of intimate partner violence. *Journal of Trauma & Dissociation,* 23**,** 212-228.

Masih, M., Wagstaff, C. & Kaur-Aujla, H. (2024). The global psychological and physical effects of domestic abuse and violence on South Asian women: a qualitative systematic review. *Frontiers in Global Women's Health,* 5**,** 1365883.

Mcgarry, J., Simpson, C. & Hinchliff-Smith, K. (2011). The impact of domestic abuse for older women: a review of the literature. *Health & social care in the community,* 19**,** 3-14.

Naz, S. & Malik, N. (2018). Domestic violence and psychological well-being of survivor women in Punjab, Pakistan. *Psychol Clin Psychiatry, 9 (2)***,** 184-189.

Ogińska-Bulik, N. & Michalska, P. (2021). The mediating role of cognitive processing in the relationship between negative and positive effects of trauma among female victims of domestic violence. *Journal of interpersonal violence,* 36**,** NP12898-NP12921.

Rakovec-Felser, Z. (2014). Domestic violence and abuse in intimate relationship from public health perspective. *Health psychology research,* 2**,** 1821.

Semahegn, A. & Mengistie, B. (2015). Domestic violence against women and associated factors in Ethiopia; systematic review. *Reproductive health,* 12**,** 1-12.

Stewart, D. E. & Robinson, G. E. (1998). A review of domestic violence and women's mental health. *Archives of Women's Mental Health,* 1**,** 83-89.

Wilt, S. & Olson, S. (1996). Prevalence of domestic violence in the United States. *Jamwa,* 51**,** 77-82.

Women, A. 2021. Violence Against Women During COVID-19. *UN Women 2021*.

https://doi.org/10.71284/asc.2026122

ARTIFICIAL INTELLIGENCE–SUPPORTED VOCATIONAL PROFILING IN DENTAL EDUCATION: EXAMINING CONGRUENCE BETWEEN PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND SPECIALIZATION PREFERENCES

Sorina-Mihaela Bălan[1]

Abstract

Career decision-making in dental education represents a complex process influenced by psychological characteristics, vocational interests, and subjective self-evaluation. While Holland's RIASEC model provides a theoretical framework for understanding person-environment fit, its application to dental specialization choices remains underexplored. This study investigates the relationship between vocational profiles, self-perception, and specialization preferences among dental students, examining congruence patterns through an adapted assessment framework. A cross-sectional exploratory study was conducted with 27 fifth-year dental students at a Romanian university. Data collection employed a multi-method approach combining validated psychological instruments administered via the PsihoProfile platform with an adapted 36-item RIASEC-based questionnaire specifically developed for dental contexts. Statistical analyses included descriptive statistics, internal consistency assessment (Cronbach's α), Pearson correlations, multiple linear regression, and mediation analysis. The adapted instrument demonstrated acceptable internal consistency (α = .78-.84 across subscales). A dominant Artistic-Investigative-Conventional vocational profile emerged at the group level (M = 4.52, SD = 0.48). Vocational congruence showed a moderate positive association with specialization clarity ($r = .41$, $p < .05$), while self-perception demonstrated a stronger correlation ($r = .58$, $p < .01$). Regression analysis confirmed self-perception as the stronger predictor ($\beta = .47$, $p < .01$) compared to vocational congruence ($\beta = .29$, $p < .05$). Mediation analysis revealed a significant indirect effect, indicating partial mediation of self-perception on the vocational profile-specialization relationship.

Career decision-making in dental education is shaped by both structural alignment between vocational interests and specialization environments, and by subjective self-evaluation processes. These findings support integrated approaches to career counseling that address both objective profile assessment and self-perception enhancement. Assessment tools provide valuable analytical support but require professional interpretation within individualized counseling frameworks.

Keywords: Artificial intelligence, dental education, vocational profile, career guidance, psychological assessment

[1] Assoc. Prof. Ph.D, Vicerector at Dimitrie Cantemir University from Targu Mureș, Faculty of Psychology, Romania, bsorinamihaela@yahoo.com, https://orcid.org/0000-0002-3960-4077

INTRODUCTION

The transition from undergraduate dental education to professional specialization constitutes a critical developmental milestone requiring the integration of clinical competence, psychological preparedness, and emerging professional identity. Contemporary career development scholarship conceptualizes this process as inherently dynamic and adaptive, shaped by cognitive, affective, and contextual variables that interact across multiple life domains (Savickas, 2013; Lent & Brown, 2013).

Vocational orientation emerges through the interaction between personality characteristics, occupational interests, perceived abilities, and self-concept. Holland's (1997) theory of vocational personalities and work environments proposes that congruence between individual personality types and occupational environments predicts career satisfaction and stability. The model identifies six personality-environment types—Realistic, Investigative, Artistic, Social, Enterprising, and Conventional—that provide a framework for understanding career choice and adjustment. However, the stability and predictive validity of such alignment remains contested, particularly in demanding educational contexts characterized by high stress, extended training periods, and evolving professional landscapes (Nauta, 2010).

Within healthcare professions, specialization choices carry substantial implications for career trajectories, professional satisfaction, and workforce distribution. Dental education presents a particularly instructive context for examining vocational development, as students must navigate decisions among diverse specialization pathways—from technically-oriented surgical fields to aesthetically-focused restorative domains to interpersonally-intensive pediatric or public health directions—each requiring distinct configurations of skills, interests, and personality characteristics.

Communication and relational competencies occupy a fundamental role in healthcare delivery, influencing patient trust, treatment adherence, and clinical outcomes (Ha & Longnecker, 2010). These competencies, together with accurate self-awareness regarding one's strengths and limitations, constitute essential foundations for professional development and specialization selection. Career planning frameworks emphasizing goal-setting strategies and reflective practices support the construction of coherent professional trajectories (Savickas, 2013).

Beyond traditional vocational frameworks, Social Cognitive Career Theory (SCCT) emphasizes the role of self-efficacy beliefs and outcome expectations in shaping career decisions (Lent & Brown, 2013). According to SCCT, individuals are more likely to pursue career paths they perceive as compatible with their abilities, regardless of objective competency assessments. This suggests that self-perception may function as a mediating mechanism between psychological characteristics and vocational choices, a proposition with significant implications for career counseling practice.

The present study investigates the relationship between vocational interests, psychological characteristics, and specialization preferences among dental students. Additionally, it examines the role of integrated psychological assessment platforms that combine multiple validated instruments within a unified analytical framework. Based on the theoretical considerations outlined above, three hypotheses are proposed:

H1: Vocational congruence is positively associated with specialization clarity.

H2: Self-perception is positively associated with specialization clarity.

H3: Self-perception partially mediates the relationship between vocational characteristics and specialization preferences.

1. METHOD

1.1 Conceptual Framework

This study integrates classical vocational psychology models with contemporary perspectives on career development and self-regulation. Holland's (1997) RIASEC model provides the primary theoretical foundation, adapted to reflect domain-specific competencies relevant to dental practice: manual precision (Realistic), diagnostic reasoning (Investigative), aesthetic judgment (Artistic), interpersonal interaction (Social), leadership and practice management (Enterprising), and adherence to clinical protocols (Conventional).

Career Construction Theory (Savickas, 2013) and the life-span, life-space approach (Super, 1980) contribute dynamic perspectives emphasizing that vocational identity develops through experience, reflection, and contextual transitions. These frameworks suggest that congruence between personal characteristics and occupational environments evolves over time rather than remaining static, particularly during demanding educational periods.

Social Cognitive Career Theory (Lent & Brown, 2013) provides the theoretical basis for examining self-perception as a mediating variable. According to SCCT, career-related self-efficacy beliefs influence the translation of interests and abilities into career actions through their effects on goal-setting, persistence, and performance attainment.

1.2 Research Design

The study employed a cross-sectional exploratory design combining quantitative assessment with case-based interpretative analysis. This design enabled examination of association patterns between variables at a critical stage of professional development—the final year of dental education, when specialization decisions become immediately relevant.

The research adopted a multi-method approach integrating:

- Standardized psychometric assessment via validated instruments (objective indicators)
- Self-reported vocational preferences through an adapted questionnaire (subjective indicators)
- Comprehensive psychological profiling through integrated assessment platform reports.

1.3. Participants

Twenty-seven fifth-year dental students (15 female, 12 male) enrolled in a Dental Medicine program at a Romanian university participated in the study. Participant ages ranged from 23 to 27 years (M = 24.6, SD = 1.2). The sample was obtained through convenience sampling based on accessibility within the academic environment and voluntary enrollment during practical laboratory activities in a Career Counseling course.

This final-year cohort represents a critical developmental stage when students actively formulate decisions regarding specialization pathways and career trajectories. Although the sample size limits generalizability, it is appropriate for an exploratory pilot study aimed at identifying association patterns and testing theoretically-grounded relationships. Participation was voluntary with informed consent, and all data were collected anonymously in accordance with ethical standards for research involving human participants.

1.4. Instruments

1.4.1. Validated Psychological Instruments (PsihoProfile Platform)

Participants completed a battery of standardized assessments via the PsihoProfile platform, which includes instruments validated and standardized on the Romanian population. The following instruments were administered:

AOH (Autoevaluarea Ocupațiilor Holland- Holland Occupational Self-Assessment): Assesses preferences for 35 occupational groups organized according to Holland's typology, providing scores for seven occupational preference dimensions (Artistic, Realistic, Conventional, Enterprising, Social, Investigative, and Informatic).

APH (Autoevaluare Personalitate Holland- Holland Personality Self-Assessment): Evaluates personality characteristics through 49 items aligned with Holland's vocational personality types, enabling identification of dominant personality configurations.

ARC-ASII: An integrated vocational profile assessment combining vocational interests, occupational preferences, and personality indicators to evaluate congruence across the three domains.

AIM (Aspirații și Interese în Muncă- Work Aspirations and Interests): Assesses career anchors and work-related values including expertise, leadership, security, initiative, dedication, work-life balance, autonomy, challenge, organizational identification, and relational orientation.

Selected participants also completed the AAB (Autoevaluarea Aptitudinilor Bazale- Basic Skills Self-Assessment), which provides self-reported estimates of perceptual, cognitive, psychomotor, and physical aptitudes based on the Fleishman aptitude taxonomy.

1.4.2. Adapted RIASEC Questionnaire for Dental Medicine

An exploratory instrument was developed to assess vocational preferences specifically within the dental practice context. The questionnaire consists of 36 items rated on a 5-point Likert scale (1 = strongly disagree to 5 = strongly agree), with six items corresponding to each RIASEC dimension adapted to reflect dental-specific activities and competencies.

Sample items include:

- Realistic: „I enjoy performing clinical procedures requiring high manual precision"
- Investigative: „I am motivated by establishing accurate diagnoses"
- Artistic: „I am attracted to designing aesthetic aspects of the smile"
- Social: „I enjoy communicating with patients"
- Enterprising: „I feel comfortable coordinating a dental team"
- Conventional: „I prefer standardized procedures and clear protocols"

Given its exploratory nature, the instrument has not undergone comprehensive psychometric validation. However, internal consistency was assessed within this study to ensure acceptable reliability for research purposes.

1.4.3. Additional Measures

Specialization preference was assessed through a single item asking participants to indicate their primary area of interest among eight options: Orthodontics, Oral and Maxillofacial Surgery, Dento-alveolar Surgery, Prosthodontics, Periodontology, Endodontics, Pediatric Dentistry, and General Dentistry.

Specialization clarity was operationalized as a composite score derived from the consistency between stated preferences and vocational profile alignment, ranging from 1 (diffuse/unclear preferences) to 5 (highly differentiated preferences with strong profile congruence).

Self-perception was assessed through relevant subscales of the integrated assessment battery, particularly items reflecting perceived competence, confidence in clinical abilities, and professional self-concept.

1.5. Procedure

Data collection followed a structured sequence within practical laboratory activities:

1. Administration of standardized psychological assessments via the PsihoProfile platform
2. Completion of the adapted RIASEC questionnaire
3. Generation of individual psychological and vocational profiles through the platform's integrated reporting system
4. Coding and anonymization of participant data
5. Comparative analysis of vocational interests, personality characteristics, cognitive self-assessments, and specialization preferences

This procedure enabled both quantitative aggregation across the sample and case-based interpretative analysis of individual profiles, supporting nuanced understanding of vocational congruence patterns.

1.6. Data Analysis

Statistical analyses were conducted using SPSS (Version 26) and included:

Descriptive statistics: Means, standard deviations, frequencies, and percentages characterized the sample and identified patterns in vocational profiles and specialization preferences.

Reliability analysis: Internal consistency of the adapted RIASEC questionnaire was assessed using Cronbach's alpha coefficients for each subscale and the total scale.

Correlation analysis: Pearson correlation coefficients examined bivariate relationships between vocational interest dimensions, self-perception indicators, and specialization clarity, directly addressing H1 and H2.

Regression analysis: Multiple linear regression assessed the predictive contributions of vocational congruence and self-perception to specialization clarity, evaluating relative effect sizes.

Mediation analysis: A regression-based approach following Baron and Kenny's (1986) criteria examined whether self-perception mediates the relationship between vocational characteristics and specialization preferences (H3). Bootstrap confidence intervals (5,000 resamples) were computed to test indirect effects.

Given the modest sample size, results are interpreted with appropriate caution, emphasizing effect sizes and patterns of association rather than strict generalization. The analysis is positioned within an exploratory framework consistent with pilot study methodology.

2. RESULTS

2.1. Descriptive Statistics and Vocational Profiles

Sample Characteristics and Specialization Preferences

Table 1 presents the distribution of specialization preferences across the sample.

Table 1. Distribution of Specialization Preferences (N = 27)

Specialization	n	%
Oral/Maxillofacial Surgery	6	22.2
Prosthodontics	6	22.2
Dento-alveolar Surgery	5	18.5
Orthodontics	4	14.8
General Dentistry	3	11.1
Pediatric Dentistry	2	7.4
Periodontology	1	3.7
Endodontics	0	0.0

The distribution reveals predominant interest in surgical and intervention-oriented fields, with maxillofacial surgery, prosthodontics, and dento-alveolar surgery collectively representing 62.9% of preferences. This pattern reflects perceived importance of technical precision, procedural complexity, and intervention-focused practice within the sample.

Vocational Interest Profiles

Table 2 presents descriptive statistics for the adapted RIASEC dimensions.

Table 2.. Descriptive Statistics for RIASEC Dimensions (N = 27)

Dimension	M	SD	Range
Realistic	4.48	0.52	3.0-5.0
Investigative	4.67	0.41	3.5-5.0
Artistic	4.72	0.39	3.8-5.0
Social	4.31	0.68	2.3-5.0
Enterprising	4.38	0.57	3.0-5.0
Conventional	4.52	0.44	3.5-5.0
Self-perception	4.41	0.49	3.2-5.0
Spec. clarity	3.78	0.82	2.0-5.0

Analysis of vocational interests revealed a dominant Artistic-Investigative-Conventional (A-I-C) configuration at the group level. This profile suggests integration of aesthetic sensitivity, analytical reasoning, and preference for structured clinical environments—characteristics aligning well with dental practice demands.

Despite this general trend, individual profile variability was considerable. While some participants exhibited clearly differentiated vocational structures with pronounced peaks and troughs, others presented flatter, less differentiated profiles, indicating heterogeneity in vocational identity development within the cohort.

2.2 Reliability of the Adapted Instrument

Internal consistency analysis yielded the following Cronbach's alpha coefficients.

Table 3. Internal Consistency Coefficients

Subscale	Items	Cronbach's α
Realistic	6	.79
Investigative	6	.82
Artistic	6	.84
Social	6	.81
Enterprising	6	.78
Conventional	6	.80
Total Scale	36	.89

All subscales exceeded the .70 threshold conventionally considered acceptable for research purposes (Nunnally & Bernstein, 1994), supporting use of the adapted instrument for identifying patterns of vocational preference within this exploratory context.

2.3. Correlation Analysis

Table 4 presents Pearson correlation coefficients among key study variables.

Table 4. Intercorrelations Among Study Variables (N = 27)

Variable	1	2	3	4	5
1. Vocational cong.	—				
2. Self-perception	.52**	—			
3. Investigative	.38*	.44*	—		
4. Artistic	.41*	.47**	.36	—	
5. Spec. clarity	.41*	.58**	.35	.39*	—

Note. * $p < .05$, ** $p < .01$

Vocational congruence demonstrated a moderate positive association with specialization clarity ($r = .41$, $p < .05$), indicating that students whose vocational profiles were more clearly structured and aligned with their stated preferences reported more defined career directions. This finding provides support for H1.

Self-perception showed a stronger positive correlation with specialization clarity ($r = .58$, $p < .01$), suggesting that students with higher perceived competence and confidence expressed clearer specialization choices. This result supports H2 and indicates that subjective self-evaluation may play a more substantial role than structural profile characteristics in shaping career clarity.

The correlation between vocational congruence and self-perception ($r = .52$, $p < .01$) suggests these constructs share meaningful variance while remaining sufficiently distinct to warrant separate examination as predictors.

Moderate associations emerged between specific vocational dimensions and specialization directions. Investigative tendencies were more frequently associated with surgical specialization preferences, while Artistic dimensions related to aesthetic and restorative domain preferences. However, these patterns were not uniformly strong across participants, consistent with the individual variability observed in profile differentiation.

2.4. Regression Analysis

Multiple linear regression examined the predictive contributions of vocational congruence and self-perception to specialization clarity (Table 5).

Table 5. Multiple Regression Predicting Specialization Clarity

Predictor	B	SE	β	t	p
(Constant)	0.84	0.61		1.38	.180
Vocational cong.	0.31	0.14	.29	2.21	.037
Self-perception	0.52	0.15	.47	3.47	.002

Note. $R^2 = .42$, Adjusted $R^2 = .37$, $F(2, 24) = 8.69$, $p = .001$

The overall model was statistically significant, explaining 42% of variance in specialization clarity—a substantial proportion for psychological research. Within the model, self-perception emerged as the stronger predictor ($\beta = .47$, $p < .01$), while vocational congruence contributed with a more moderate but still significant effect ($\beta = .29$, $p < .05$).

These results indicate that, although alignment between vocational interests and career options is relevant, students' subjective evaluation of their own abilities plays a more decisive role in shaping career clarity. Both predictors make unique contributions when controlling for their shared variance.

2.5. Mediation Analysis

Mediation analysis examined whether self-perception mediates the relationship between vocational profile characteristics and specialization preferences. Following Baron and Kenny's (1986) approach supplemented with bootstrap estimation of indirect effects:

Step 1: Vocational congruence significantly predicted specialization clarity (c path: B = 0.48, SE = 0.16, p = .006).

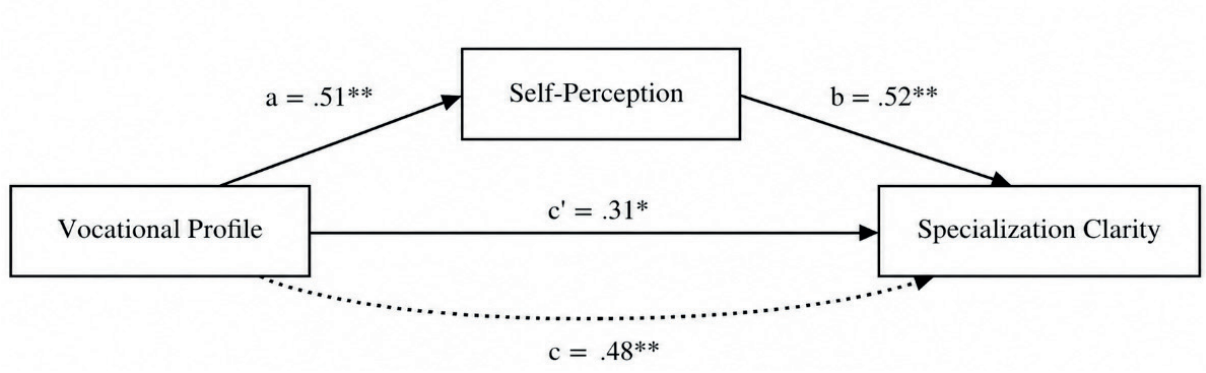
Step 2: Vocational congruence significantly predicted self-perception (a path: B = 0.51, SE = 0.14, p = .001).

Step 3: When both vocational congruence and self-perception were included as predictors, self-perception significantly predicted specialization clarity (b path: B = 0.52, SE = 0.15, p = .002), while the direct effect of vocational congruence was reduced but remained significant (c' path: B = 0.31, SE = 0.14, p = .037).

Step 4: Bootstrap analysis (5,000 resamples) yielded a significant indirect effect: ab = 0.27, SE = 0.10, 95% CI [0.09, 0.48].

The confidence interval excluding zero indicates significant mediation. The reduction in the direct effect from B = 0.48 to B = 0.31 (35% reduction) with maintenance of significance indicates partial mediation, supporting H3.

Figure 1. Mediation model of the relationship between vocational profile and specialization clarity through self-perception.



This **figure 1** illustrates a mediation model in which vocational profile predicts specialization clarity both directly and indirectly through self-perception. The standardized path coefficients indicate significant effects from vocational profile to self-perception ($a = .51$, $p < .01$) and from self-perception to specialization clarity ($b = .52$, $p < .01$). The direct effect of vocational profile on specialization clarity remains significant when controlling for the mediator ($c' = .31$, $p < .05$), while the total effect is also significant ($c = .48$, $p < .01$), suggesting partial mediation.

This finding suggests that vocational characteristics influence specialization preferences not only directly but also indirectly through self-perception processes. Students interpret their vocational profiles through the lens of perceived competence and confidence, which then shapes their career clarity.

Students do not choose their specialization only because they possess certain vocational characteristics, but also because these characteristics shape the way they perceive themselves. Through this process, students develop a sense of competence, self-confidence, and professional clarity, which further influences their academic and career choices. In other words, students tend to think: “I am good at this”, “I believe I can succeed”, ”This specialization fits me.” This self-perception process represents the key mechanism underlying the mediation effect.

2.6 .Case Illustrations

Analysis of individual assessment reports reveals the complexity underlying aggregate patterns. Three cases illustrate variations in profile-preference relationships:

Case A (Congruent profile): A female student expressing interest in Orthodontics demonstrated a dominant A-I-C profile consistent with specialization requirements. Her PsihoProfile report indicated high scores on Artistic personality (percentile 85), Investigative interests (percentile 78), and strong career anchor orientation toward Expertise and Autonomy. Self-perception scores were elevated across competence domains. This case exemplifies congruent alignment between vocational characteristics and stated preferences.

Case B (Developing profile): A male student indicating interest in Maxillofacial Surgery showed a less differentiated profile with moderate scores across multiple dimensions. His assessment revealed strong Enterprising personality characteristics but relatively lower Investigative scores than typically associated with surgical specializations. Self-perception was moderate with notable variability across domains. This case illustrates a profile in development where career exploration may benefit from additional guidance.

Case C (Incongruent profile): A student expressing preference for Prosthodontics showed dominant Social personality characteristics atypical for this technically-oriented field. Further examination revealed high

scores on Relational career anchors and moderate stress indicators. This case suggests that stated preferences may be influenced by factors beyond vocational fit, including social modeling or perceived opportunities, warranting counseling attention.

2.7. Integrated Interpretation

The convergent evidence indicates that vocational development among dental students reflects both structural alignment between interests and environments and subjective interpretive processes. The partial mediation finding suggests that vocational profiles provide a foundation for career orientation, but self-perception processes actively shape how students translate these profiles into concrete decisions.

The coexistence of congruent, developing, and incongruent cases within a single cohort highlights the complexity of career decision-making and reinforces the importance of individualized assessment rather than algorithmic matching based solely on profile characteristics.

3. DISCUSSION

The present study examined relationships between vocational profiles, self-perception, and specialization preferences among dental students within an integrated assessment context. The findings contribute to understanding career decision-making processes in dental education while illuminating the complementary roles of structural congruence and subjective self-evaluation.

3.1. Vocational Profiles and Specialization Alignment

The dominant Artistic-Investigative-Conventional profile observed at the group level aligns with theoretical expectations for dental practice, which integrates aesthetic judgment (particularly in restorative and cosmetic procedures), diagnostic reasoning (essential for treatment planning), and structured protocol adherence (required for clinical consistency and safety). This configuration suggests the sample appropriately self-selected into dental education based on vocational characteristics, consistent with Holland's (1997) congruence predictions.

The positive association between vocational congruence and specialization clarity ($r = .41$) supports person-environment fit theories while indicating that structural alignment explains only a portion of career decision variance. This moderate effect size is consistent with meta-analytic findings suggesting that Holland congruence typically accounts for modest variance in vocational outcomes (Nye, Su, Rounds, & Drasgow, 2012), reinforcing the importance of examining additional predictive factors.

3.2. The Central Role of Self-Perception

The stronger predictive contribution of self-perception ($\beta = .47$) compared to vocational congruence ($\beta = .29$) extends traditional congruence models by demonstrating that subjective self-evaluation processes play a substantial role in career clarity. This finding aligns with Social Cognitive Career Theory's emphasis on self-efficacy beliefs as proximal determinants of career behavior (Lent & Brown, 2013).

The mediation analysis provides mechanistic insight: vocational characteristics influence career decisions partly through their effects on self-perception. Students appear to interpret their profile characteristics through evaluative lenses, with those holding more positive self-perceptions translating vocational interests into clearer career directions. This interpretation explains the presence of incongruent cases in which students express preferences seemingly misaligned with their profiles—when self-perception operates independently of or contrary to profile characteristics, it may drive career directions regardless of structural fit.

These findings carry implications for career counseling practice. Interventions targeting self-perception enhancement—through feedback, reflection, and performance accomplishment experiences—may improve career clarity beyond what profile assessment alone achieves. Counselors should attend not only to whether

profiles match potential career environments but also to how students perceive and evaluate their own characteristics.

3.3. Individual Variability and Case-Based Considerations

The substantial individual variability observed—ranging from clearly differentiated profiles with strong congruence to diffuse profiles with apparent misalignment—underscores limitations of aggregate-level analysis alone. Career development at this educational stage appears highly individualized, shaped by idiosyncratic combinations of interests, self-beliefs, prior experiences, social influences, and contextual opportunities.

The case illustrations reveal that incongruent profiles may reflect several processes: vocational identity still in formation, social or familial influences directing preferences away from natural inclinations, pragmatic considerations (perceived job market opportunities, income potential), or inaccurate self-perception requiring recalibration through counseling. Each pattern suggests different intervention approaches, reinforcing the importance of individualized assessment interpretation.

3.4. Integrated Assessment Platforms

The multi-instrument approach combining standardized vocational assessments with domain-adapted questionnaires provided complementary perspectives enabling nuanced interpretation. Platform-generated reports offered efficient aggregation of multiple data sources while requiring professional judgment for integration and application.

Several observations emerge regarding these assessment tools. First, they facilitate comprehensive evaluation that would be impractical through individual instrument administration, enabling efficient collection of personality, interest, aptitude, and value data within unified sessions. Second, the tools reflect self-reported data and therefore incorporate existing self-perception biases—a feature that is both limitation and information source, as discrepancies between objective performance and self-report may themselves be clinically meaningful. Third, interpretive expertise remains essential, as algorithm-generated suggestions require contextualization within individual circumstances, educational opportunities, and developmental trajectories.

3.5. Limitations

Several limitation*s* qualify interpretation of these findings:

Sample characteristics: The modest sample size (N = 27) and convenience sampling from a single institution limit statistical power and generalizability. The exploratory design supports hypothesis generation rather than definitive testing.

Instrument validation: While the adapted RIASEC questionnaire demonstrated acceptable internal consistency, comprehensive validation including test-retest reliability, convergent validity, and normative data would strengthen confidence in the measure.

Cross-sectional design: The correlational data cannot establish causal direction. While the mediation model posits self-perception as intervening between vocational characteristics and career clarity, alternative causal sequences remain plausible.

Self-report methods: All measures relied on self-report, introducing shared method variance and potential response biases including social desirability.

Outcome measurement: Specialization clarity was operationalized for this study without established validity evidence. More robust operationalization would strengthen future investigations.

3.6. Future Directions

Future research should address these limitations through:

- Larger, multi-site samples enabling confirmatory hypothesis testing and subgroup analyses
- Longitudinal designs tracking students through specialization decisions into early career outcomes to establish predictive validity
- Integration of objective performance indicators (clinical competency assessments, academic performance) with self-reported measures
- Intervention studies evaluating whether self-perception-targeted counseling improves career clarity and specialization satisfaction
- Cross-cultural investigation examining whether observed patterns generalize across educational and healthcare systems.

CONCLUSION

Vocational development in dental education is shaped by both structural alignment between individual characteristics and occupational environments and by subjective self-evaluation processes. While vocational congruence as conceptualized in Holland's model contributes to career clarity, self-perception emerges as a stronger proximal predictor and partially mediates congruence effects. These findings support integrated approaches to career counseling that address not only profile-environment matching but also self-perception accuracy and enhancement.

Assessment tools combining validated instruments within unified platforms enhance analytical efficiency and provide valuable data for counseling. However, their effectiveness depends on professional interpretation that contextualizes aggregate data within individual circumstances and developmental trajectories. The presence of both congruent and incongruent profile-preference patterns within a single cohort reinforces the importance of individualized approaches over algorithmic matching.

Educational interventions should consider integrating psychological assessment with reflective practices supporting self-awareness development. Enhanced understanding of one's vocational characteristics combined with accurate self-perception may improve alignment between individual attributes and career decisions, potentially reducing specialization dissatisfaction and career transitions.

REFERENCES

AbdulGhaffar, R. S., Malik, R., Amjad, M., Nadeem, R., Admani, M. S., Sanaullah, A., Altamash, S., Ahmed, N., Heboyan, A., & Jouhar, R. (2026). Awareness, usage, and perspectives on ChatGPT in dental education among graduate and undergraduate students. *Scientific Reports, 16*, 3747. https://doi.org/10.1038/s41598-025-33704-1

Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology, 51*(6), 1173-1182. https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2F0022-3514.51.6.1173

Bălan, S. M. (2025). *Consiliere în carieră – suport de curs pentru studenții la Medicină Dentară*. Universitatea Dimitrie Cantemir din tîrgu Mureș

Bond, M., Zawacki-Richter, O., & Nichols, M. (2019). Revisiting five decades of educational technology research: A content and authorship analysis of the British Journal of Educational Technology. *British Journal of Educational Technology, 50*(1), 12–63. https://doi.org/10.1111/bjet.12730

Freeman, Z., Penlington, C., Fathi, H., Shazada, K., & Waterhouse, P. (2023). Exploring dental academics' perceptions of and experience with discrimination in the UK and Ireland: A qualitative study. *British Dental Journal*. https://doi.org/10.1038/s41415-023-6115-z

Ha, J. F., & Longnecker, N. (2010). Doctor-patient communication: A review. *Ochsner Journal, 10*(1), 38-43.

Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments* (3rd ed.). Psychological Assessment Resources.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.

Keirsey, D., & Bates, M. (1978). *Please understand me: Character and temperament types*. Prometheus Nemesis Book Company.

Lent, R. W., & Brown, S. D. (2013). Social cognitive model of career self-management: Toward a unifying view of adaptive career behavior across the life span. *Journal of Counseling Psychology, 60*(4), 557-568. https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2Fa0033446

Lakhani, P. K., & Wassif, H. S. (2026). Exploring mentorship experiences among early career general dental practitioners in NHS dentistry. *British Dental Journal*. https://doi.org/10.1038/s41415-025-8721-4

Myers, I. B., & McCaulley, M. H. (1985). *Manual: A guide to the development and use of the Myers-Briggs Type Indicator*. Consulting Psychologists Press.

Nauta, M. M. (2010). The development, evolution, and status of Holland's theory of vocational personalities: Reflections and future directions for counseling psychology. *Journal of Counseling Psychology, 57*(1), 11-22. doi.org

Niven, V., Scambler, S., Cabot, L. B., & Gallagher, J. E. (2023). Journey towards a dental career: The career decision-making journey and perceived obstacles to studying dentistry. *British Dental Journal*. https://doi.org/10.1038/s41415-023-6188-8

Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Nye, C. D., Su, R., Rounds, J., & Drasgow, F. (2012). Vocational interests and performance: A quantitative summary of over 60 years of research. *Perspectives on Psychological Science, 7*(4), 384-403. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1745691612449021

OpenAI. (2023). GPT-4 technical report. https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774

PsihoProfile. (2026a). Platforma psihologilor practicieni – metodologie și instrumente de evaluare. https://www.psihoprofile.ro

PsihoProfile. (2026b). Artificial intelligence assisted psychological reporting (X-AI module). https://www.psihoprofile.

ro/Public/Questionnaire/x-ai

Savickas, M. L. (2013). Career construction theory and practice. In S. D. Brown & R. W. Lent (Eds.), *Career development and counseling: Putting theory and research to work* (pp. 147–183). Wiley.

Super, D. E. (1990). A life-span, life-space approach to career development. In D. Brown & L. Brooks (Eds.), *Career choice and development* (pp. 197–261). Jossey-Bass. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0001879180900561?via%3Dihub

Szabó, R. M., Davis, J. M., & Antal, M. (2020). Introducing career skills for dental students as an undergraduate course at the University of Szeged, Hungary. *BMC Medical Education, 20*(68). https://doi.org/10.1186/s12909-020-1981-4

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16*(39). https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

https://doi.org/10.71284/asc.2026123

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE YAPAY ZEKÂ: PSİKOLOJİK İKLİM VE YÖNETİM SÜREÇLERİNİN DÖNÜŞÜMÜ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY: TRANSFORMING PSYCHOLOGICAL CLIMATE AND MANAGEMENT PROCESSES

Mesut Yaşar[1]
Oya İnci Bolat[2]

Özet

Son yıllarda hızla gerçekleşen dijital dönüşüm sürecinin, özellikle üretim ve yönetim sistemleri başta olmak üzere birçok alanda köklü değişimlere yol açtığı ve bu süreçte yapay zekâ teknolojilerinin dönüşümün temel bileşenlerinden biri olarak öne çıktığı görülmektedir. Yapay zekâ teknolojileri, yönetim süreçlerinde veri temelli, öngörücü ve stratejik karar alma mekanizmalarını güçlendirerek iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamalarında da önemli bir dönüşüm yaratmaktadır. Geleneksel İSG yaklaşımları çoğunlukla reaktif müdahalelere dayanırken, yapay zekâ destekli sistemler büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla iş kazası kayıtlarını, tehlike bildirimlerini, çevresel sensör verilerini ve davranışsal göstergeleri analiz ederek olası riskleri önceden tahmin edebilmektedir. Bu durum, risk yönetiminde proaktif-önleyici bir yaklaşımın benimsenmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada, yapay zekâ destekli yönetim uygulamalarının İSG süreçlerine entegrasyonu yalnızca teknik bir yenilik olarak değil, aynı zamanda örgütsel psikolojik iklimi etkileyen bir dönüşüm süreci olarak ele alınmaktadır. Yapay zekâ temelli izleme, performans analizi ve karar destek sistemleri çalışanların güvenlik algısı, örgütsel güven düzeyi, kontrol duygusu ve yönetime duyulan inanç üzerinde doğrudan etkiler yaratabilmektedir. Teknoloji kullanımının şeffaflık, etik ilkeler ve çalışan katılımı ile desteklenmediği durumlarda ise gözetim algısı, stres ve direnç gibi psikolojik sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda çalışma, yapay zekâ destekli İSG uygulamalarının etkinliğinin yalnızca teknolojik kapasiteye değil; insan odaklı yönetim anlayışına, örgütsel iletişime ve güven kültürüne bağlı olduğunu savunmaktadır. Sonuç olarak, yapay zekâ destekli yönetim süreçleri, doğru stratejilerle uygulandığında hem iş kazalarının azaltılmasına hem de olumlu bir psikolojik iklimin güçlendirilmesine katkı sağlayarak, verimlilik odaklı bütüncül bir yönetim aracı olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, iş sağlığı ve güvenliği, psikolojik iklim, yönetim süreçleri

[1] Yüksek lisans öğrencisi, Balıkesir Üniversitesi Yönetim ve Organizasyon ABD, yasarmesut10@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8573-0197

[2] Prof. Dr., Balıkesir Üniversitesi İİBF işletme Bölümü, oyaincibolat@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-3009-9094

Abstract

In recent years, the rapidly progressing digital transformation has led to profound changes across various sectors, particularly in production and management systems, with artificial intelligence (AI) technologies emerging as a central component of this transformation. AI technologies enhance data-driven, predictive, and strategic decision-making processes in management, thereby creating significant changes in occupational health and safety (OHS) practices. While traditional OHS approaches are largely reactive, AI-supported systems can analyze accident records, hazard notifications, environmental sensor data, and behavioral indicators through big data analytics and machine learning algorithms to predict potential risks in advance. This enables the adoption of a proactive preventive approach in risk management. This study examines the integration of AI-supported management applications into OHS processes not merely as a technical innovation, but also as a transformative process affecting organizational psychological climate. AI-based monitoring, performance analysis, and decision support systems can directly influence employees' perception of safety, organizational trust, sense of control, and confidence in management. When technology use is not supported by transparency, ethical principles, and employee participation, it may result in psychological outcomes such as surveillance perception, stress, and resistance. In this context, the study argues that the effectiveness of AI-supported OHS applications depends not only on technological capacity, but also on human-centered management approaches, organizational communication, and a culture of trust. Consequently, AI-supported management processes, when implemented with appropriate strategies, contribute both to reducing workplace accidents and enhancing a positive psychological climate, serving as a holistic, productivity-oriented management tool.

Keywords: Artificial intelligence, occupational health and safety (OHS), psychological climate, management processes

GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda önem kazanan ikiz dönüşüm sürecinin, yeşil dönüşüm ve dijital dönüşüm olmak üzere iki temel bileşenden oluştuğu kabul edilmektedir. Özellikle dijital dönüşümün, son yıllarda üretim, yönetim ve organizasyon süreçlerinde köklü yapısal değişimlere yol açan bir olgu hâline geldiği ifade edilmektedir (Yaşar, 2025). Bu dönüşüm sürecinin temel bileşenlerinden biri olan yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin ise ekonomik, sosyal ve bilimsel alanlarda giderek daha etkili bir konuma ulaştığı belirtilmektedir. YZ'nin yalnızca ekonomik ve teknolojik gelişmeleri değil, aynı zamanda sosyal bilimlerde yürütülen araştırma süreçlerini de önemli ölçüde etkilediği vurgulanmaktadır (Peng vd., 2026).

Bu kapsamda, sosyal bilimlere entegre edilen YZ teknolojileri sayesinde araştırma yöntemlerinde, veri analiz süreçlerinde ve elde edilen bulguların uygulamaya aktarılma biçimlerinde önemli dönüşümlerin yaşandığı ifade edilmektedir (Davenport & Ronanki, 2018). Literatürde, YZ ve uygulama alanlarına yönelik çalışmaların son yıllarda belirgin biçimde arttığı ve bu durumun söz konusu teknolojilerin disiplinler arası bir araştırma odağı hâline geldiğini ortaya koyduğu belirtilmektedir (Ayan vd., 2024; Dursun & Hoşten, 2025). Buna paralel olarak, YZ teknolojilerinin işletme yönetimi ve çalışma yaşamı üzerindeki etkileri de giderek daha fazla araştırma konusu hâline gelmektedir. Özellikle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanında dijital teknolojilerin sunduğu olanakların, geleneksel güvenlik anlayışını dönüştürdüğü değerlendirilmektedir.

İSG, çalışma ortamından kaynaklanan çevresel koşullar nedeniyle çalışanların maruz kaldıkları mesleki risklerin ortadan kaldırılmasını veya en aza indirilmesini amaçlayan bir disiplin olarak tanımlanmaktadır. Bu çerçevede, çalışanların sağlık, güvenlik ve yaşama hakkının temel haklar arasında yer aldığı vurgulanmaktadır (Yaşar & Saraçoğlu, 2021). Dijital çağda YZ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti ve akıllı sensör sistemleri gibi teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte işletmelerde karar alma süreçlerini veri

odaklı bir yapıya dönüştürmektedir. Bu dönüşümün yalnızca verimlilik artışı sağlamakla sınırlı kalmadığı, aynı zamanda İSG yönetim sistemlerinin yeniden yapılandırılmasına da katkı sunduğu değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, söz konusu teknolojilerin insan hareketlerini ve olası davranışları modelleyerek çalışma ortamındaki koordinasyonu artırdığı, fiziksel risklerin azaltılmasına katkı sağladığı ve önleyici müdahaleleri mümkün hâle getirdiği ifade edilmektedir. Ayrıca zor, tehlikeli ve tekrarlı görevlerin robotik sistemlere devredilmesiyle daha güvenli çalışma ortamlarının oluşturulabileceği belirtilmektedir (Russell & Norvig, 2021). Aksi durumda ise söz konusu görevlerin insan tarafından yürütülmesinin geri dönüşü olmayan riskler doğurabileceği değerlendirilmektedir. Öte yandan, endüstriyel süreçlerin giderek karmaşıklaşmasının İSG açısından yeni risk türlerinin ortaya çıkmasına neden olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda, YZ teknolojilerinin saha analizi, risk değerlendirmesi, tehlike tespiti ve çalışma ortamının izlenmesi gibi uygulamalar aracılığıyla iş kazalarının önlenmesine önemli katkılar sunduğu ifade edilmektedir. Tehlikeli görevlerin otomasyonu ve veri temelli analizler yoluyla insan faktörüne bağlı kazaların azaltılmasında YZ destekli sistemlerin önemli bir potansiyel taşıdığı belirtilmektedir (Ayan vd., 2024). Nitekim iş kazalarının önemli bir bölümünün çalışan hareketlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu durum, YZ teknolojilerinin yalnızca teknik bir dönüşüm aracı olmadığını, aynı zamanda çalışan davranışları ve örgütsel yapı üzerinde de etkili olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada, dijital dönüşüm sürecinde YZ teknolojilerinin İSG yönetimi üzerindeki etkilerinin psikolojik iklim bağlamında incelenmesi amaçlanmaktadır. Psikolojik iklim; çalışanların işlerine, yöneticilerine, çalışma arkadaşlarına ve örgütsel uygulamalara ilişkin algı ve değerlendirmelerini ifade etmektedir (James vd., 2008). Bu doğrultuda, literatürde yer alan çalışmalar temel alınarak YZ destekli uygulamaların iş kazalarının önlenmesine, risk yönetimi süreçlerinin geliştirilmesine ve güvenlik kültürünün güçlendirilmesine sağladığı katkılar analiz edilmektedir. Bununla birlikte dijital dönüşüm sürecinin örgütsel yapı ve çalışanların psikolojik iklim algısı üzerindeki olası etkileri de ele alınmaktadır. Araştırmanın temel amacı, YZ teknolojilerinin İSG yönetimini nasıl dönüştürdüğünü ortaya koymak ve bu dönüşümün işletmelere sunduğu fırsatlar ile potansiyel riskleri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Mevcut literatürde çoğunlukla YZ'nin teknik kapasitesi ve verimlilik boyutuna odaklanıldığı, buna karşın söz konusu teknolojilerin İSG'nin insan unsuru üzerindeki psikolojik etkileri ile yönetim süreçlerine yansımalarının sınırlı düzeyde incelendiği görülmektedir. Bu kapsamda çalışmanın, teknik bilimler ile sosyal bilimler arasındaki literatür boşluğunun giderilmesine katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

İkiz dönüşüm süreci, yeşil dönüşüm ve dijital dönüşüm olmak üzere iki temel bileşen üzerinden ele alınmaktadır. Bu bağlamda dijital dönüşümün; yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti, akıllı sensör sistemleri ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla işletmelerde veri temelli karar alma süreçlerinin şekillenmesinde kritik bir rol üstlendiği görülmektedir. Söz konusu teknolojilerin entegrasyonu ile organizasyonel süreçlerin daha izlenebilir, ölçülebilir ve öngörülebilir bir yapıya dönüştüğü değerlendirilmektedir.

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) bağlamında ise yapay zekâ destekli sistemlerin, risklerin öngörülmesi, tehlikelerin erken aşamada tespiti ve tehlikeli görevlerin otomasyonu yoluyla çalışan güvenliğinin artırılmasında etkin bir araç olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu sistemlerin, sensörlerden elde edilen verileri analiz ederek çalışma ortamındaki riskleri belirlediği ve insan hareketlerini modelleyerek kaza olasılıklarını azaltabilmektedir. Ayrıca, geri döndürülemez hataların önlenmesine ve önleyici müdahalelerin gerçekleştirilmesine imkân tanıyan güvenli çalışma protokollerinin sistem etkinliğini artırdığı bilinmektedir. Bu kapsamda, yapay zekâ temelli teknolojilerin İSG yönetim sistemlerine entegrasyonu ile birlikte risk yönetimi süreçlerinin proaktif bir yapıya dönüştüğü, insan faktörüne bağlı hataların azaltıldığı ve güvenlik kültürünün güçlendirilmesine katkı sağlandığı değerlendirilmektedir. Böylece dijital dönüşümün İSG alanında yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda yönetsel, psikolojik ve davranışsal boyutları

içeren bütüncül bir dönüşüm süreci oluşturduğu ortaya konulmaktadır.

1.1. Yapay Zekâ ve Dijital Dönüşüm

Yapay zekâ, 1956 yılında gerçekleştirilen Dartmouth Çalıştayı ile bilimsel bir alan olarak ortaya çıkmış ve insan zekâsına özgü süreçlerin makineler tarafından taklit edilebileceği düşüncesine dayandırılmıştır (McCarthy vd., 2006). Luger'e (2025) göre yapay zekâ, akıllı davranışların otomasyonunu sağlayan bir bilgisayar bilimi alanıdır. Endüstri 4.0 ile birlikte yapay zekâ ve dijital teknolojiler, işletmelerin iş süreçlerinde köklü değişimlere yol açmış; dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Badri vd., 2018). Bu süreçte çalışanların dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi ve organizasyonel uyumun sağlanması önem taşımaktadır (Issa vd., 2018). Günümüzde yapay zekâ, özellikle iş sağlığı ve güvenliği alanında risklerin belirlenmesi ve yönetilmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır (Hamet & Tremblay, 2017). COVID-19 pandemisi sonrası dijital İSG uygulamaları hız kazanırken, veri güvenliği, artan zihinsel iş yükü ve yasal düzenleme eksiklikleri gibi sorunlar da ortaya çıkmıştır (Doval & Negulescu, 2024). Bu nedenle etik, risk yönetimi ve dijital yetkinliklerin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır (Polak-Sopinska vd., 2020).

1.2. Yapay Zekâ ile İş Güvenliği ve Çalışan Sağlığının Dijital Dönüşümü

Endüstri 4.0 ile birlikte iş yaşamında önemli dönüşümler yaşanmış, bu süreç iş sağlığı ve güvenliği risk yapısını da etkilemiştir. Yapay zekâ tabanlı sistemler, robotlar ve akıllı koruyucu donanımlar sayesinde risk analizi, kaza tahmini ve kök neden analizleri daha hızlı ve etkin biçimde gerçekleştirilebilmektedir (Motorcu ve Murat, 2021). Dijitalleşme ile desteklenen İSG uygulamalarının iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde önemli katkılar sağladığı belirtilmektedir (Eryiğit, 2024). Bununla birlikte üretken yapay zekâ teknolojileri; verimlilik artışı sağlarken veri güvenliği, gizlilik ihlalleri ve iş gücü dönüşümü gibi riskleri de beraberinde getirmektedir (Yastıoğlu, 2023). Bu kapsamda geliştirilen İSG 4.0 yaklaşımı, dijital teknolojilerin İSG süreçlerine entegrasyonu yoluyla insan-makine etkileşimini artırmayı ve proaktif güvenlik yönetimini desteklemeyi amaçlamaktadır (Tepe, 2021). Dijital risk değerlendirmesi, gerçek zamanlı izleme ve akıllı uyarı sistemleri sayesinde risklerin erken tespit edilmesi ve güvenlik performansının artırılması mümkün hâle gelmektedir (Ekmekçi & Ekmekçi, 2020).

Dijitalleşme ve yapay zekâ temelli İSG 4.0 uygulamalarının yalnızca teknik risk yönetimini değil, aynı zamanda çalışanların güvenlik algısını ve psikolojik iklimini de etkilediği belirtilmektedir (Zohar, 2000). Çalışanların teknolojiye duyduğu güven, sistemlerin şeffaflığı ve algoritmik kararların anlaşılabilirliği, güvenlik ikliminin oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Lee & See, 2004; Shneiderman, 2020). Çalışanlar, sistemin kendilerini neden riskli gördüğünü anlamadıklarında (Kara Kutu Problemi), bu durum iş yeri ikliminde güvensizlik ve yabancılaşma yaratmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemlerin destekleyici olarak algılanması güvenlik algısını güçlendirirken; gözetim, kontrol ve veri gizliliği endişeleri psikolojik stresi artırabilmektedir (Brougham & Haar, 2018; Jarrahi, 2018). Yapay zekâ tabanlı İSG sistemleri; gerçek zamanlı veri toplama, çevresel sensörler, biyosensörler ve robotik uygulamalar aracılığıyla risklerin erken tespit edilmesine ve iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle imalat, sağlık ve lojistik sektörlerinde tehlikeli işlerin robotik sistemlerle yürütülmesi çalışan güvenliğini artırmaktadır (Ayan vd., 2024; Doval & Negulescu, 2024). Bu kapsamda National Institute for Occupational Safety and Health bünyesinde kurulan CORR merkezi ile European Agency for Safety and Health at Work tarafından yapay zekâ ve robotik teknolojilerin çalışma yaşamına etkileri araştırılmaktadır (Pishgar vd., 2022). Ayrıca büyük dil modelleri ve uzman sistemlerin, tehlike analizi, karar destek ve ergonomik tasarım süreçlerinde İSG profesyonellerine destek sağladığı ifade edilmektedir (Diemert & Weber, 2023). Ancak siber güvenlik risklerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Yapay zekâ uygulamalarının, güvenlik verilerini analiz ederek potansiyel tehlikeleri kazaya dönüşmeden önce tespit edebildiği ve proaktif güvenlik yönetimini desteklediği bilinmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda özellikle derin öğrenme ve görüntü işleme temelli çalışmaların artış gösterdiği ve yapay zekâ uygulamalarının iş güvenliği alanındaki etkinliğini artırdığı

ifade edilmektedir (Aktaş & Irmak, 2026).

Endüstri 4.0 ile yapay zekânın iş yaşamına entegrasyonu verimlilik ve iş güvenliğini artırırken işsizlik kaygısı, mahremiyet ve psikososyal riskleri de beraberinde getirmektedir (Doruköz & Uslu, 2023). Bu nedenle eğitim ve yaşam boyu öğrenme önem kazanmaktadır. Yapay zekâ tabanlı İSG sistemleri; risk analizi, erken uyarı, kaza önleme ve eğitim süreçlerine katkı sağlamakta, giyilebilir teknolojiler ve Nesnelerin İnterneti ile çalışanların sağlık ve davranışları gerçek zamanlı izlenebilmektedir (Ayan vd., 2024; Öztürk, 2020). Görüntü işleme ve yapay zekâ ile KKD kullanımı, iş makinesi güvenliği ve saha ihlalleri anlık olarak kontrol edilerek iş kazalarının önlenmesine katkı sağlanmaktadır (Akman, 2026). Genel olarak yapay zekâ, iş kazalarını azaltırken güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına destek olmaktadır (Russell & Norvig, 2021; Şengöz & Bozkurt, 2025).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, dijital dönüşüm kapsamında yapay zekâ teknolojilerinin İSG uygulamalarındaki kullanım potansiyeli incelenmiştir. Literatür bulguları doğrultusunda, yapay zekâ tabanlı sistemlerin risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve önlenmesi süreçlerinde önemli katkılar sunduğu tespit edilmiştir. Yapay zekânın özellikle ergonomik risklerin tespiti, çalışma ortamlarının izlenmesi ve karar destek mekanizmalarının geliştirilmesinde etkili bir araç olarak değerlendirildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin İSG yönetim sistemlerine bütüncül entegrasyonuna yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmüş ve bu durumun önemli bir araştırma boşluğu oluşturduğu ortaya konmuştur. Çalışmanın literatüre katkısının, dijital dönüşüm ve yapay zekâ teknolojilerinin İSG alanındaki potansiyelinin bütüncül bir çerçevede ortaya konulması olduğu değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yöneticiler açısından on temel eylem alanı önerilmektedir: (1) veri mahremiyetinin güvence altına alınarak kişinin rızası dışında üçüncü kişilerin eline geçmesinin engellenmesi, (2) yapay zekâ kararlarına karşı çalışan itiraz mekanizmalarının oluşturulması, (3) teknolojik dönüşüme uyum sağlamak amacıyla sürekli eğitim programlarının uygulanması, (4) yapay zekâ kullanımında siber güvenlik önlemlerinin alınması, (5) oluşacak risklere karşı aksiyonlar planlanmalı, (6) kritik İSG kararlarında yapay zekânın tek başına değil, insan kontrolü ile birlikte çalışmasının güvence altına alınması, (7) YZ uygulamalarının çalışanlar üzerinde oluşturabileceği stres, gözetlenme hissi ve iş güvencesi kaygısı gibi psikolojik etkilerin düzenli olarak değerlendirilmesi, (8) Yapay zekâ tabanlı İSG sistemlerinin iş kazası azaltımı, risk tespiti başarısı ve müdahale hızına göre periyodik olarak ölçülmeli, (9) YZ kullanımının ulusal mevzuat ve etik ilkelerle uyumlu şekilde yürütülmesi sağlanmalı, (10) Yapay zekâ sistemlerinin benzer veri ve koşullar altında tutarlı, tekrar edilebilir ve öngörülebilir sonuçlar üretmesinin sağlanması; karar süreçlerinde güvenilirliğin artırılması ve insanın merkezde olması sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

Akman, S. (2026, 4 Şubat). Yapay zeka tabanlı İSG analizleri ile iş güvenliği kültürünün arttırılması. *Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Bülteni*. https://www.mmo.org.tr/izmir

Aktaş, E., & Irmak, İ. (2026). Yapay zekânın iş güvenliği uygulamalarındaki kullanımına yönelik bibliyometrik analiz. Kent Akademisi, 19(1), 1–16. https://doi.org/10.35674/kent.1715201

Ayan, B., Taşçı, S., & Köksal, E. B. M. (2024). İş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılan yapay zekâ teknolojilerine ilişkin inceleme. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 15(2), 20–33.

Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the Industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109, 403–411.

Brougham, D., & Haar, J. (2018). Smart technology, artificial intelligence, robotics, and algorithms (STARA): Employees' perceptions of our future workplace. *Journal of Management & Organization, 24*(2), 239–257. https://doi.org/10.1017/jmo.2016.55

Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.

Diemert, S., & Weber, J. H. (2023). Can large language models assist in hazard analysis? *arXiv*.

Doruköz, K. D., & Uslu, B. (2023). Yapay zekânın iş hayatındaki yeri: Avantajlar, dezavantajlar ve politikalar. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi / Social Sciences Research Journal*, 6(CEEİK 2023 Özel Sayısı), 45–62. https://doi.org/10.38120/banusad.1376452

Doval, E., & Negulescu, O. H. (2024). Workplace health and safety management in the age of digitalization and artificial intelligence. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 23(6).

Dursun, N., & Hoşten, G. (2025). The role of artificial intelligence in health management from an occupational health and safety perspective: A literature-based review. *Sabuncuoglu Serefeddin Health Sciences*, 7(3), 206–216.

Ekmekçi, İ., ve Ekmekçi, AB., (2020), Endüstri 4.0 ve İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yeni Teknolojiler: İSG 4.0, Öz. S., Onursal. FS., Terzioğlu. C. (Edts.), *Sektörlerin ve Mesleklerin Geleceği,* İstanbul, Hiperyayın.

Eryiğit, N. (2024). Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yeni Teknoloji Kullanımı Ve İş Organizasyonu. *Ünye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 6(2), 76-88. https://izlik.org/JA82CH89UN

Hamet, P., & Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, 69, 36–40.

Issa, A., Hatiboglu, B., Bildstein, A., & Bauernhansl, T. (2018). Industry 4.0 roadmap: Digital transformation framework. *Procedia CIRP*, 72, 973–978.

James, L.R., Choi, C.C., Ko, C.H.E., Mcneil, P.K., Minton, M.K., Wright, M.A. ve Kim, K.I., (2008). "Organizational and Psychological Climate: A Review of Theory and Research", European Journal of Work and Organizational Psychology , 17(1), 5-32.

Jarrahi, M. H. (2018). Artificial intelligence and the future of work: Human–AI symbiosis in organizational decision making. *Business Horizons, 61*(4), 577–586. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007

Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors, 46*(1), 50–80. https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392

Luger, G. F. (2025). Artificial Intelligence: Principles and Practice. Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57437-5

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, 27(4), 12–14.

Motorcu, A. R., & Murat, B. (2021). Yeni iş yeri riskleri ve yapay zekânın iş sağlığı ve güvenliğinde kullanımı. In A. Güllü & S. Yalçınkaya (Eds.), *Mühendislik ve multidisipliner yaklaşımlar* (ss. 369–402). Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.

Öztürk, A.Ö., (2020), *Endüstri 4.0 ile İş Sağlığı ve Güvenliği*, Yüksek Lisans Tezi, Rumeli Üniversitesi Lisansüstü

Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Polak-Sopinska A., Wisniewski Z., Walaszczyk A., Maczewska A., Sopinski P. (2020) Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety. In: Karwowski W., Trzcielinski S., Mrugalska B. (eds) Advances in

Manufacturing, Production Management and Process Control. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 971. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20494-5_4.

Peng, X., Duan, L., & Yasağı, Y. (2026). Research on social science topics in the age of artificial intelligence. In *China E-Science Blue Book 2025* (pp. 351–370). Springer.

Pishgar, M., Issa, S. F., Sietsema, M., Pratap, P., & Darabi, H. (2022). REDECA: A framework to review artificial intelligence and its applications in occupational safety and health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Shneiderman, B. (2020). Human-centered artificial intelligence: Reliable, safe & trustworthy. *International Journal of Human–Computer Interaction, 36*(6), 495–504. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1741118

Şengöz, T. E., & Bozkurt, Y. (2025). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Sektörel İş Kazalarının Yapay Zekâ Teknolojileri ve Uzman Sistem Uygulamaları Yönünden İncelenmesi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları Ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, *8*(1), 17-44. https://doi.org/10.51764/smutgd.1678632

Tepe, S., (2021), "The Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety", *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci*., 33 (1), 122-130.

Yastıoğlu, S. (2023). Üretken yapay zekânın işletmelerde kullanımı: Fırsatlar ve tehditler. *Yönetim bilişim sistemleri: İşletmelerde dijital dönüşüm yönetimi içinde*, *1*, 213-238.

Yaşar, M. (2025). Kâğıt endüstrisinde ikiz dönüşüm: Yeşil ve dijital geleceğe doğru. *Ağaç ve Orman*, 6(2), 76–93.

Yaşar, M., & Saraçoğlu, T. (2021). Balıkesir ilinde tarım makinaları sanayi çalışanlarının iş güvenliği ve ergonomi algılarının değerlendirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 17(1), 1–13.

Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: Testing the effect of group climate on microaccidents in manufacturing jobs. *Journal of Applied Psychology, 85*(4), 587–596. https://doi.org/10.1037/0021-9010.85.4.587

https://doi.org/10.71284/asc.2026124

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA İŞ GÜCÜNÜN DÖNÜŞÜMÜ: İKAME, TAMAMLAYICILIK VE KARİYER UYUMLULUĞU

THE TRANSFORMATION OF THE WORKFORCE IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: SUBSTITUTION, COMPLEMENTARITY, AND CAREER ADAPTABILITY

Hasan Bozgeyikli[1]

Özet

Bu çalışma, yapay zekâ çağında iş gücünde ortaya çıkan dönüşümü ikame, tamamlayıcılık ve kariyer uyumluluğu kavramları çerçevesinde değerlendirmektedir. Çalışmada, yapay zekânın iş gücü piyasasında insan emeğini ne ölçüde ikame ettiği, hangi koşullarda insan becerilerini tamamlayıcı bir rol üstlendiği ve bu dönüşümün bireylerin kariyer gelişim süreçlerine nasıl yansıdığı sorularına odaklanılmıştır. Araştırma, nitel belge incelemesi ve yorumlayıcı sentez yaklaşımına dayanmaktadır. Bu kapsamda uluslararası kurumsal raporlar ile güncel akademik çalışmalar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bulgular, yapay zekâya maruz kalan işlerde beceri taleplerinin daha hızlı değiştiğini, teknik yapay zekâ becerilerinin ekonomik değer ürettiğini ve insan merkezli yetkinliklerin önemini koruduğunu göstermektedir. Özellikle analitik düşünme, iletişim, yaratıcılık, etik muhakeme, uyarlanabilirlik ve iş birliği gibi beceriler, teknik yeterliliklerle birlikte daha görünür hâle gelmektedir. Ayrıca dönüşümün, mesleklerin bütünüyle ortadan kalkmasından çok görevlerin yeniden yapılandırılması biçiminde ilerlediği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ çağındaki iş gücü dönüşümünün salt ikame mantığıyla açıklanamayacağı; insan-yapay zekâ tamamlayıcılığı, kariyer uyumluluğu ve yaşam boyu öğrenme kapasitesi ekseninde değerlendirilmesi gerektiği ileri sürülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, iş gücü dönüşümü, kariyer uyumluluğu, insan merkezli yetkinlikler, yaşam boyu öğrenme

Abstract

This study evaluates workforce transformation in the age of artificial intelligence within the framework of substitution, complementarity, and career adaptability. It focuses on the extent to which artificial intelligence substitutes for human labor, the conditions under which it complements human capabilities, and how this transformation is reflected in individuals' career development processes. The research is based on qualitative document analysis and an interpretive synthesis approach. In this context, international institutional reports and recent academic studies were examined comparatively. The findings indicate that skill demands change more rapidly in jobs exposed to artificial intelligence, that technical AI-related skills generate economic value, and that human-centered competencies continue to maintain their importance. In particular, competencies such as analytical thinking, communication, creativity, ethical judgment, adaptability, and collaboration become more visible when combined with technical skills. The findings also show that this transformation proceeds less through the total disappearance of occupations than through the restructuring of tasks within them. As a result, the study argues that workforce transformation in the age of artificial intelligence cannot be explained solely through substitution; rather, it should be understood through the framework of human-AI complementarity, career adaptability, and lifelong learning capacity.

Keywords: Artificial intelligence, workforce transformation, career adaptability, human-centered competencies, lifelong learning

[1]Prof. Dr., Selçuk Universitesi, Eğitim Fakültesi, Konya,Türkiye, hbozgeyikli@selcuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-6762-1990

GİRİŞ

Yapay zekâ (YZ) teknolojilerindeki hızlı gelişim, özellikle üretici yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte iş gücü piyasalarının yapısını, beceri taleplerini ve çalışma yaşamının örgütlenme biçimlerini yeniden şekillendiren başlıca dinamiklerden biri hâline gelmiştir. Bu dönüşüm, önceki otomasyon dalgalarından farklı olarak yalnızca rutin fiziksel işleri değil, veri işleme, metin üretimi, örüntü tanıma ve bazı yapılandırılmış bilişsel görevleri de etkilemektedir. Bu nedenle YZ'nin çalışma yaşamı üzerindeki etkisi yalnızca teknolojik verimlilik, maliyet azaltma ya da istihdam kaybı ekseninde değil; görevlerin yeniden dağılımı, becerilerin yeniden değerlenmesi ve bireylerin değişen iş koşullarına uyum süreçleri bağlamında ele alınmalıdır (Autor, 2015; Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Güncel literatürde öne çıkan temel tartışmalardan biri, yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkisinin ağırlıklı olarak ikame edici mi yoksa tamamlayıcı mı olduğudur. Bir yandan YZ'nin standartlaştırılmış, kurala dayalı ve tekrarlayan görevlerde insan emeğinin yerini alma potansiyeline sahip olduğu ileri sürülmektedir. Diğer yandan, birçok çalışma YZ'nin insan emeğini bütünüyle ortadan kaldırmaktan çok, işin içeriğini dönüştürdüğünü, çalışanları daha yüksek düzeyde değerlendirme, koordinasyon ve problem çözme gerektiren görevlere yönelttiğini göstermektedir (Chen et al., 2025; Mäkelä & Stephany, 2024). Bu durum, YZ'nin etkisinin yalnızca "iş kaybı" ya da "otomasyon" kavramlarıyla açıklanamayacağını; hangi görevlerin dönüştüğü, hangi becerilerin öne çıktığı ve bireylerin bu dönüşüme nasıl uyum sağladığı sorularının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu dönüşüm aynı zamanda bireylerin kariyer gelişimi açısından da yeni bir uyum alanı yaratmaktadır. Çünkü işlerin niteliği, beceri beklentileri ve mesleki roller değiştikçe bireylerin kariyer planlama, mesleki kimlik geliştirme, öğrenmeye açıklık ve belirsizlikle baş etme kapasiteleri daha kritik hâle gelmektedir. Kariyer psikolojik danışmanlığı alanında önemli bir kavram olan kariyer uyumluluğu, bireyin değişen çalışma koşulları karşısında hazırlık yapabilme, esnek düşünebilme, yeni beceriler geliştirebilme ve kariyer geçişlerini yönetebilme kapasitesine işaret etmektedir. Yapay zekâ çağında bu kapasite, yalnızca bireysel kariyer başarısı açısından değil, iş gücü piyasasındaki dönüşüme psikososyal uyum sağlama bakımından da stratejik bir önem taşımaktadır. Bu nedenle YZ'nin iş gücü üzerindeki etkisini değerlendirmek, aynı zamanda bireylerin değişen mesleki dünyaya nasıl hazırlandığını ve hangi yetkinliklerle bu süreci yönettiğini anlamayı da gerektirmektedir.

Güncel küresel raporlar, yapay zekâya daha fazla maruz kalan işlerde beceri profillerinin daha hızlı değiştiğini ve teknik yapay zekâ becerilerine yönelik talebin belirgin biçimde arttığını göstermektedir (PwC, 2025; World Economic Forum [WEF], 2025). Bununla birlikte analitik düşünme, iletişim, yaratıcılık, iş birliği, etik muhakeme ve uyarlanabilirlik gibi insan merkezli yetkinliklerin de önemini koruduğu, hatta birçok bağlamda daha görünür hâle geldiği anlaşılmaktadır (AI Workforce Consortium, 2025; LinkedIn, 2025). Bu tablo, geleceğin iş dünyasında başarılı olmanın yalnızca teknik uzmanlıkla açıklanamayacağını; bireylerin değişen görev yapıları içinde yeniden konumlanabilmelerini sağlayan psikososyal ve bilişsel kaynakların da belirleyici olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla kariyer uyumluluğu, yaşam boyu öğrenme ve insan merkezli yetkinlikler, YZ çağında iş gücü dönüşümünü anlamak için tamamlayıcı kavramlar hâline gelmektedir.

Bu bildiri, yapay zekâ çağında iş gücünün dönüşümünü ikame, tamamlayıcılık ve kariyer uyumluluğu eksenlerinde incelemektedir. Çalışmanın hareket noktası, YZ'nin etkisinin topyekûn bir ikame süreciyle açıklanamayacağı; dönüşümün daha çok görevlerin yeniden dağılımı, becerilerin yeniden bileşimi ve bireylerin kariyer uyum kapasiteleri üzerinden anlaşılması gerektiğidir.

Bu çerçevede bildiri, güncel küresel raporlar ve çalışma metinlerinden hareketle, YZ'nin beceri taleplerini nasıl dönüştürdüğünü, insan merkezli yetkinliklerin neden stratejik önemini koruduğunu ve kariyer psikolojik danışmanlığı açısından bu dönüşümün ne tür sonuçlar doğurduğunu tartışmaktadır. Böylece

çalışma, yapay zekâ çağındaki iş gücü dönüşümünü yalnızca ekonomik ve teknolojik bir mesele olarak değil, aynı zamanda bireyin kariyer gelişimi, uyum kapasitesi ve psikososyal hazırlığı açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

Yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkilerini açıklayabilmek için teknolojik dönüşümü yalnızca teknik kapasite artışı olarak değil, beceri yapıları, görev bileşimleri ve bireylerin değişen çalışma koşullarına uyum süreçleri üzerinden birlikte değerlendirmek gerekir. Bu bağlamda çalışma, öncelikle beceri yanlı teknolojik değişim yaklaşımından yararlanmaktadır. Bu yaklaşım, teknolojik yeniliklerin iş gücü piyasasını homojen biçimde etkilemediğini; belirli becerileri ödüllendirirken bazı becerilerin değerini azaltabildiğini savunur. Dolayısıyla teknolojik değişim, tüm çalışanları eşit biçimde etkileyen nötr bir süreç değil, emek talebini beceri düzeyine, görev türüne ve uyum kapasitesine göre yeniden dağıtan seçici bir dinamik olarak kavranmaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte bu seçicilik daha görünür hâle gelmiş; veri işleme, dijital okuryazarlık, model kullanımı ve analitik muhakeme gibi beceriler öne çıkarken, daha kolay standardize edilebilen görevlerin göreli değeri zayıflamaya başlamıştır (Autor, 2015).

Bununla birlikte yapay zekânın etkisini yalnızca beceri yanlı dönüşüm mantığıyla açıklamak yeterli değildir. Çünkü çalışma yaşamında teknolojinin anlamı, yalnızca hangi görevleri otomatikleştirdiğiyle değil, kurumların bu teknolojiyi nasıl benimsediği, yönettiği ve denetlediğiyle de ilişkilidir. Bu nedenle çalışmanın ikinci kuramsal dayanağını sosyo-teknik sistemler yaklaşımı oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, organizasyonları teknoloji ile insanın basit bir toplamı olarak değil; görevler, karar süreçleri, kurumsal normlar, denetim mekanizmaları ve değer yapılarıyla birlikte işleyen bütünsel sistemler olarak ele alır. Bu çerçevede YZ, yalnızca operasyonel verimlilik sağlayan bir araç değil; aynı zamanda güven, sorumluluk, etik muhakeme ve örgütsel uyum meselelerini yeniden şekillendiren bir unsur olarak değerlendirilmelidir. Herrmann ve Pfeiffer'in (2023) belirttiği gibi, insan merkezli yapay zekâ yalnızca bireyin sistem içinde kalmasını değil, kurumun da değerlendirme ve karar süreçlerinde etkin biçimde yer almasını gerektirir.

İnsan emeğinin otomasyona karşı direnç noktalarını anlamada Polanyi Paradoksu ve Moravec Paradoksu da açıklayıcı çerçeveler sunmaktadır. Polanyi Paradoksu, insanların bildikleri birçok şeyi açık, biçimsel ve kodlanabilir kurallara dönüştürmekte zorlandıklarını; dolayısıyla örtük bilginin tümüyle algoritmik hale getirilemediğini ileri sürer. Bu nedenle insan uzmanlığı yalnızca ifade edilebilir prosedürlerden değil, deneyimle gelişen sezgisel ve bağlamsal muhakeme biçimlerinden de oluşur. Moravec Paradoksu ise insanlar için görece kolay olan algısal, sezgisel ve sosyal becerilerin makineler için zor; buna karşılık insanlar için zor görünen bazı hesaplamalı işlemlerin makineler için daha kolay olabildiğini göstermektedir. Yapay zekâ alanındaki gelişmeler bu sınırların bir kısmını zorlamış olsa da, empati, etik değerlendirme, çok aktörlü iletişim, bağlamsal duyarlılık ve belirsizlik altında karar verme gibi alanlarda insan katkısı belirleyici olmaya devam etmektedir (Indeed Hiring Lab & World Economic Forum, 2025).

Bu çerçevede çalışmanın merkezinde yer alan ilk kavram ikamedir. İkame, teknolojinin daha önce insan tarafından yerine getirilen görevleri devralması ve buna bağlı olarak belirli işlevlere ya da becerilere olan talebin azalması anlamına gelir. Özellikle standartlaştırılmış, tekrarlayan ve açık kurallarla tanımlanabilen görevler, yapay zekâ temelli otomasyon açısından daha yüksek risk taşımaktadır. Üretici yapay zekâ uygulamaları bu alanı daha da genişletmiş; yalnızca fiziksel değil, bazı bilişsel ve dil temelli görevlerde de otomasyon olasılığını artırmıştır. Ancak güncel bulgular, iş gücü dönüşümünü yalnızca ikame mantığıyla açıklamanın yetersiz kaldığını göstermektedir. Çünkü birçok meslekte yapay zekâ, işin tümünü ortadan kaldırmaktan çok, işin içindeki görevleri yeniden dağıtmakta ve çalışanları daha karmaşık, daha yorumlayıcı ve daha yüksek sorumluluk gerektiren alanlara yöneltmektedir (Chen et al., 2025).

Bu nedenle ikinci temel kavram tamamlayıcılıktır. Tamamlayıcılık, teknolojinin insan emeğinin yerini almak yerine onun üretkenliğini, doğruluğunu, hızını ya da etki kapasitesini artırması anlamına gelir. Bu ilişki özellikle karar desteği, yaratıcı üretim, problem çözme, koordinasyon ve müşteri etkileşimi gerektiren

işlerde daha belirgin hâle gelmektedir. YZ ile ilişkili işlerde yalnızca teknik becerilerin değil, iletişim, takım çalışması, dijital koordinasyon ve dayanıklılık gibi insan becerilerinin de daha fazla talep görmesi bu duruma işaret etmektedir (Mäkelä & Stephany, 2024). Başka bir ifadeyle teknolojik dönüşüm, bazı görevleri otomatikleştirirken aynı anda yeni beceri kombinasyonları üretmekte ve insan katkısının niteliğini değiştirmektedir. Bu açıdan yapay zekâ, salt yer değiştirici bir kuvvetten çok, belirli koşullar altında insan becerilerini güçlendiren bir tamamlayıcı olarak işlev görebilmektedir.

Bu bağlamda insan merkezli yetkinlikler, yapay zekâ çağında ikincil değil, doğrudan stratejik öneme sahip beceriler olarak öne çıkmaktadır. Analitik düşünme, yaratıcı muhakeme, iletişim, iş birliği, etik duyarlılık, öz düzenleme ve uyarlanabilirlik, yalnızca bireysel kariyer başarısını değil, aynı zamanda kurumsal güvenilirliği ve sürdürülebilir performansı da belirlemektedir. Özellikle üretici yapay zekâ uygulamalarının hata üretme, önyargı taşıma ya da bağlamsal yanlışlık üretme riskleri düşünüldüğünde, insanın değerlendirme ve düzeltme kapasitesi vazgeçilmezdir. Bu nedenle YZ çağında değer kazanan beceriler yalnızca teknik uzmanlıktan ibaret değildir; teknik kapasite ile insani muhakemenin birlikte işletilebildiği hibrit yetkinlik yapıları daha belirleyici hâle gelmektedir (AI Workforce Consortium, 2025; World Economic Forum [WEF], 2025).

Çalışmanın kariyer psikolojik danışmanlığı açısından temel kavramlarından biri ise kariyer uyumluluğudur. Kariyer uyumluluğu, bireyin değişen iş ve yaşam koşulları karşısında mesleki geleceğini planlama, olası geçişlere hazırlanma, yeni rollere uyum sağlama ve kariyer gelişim görevlerini yönetme kapasitesini ifade etmektedir. Kariyer inşası kuramı çerçevesinde bu kavram, bireyin mesleki belirsizliklerle baş etme ve değişen çevresel taleplere yanıt verme gücünü açıklayan temel psikososyal kaynaklardan biri olarak ele alınmaktadır (Savickas, 2005, 2013). Savickas ve Porfeli'ye (2012) göre kariyer uyumluluğu; ilgi, kontrol, merak ve güven boyutları aracılığıyla bireyin kariyer geçişlerine hazırlanmasını ve bu geçişleri etkili biçimde yönetmesini mümkün kılmaktadır. Yapay zekâ çağında işlerin içeriğinin, beceri beklentilerinin ve mesleki rollerin hızlı biçimde değişmesi, bu kavramı daha da merkezi hâle getirmektedir. Çünkü bireyler yalnızca yeni teknik beceriler edinme ihtiyacıyla değil, aynı zamanda belirsizlikle baş etme, yeniden yönelim geliştirme, öğrenmeye açıklık gösterme ve mesleki öz-yeterliklerini sürdürme gereksinimiyle de karşı karşıyadır. Bu nedenle kariyer uyumluluğu, yapay zekâ kaynaklı iş gücü dönüşümünün birey düzeyindeki psikolojik ve gelişimsel sonuçlarını anlamada açıklayıcı bir çerçeve sunmaktadır. Nitekim kariyer uyumluluğunun iş doyumu, kariyer kararı, istihdam edilebilirlik ve değişen çalışma koşullarına uyum ile anlamlı biçimde ilişkili olduğu gösterilmiştir (Rudolph et al., 2017).

Kariyer uyumluluğu ile insan merkezli yetkinlikler arasındaki ilişki de bu bağlamda önemlidir. Uyarlanabilirlik, problem çözme, öz farkındalık, karar verme, iletişim ve öğrenmeye açıklık gibi beceriler hem iş gücü piyasasında değer kazanan yetkinliklerdir hem de bireyin kariyer gelişim görevlerini yönetmesine yardımcı olan psikososyal kaynaklardır. Dolayısıyla yapay zekâ çağında kariyer danışmanlığı, yalnızca meslek seçimine rehberlik eden bir alan olmaktan çıkmakta; bireylerin değişen çalışma yaşamına hazırlanmasını, beceri farkındalığı geliştirmesini ve belirsizlik karşısında dayanıklılık kazanmasını destekleyen daha dinamik bir işlev üstlenmektedir. Bu açıdan kariyer psikolojik danışmanlığı, YZ kaynaklı dönüşümün birey üzerindeki etkilerini anlamak ve bireyin bu değişime uyumunu desteklemek açısından önemli bir uygulama alanı sunmaktadır (Savickas, 2013).

Son olarak McKinsey & Company'nin (2025) geliştirdiği superagency kavramı, tamamlayıcılık yaklaşımının güncel ve uygulamalı bir ifadesi olarak önem taşımaktadır. Superagency, bireylerin yapay zekâyı pasif bir otomasyon sistemi olarak değil, üretkenliklerini, yaratıcılıklarını ve etki alanlarını genişleten bir güçlendirme aracı olarak kullanabilmesi durumunu ifade eder. Bu yaklaşım, YZ'nin gerçek değerinin insanı sistemden çıkarmakta değil, insanın kapasitesini ölçeklendirmekte aranması gerektiğini savunmaktadır. Kariyer psikolojik danışmanlığı açısından bakıldığında bu çerçeve, bireyin değişen teknolojik çevre içinde edilgen biçimde uyum sağlayan değil, yeni olanakları tanıyan, becerilerini dönüştüren ve kariyer gelişimini aktif biçimde yöneten bir özne olarak ele alınmasını desteklemektedir. Dolayısıyla bu çalışma, yapay zekâ

çağında iş gücü dönüşümünü yalnızca ikame ve tamamlayıcılık ekseninde değil, aynı zamanda bireyin kariyer uyumluluğu kapasitesi açısından da değerlendirmektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ çağında iş gücünde gözlenen dönüşümü ikame, tamamlayıcılık ve kariyer uyumluluğu eksenlerinde incelemektir. Çalışma, yapay zekânın iş gücü piyasası üzerindeki etkilerini yalnızca teknik beceri talebi ve görev yapılarındaki değişim bakımından değil, aynı zamanda bireylerin değişen çalışma yaşamına uyum sağlama gereksinimleri ve kariyer gelişim süreçleri açısından da değerlendirmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda çalışma, yapay zekâ entegrasyonu ile birlikte hangi becerilerin öne çıktığını, insan merkezli yetkinliklerin neden stratejik önemini koruduğunu ve bu dönüşümün kariyer psikolojik danışmanlığı açısından ne tür sonuçlar doğurduğunu açıklamayı amaçlamaktadır. Çalışmanın temel sorusu, yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkisinin ağırlıklı olarak ikame edici mi, yoksa insan becerilerini yeniden konumlandıran tamamlayıcı bir yapıda mı olduğudur.

Çalışmanın önemi, yapay zekâ tartışmalarını yalnızca otomasyon, verimlilik ya da istihdam kaybı ekseninde ele almak yerine, bireyin kariyer gelişimi ve uyum kapasitesi açısından da değerlendirmesinde yatmaktadır. Güncel iş gücü dönüşümü, bireylerin yalnızca yeni teknik beceriler edinmesini değil, aynı zamanda belirsizlikle baş etme, öğrenmeye açıklık geliştirme, kariyer geçişlerini yönetme ve değişen iş koşullarına uyum sağlama becerilerini de gerekli kılmaktadır. Bu nedenle çalışma, yapay zekâ çağında insan merkezli yetkinliklerin ve kariyer uyumluluğunun önemini görünür kılarak kariyer psikolojik danışmanlığı alanına kuramsal ve uygulamalı katkı sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca çalışma, yapay zekâ çağında kariyer danışmanlığı hizmetlerinin yalnızca meslek seçimine odaklanan bir yapıdan çıkıp, bireylerin değişen iş yaşamına hazırlanmasını destekleyen daha dinamik bir rehberlik alanına dönüştüğünü tartışmaya açmaktadır.

2.2. İnceleme Kapsamı ve Veri Kaynakları

Çalışmanın inceleme kapsamını, yapay zekâ çağında iş gücü dönüşümü, beceri talebi, insan-yapay zekâ etkileşimi ve kariyer gelişimi üzerine yayımlanmış güncel kurumsal raporlar ile akademik çalışmalar oluşturmaktadır. Bu kapsam içinde, çalışmanın amacıyla doğrudan ilişkili, güncel veri sunan ve iş gücü dönüşümünü çok boyutlu biçimde ele alan metinler değerlendirmeye alınmıştır. İnceleme kapsamı belirlenirken, seçilen kaynakların yalnızca teknolojik değişimi değil, aynı zamanda bu değişimin insan becerileri, görev yapıları ve bireysel uyum süreçleri üzerindeki etkilerini ele almasına dikkat edilmiştir.

Veri kaynakları amaçlı seçim anlayışıyla belirlenmiştir. Bu doğrultuda World Economic Forum'un *The Future of Jobs Report 2025* başlıklı raporu, PwC'nin *The Fearless Future: 2025 Global AI Jobs Barometer* çalışması, McKinsey & Company'nin *Superagency in the Workplace* raporu, AI Workforce Consortium'un 2025 tarihli raporu, LinkedIn'in 2025 beceri ve öğrenme raporları, Indeed Hiring Lab ile World Economic Forum'un ortak araştırması, Harvard Business School çalışma kâğıdı ve Mäkelä ile Stephany'nin (2024) çalışması veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu kaynaklar; beceri dönüşümü, iş gücü talebi, ücret dinamikleri, insan-yapay zekâ tamamlayıcılığı ve kariyer uyumluluğu açısından anlamlı bulgular sunmaları nedeniyle seçilmiştir. Amaçlı seçim, araştırma sorusuna en fazla katkı sağlayabilecek bilgi açısından zengin kaynakların bilinçli biçimde belirlenmesine dayanmaktadır (Patton, 2002).

Bu çalışmada klasik anlamda nicel bir örneklemden söz etmek yerine, inceleme kapsamına alınan belge ve raporların araştırma problemini temsil gücü esas alınmıştır. Çünkü çalışma, bireylerden ya da kurumlardan doğrudan veri toplayan bir saha araştırması değil; ikincil kaynaklara dayalı bir belge incelemesidir. Bu nedenle veri kaynaklarının çeşitliliği, güncelliği ve konuya doğrudan temas etmesi temel seçim ölçütleri olarak kabul edilmiştir.

2.3. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada nitel belge incelemesi yöntemi kullanılmıştır. Belge incelemesi, araştırma problemiyle ilişkili yazılı materyallerin sistematik biçimde toplanması, okunması, değerlendirilmesi ve yorumlanmasına dayanan bir nitel araştırma yaklaşımıdır (Bowen, 2009; Karasar, 2020). Bu yöntemin tercih edilme nedeni, yapay zekâ çağında iş gücü dönüşümünün çok boyutlu, disiplinler arası ve güncel raporlarla izlenebilen bir olgu olmasıdır. Çalışma, birincil saha verisi üretmek yerine, geniş ölçekli kurumsal veri setlerine dayanan raporları ve ilgili akademik çalışmaları karşılaştırmalı biçimde inceleyerek yorumlayıcı bir bütünlük kurmayı amaçlamaktadır.

Araştırmada ayrıca yorumlayıcı sentez yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, farklı kaynaklarda yer alan bulguların yalnızca betimlenmesini değil, ortak örüntüler, kavramsal yakınlıklar ve ayrışma noktaları üzerinden yeniden anlamlandırılmasını mümkün kılar (Creswell & Poth, 2018; Snyder, 2019). Bu çerçevede çalışma, yapay zekânın iş gücü piyasası üzerindeki etkilerini tek bir gösterge üzerinden değil; beceri talebi, ekonomik değer, görev yeniden dağılımı ve bireysel uyum kapasitesi eksenlerinde birlikte değerlendirmektedir. Böylece teknolojik dönüşümün yalnızca yapısal değil, aynı zamanda psikososyal boyutları da görünür kılınmaktadır.

Veri analizi sürecinde metinler sistematik biçimde okunmuş ve içerikler tematik olarak çözümlenmiştir. Analiz, üç temel eksen etrafında yürütülmüştür: beceri talebindeki dönüşüm, ekonomik değer ve ücret primleri ile görev yeniden dağılımı ve kariyer uyumluluğu. İlk eksende yapay zekâya maruz işlerde hangi teknik ve insan merkezli becerilerin öne çıktığı incelenmiştir.

İkinci eksende, yapay zekâ becerilerinin iş gücü piyasasında nasıl bir ekonomik karşılık ürettiği ve hangi beceri kombinasyonlarının daha yüksek değer yarattığı değerlendirilmiştir. Üçüncü eksende ise yapay zekânın meslekleri bütünüyle ortadan kaldırmaktan çok görev yapılarını nasıl dönüştürdüğü ve bu dönüşümün bireylerin kariyer gelişimi, uyum kapasitesi ve yaşam boyu öğrenme gereksinimleri açısından ne anlam taşıdığı yorumlanmıştır. Bu tematik yapı, hem çalışmanın kuramsal çerçevesiyle hem de araştırma problemindeki ikame-tamamlayıcılık-kariyer uyumluluğu ilişkisiyle uyumlu biçimde oluşturulmuştur.

Çalışmada yalnızca betimleyici rapor özeti yapılmamış; farklı kaynaklarda yinelenen bulgular karşılaştırılmış, ortak temalar belirlenmiş ve bu temalar kariyer psikolojik danışmanlığı açısından anlamlandırılmıştır. Bu yönüyle analiz süreci, yapay zekâ çağında iş gücü dönüşümünü yalnızca makro düzeyde bir istihdam sorunu olarak değil, aynı zamanda bireyin kariyer planlama, belirsizlikle baş etme, beceri geliştirme ve mesleki uyum süreçleriyle ilişkili bir dönüşüm alanı olarak ele almıştır.

Bu yöntemin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle çalışma, birincil veri üretmeyen ve ikincil kaynaklara dayanan bir araştırmadır. Bu nedenle ulaşılan sonuçlar, kullanılan raporların veri kapsamı ve yöntemsel sınırları ile çerçevelenmektedir. Ayrıca incelenen kurumsal raporların örneklem yapıları, veri toplama süreçleri ve analiz ölçütleri birbirinden farklıdır. Bu durum, kaynaklar arasında tam karşılaştırılabilirlik sağlamayı güçleştirebilmektedir. Bununla birlikte çalışmanın amacı, belirli bir ülke ya da meslek grubuna ilişkin kesin nicel genellemeler üretmek değil; yapay zekâ çağında iş gücü dönüşümüne ilişkin baskın eğilimleri çok kaynaklı bir bakışla değerlendirmek ve bu eğilimlerin kariyer uyumluluğu açısından taşıdığı anlamı tartışmaktır. Bu nedenle nitel belge incelemesi ve yorumlayıcı sentez yaklaşımının, çalışmanın amacıyla uyumlu ve yeterli bir yöntemsel zemin sunduğu değerlendirilmektedir.

3. BULGULAR

İncelenen raporlar ve çalışma metinleri, yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkisinin tek boyutlu bir otomasyon süreciyle açıklanamayacağını; bunun yerine beceri talebi, ekonomik değer üretimi ve görev yapılarındaki yeniden dağılım üzerinden çok katmanlı bir dönüşüm yarattığını göstermektedir. Bulgular, özellikle üretici yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte işlerin yalnızca niceliksel düzeyde değil, içeriksel ve işlevsel düzeyde de yeniden tanımlandığını ortaya koymaktadır. Bu dönüşümün bazı

görevlerde ikame baskısı yarattığı, ancak birçok bağlamda insan-yapay zekâ tamamlayıcılığına dayalı yeni rol ve beceri bileşimlerini güçlendirdiği görülmektedir. Bulgular bu doğrultuda beceri talebindeki dönüşüm, ekonomik değer ve ücret primleri ile görev yeniden dağılımı ve uyum gereksinimi olmak üzere üç eksende ele alınmıştır.

3.1. Beceri Talebinde Dönüşüm

İncelenen kaynakların ortaklaştığı ilk temel bulgu, yapay zekâya daha fazla maruz kalan işlerde beceri profillerinin daha hızlı değiştiğidir. PwC'nin küresel iş ilanları verilerine dayanan 2025 tarihli değerlendirmesi, yapay zekâya maruz kalan işlerde işverenlerin talep ettiği becerilerin daha düşük maruziyete sahip işlere kıyasla daha hızlı dönüştüğünü göstermektedir (PwC, 2025).

Bu bulgu, yapay zekânın yalnızca yeni teknoloji temelli meslekler üretmediğini; aynı zamanda mevcut işlerin içeriğini ve bu işlere ilişkin yeterlilik beklentilerini de yeniden tanımladığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle dönüşüm, yalnızca yeni iş alanlarının ortaya çıkmasından ibaret değildir; mevcut mesleklerin beceri bileşimleri de hızla değişmektedir.

Bu değişimin en görünür boyutlarından biri, teknik yapay zekâ becerilerine yönelik talepteki artıştır. Büyük dil modelleriyle çalışma, veri okuryazarlığı, model denetimi, üretici yapay zekâ uygulamaları, algoritmik yönetişim, güvenlik ve yapay zekâ risk yönetimi gibi alanlar yeni dönemin önemli beceri kümeleri arasında yer almaktadır. AI Workforce Consortium'un 2025 raporu, özellikle bilgi ve iletişim teknolojileri rollerinde yapay zekâ ile ilişkili becerilerin belirgin biçimde yaygınlaştığını ve bazı teknoloji rollerinde bu becerilerin temel yeterlilik niteliği kazandığını göstermektedir (AI Workforce Consortium, 2025). LinkedIn'in 2025 beceri analizleri de AI okuryazarlığının yükselen yetkinliklerden biri olduğunu ortaya koymaktadır (LinkedIn, 2025).

Bununla birlikte bulgular, teknik becerilere yönelik artan talebin insan merkezli yetkinlikleri geri plana itmediğini göstermektedir. Analitik düşünme, yaratıcı problem çözme, etkili iletişim, takım çalışması, etik muhakeme, uyarlanabilirlik ve öğrenmeye açıklık gibi becerilerin önemini koruduğu anlaşılmaktadır. World Economic Forum'un 2025 raporu, analitik düşünme, yaratıcı düşünme, dayanıklılık, esneklik ve çevikliğin geleceğin iş dünyasında temel beceriler arasında yer almaya devam edeceğini vurgulamaktadır (World Economic Forum [WEF], 2025). Indeed Hiring Lab ile World Economic Forum'un ortak çalışması da empati, aktif dinleme ve bağlamsal problem çözme gibi insan merkezli becerilerin yapay zekâ tarafından tam anlamıyla ikame edilmesinin sınırlı olduğunu göstermektedir (Indeed Hiring Lab & World Economic Forum, 2025).

Bu bulgular, iş gücü piyasasında öne çıkan yapının teknik ve insan merkezli becerilerin birbirini dışladığı bir yapı olmadığını göstermektedir. Tersine, teknik yeterliliklerin yanında uyarlanabilirlik, iletişim, problem çözme ve öğrenmeye açıklık gibi becerilerin de önem kazandığı görülmektedir. Böylece yapay zekâ çağında beceri talebi, daha melez ve çok boyutlu bir nitelik kazanmaktadır.

3.2. Ekonomik Değer ve Ücret Primleri

İncelenen raporların ortaya koyduğu ikinci temel bulgu, yapay zekâ ile ilişkili becerilerin iş gücü piyasasında doğrudan ekonomik değer üretmesidir. PwC'nin 2025 tarihli küresel değerlendirmesine göre, yapay zekâ becerilerine sahip çalışanlar aynı işte bu becerilere sahip olmayanlara kıyasla ücret primi elde etmektedir (PwC, 2025). Bu bulgu, yapay zekâ ile ilişkili bilgi ve yetkinliklerin yalnızca geleceğe dönük bir avantaj değil, güncel iş gücü piyasasında doğrudan karşılığı olan bir sermaye türü hâline geldiğini göstermektedir.

Ekonomik değer üretimi yalnızca bireysel ücret farklılıkları düzeyinde de kalmamaktadır. Yapay zekâya daha açık sektörlerde çalışan başına gelir artışının daha belirgin olduğu ve verimlilik etkisinin daha güçlü

seyrettiği görülmektedir (PwC, 2025). Bu durum, yapay zekânın yalnızca maliyet azaltıcı bir araç olarak değil, çalışanların çıktı kalitesini, hızını ve etki alanını artıran bir üretkenlik çarpanı olarak işleyebildiğini göstermektedir.

Özellikle karar desteği, veri analizi, içerik üretimi ve süreç optimizasyonu gibi alanlarda yapay zekâ, çalışanların zamanını daha yüksek değerli faaliyetlere yöneltmelerini mümkün kılabilmektedir.

Bununla birlikte ekonomik getirinin yalnızca teknik becerilerden kaynaklanmadığı da görülmektedir. Mäkelä ve Stephany'nin (2024) çalışması, yapay zekâ ile ilişkili rollerin ücret ve talep açısından daha güçlü sonuçlar üretmesinin, bu rollerin çoğu zaman analitik düşünme, koordinasyon, dijital iş birliği ve iletişim gibi tamamlayıcı insan becerileriyle birleşmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, iş gücü piyasasında yüksek değerli rollerin yalnızca teknik bilgiye değil, teknik uzmanlık ile sosyal ve bilişsel yetkinliklerin birlikte kullanılmasına dayandığını ortaya koymaktadır.

Bu veriler, ekonomik değerin teknik becerilerin tek başına varlığından çok, farklı beceri türlerinin birleşimiyle güçlendiğini göstermektedir. Aynı zamanda yapay zekâya uyum sağlayabilen ve yeni beceri beklentilerine yanıt verebilen çalışanların iş gücü piyasasında daha avantajlı konuma geçtiği görülmektedir. Buna karşılık teknik becerilere erişimi sınırlı ve yeniden öğrenme fırsatları daha zayıf olan çalışan grupları daha kırılgan görünmektedir. Bu nedenle ekonomik değer üretimi ile beceri uyumu arasında yakın bir ilişki bulunduğu söylenebilir.

3.3. Görev Yeniden Dağılımı ve Uyum Gereksinimi

Bulguların üçüncü ve en belirleyici boyutu, yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkisinin meslekleri bütünüyle ortadan kaldırmaktan çok görevlerin iç yapısını yeniden düzenlemesidir. World Economic Forum'un 2025 projeksiyonları, önümüzdeki yıllarda önemli sayıda işin yer değiştireceğini, ancak bunun aynı zamanda yeni işlerin ve rol türlerinin ortaya çıkışıyla birlikte gerçekleşeceğini göstermektedir (WEF, 2025). Bu tablo, iş gücü dönüşümünün yalnızca iş kaybı üzerinden değil, yeniden yapılanma ve yeniden bileşim üzerinden okunması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Harvard Business School çalışma kâğıdı, bu dönüşümün özellikle görev düzeyinde anlaşılması gerektiğini göstermektedir. Chen ve arkadaşlarına (2025) göre üretici yapay zekâ, yapılandırılmış bilişsel görevlerde daha belirgin bir ikame baskısı yaratırken; insan değerlendirmesi, bağlamsal yorum, denetim ve koordinasyon gerektiren görevlerde tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Bu bulgu, aynı meslek içinde bile farklı görevlerin farklı otomasyon düzeylerine açık olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yapay zekânın etkisi, meslek kategorilerini topyekûn ortadan kaldırmaktan çok, bu mesleklerin içindeki görev önceliklerini ve ağırlıklarını yeniden dağıtmaktadır.

AI Workforce Consortium'un raporu da bilişsel işlerin belirli bölümleri otomatikleştikçe çalışanların uygulama, izleme ve tekrarlayan işlem kümelerinden güvenlik, yönetişim, problem çözme ve stratejik koordinasyon gibi daha yüksek değerli faaliyetlere kayabildiğini göstermektedir (AI Workforce Consortium, 2025). Bu durum, otomasyonun her zaman işin ortadan kalkması anlamına gelmediğini; çoğu durumda işin içindeki insan katkısının yerinin ve niteliğinin değiştiğini ortaya koymaktadır.

Özellikle teknoloji, danışmanlık, bilgi hizmetleri ve yaratıcı üretim gibi alanlarda yapay zekâ, çalışanların zamanını daha karmaşık ve yorum gerektiren görevlere yöneltmelerine olanak tanımaktadır.

Görevlerin yeniden dağıtılması, çalışanlardan daha yüksek düzeyde uyum kapasitesi talep eden bir yapı da üretmektedir. İş tanımlarının, rol beklentilerinin ve beceri gereksinimlerinin daha hızlı değiştiği bir ortamda bireylerin öğrenmeye açıklık, esneklik ve yeniden yönelim geliştirme kapasitesinin daha görünür hâle geldiği anlaşılmaktadır. Bu durum, kariyer uyumluluğuyla ilişkilendirilebilecek bireysel kaynakların önem kazandığını göstermektedir.

Görev dönüşümü, yeni rol türlerinin ortaya çıkmasında da gözlemlenmektedir. AI/ML engineer, AI risk and governance specialist, NLP engineer ve benzeri pozisyonların yükselişi, yapay zekânın yalnızca mevcut işleri dönüştürmediğini, aynı zamanda yeni uzmanlık alanları da yarattığını göstermektedir (AI Workforce Consortium, 2025). Ancak bu yeni rollerin önemli bir kısmı yalnızca teknik görevlerden oluşmamakta; etik değerlendirme, kurumsal koordinasyon, risk yönetimi ve iletişim gibi boyutları da içermektedir. Bu bulgu, geleceğin iş gücü rollerinin giderek daha fazla melezleştiğini göstermektedir.

Bununla birlikte görev dönüşümünün her sektör ve her çalışan grubu için eşit etkiler üretmediği de açıktır. Rutin ve standardize edilebilir iş içeriklerine daha fazla sahip olan roller otomasyon baskısına daha açık görünürken, yüksek düzeyde bağlamsal değerlendirme, insan etkileşimi ve sorumluluk gerektiren roller daha dirençli kalmaktadır. Bu nedenle yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkisi, toplam istihdam sayısından çok, istihdamın niteliği ve iş içeriğinin nasıl yeniden düzenlendiği üzerinden izlenmelidir.

Genel olarak bulgular, yapay zekâ çağında iş gücü dönüşümünün üç temel özelliğini ortaya koymaktadır: beceri profilleri daha hızlı değişmektedir, ekonomik değer teknik ve insan merkezli yetkinliklerin birleştiği rollerde yoğunlaşmaktadır ve işlerin geleceği büyük ölçüde mesleklerin ortadan kalkmasından çok görevlerin yeniden yapılandırılması üzerinden şekillenmektedir. Bu örüntü, belirli görevlerde ikame baskısı bulunsa da daha geniş ölçekte insan-yapay zekâ tamamlayıcılığına dayalı bir yeniden yapılanmanın öne çıktığını göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen bulgular, yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkisinin tek yönlü ve homojen bir otomasyon süreci olarak değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Başlıktaki ikame, tamamlayıcılık ve kariyer uyumluluğu eksenleri birlikte ele alındığında, dönüşümün yalnızca bazı görevlerin otomasyonuna indirgenemeyecek kadar çok boyutlu olduğu görülmektedir. İncelenen raporlar, yapılandırılmış ve tekrarlayan görevlerde ikame baskısının arttığını doğrulamakla birlikte, daha geniş düzeyde gözlenen örüntünün görevlerin yeniden dağılımı, yeni beceri kombinasyonlarının oluşumu ve insan-yapay zekâ tamamlayıcılığı yönünde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle yapay zekâ çağındaki iş gücü dönüşümünü açıklamak için en uygun yaklaşım, topyekûn ikame varsayımından çok, görev temelli yeniden yapılanma ve koşullu tamamlayıcılık çerçevesidir.

Bulguların ilk önemli sonucu, teknik yapay zekâ becerilerinin yükselişinin insan merkezli yetkinlikleri değersizleştirmediği, tersine onların stratejik önemini daha görünür hâle getirdiğidir. Yapay zekâ okuryazarlığı, veri analizi, model kullanımı, güvenlik ve yönetişim gibi teknik beceriler iş gücü piyasasında giderek daha fazla talep görmektedir. Ancak bu teknik kapasitenin tek başına yeterli olmadığı da açık biçimde ortaya çıkmaktadır. Çünkü yapay zekâ ile çalışan sistemlerin etkili, güvenilir ve sorumlu biçimde işletilebilmesi; analitik düşünme, yaratıcı problem çözme, iletişim, koordinasyon, etik muhakeme ve bağlamsal değerlendirme gibi insan merkezli becerilere bağlıdır. Bu durum, yapay zekâ çağında değer kazanan yetkinliklerin yalnızca teknik uzmanlıktan ibaret olmadığını; teknik yeterlilik ile insani muhakemenin birlikte işletilebildiği hibrit beceri yapılarının öne çıktığını göstermektedir. Dolayısıyla iş gücü piyasasında yaşanan dönüşüm, bir becerinin başka bir beceriyi tümüyle ikame ettiği doğrusal bir süreçten çok, becerilerin yeniden bileşimi olarak değerlendirilebilir.

Bu sonuç, beceri yanlı teknolojik değişim yaklaşımının yapay zekâ bağlamında yeniden düşünülmesini de gerekli kılmaktadır. Geleneksel olarak bu yaklaşım, teknolojinin yüksek becerili emeği ödüllendirirken daha düşük becerili emeği baskıladığı savı üzerinden açıklanmıştır. Ancak mevcut bulgular, yapay zekâ çağında "yüksek beceri" kavramının yalnızca teknik uzmanlıkla sınırlı olmadığını göstermektedir. Güncel çalışma yaşamında yüksek değer üreten roller, teknik bilgi ile iletişim, koordinasyon, etik duyarlılık, yaratıcılık ve uyum kapasitesinin birleştiği alanlarda yoğunlaşmaktadır. Bu bakımdan yapay zekâ, yalnızca teknik uzmanları ödüllendiren bir sistem kurmamakta; teknik ve insani yetkinlikleri birlikte taşıyabilen çalışanları daha avantajlı bir konuma yerleştirmektedir. Bu bulgu, hem Mäkelä ve Stephany'nin (2024) tamamlayıcılık

vurgusuyla hem de AI Workforce Consortium'un (2025) insan becerilerinin önemini koruduğuna ilişkin saptamalarıyla uyumludur.

Çalışmanın ikinci önemli sonucu, iş gücü piyasasında yaşanan dönüşümün esas olarak mesleklerin bütünüyle ortadan kalkmasından çok görevlerin yeniden düzenlenmesi biçiminde ilerlediğidir. Özellikle üretici yapay zekâ uygulamalarının gelişmesiyle birlikte, bazı yapılandırılmış bilişsel görevlerin daha yüksek otomasyon baskısına açık hâle geldiği görülmektedir. Buna karşılık insan etkileşimi, bağlamsal yorum, değerlendirme, denetim ve sorumluluk gerektiren görevler daha dirençli kalmaktadır. Bu durum, Polanyi Paradoksu ve Moravec Paradoksu çerçevesinde de anlamlıdır. Yapay zekâ, açık biçimde tanımlanabilir ve veri temelli görevlerde insan üstünlüğünü aşındırabilmekte; ancak örtük bilgi, sosyal sezgi, etik değerlendirme ve çok boyutlu muhakeme içeren alanlarda insan katkısını bütünüyle ortadan kaldıramamaktadır. Bu nedenle yapay zekâ çağında asıl dönüşüm, insanın sistem dışına çıkarılması değil, sistem içindeki katkısının yeniden tanımlanmasıdır.

Tam da bu noktada kariyer uyumluluğu kavramı daha merkezi hâle gelmektedir. İş tanımlarının, rol beklentilerinin ve beceri gereksinimlerinin hızla değiştiği bir çalışma yaşamında bireylerin yalnızca yeni bilgi edinmesi yeterli değildir. Aynı zamanda belirsizlikle baş etme, yeni olasılıkları keşfetme, kariyer geçişlerini yönetme, öğrenmeye açık kalma ve değişen koşullarda öz-yeterlik duygusunu koruma kapasitesi de önem kazanmaktadır. Kariyer inşası kuramı çerçevesinde ele alındığında kariyer uyumluluğu, bireyin değişen mesleki çevrelere hazırlanmasını ve bu çevrelerde yön belirlemesini mümkün kılan temel psikososyal kaynaklardan biridir (Savickas, 2005, 2013). Bu çalışmanın bulguları da yapay zekâ çağında öne çıkan beceri ve rol dönüşümünün, kariyer uyumluluğunu bireysel bir avantajdan çok, giderek zorunlu hâle gelen bir gelişimsel kapasiteye dönüştürdüğünü göstermektedir.

Bulguların kariyer psikolojik danışmanlığı açısından en önemli anlamlarından biri de burada ortaya çıkmaktadır. Yapay zekâ çağında kariyer danışmanlığı, yalnızca bireyin belirli bir meslek seçmesine yardımcı olan bir yönlendirme hizmeti olarak düşünülemez.

Bunun yerine kariyer danışmanlığı, bireyin değişen çalışma yaşamını anlamasına, beceri farkındalığı geliştirmesine, belirsizlikle baş etmesine, yeni öğrenme fırsatlarını değerlendirmesine ve kariyer geçişlerini daha bilinçli biçimde yönetmesine destek olan daha dinamik bir alan hâline gelmektedir. Özellikle kariyer uyumluluğu yüksek bireylerin değişen iş taleplerine daha esnek biçimde yanıt verebilmesi, yaşam boyu öğrenme süreçlerine daha açık olması ve yeni rol beklentilerini daha etkili biçimde yönetebilmesi, danışmanlık hizmetlerinin odağını da dönüştürmektedir. Bu bağlamda kariyer psikolojik danışmanlığı uygulamalarında teknik beceri farkındalığı ile psikososyal uyum kaynaklarının birlikte ele alınması giderek daha önemli görünmektedir.

McKinsey & Company'nin (2025) geliştirdiği superagency kavramı da bu dönüşümü açıklamak bakımından işlevseldir. Superagency, bireyin yapay zekâyı pasif bir otomasyon sistemi olarak değil, üretkenliğini, yaratıcılığını ve etki kapasitesini artıran bir araç olarak kullanabilmesini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, yapay zekânın gerçek değerinin insanı devre dışı bırakmasında değil, insanın kapasitesini genişletmesinde aranması gerektiğini savunur. Kariyer gelişimi açısından bakıldığında bu çerçeve, bireyin değişen teknolojik çevre içinde edilgen biçimde uyum sağlayan değil; yeni beceriler edinen, yeni roller keşfeden ve kariyer yönelimini aktif biçimde yeniden kurabilen bir özne olarak ele alınmasını desteklemektedir. Bu nedenle yapay zekâ çağında kariyer uyumluluğu yalnızca savunmacı bir uyum mekanizması değil, aynı zamanda bireyin fırsatları değerlendirme ve kendi kariyer gelişimini yeniden yapılandırma kapasitesi olarak da anlaşılmalıdır.

Bununla birlikte çalışmanın bulguları, yapay zekâ dönüşümünün tüm bireyler için eşit fırsatlar üretmediğini de göstermektedir. Teknik becerilere erişimi yüksek, yeniden öğrenme fırsatlarına sahip ve kurumsal destekten yararlanabilen bireyler bu dönüşümden daha fazla avantaj sağlayabilmektedir. Buna karşılık rutin görevlere sıkışmış, eğitim olanakları sınırlı ya da dijital uyum kapasitesi daha düşük bireyler için yapay

zekâ kaynaklı dönüşüm daha kırılgan sonuçlar doğurabilmektedir. Bu durum, kariyer uyumluluğunun yalnızca bireysel bir özellik olarak değil, aynı zamanda eğitim sistemleri, örgütsel öğrenme ortamları ve danışmanlık hizmetleri tarafından desteklenmesi gereken bir kapasite olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yapay zekâ çağında beceri gelişimi, yalnızca teknik eğitim programlarıyla sınırlı görülmemeli; bireyin psikososyal dayanıklılığını, öğrenme motivasyonunu ve mesleki öz-yönetim kapasitesini güçlendiren bütüncül yaklaşımlar da geliştirilmelidir.

Türkiye bağlamında değerlendirildiğinde de benzer bir ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Türkiye açısından temel mesele, yalnızca yapay zekâ teknolojilerine erişim ya da dijital altyapının geliştirilmesi değildir. Asıl belirleyici olan, bireylerin, eğitim kurumlarının ve örgütlerin beceri dönüşümüne ne ölçüde uyum sağlayabildiğidir. Özellikle yükseköğretim, mesleki eğitim ve kariyer danışmanlığı hizmetlerinin yapay zekâ çağının gerektirdiği teknik ve insani yetkinlikleri birlikte destekleyecek biçimde yeniden düşünülmesi önem taşımaktadır. Bu süreçte kariyer psikolojik danışmanlığı hizmetleri, bireylerin yalnızca meslek seçimine değil, değişen rol beklentilerine, kariyer geçişlerine ve yaşam boyu öğrenme gereksinimlerine hazırlanmasında daha merkezi bir işleve sahip olabilir.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle çalışma, birincil saha verisi üretmeyen ve ikincil kaynaklara dayanan bir belge incelemesidir. Bu nedenle ulaşılan sonuçlar, kullanılan raporların veri kapsamı ve yöntemsel sınırlarıyla çerçevelenmektedir. Ayrıca yapay zekânın iş gücü üzerindeki etkileri sektörlere, ülkelere ve beceri düzeylerine göre farklılık gösterdiğinden, burada sunulan değerlendirmeler tüm bağlamlar için aynı yoğunlukta geçerli sonuçlar olarak okunmamalıdır. Bununla birlikte farklı kurumsal ve akademik kaynaklarda yinelenen ortak örüntüler, yapay zekâ çağında iş gücünün dönüşümüne ilişkin güçlü ve anlamlı bir genel çerçeve sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, yapay zekâ çağında iş gücünün dönüşümünün salt bir ikame süreci olarak açıklanamayacağını göstermektedir. Belirli görevlerde otomasyon baskısı artmakla birlikte, daha baskın eğilim görevlerin yeniden dağıtımı, becerilerin yeniden bileşimi ve insan-yapay zekâ tamamlayıcılığı yönündedir. Bu süreçte teknik yapay zekâ becerileri önemli ölçüde değer kazanmakta; ancak bu becerilerin gerçek işlevi ve sürdürülebilir değeri, analitik düşünme, iletişim, yaratıcılık, etik muhakeme ve uyarlanabilirlik gibi insan merkezli yetkinliklerle birleştiğinde ortaya çıkmaktadır. Kariyer psikolojik danışmanlığı açısından bakıldığında ise yapay zekâ çağının temel sorunu yalnızca hangi işlerin değişeceği değil, bireylerin bu değişime nasıl hazırlanacağıdır. Bu nedenle kariyer uyumluluğu, yaşam boyu öğrenme ve insan merkezli yetkinlikler, yapay zekâ çağında hem bireysel kariyer gelişimi hem de toplumsal iş gücü dayanıklılığı açısından merkezi kavramlar olarak değerlendirilmektedir

KAYNAKÇA

AI Workforce Consortium. (2025). *ICT in motion: The next wave of AI integration*. Cisco.

Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives, 29*(3), 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.

Chen, W. X., Reshef, A., & Taska, B. (2025). *Displacement or complementarity? The labor market impact of generative AI* (Working Paper No. 25-039). Harvard Business School.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE.

Herrmann, T., & Pfeiffer, S. (2023). Keeping the organization in the loop: A socio-technical extension of human-centered artificial intelligence. *AI & Society, 38*(5), 1743–1758. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01391-5

Indeed Hiring Lab, & World Economic Forum. (2025, January 28). *Hiring Lab & World Economic Forum joint research shows how humans will remain an essential part of the global workforce as AI evolves*.

Karasar, N. (2020). *Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler* (35. bs.). Nobel Akademik Yayıncılık.

LinkedIn. (2025, March 26). *Skills on the rise 2025*.

LinkedIn Learning. (2025). *Workplace learning report 2025*.

Mäkelä, E., & Stephany, F. (2024). *Complement or substitute? How AI increases the demand for human skills*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2412.19754

McKinsey & Company. (2025). *Superagency in the workplace: Empowering people to unlock AI's full potential at work*.

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed.). SAGE.

PwC. (2025). *The fearless future: 2025 global AI jobs barometer*.

Rudolph, C. W., Lavigne, K. N., Katz, I. M., & Zacher, H. (2017). Career adaptability: A meta-analysis of relationships with measures of adaptivity, adapting responses, and adaptation results. *Journal of Vocational Behavior, 98*, 17–34. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2016.09.002

Savickas, M. L. (2005). The theory and practice of career construction. In S. D. Brown & R. W. Lent (Eds.), *Career development and counseling: Putting theory and research to work* (pp. 42–70). John Wiley & Sons.

Savickas, M. L. (2013). Career construction theory and practice. In S. D. Brown & R. W. Lent (Eds.), *Career development and counseling: Putting theory and research to work* (2nd ed., pp. 147–183). John Wiley & Sons.

Savickas, M. L., & Porfeli, E. J. (2012). Career adapt-abilities scale: Construction, reliability, and measurement equivalence across 13 countries. *Journal of Vocational Behavior, 80*(3), 661–673. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2012.01.011

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

World Economic Forum. (2025). *The future of jobs report 2025*.

https://doi.org/10.71284/asc.2026125

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PORTABLE SOLAR-POWERED ADJUSTABLE LED WORK LIGHT FOR AUTOMOTIVE UNDERCARRIAGE MAINTENANCE

Teh Xiong Sheng[1]
Danesh Keawmane Anam[2]
Mohd Zairunizam Umar[3]
Choong Chee Guan[4]

Abstract

Adequate lighting is essential for accurate and safe inspection of vehicle undercarriages. However, traditional workshop lighting systems are often bulky, power-dependent, and difficult to position in confined spaces. This project focuses on the design and development of a compact solar-assisted adjustable lighting system for automotive undercarriage maintenance. The project adopts a design-and-development methodology involving mechanical fabrication and electrical integration. The prototype integrates a high-efficiency LED light, adjustable aluminum pivot joints, and a solar-powered energy supply into a mobile structure. Initial testing demonstrates improved illumination coverage, stability, and ergonomic usability compared to conventional work lights. The proposed system provides a practical lighting solution for automotive workshops and offers potential improvements in portability and energy efficiency.

Keywords: Solar-powered lighting system; Automotive undercarriage maintenance; Adjustable lighting; LED illumination; Renewable energy.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: ansonteh3134@gmail.com

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: daneshkeawmane@gmail.com

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: mzairun@gmail.com

[4]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: dr.choong@ptss.edu.my

INTRODUCTION

Adequate lighting is essential for accurate and safe inspection of vehicle undercarriages, where critical components such as the suspension, braking, and drivetrain systems are located. However, limited space and poor visibility make undercarriage inspection challenging for automotive technicians.

Conventional workshop lighting systems are often bulky, dependent on external power sources, and lack flexibility in positioning. This leads to inefficient work practices, including reliance on handheld lights and awkward working postures, which may reduce productivity and increase the risk of errors.

To address these limitations, this study presents the design and development of a compact solar-assisted adjustable lighting system for automotive undercarriage maintenance. The proposed system integrates LED lighting, an adjustable mechanical structure, and a solar-powered energy supply to enhance portability, illumination, and ergonomic usability.

The design parameters were established to achieve the following objectives:

i. To design a compact and portable lighting system for automotive undercarriage inspection and maintenance.

ii. To develop an adjustable mechanical structure that enables flexible positioning of the lighting angle and height.

iii. To fabricate a functional prototype and evaluate its performance in terms of illumination, stability, and usability.

The importance of this project is to improve visibility and efficiency during undercarriage inspection in automotive workshops. The compact and portable design allows the lighting system to be easily positioned in confined spaces, reducing the need for handheld lighting and improving overall work productivity.

Moreover, the integration of an adjustable structure enhances ergonomic working conditions by minimizing awkward postures and reducing physical strain on users. The incorporation of a solar-assisted power supply further reduces dependence on external electrical sources, promoting energy efficiency and sustainability.

Finally, the proposed system has potential for further development and commercialization in automotive workshops and related maintenance industries. The design offers a practical, portable, and energy-efficient solution that can enhance safety, usability, and overall operational performance.

The papers reviewed present various aspects of designing and developing solar-powered lighting systems, portable battery charging systems, and adjustable mechanical structures. The studies discuss key elements such as energy conversion from solar panels, battery storage performance, LED lighting efficiency, and system integration. There is an overall emphasis on proper component selection, efficient power management, and compact design to ensure reliable and portable operation. In addition, the literature highlights the importance of mechanical flexibility and structural stability in improving usability and adaptability in constrained environments. Common issues identified in existing systems include dependence on external power sources, limited adjustability, and lack of integration between energy and mechanical components. The reviewed publications provide a strong foundation for developing a compact, solar-assisted adjustable lighting system, offering guidance in achieving improved illumination performance, portability, and ergonomic efficiency for automotive undercarriage maintenance.

Table 1. Comparison of Research Papers

Authors	Purpose	Article Name	Summary	Findings	Comments
Sutono (2018)	To design a portable solar-powered LED lighting system	Portable LED Lamp	The study presents a compact lighting system integrating solar cells, charge controller, and lithium battery for lighting and mobile charging.	The system successfully provides reliable lighting and charging under different weather conditions.	Highly relevant for solar-powered LED lighting design and system integration.
Mohapatra et al. (2018)	To design and evaluate a solar-powered battery charging system	Design of Solar Powered Battery Charger	The paper discusses system components such as PV panel, charge controller, and battery, including simulation and performance testing.	Demonstrates efficient battery charging and improved energy conversion performance.	Useful reference for battery charging design and energy management.
Amely et al. (2020)	To develop a portable solar battery charger	Development of Portable Case Solar Battery Charger	The research focuses on compact design, component selection, and performance testing under various conditions.	Achieved high charging efficiency and reliable portable power supply.	Supports portable system design and efficiency improvement.
Jain et al. (2019)	To model and analyze an articulated mechanical system	Modeling and Analysis of Articulated Robotic Arm	The study uses CAD and FEA analysis to evaluate structural strength and performance.	Results show safe operation under load and effective structural design.	Relevant for mechanical structure design and adjustability concepts.
Guo et al. (2010)	To design a solar battery charging system with voltage regulation	Design and Implementation of a Solar Battery Charger	The paper introduces DC-DC converter (SEPIC) for stable voltage output and efficient charging.	Achieved stable voltage regulation with efficiency up to 65–76%.	Important for voltage regulation and system stability in solar systems.

1. METHODOLOGY

The project follows a structured design and development process, as shown in Figure 1. It begins with problem identification, objective definition, and literature review, followed by concept generation and selection.

The selected design is developed through detailed design and material selection, then fabricated and assembled into a functional prototype. Testing is conducted to evaluate system performance, and the collected data are analyzed to verify the effectiveness of the design.

Figure 1. Process of project in semester 4 and 5

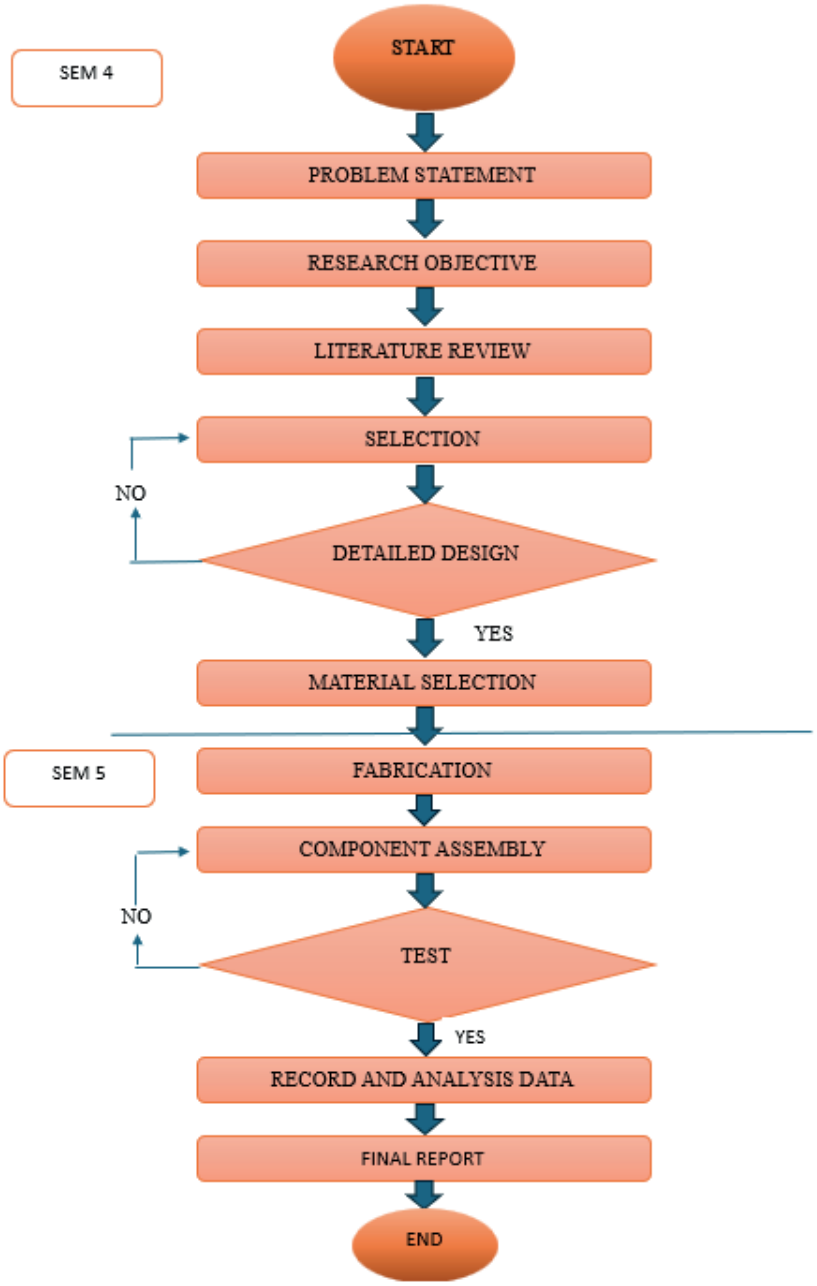


Figure 2. The process flow of the solar-powered adjustable lighting system

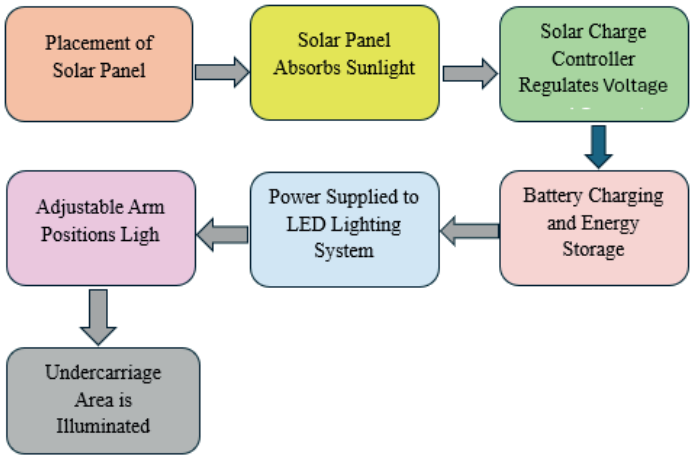


Figure 3. Importance Rating of Design Features for Toolbox in Undercarriage Maintenance

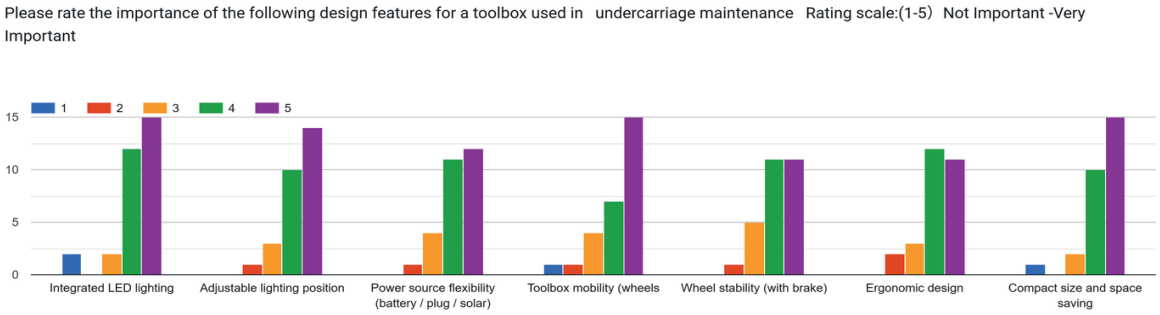


Figure 4. Survey Results on the Importance of Adequate Lighting in Automotive Undercarriage Maintenance

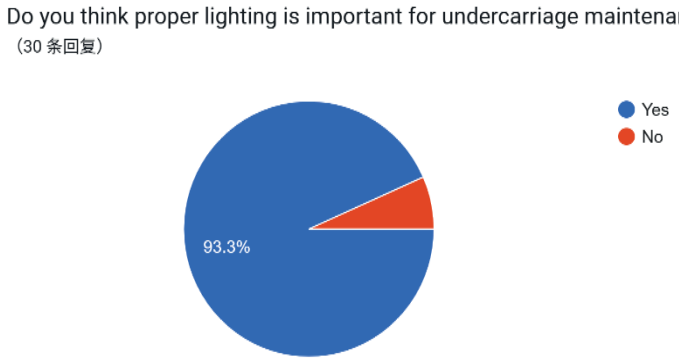
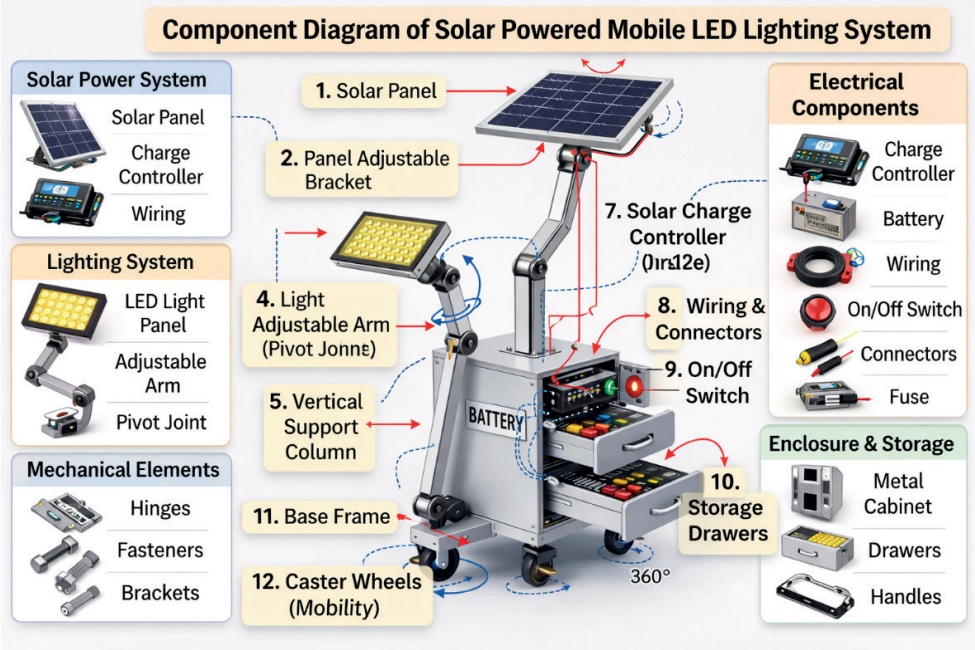


Figure 5. The Prototype of Solar Adjustable Work Light For Car Undercarriage Maintenance



From Figure 5, designing a compact solar-powered adjustable lighting system for automotive undercarriage maintenance requires consideration of several key aspects: the LED lighting unit, adjustable mechanical structure, power supply system, and overall mobility of the device.

The first step is selecting a suitable LED light. The brightness and efficiency of the LED are important to ensure sufficient illumination for undercarriage inspection. The next step is designing the structural frame. The dimensions, shape, and material of the frame must provide stability while allowing easy positioning in confined spaces. The design should incorporate adjustable joints to enable flexible control of lighting angle and height without affecting system stability.

The power supply system must be efficient and reliable. This involves selecting an appropriate solar panel, battery, and charge controller to ensure continuous operation. The battery stores energy for use when sunlight is unavailable, while the charge controller regulates voltage and protects the system. Proper integration of electrical components is necessary to ensure safe and stable performance.

In addition, mobility should be considered. The system should be equipped with wheels and locking mechanisms to allow easy movement and stable positioning during operation. All components must be securely assembled to ensure durability and prevent interference during use.

Overall, the theoretical design provides a foundation for developing a compact, portable, and energy-efficient lighting system that improves visibility, usability, and safety in automotive maintenance.

RESULTS AND DISCUSSION

The developed solar-powered adjustable lighting system aims to improve visibility, efficiency, and safety during automotive undercarriage maintenance. The prototype demonstrates effective illumination in confined and low-light environments, allowing users to perform inspection and maintenance tasks more accurately. The compact and portable design enables easy positioning under vehicles, reducing dependency on handheld lighting devices and improving overall workflow efficiency.

The adjustable mechanical structure allows flexible control of lighting angle and height, ensuring better coverage of hard-to-reach areas. This reduces the need for frequent repositioning and minimizes awkward working postures, thereby improving ergonomic conditions for users. The inclusion of wheels with locking mechanisms enhances mobility while maintaining stability during operation.

The solar-assisted power system provides a sustainable energy solution by reducing reliance on external electrical sources. The solar panel effectively charges the battery, which supplies stable power to the LED lighting system. This improves energy efficiency and supports continuous operation even in areas with limited power access.

Overall, the system improves illumination performance, portability, and usability while promoting energy efficiency and sustainability. The proposed design offers a practical and user-friendly solution that enhances working conditions and operational effectiveness in automotive workshops.

Table 2. Performance Comparison Between Traditional Work Light and Proposed Solar-Powered Lighting System

Testing Criteria	Traditional Work Light	Proposed Solar-Powered Lighting System
Illumination Coverage	Limited; requires repositioning	Wide and adjustable coverage with consistent lighting
Brightness (Illuminance)	~300–500 lux	~800–1200 lux
Power Source	External power / battery-dependent	Solar-assisted with rechargeable battery
Energy Efficiency	Moderate; continuous power consumption	High; uses renewable energy and efficient LED
Portability	Limited; bulky and wired	High; compact and mobile with wheels
Adjustability	Fixed or limited angles	Fully adjustable angle and height (pivot joints)
Ergonomics	Requires handheld use; causes fatigue	Hands-free operation; improved working posture
Setup Time	Moderate (requires wiring/placement	Short; ready-to-use mobile system
Stability	Moderate; may shift during use	High; lockable wheels ensure stability
Sustainability	Low; depends on electricity	High; utilizes solar energy

From Table 2, the discussions and analyses are elaborated as follows:

i. Illumination Performance Improvement

The proposed solar-powered lighting system provides significantly higher brightness (800–1200 lux) compared to traditional work lights (300–500 lux). This results in clearer visibility during undercarriage inspection and reduces the risk of errors caused by poor lighting conditions. The wider and adjustable illumination coverage further enhances inspection efficiency.

ii. Energy Efficiency and Power Sustainability

The integration of a solar-assisted power system reduces dependence on external electrical sources. The rechargeable battery, supported by solar charging, enables continuous operation while promoting energy efficiency. This makes the system more sustainable compared to conventional lighting methods that rely entirely on electricity.

iii. Ergonomics and Usability Enhancement

The hands-free design eliminates the need for handheld lighting, allowing users to work more comfortably and efficiently. The adjustable angle and height improve accessibility to confined areas, while reducing physical strain and awkward working postures during maintenance tasks.

iv. Portability and Mobility Advantage

The compact and mobile design, equipped with wheels and locking mechanisms, allows easy movement and stable positioning of the system. Unlike traditional bulky lighting equipment, the proposed system can be conveniently relocated and used in different working areas.

v. Overall System Effectiveness

The combination of improved illumination, adjustable structure, and renewable energy integration results in a more efficient, user-friendly, and sustainable lighting solution. The system enhances overall productivity, safety, and working conditions in automotive workshops.

CONCLUSION

This project presents the design and development of a compact solar-powered adjustable lighting system aimed at improving the effectiveness of automotive undercarriage maintenance. The proposed system addresses common limitations of conventional workshop lighting, such as poor illumination, limited adjustability, and dependence on external power sources. Through the development of this system, the project achieves its objective of enhancing visibility, improving ergonomic working conditions, and promoting energy efficiency in workshop environments.

The comparison with traditional work lights demonstrates that the proposed system provides significant improvements in illumination performance, portability, and usability. The higher brightness level and wider illumination coverage allow more accurate inspection and reduce the likelihood of errors caused by insufficient lighting. The adjustable mechanical structure enables flexible positioning of the lighting unit, allowing users to easily direct light to confined and hard-to-reach areas under vehicles. This reduces the need for frequent repositioning and minimizes physical strain during operation.

Furthermore, the integration of a solar-assisted power system enhances the sustainability of the design by reducing reliance on conventional electrical sources. The rechargeable battery system ensures continuous operation, while the solar panel provides an alternative energy source, making the system suitable for both indoor and outdoor applications. This contributes to energy savings and supports the adoption of environmentally friendly technologies in automotive workshops.

In terms of usability and practicality, the compact and mobile design allows the system to be easily transported and positioned. The inclusion of wheels with locking mechanisms ensures both mobility and stability during operation. The overall design emphasizes user convenience, safety, and efficiency, making it suitable for workshop environments and educational settings.

The results of this project confirm the feasibility and practicality of integrating renewable energy with mechanical design to develop a functional and efficient lighting system. The system provides a strong foundation for future improvements, including enhancing battery capacity, optimizing solar charging efficiency, and refining the structural design for greater durability.

In conclusion, the proposed solar-powered adjustable lighting system offers a practical, efficient, and sustainable solution for automotive undercarriage maintenance. It successfully improves visibility, working conditions, and operational efficiency, while also supporting energy conservation and environmental sustainability. The design has potential for further development and wider application in automotive workshops and related maintenance industries.

REFERENCES

Sutono, A. (2018). Portable LED Lamp. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

Mohapatra, S., et al. (2018). Design of a Solar Powered Battery Charger. *International Journal of Engineering Research and Technology*.

Amely, F., Jumaat, S., & Ahmad, N. (2020). Development of Portable Case Solar Battery Charger. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.

Jain, R., Kumar, S., & Singh, P. (2019). Modeling and Analysis of Articulated Robotic Arm for Material Handling Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

Guo, X., et al. (2010). Design and Implementation of a Solar Battery Charger. *American Society for Engineering Education Conference Proceedings*.

https://doi.org/10.71284/asc.2026126

MOBILE CIRCULAR TABLE SAW WORKSTATION WITH INTEGRATED DUST COLLECTION

Kuek Hanzhe[1]
Nur Irdeena Batrisyia Mohd Nazree[2]
Choong Chee Guan[3]
Khairul Anuar Ishak[4]

Abstract

In workshops, circular table saws are essential tools for woodworking. However, the workshop currently has only one fixed circular table saw, which is large and cannot be moved. This causes students to queue, wasting time and taking up space. This project aims to design and build a mobile circular table saw with a dust collector and vacuum motor to improve efficiency, save space, and make it easier to use. The project uses a design and construction approach, with the design completed and construction to be carried out later. Autodesk Inventor is used for the design, and the main parts include a circular saw blade, tabletop, and caster wheels. The design includes a flat table surface with a circular saw blade, while the dust collector and vacuum motor are placed inside the machine. The design assumes a workshop environment and that one person can move the machine. The expected results include shorter waiting time, space savings, and easier use. The results will be compared with the existing fixed circular table saw and the previous non-mobile machine. It is recommended to commercialize or promote this design to more workshops.

Keywords: Mobile circular table saw, integrated dust collection, wood cutting worktable, workshop efficiency, mobility design

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: khanzhe123@gmail.com

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: idreenanur@gmail.com

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: dr.choong@ptss.edu.my

[4]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: khairulanuar@ptss.edu.my

INTRODUCTION

The workshop environments are frequently constrained by immobile, large-scale circular saws. This lack of mobility generates significant operational inefficiencies, leading to time wastage as students are forced to queue for a single station. Furthermore, wood dust and particulate matter generated during high-speed cutting pose serious respiratory risks. Existing workshop configurations often lack a integrated dust extraction, relying instead on cumbersome, standalone units that further degrade space utilization.

Circular table saws are important tools in workshops for cutting wood and plywood. However, many workshops have only one fixed table saw, which is large and cannot be moved. This causes students to wait in line, leading to wasted time and lower efficiency. Additionally, fixed machines take up a lot of space, limiting how the workshop can be used.

During woodworking, circular saws produce a lot of dust and wood chips. Without a good dust collection system, the working environment can become unsafe and unhealthy, causing respiratory problems and poor cleanliness. Therefore, this project aims to design a mobile circular table saw with a built-in dust collection system. This will make it easier to move around the workshop, cut down on waiting time, save space, and improve safety and cleanliness.

The design parameters were established to achieve the following objectives:

i. To design a multipurpose wood-cutting worktable featuring a built-in, concealed dust extraction system.

ii. To construct a functional working prototype of the mobile worktable.

iii. To analyze the performance regarding structural functionality, operator safety, and dust collection efficiency.

The importance of the project is to increase productivity and functionality of workshop tools. Creating a mobile circular table saw will decrease student waiting time, thereby increasing the equipment's usage rate. The dimensional mobile design allows for savings in workshop area by moving and storing the machine when not in use.

Moreover, the built-in dust collection system will eliminate most of the wood shavings and dust caused by cutting operations, thus making the workshop less messy and reducing health hazards for workshop users. The hidden dust collection system and vacuum motor design will keep the cutting surface of the table saw clean and reduce the chances of an injury from exposed parts.

Finally, the design has the opportunity for commercialization and promotion to other workshops and schools. The design provides a practical and efficient method of operating a woodworking shop, and therefore, will assist in improving workshop productivity and safety.

The papers reviewed present various aspects of how to design, analyze, and build circular table saws with integrated dust collection. The papers present the mechanics of cutting, the power required to perform the cuts, how to structure the system, how to analyze the system, how to make dust collection an integral part of the system, and safety aspects. There is an overall theme of selecting the proper parts, building a robust system, and incorporating safety and dust collection into the system from the beginning to improve the overall performance of the system. There is also the overall theme of the problems inherent with traditional stationary shop arrangements, such as inefficiency, bottlenecks, and the often-ineffectual use of stand-alone dust collection systems. The publications present a body of knowledge to provide guidance on how to design and utilize effective workshop gear, providing useful guidance on how to design the proposed system of the integrated circular table saw.

Table 1. Comparison table of research papers

Authors	Purpose	Article Name	Summary	Findings	Comments
Krilek et al., 2014 Technical University in Zvolen, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Department of Forest and Mobile Technology	To analyze the influence of cutting parameters on the crosscutting process.	Wood crosscutting process analysis for circular saws	This paper presents an experimental study measuring torque and power during wood crosscutting, varying saw type, wood species, and cutting conditions.	The type of circular saw was found to have the most significant influence on the required cutting power.	The empirical data provided is essential for the scientific selection of the motor and saw blade in this project.
Alamsyah & Mulyadi, 2022 Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	To design a table saw using structured engineering methodologies.	Design of a Wood Cutting Machine Using a Rotating Saw Blade with an Adjustable Angle	This research applies DFA and FEA to design, compare, and structurally validate two table saw concepts using CAD software.	Concept A demonstrated higher assembly efficiency and a safety factor of 3.41 in FEA simulations.	It provides a direct methodological blueprint for employing DFA and FEA in Autodesk Inventor in this project.
Orlowski et al., 2020 Department of Manufacturing and Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Gdansk University of Technology	To review holistic design principles for high-accuracy panel saws.	A New Holistic Approach in the Design of Sliding Table Saws	This review examines advancements in spindle, frame, and dynamic design, emphasizing system integration.	Machine stiffness and integrated dust extraction are identified as critical for precision and are core subsystems.	This paper provides the fundamental justification for making dust collection an integrated core feature of the design.
Mushiri et al., 2016 Department of Mechanical Engineering, University of Johannesburg	To design an automatic safety mechanism for a bench saw.	Design of a bench saw cutting machine for wood with automatic braking system	The study designs a low-cost safety system that stops the blade upon detecting human flesh using sensors and DC injection braking.	The proposed braking system can stop the blade within 0.25 seconds of detection.	It establishes operator safety as the non-negotiable highest priority in the design process.
Soewanto & Mulyadi, 2024 Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	To document the complete manufacturing process of a table saw prototype.	Manufacturing Prototype Table Adjustable Wood Cutting Machine Using Circular Saw	This work details the fabrication steps, records the total assembly time, and calculates the cost for a working prototype.	The total manufacturing time was approximately 16 hours, with a documented material cost.	It serves as a practical benchmark for planning the fabrication phase of this project.

The literature review highlights several critical considerations for designing an efficient, safe, and practical portable circular table saw. Krilek et al. (2014) demonstrated that the type of saw blade significantly affects cutting power and torque. This empirical data not only guides the selection of motors and blades but also

informs calculations for an integrated dust collection system. In discussing these findings, it becomes clear that relying on empirical measurements ensures the machine can handle various wood species effectively, and helps prevent underpowered or overstrained components, which could compromise performance or safety. This emphasizes that design decisions should be evidence-based rather than purely theoretical.

Alamsyah & Mulyadi (2022) focused on prototype design using Design for Assembly (DFA) and Finite Element Analysis (FEA). Their results showed that the selected design is easy to assemble, structurally robust, and has a high safety factor. From a discussion perspective, this demonstrates that incorporating DFA and FEA into the design process not only improves structural integrity but also reduces assembly complexity and potential errors. For the current project, this insight reinforces the need to balance efficiency, safety, and practicality in prototype development. It also suggests that modern design methodologies can significantly optimize both time and resource management during fabrication.

Orlowski et al. (2020) emphasized that dust management should be considered a core design requirement rather than an optional feature. Effective dust extraction contributes directly to workshop cleanliness, tool lifespan, and overall machining quality. Mushiri et al. (2016) further stress that user safety must be the top priority, advocating for automatic braking systems and No-Volt Release (NVR) switches. Discussing these studies together highlights that integrating dust management with safety systems addresses multiple challenges simultaneously: it improves operational efficiency, reduces long-term maintenance, and prevents hazards such as tripping over external hoses. This reinforces the idea that safety and functionality should be designed in tandem, not as afterthoughts.

Soewanto & Mulyadi (2024) documented the practical process of prototype fabrication. Although actual construction time exceeded theoretical estimates, conventional activities such as cutting, welding, and assembly were sufficient to produce a functional and complex system. From a discussion standpoint, this provides a reality check for project planning: even with well-designed components, fabrication can be affected by practical constraints. Using such benchmarks allows designers to anticipate challenges, manage time and costs, and ensure that the project remains feasible.

In conclusion, integrating empirical data, modern design methodologies, safety considerations, and practical fabrication insights provides a comprehensive framework for developing a portable circular table saw. The discussion of these findings demonstrates that successful design requires balancing efficiency, structural robustness, user safety, and operational practicality. By reflecting on each study, it becomes evident that a holistic, evidence-based, and user-centered approach is essential for creating a prototype that is both effective and safe in real-world workshop conditions.

1. METHODOLOGY

The flowchart created by the given diagram illustrates the entire process of the project, with each symbol used to represent a specific action or decision, and the arrows showing the transition from one action to the next. The entire process can be seen by following the flowchart from the beginning to the end.

Figure 1. Process of project in semester 4 and 5



Figure 2. Process Flow of Mobile Circular Table Saw Operation

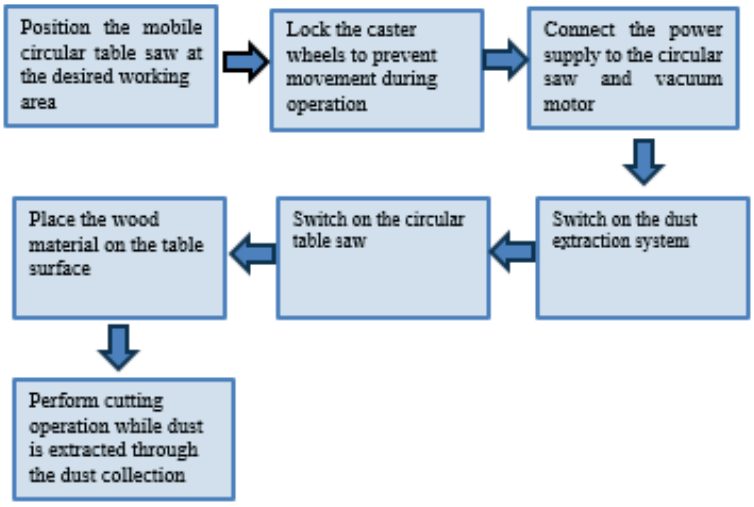
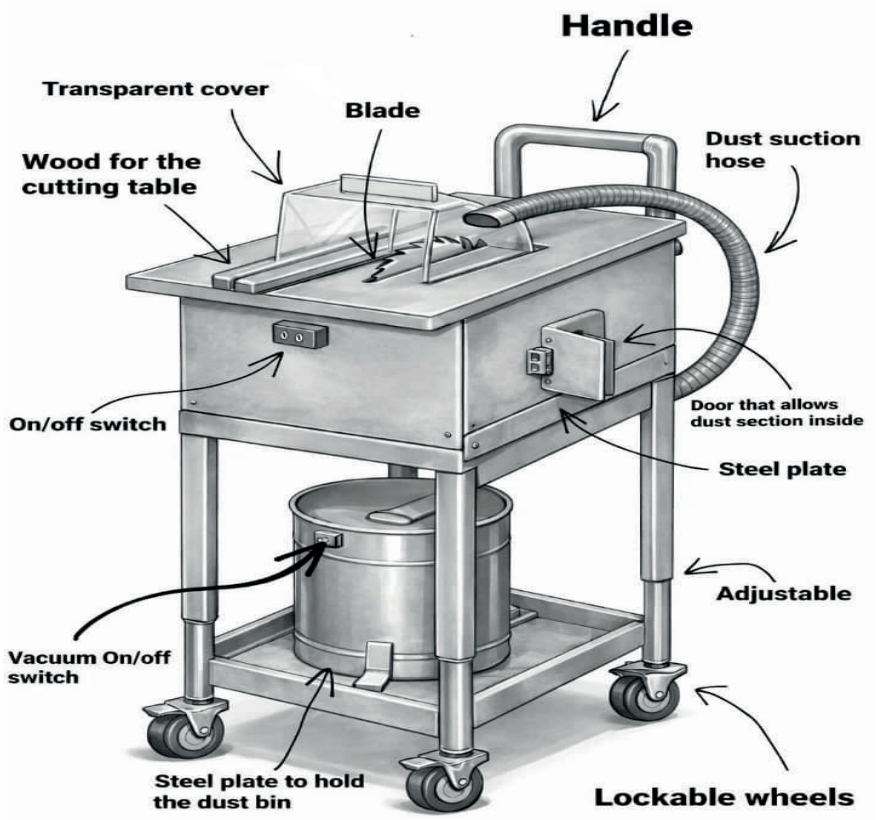


Figure 3. The Prototype of Mobile Circular Table Saw Workstation With Integrated Dust Collection



From Figure 3, designing a mobile circular table saw with integrated dust collection requires consideration of the following key aspects: the blade, the table, the table's movement, and the effectiveness of the dust collection system.

The first step is selecting the blade. The blade's dimensions play a critical role in determining the type of material to cut, the level of safety, and the type of wood to cut. The blade should be selected to cover the most common workshop materials. The next step is designing the table. The table's dimensions, shape, and construction should ensure stability while providing sufficient space to work comfortably. The design should incorporate suitable materials of desired thickness to provide a rigid table with a flat top to ensure accurate cuts. The design should also take into consideration the dust collection system without interfering with the cutting process.

The dust collection system should be effective to collect dust and chips during the cutting process. This requires selecting a vacuum motor suitable for the dust collection system. The system should then be connected to the blade to ensure the effective collection of dust. The dust collection bin should be placed at the bottom of the table to ensure the work area is clean and safe. The system should be effective at moving the dust around while providing sufficient filtration to prevent dust leakage. The table's movement should also be considered. The worktable should be fitted with caster wheels with locking brakes to ensure the table's mobility. The design should also incorporate handles to ensure safe pushing of the table. The design should incorporate all the parts securely to avoid interference with the cutting process.

Overall, the theoretical basis of the design provides an overview of the parameters to be observed when designing a safe, efficient, and portable circular table saw with integrated dust collection, creating a solid foundation for the design process and construction of the circular table saw with the dust collection system.

2. RESULTS AND DISCUSSION

The goal of designing a mobile circular table saw with a built-in dust collection system is to create a more efficient, safe, and convenient woodworking space for students and workshop users. With caster wheels and a handle, the table saw can be easily moved to different areas of the workshop. This saves space and cuts down on waiting time. The built-in dust collection system captures wood dust and chips during cutting, which improves cleanliness and safety in the workspace. This design should improve workflow by making it easier for multiple users to access the equipment and by reducing the need for students to wait for the fixed saw. The dust collector and vacuum motor are tucked away under the table, keeping the work surface clear and lowering the risk of accidents. This helps maintain an organized and safe working environment. Overall, the mobile circular table saw aims to provide a practical, user-friendly, and space-saving solution that encourages a safer and more efficient woodworking workshop.

Table 2. Performance Comparison Result between Existing Fixed Circular Table Saw and Designed Multipurpose Worktable

Testing Criteria	Existing Fixed Circular Table Saw	Multipurpose All in 1 Worktable
Workshop Operational Efficiency	Low: Single fixed station causes long queuing; average waiting time >30 mins per user.	High: Mobile design enables multi-position use; expected average waiting time reduced to <10 mins per user.
Workspace Utilization	Poor: Occupies large, fixed workshop area (+ separate external dust collector); non-storable.	Excellent: Compact hidden structure; expected to reduce occupied space by 70%; storable in narrow workshop corners.
Dust Collection Effect	Ineffective: No built-in dust collection; wood dust/chips disperse freely in workshop.	Highly Effective: Built-in vacuum motor aligns with cutting area; expected to capture 85% of dust/chips during cutting.
Operational Safety	Basic: Exposed cutting components; no dedicated safety guard for small workpieces.	Enhanced: Equipped with saw blade guard + safety paddle switch; push stick for safe workpiece feeding; no exposed wiring.
Portability & Maneuverability	None: Fixed structure; requires multiple people to move (if possible).	Convenient: 4 castor wheels with brake + ergonomic handle; single person can easily move and relocate the worktable.
Pre-Cutting Preparation Time	Long: 10–15 mins (including external dust collector installation).	Short: 2–3 mins (integrated design; no additional assembly required).

From Table 2, the discussions and analyses were elaborated as below:-

i. Operational Efficiency Optimization

The mobile design of the worktable removes the limitation of the fixed table saw's single usage station. This allows for simultaneous use in different areas of the workshop. Users experience a significant decrease in waiting time and pre-cutting preparation time. This directly improves the use of woodworking equipment in the workshop and addresses the main issue of low efficiency caused by queuing.

ii. Space Utilization Improvement

The compact structure (dust collection parts are hidden under the tabletop), and the detachable handle address the problem of the fixed table saw occupying a large area. The 70% space reduction provides more

space in the workshop for other woodworking operations. The storable feature makes the space allocation more flexible.

iii. Dust Collection and Working Environment Enhancement

The built-in vacuum motor and dust collection system, aligned with the saw blade cutting area, effectively captures wood dust and chips that were previously dispersed freely. The 85% dust collection rate significantly improves workshop cleanliness, reduces the risk of respiratory health problems for operators, and addresses the safety and health issues caused by poor dust management.

iv. Structural Stability and Operational Safety

The frame constructed by pre-drilled aluminum tubes and reinforced iron plates provides sufficient load-bearing capacity for common wood workpieces (plywood, solid wood, MDF) in the workshop, ensuring no structural deformation or vibration during cutting. The combination of saw blade guard, safety paddle switch and woodworking push stick forms a multi-layer safety protection system, eliminating the potential hazards of exposed cutting components in the fixed table saw.

v. Portability and Usability Verification

The 4 castor wheels with brake function and ergonomic handle realize the one-person maneuverability of the worktable, which is impossible for the fixed table saw. All control components (paddle switch, height adjustment knob, wheel brake) are installed in easy-to-reach positions, with a simple and intuitive operation process, suitable for students with different levels of woodworking experience.

CONCLUSION

This worktable includes a built-in dust collection system and a mobile structure and aims to tackle the main limitations of the fixed circular table saw found in mechanical engineering workshops. Through designing and developing this mobile wood cutting worktable, the project fully reflects its goals of improving workshop efficiency, optimizing workspace use, and enhancing safety and cleanliness during cutting operations.

The comparison with the existing fixed circular table saw shows that the new worktable brings significant improvements in all key areas. Its mobile design, featuring castor wheels and an ergonomic handle, removes the limitation of a single, fixed usage station from traditional table saws. This change cuts down user waiting time and increases the use of woodworking equipment in the workshop. The compact design, which conceals dust collection components under the tabletop, greatly minimizes the space occupied in the workshop. It allows for flexible use of space and addresses the issue of fixed equipment taking up too much room. The built-in dust collection system, equipped with a dedicated vacuum motor, effectively captures wood dust and chips during cutting. This feature improves the cleanliness of the workshop and lowers the health risks for operators due to dust inhalation.

Regarding stability and safety, the worktable frame, made from pre-drilled aluminum tubes and reinforced iron plates, provides a solid load-bearing capacity for common woodworking materials. This design ensures stable and accurate cutting without deformation or vibration. The integrated safety system includes a table saw blade guard, a safety paddle switch, and a woodworking push stick, eliminating safety risks associated with exposed cutting parts and complex wiring in fixed saws. This setup enhances the equipment's operational safety. Moreover, the simple and intuitive design of the control components makes the worktable easy for users with varying woodworking experience levels to operate, fulfilling the practical needs of workshop teaching and training.

The anticipated results of this project also affirm the economic feasibility and practical value of the designed worktable. All core components are commercially available standard parts at reasonable prices, making the overall manufacturing budget manageable and suitable for educational institutions. Additionally, the modular design of the worktable simplifies future prototype creation, functional testing, and design adjustments.

Achieving the expected results confirms the soundness and practicality of the design, providing a strong basis for future prototype production and performance testing.

In summary, the Multipurpose All in 1 Worktable for Wood Cutting is a practical and efficient answer to the current issues with workshop wood cutting equipment. It combines wood cutting, dust collection, and mobility, effectively merging efficiency, space-saving, safety, and usability. This design addresses immediate challenges in target workshops and has potential benefits for other educational institutions and small woodworking shops facing similar space and efficiency issues. In future research, the physical prototype of the worktable will be built and tested. The design will be further refined based on actual test results to enhance its performance and reliability, better supporting woodworking education and practical production activities.

REFERENCES

Alamsyah, A., & Mulyadi, A. (2022). Design of a Wood Cutting Machine Using a Rotating Saw Blade with an Adjustable Angle. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

CPSC. (2019). Table Saw Safety Update. U.S. Consumer Product Safety Commission.

JourneymanHQ. (2025). 5 Mobile Work Tables for Garage Carpentry That Pros Swear By.

Krilek, J., et al. (2014). Wood Crosscutting Process Analysis for Circular Saws. Technical University in Zvolen.

Mushiri, T., et al. (2016). Design of a bench saw cutting machine for wood with automatic braking system. University of Johannesburg.

Orlowski, K., et al. (2020). A New Holistic Approach in the Design of Sliding Table Saws. Gdansk University of Technology.

OSHA. (2025). Specific Finishing Equipment: Table Saws. U.S. Department of Labor.

Soewanto, & Mulyadi, A. (2024). Manufacturing Prototype Table Adjustable Wood Cutting Machine Using Circular Saw. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

UiTM Institutional Repository. (2022). Design, Analysis, and Fabrication of Portable Table Saw. Universiti Teknologi MARA.

https://doi.org/10.71284/asc.2026127

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A 2D AUXILIARY PLASMA CUTTER TRACK FOR SMALL-SCALE APPLICATIONS

Chek Kah Hong[1]
Muhammad Zafri Fakri[2]
Choong Chee Guan[3]
Khairul Anuar Ishak[4]

Abstract

Handheld plasma cutters, while portable and affordable, suffer from poor cutting accuracy due to a lack of positioning stability, especially for circular workpieces. Conversely, industrial CNC plasma cutters offer high precision but are prohibitively expensive for small-scale users like students and small workshop owners. This project addresses this gap by presenting the design and development of a Semi-Auto manual-electric plasma cutting tool with electromagnetic fixation. The system integrates a hand-cranked lead screw for precise linear motion and a DC wiper motor for automated rotary cutting, all secured by an electromagnetic fixation system for enhanced stability. The methodology followed a Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle, beginning with problem identification and concept selection via a decision matrix, followed by fabrication, assembly, and performance testing. Key components include a plasma torch, DC motor, speed controller, electromagnetic chuck, and an acrylic safety shield. The findings demonstrate that the prototype successfully achieves high-precision linear and circular cuts by resolving the issues of tool shaking and inconsistent speed inherent in manual operation. The total manufacturing cost was RM 1,540, which is significantly lower than commercial CNC alternatives. The project confirms that this hybrid, guided system provides a stable, accurate, and economically viable solution for small-scale metal processing, offering significant educational and practical value.

Keywords: Semi-auto plasma cutting, electromagnetic fixation, cutting accuracy, small-scale fabrication, portable cutting tool.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: kahhong0012@gmail.com

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: zafrifakri02@gmail.com

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: dr.choong@ptss.edu.my

[4]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: khairulanuar@ptss.edu.my

INTRODUCTION

Plasma cutting technology has become widely adopted in the metal processing industry due to its high cutting speed, narrow kerf width, and ability to cut most conductive materials across a diverse range of applications. Traditionally, plasma cutting tools are classified into two distinct categories: handheld plasma cutters and large computer numerical controlled (CNC) plasma cutting machines. Handheld plasma cutters offer the advantages of portability and low cost, making them accessible for light-duty tasks and fieldwork. However, the quality of cuts produced by these devices is heavily dependent on the skill and steady hand of the operator, often resulting in inconsistent cutting edges and poor accuracy, particularly when machining circular or curved workpieces. In contrast, CNC plasma cutting machines provide exceptional precision and full automation, yet their high purchase and maintenance costs, coupled with the substantial floor space they require, render them unaffordable for small-scale users such as students, hobbyists, and small workshop owners.

The limitations of existing solutions create a clear gap in the market for an intermediate system that balances affordability with improved cutting accuracy. Handheld plasma cutters lack stable positioning devices, requiring operators to manually maintain the correct torch distance and trajectory, which frequently leads to tool shaking, uneven kerfs, and workpiece scrapping for precision-required parts. For circular cuts, maintaining roundness is particularly challenging and labor-intensive. While some improved small-scale tools employ mechanical clamps for fixation, these clamps are cumbersome to operate and risk damaging the surfaces of thin metal workpieces. Furthermore, cutting speed—a critical factor affecting plasma cut quality—cannot be precisely controlled in manual operation, resulting in either incomplete cuts from excessive speed or workpiece deformation from excessive heat input when moving too slowly.

In recent years, Semi-Auto drive systems that combine manual and electric control have attracted increasing interest in small-scale machining equipment design. This hybrid approach balances flexibility with automation, allowing operators to rely on manual control for irregular cuts while utilizing electric power for regular shapes such as circles. Simultaneously, electromagnetic fixation technology has found extensive industrial application due to its rapid adsorption, easy release, and non-damaging characteristics when properly controlled. These systems generate strong magnetic forces to secure cutting tools firmly to metal workpieces or tabletops during operation and release instantly upon power disconnection, enabling efficient tool movement and workpiece replacement. This project proposes the integration of Semi-Auto drive mechanisms with electromagnetic fixation to develop a 2D auxiliary plasma cutter track specifically designed for small-scale applications. The proposed system incorporates a hand-cranked mechanism for precise linear motion, a DC wiper motor for controlled circular cutting with adjustable speed regulation, and an electromagnetic fixation system to ensure stable positioning throughout the cutting process, thereby addressing the critical shortcomings of existing handheld tools while maintaining affordability and accessibility for educational and small workshop environments.

Figure 1. Hand Holder Plasma Cutter Torch

[Retrieved from: https://blog.red-d-arc.com/how-plasma-cutters-work/]



The development of this tool draws upon existing research in plasma cutting systems, guided motion, and workpiece fixation. A review of relevant literature highlights the strengths and limitations of current technologies.

Dharmanto et al. (2025) detailed the design and construction of a low-cost 3-axis CNC plasma cutting machine simulator using stepper motors and PC-based software. While their prototype achieved satisfactory motion accuracy for thin metal sheets, the study underscores that even simplified CNC systems involve higher cost and complexity compared to the Semi-Auto manual system proposed in this project. This finding supports the need for an intermediate solution that balances precision with affordability.

Addressing the specific challenge of circular cuts, Aquil et al. (2019) developed a fixture incorporating a rotating arm, DC motor, and electromagnetic base. Their work is highly relevant as it demonstrates the efficacy of combining a motor-driven rotational mechanism with electromagnetic fixation to improve circular cutting accuracy and reduce manual error. This concept directly informs the rotary cutting and fixation modules of the current project.

The importance of a stable mechanical design is reinforced by studies on cutting parameters and machine dynamics. Kudrna et al. (2019) emphasized that proper parameter selection and machine rigidity are critical for achieving good cut quality. Furthermore, Tantowi et al. (2020) highlighted through vibration analysis that cutting pressure and speed significantly influence machine stability, supporting the need for a robust, low-vibration structure and a stable fixation method like electromagnets.

Research by Kolarikova et al. (2020) on cutting modes showed that optimized parameters can lead to better surface quality and lower noise. This underscores the value of incorporating controllable elements, such as a DC speed controller, into the tool's design to allow operators to adapt to different materials and thicknesses, thereby improving overall cutting quality and safety.

In summary, the literature confirms that while fully automated CNC systems are precise, they are complex and costly. Conversely, manual methods are inaccurate and unstable. This project synthesizes the key advantages of existing solutions guided motion, motorized rotation, and electromagnetic clamping into a novel, integrated, and low-cost Semi-Auto system specifically tailored for small-scale applications.

Figure 2. CNC Plasma Cutter Machine Operation

[Retrieved from: https://www.studiosteel.com.au/blog]



1. METHODOLOGY

This project employed a structured design and development methodology guided by the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle to ensure systematic implementation and continuous improvement throughout the research process. The PDCA framework was selected because it provides a rigorous approach to engineering project management, enabling comprehensive planning, methodical execution, objective evaluation, and iterative refinement until desired performance outcomes are achieved.

The research commenced with an extensive planning phase involving problem identification, objective setting, and comprehensive literature review to understand existing plasma cutting systems and their limitations. During this phase, the team developed essential project management tools including flowcharts to visualize sequential steps, Gantt charts to establish realistic timelines, and decision matrices to evaluate alternative design concepts objectively. Four distinct design concepts were generated using a morphology chart exploring various combinations of rotation drive systems, feed mechanisms, structural configurations, safety features, and support systems. These concepts were systematically evaluated against predetermined criteria including rotation drive effectiveness, lateral feed capability, frame stability, torch holder functionality, safety guard provision, and chassis support integrity. Drawing 4, featuring a hybrid manual-electric rotation system, electromagnetic fixation, transparent safety shielding, and robust structural support, achieved the highest total score of 26 points and was consequently selected as the final design concept.

The design development phase involved translating the selected concept into detailed engineering drawings and technical specifications using three-dimensional modeling software. Isometric views were created for all major components including the main frame structure, bearing assemblies, hand wheel mechanism, torch holder, and electromagnetic mounting system. Material selection was guided by considerations of strength, weight, cost, and machinability, resulting in the choice of rectangular hollow stainless-steel tubes for the main frame, lead screw assemblies for linear motion control, pillow block bearings for smooth guidance, and acrylic sheets for safety shielding. Concurrently, a comprehensive budget was developed based on actual market prices for all required components.

The fabrication and assembly phase constituted the core implementation activities. The main frame was constructed by cutting and welding rectangular hollow stainless-steel tubes according to specified dimensions. The linear motion system was assembled by mounting the lead screw rod with associated nut and pillow block bearings onto the frame, ensuring proper alignment for smooth movement. The hand wheel was attached to enable manual linear feed control. The rotary cutting module was fabricated by securing the DC wiper motor to a mounting plate integrated with the torch holder mechanism. The electromagnetic fixation system was installed at the tool base to provide secure attachment to ferrous metal workpieces. The electrical system was wired according to design specifications, connecting the DC motor to the speed controller and power supply, while the electromagnetic chucks were connected to their control circuit. Finally, the transparent acrylic safety shield was mounted for operator protection.

Performance testing and evaluation verified that the fabricated prototype met established design objectives. The testing protocol assessed three critical dimensions: cutting accuracy, operational stability, and system reliability. Linear cutting tests evaluated straightness consistency and edge quality using the hand-cranked mechanism. Circular cutting tests assessed roundness accuracy using the DC motor-driven rotary system. The electromagnetic fixation system was tested for secure holding without slippage or workpiece damage. Identified issues such as vibration, misalignment, or inconsistent motion were documented and addressed through design modifications including structural reinforcement, alignment adjustments, and speed calibration. This iterative refinement process continued until the prototype consistently delivered required cutting precision and operational stability, thereby validating the design methodology and resulting Semi-Auto plasma cutting tool for its intended small-scale applications.

Figure 3. Process of project in semester 4 and 5

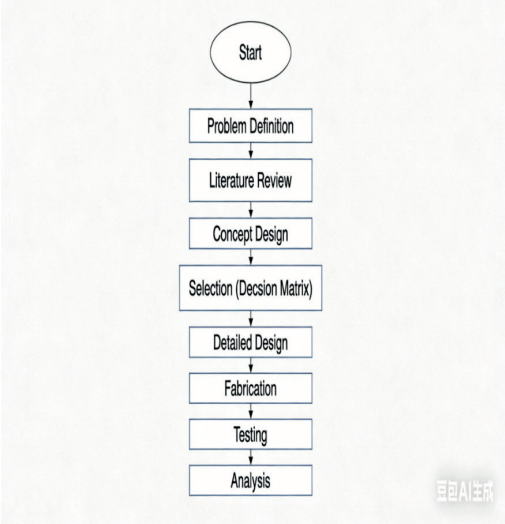
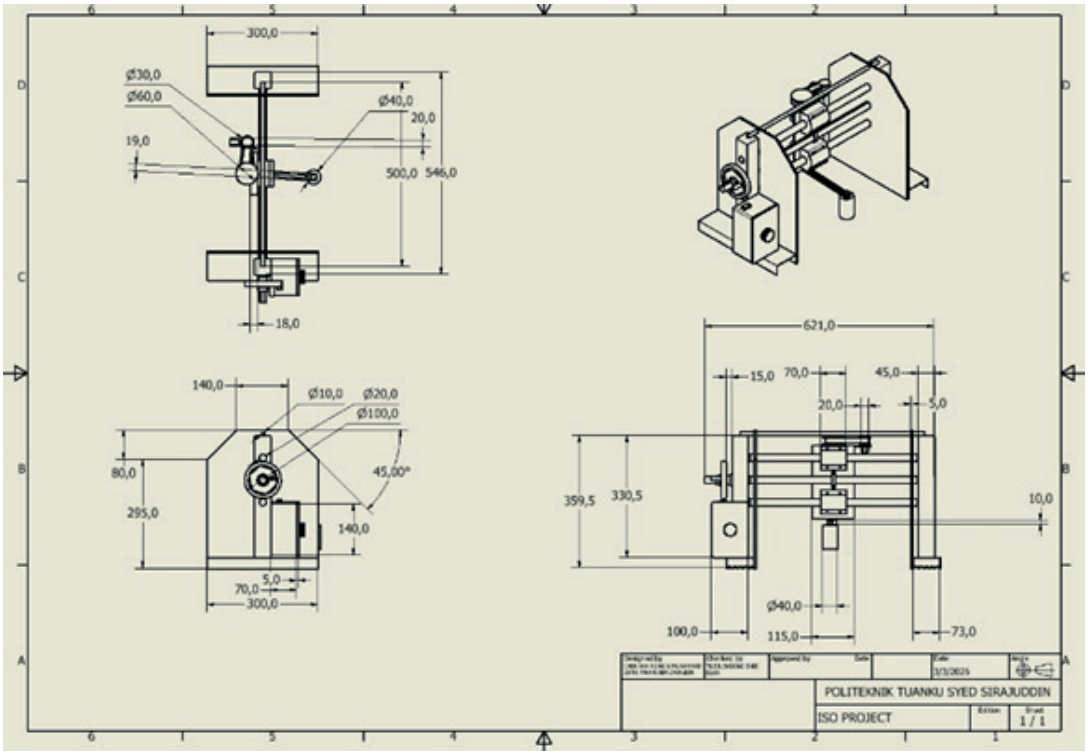


Figure 4. Final Design - 3D Model



2. RESULTS AND DISCUSSION

The fabrication and testing of the 2D Auxiliary Plasma Cutter Track prototype yielded positive results, confirming its effectiveness in meeting the project objectives. The key findings are summarized and discussed below.

Table 1. Performance Comparison: Manual Handheld vs. 2D Auxiliary Plasma Track

Testing Criteria	Manual Handheld Cutting	2D Auxiliary Plasma Track
Linear Cutting Accuracy	Prone to hand-shaking; inconsistent kerf and uneven edges.	High Precision: Guided by the hand-cranked lead screw mechanism for a steady straight path.
Circular Cutting Roundness	Difficult to maintain concentricity; often results in eccentric or scrapped parts.	High Roundness: Driven by a DC wiper motor to ensure a consistent 360-degree rotary path.
Fixation Stability	Relies on operator's physical strength; high risk of tool displacement.	Extremely Stable: Secured by electromagnetic fixation system providing strong adsorption force.
Speed Control	Controlled manually; inconsistent speed leads to heat deformation or incomplete cuts.	Adjustable & Constant: Regulated by a DC speed controller to match specific material thicknesses.
Operational Safety	High exposure to sparks and debris.	Enhanced Safety: Features an acrylic safety shield to protect the operator while maintaining visibility.
Manufacturing Cost	Low (Basic tool only).	RM 1,540: Significantly lower than industrial CNC machines, proving economic feasibility.

2.1. Functional and Performance Analysis

The prototype successfully demonstrated its dual-mode functionality. The hand-cranked lead screw mechanism enabled smooth and precise linear motion, effectively eliminating the hand-shaking issue common in manual cutting. For circular cuts, the DC wiper motor, controlled by a speed regulator, produced consistent and accurate 360-degree rotations. This verified the project's core objective of merging manual and electric control for versatile cutting operations.

2.2. Stability and Precision

The integration of the electromagnetic fixation system was a critical success factor. It provided a strong and immediate clamping force to the metal workpiece, holding the entire tool steady during cutting. This solved the problem of tool displacement caused by operator fatigue or the reactive forces of the plasma arc, leading to a marked improvement in cut quality and repeatability for both linear and circular paths.

2.3. Economic Feasibility

The total cost for materials and components was RM 1,540. This is a fraction of the cost of an industrial CNC plasma cutting machine, which can run into tens of thousands of Ringgit. This cost analysis confirms the project's economic feasibility, making precision plasma cutting accessible to students, hobbyists, and small workshops with limited budgets. The use of readily available, off-the-shelf components like a car wiper motor and standard steel profiles kept the cost low and the design replicable.

2.4. Continuous Improvement (PDCA)

The application of the PDCA cycle was instrumental in refining the final prototype. Initial "Check" phase tests revealed minor issues with vibration and alignment. During the "Act" phase, these were addressed by reinforcing the frame with rectangular hollow tubes and fine-tuning the alignment of the motor and lead screw assembly. This iterative process resulted in a more robust and reliable final product. Overall, the findings demonstrate that the developed 2D auxiliary track successfully bridges the gap between low-cost, low-accuracy handheld tools and high-cost, high-accuracy industrial machines, providing a practical and effective solution for its intended small-scale applications.

Figure 5. Low Cost and High Quality

[Retrieved from: https://www.zauca.com/low-cost-web-design-in-mumbai-cheap-website-designing-in-mumbai/]



Figure 6. Table of Cost Project

No	Component	Quantity	Cos (RM) / per	Total (RM)
1	Plasma Cutter	1	940.00	940.00
2	Wiper Motor	1	70.00	70.00
3	Electric Magnetic	2	70.00	70.00
4	Speed Controller DC Motor	1	20.00	20.00
5	Rod Bar	3	30.00	90.00
6	Ball Bearing Pillow Block Mounted	4	10.00	40.00
7	Rectangular Hollow Stainless-Steel Tube	2	25.00	50.00
8	Lead Screw Rod with Nut Pillow Block Mounted	1	70.00	70.00
9	Hand Wheel	1	30.00	30.00
10	Iron plate	1	30.00	30.00
11	Power supply	1	50.00	50.00
12	Hollow steel pipe	2	25.00	50.00
13	Transparent board	2	15.00	30.00
			TOTAL	**RM 1540.00**

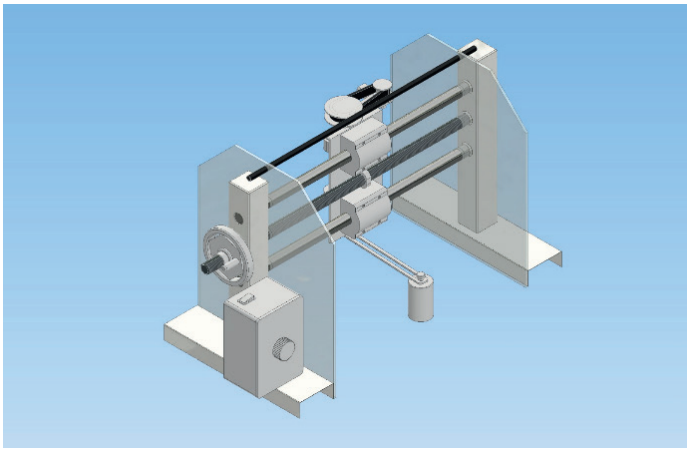
CONCLUSION

This project successfully achieved the design, fabrication, and performance verification of a 2D Auxiliary Plasma Cutter Track for Small-Scale Applications. The primary objective of creating a Semi-Auto hybrid system that combines a manual hand-cranked linear feed with an electric motor-driven rotary cutting mechanism was met. The integration of an electromagnetic fixation system effectively resolved the critical issue of tool instability, a major drawback of traditional handheld plasma cutters.

The findings confirm that the prototype delivers high-precision linear cuts and maintains excellent roundness in circular cuts, a task difficult to achieve manually. The adjustable speed control and acrylic safety shield further enhance its usability and operational safety. Economically, with a total manufacturing cost of RM 1,540, the tool presents a highly affordable and viable alternative to expensive industrial CNC machines, fulfilling its goal of making precision metal cutting accessible to students, small workshops, and for on-site maintenance.

By following the PDCA methodology, the project ensured a systematic development process, leading to a robust and dependable final design. In conclusion, this 2D auxiliary plasma cutter track offers a reliable, low-cost, and portable solution for high-precision metal processing. It holds significant value as an educational tool for engineering students and as a practical asset for small-scale manufacturing, demonstrating that innovative engineering can effectively and affordably solve real-world problems.

Figure 7. Finalize Drawing Project Using INVENTOR (CAD)



REFERENCES

Aquil, M., Rehan, D., Ashim, A., Muheeb, B., & Laraib, A. (2019). Fixture for Plasma Cutting Machine for Circular Cuts. *International Journal of Innovative Science and Research Technology, 4(5), 20-21*.

Dharmanto, A., Rofiq, N., Saepudin, A., Domodite, A., & Wilarso. (2025). Design and Construction of Prototype of CNC Plasma Cutting Machine Simulator 3 Axis Based on Stepper Motor and Mach3 PC Software. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy, 9(1), 179-191*.

Kolarikova, M., Kolařík, L., Panáček, T., Králíček, J., Kučera, M., & Gurčík, T. (2020). Influence of Cutting Parameters and Plasma Cutting Mode on Cutting Quality and Process Noise. Manufacturing Technology, 20(6), 771-773.

Kudrna, L., Fries, J., & Merta, M. (2019). Influences on Plasma Cutting Quality on CNC Machine. MAPE, 2(1), 108-117.

Tantowi, I., Mohruni, A. S., & Mataram, A. (2020). Vibration Analysis of CNC Plasma Cutting Machine. IOSR *Journal of Mechanical and Civil Engineering, 22(4), 1-7*.

https://doi.org/10.71284/asc.2026128

PAZARLAMA STRATEJİLERİNDE YAPAY ZEKA VE "ANTROPOMORFİZM" EĞİLİMLERİ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND "ANTHROPOMORPHISM" TRENDS IN MARKETING STRATEGIES

Sabiha Kılıç [1]

Özet

Bu çalışma, işletmelerin yapay zeka araçlarına insani kimlik kazandırma eğilimlerinin (antropomorfizm), tüketici-marka ilişkisi üzerindeki psikolojik yansımalarını ve bu alandaki literatürün entelektüel yapısını incelemeyi amaçlamaktadır. Böylece işletmelere uygulayabilecekleri pazarlama stratejileri konusunda önerilerde bulunulması hedeflenmektedir. Çalışmanın temel varsayımı, yapay zeka araçlarını insanlaştırmanın tüketicilerde sosyal bağlantı ihtiyacını ve çevreyi kontrol etme arzusunu tetikleyerek etkileşimi artırdığı, ancak bu sürecin belirli bir eşikten sonra psikolojik riskler barındırdığıdır. Araştırma kapsamında Web of Science veri tabanından elde edilen 2014-2026 dönemine ait 427 bilimsel eser, CiteSpace bilimsel haritalama programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda ulaşılan bulgular, antropomorfik tasarımların tüketicilerde güçlü bir "sosyal varlık" algısı oluşturduğunu ve markaya duyulan güven ile sadakati pekiştirdiğini göstermektedir. Tüketicilerin insanlaştırılmış yapay zeka araçlarını sosyal psikoloji temelli "sıcaklık" (yardımseverlik/dostça niyet) ve "yetkinlik" (beceri/görevi yerine getirme) boyutları üzerinden değerlendirdikleri saptanmıştır. Ancak yapay zeka araçlarının aşırı veya kusurlu insanlaştırılması, "Tekinsiz Vadi" etkisine yol açarak tüketicilerde huzursuzluk, ürperme, manipülasyon ve "insanlıktan çıkarma – dehumanization" algısı yaratabilmektedir. Bu durumun müşteri memnuniyeti üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği konusu literatürde ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. CiteSpace analizlerinde yapay zeka ve antropomorfizm literatürünün 10 ana küme etrafında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Literatürün gelişiminin teknik odaklılıktan satın alma niyeti ve marka ilişkisi kalitesi gibi somut ticari çıktılara doğru evrildiği belirlenmiştir. Çin ve ABD gibi ülkeler bu alandaki akademik üretime öncülük etmektedir. Türkiye'de ise konuya ilişkin ilginin henüz gelişmekte olduğu söylenebilir. Literatüre ilişkin ayrıntılı analizler pazarlama yöneticilerinin yapay zeka arayüz tasarımlarında sosyo-duygusal bağların niteliğini yöneterek rekabet avantajı elde edebileceklerine dair stratejik bir yol haritası sunmakta ve etik sınırların korunmasının sürdürülebilir sadakat için kritik önem taşıdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, antropomorfizm, tüketici psikolojisi, marka ilişkisi, citespace, bibliyometrik analiz.

[1]Prof.Dr., Hitit Üniversitesi, sabihakilic@hitit.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0906-4567

Abstract

This study aims to examine the psychological implications of businesses' tendency to attribute human-like identities to artificial intelligence tools (anthropomorphism) on the consumer-brand relationship, and the intellectual structure of the literature in this field. The aim is to provide businesses with suggestions on marketing strategies they can implement. The study's basic assumption is that humanizing artificial intelligence tools increases interaction by triggering a need for social connection and a desire to control the environment in consumers, but this process carries psychological risks beyond a certain point. As part of the research, 427 scientific works from the Web of Science database covering the period 2014-2026 were analyzed using the CiteSpace scientific mapping program. The findings of the analysis show that anthropomorphic designs create a strong perception of "social being" in consumers and reinforce trust and loyalty to the brand. It has been found that consumers evaluate humanized AI tools based on social psychology dimensions of "warmth" (helpfulness/friendly intention) and "competence" (skill/task completion). However, excessive or flawed humanization of AI tools can lead to the "Uncanny Valley" effect, creating feelings of unease, apprehension, manipulation, and dehumanization in consumers. The potential negative impact of this situation on customer satisfaction is discussed in detail in the literature. CiteSpace analyses have identified that the AI and anthropomorphism literature is concentrated around 10 main clusters. It has been determined that the development of the literature has evolved from a technical focus to one focusing on tangible commercial outcomes such as purchase intention and brand relationship quality. Countries like China and the US are leading the academic output in this field. In Turkey, however, interest in the subject can be said to be still developing. Detailed analyses of the literature offer a strategic roadmap for marketing managers to gain a competitive advantage by managing the quality of socio-emotional connections in AI interface designs, and demonstrate that maintaining ethical boundaries is critical for sustainable loyalty.

Keywords: Artificial intelligence, anthropomorphism, consumer psychology, brand relationship, citespace, bibliometric analysis.

GİRİŞ

Modern pazarlama dünyası, teknolojinin müşteri etkileşimlerine ve hizmet sunum süreçlerine entegre olduğu büyük bir dönüşüm süresinden geçmektedir (Pitardi ve Marriott, 2021; Joerling vd., 2019). Bu süreçte işletmeler, hizmet maliyetlerini optimize etmek ve dijital yerli nesillere daha etkili ulaşabilmek amacıyla sanal asistanlar, chatbotlar ve hizmet robotları gibi yapay zeka temelli araçlara yoğun yatırımlar yapmaktadırlar (Marinova vd., 2017). Çalışmanın temel amacı, işletmelerin bu araçlara insani kimlik kazandırma eğilimlerinin (antropomorfizm) tüketici – marka ilişkisi üzerindeki psikolojik yansımalarını derinlemesine incelemek ve bu alandaki akademik literatürün entelektüel yapısını çözümleyerek işletmelere uygulanabilir pazarlama stratejileri sunmaktadır. Çalışmanın temel varsayımı, yapay zeka araçlarının insanlaştırılmasının tüketicilerde sosyal bağlantı kurma ihtiyacını ve çevreyi kontrol etme arzusunu tetikleyerek marka etkileşimini artırdığı, ancak bu sürecin belirli bir eşikten sonra "Tekinsiz Vadi" etkisi nedeniyle ürperme, huzursuzluku ve manipülasyon gibi psikolojik riskler barındırdığıdır (Mori, 1970). Çalışma kapsamında öncelikle antropomorfizm kavramının teorik temelleri ve "sosyal varlık", "güven", "sıcaklık" ve "yetkinlik" gibi aracı mekanizmalar ele alınmaktadır (Belanche vd., 2021; Fiske vd., 2007; Güntürkün vd., 2020). Çalışma, literatürün son on yılda mekanik işlem odaklılıktan satın alma niyeti ve marka ilişkisi kalitesi gibi sosyo-psikolojik çıktılara doğru nasıl bir değişim geçirdiğini 10 ana küme üzerinden haritalandırmaktadır. Bununla birlikte çalışma, pazarlama yöneticileri için etik sınırları koruyan ve tüketicilerle kurulan sosyo-duygusal bağların niteliğini yöneterek rekabet avantajı elde etmeyi sağlayan stratejik bir yol haritası da sunmaktadır. Bu anlamda, yapay zeka araçlarının insanlaştırılma

sürecini (antropomorfizm) şekillendiren kuramsal temelleri, tetikleyici unsurları ve bu sürecin tüketici-marka ilişkisi üzerindeki karmaşık psikolojik yansımalarını detaylandırmak amacıyla bir sonraki bölümde kapsamlı bir kavramsal çerçeve sunulmuştur. Kavramsal çerçeve sonrasında çalışma kapsamında 2014-2026 yılları arasında WoS veri tabanında yayımlanmış 427 bilimsel eser, CiteSpace 7.0 bilimsel haritalama programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Bilimsel yayınların büyük bir kısmının işletme ve yönetim alanında yoğunlaştığı, Çin ve ABD gibi ülkelerin bu alandaki akademik üretkenliğe öncülük ettiği görülmektedir. Bu bildiri, "Yapay zeka araçlarına yüklenen insani özelliklerin sosyal varlık algısı üzerindeki etkisi nedir?", "Antropomorfik tasarımlar hangi noktadan itibaren tekinsiz vadi etkisine dönüşebilmektedir?" ve "Gelecekte yapay zeka çağının psikolojisi konularında hangi çalışmalar yapılabilir?" gibi temel araştırma sorularına yanıt aramaktadır. Çalışmanın bulguları, pazarlama yöneticileri için etik sınırları koruyan ve tüketici deneyimini iyileştiren stratejik bir yol haritası sunarken, aynı zamanda literatürde alana ilişkin boşlukları görselleştirerek gelecek çalışmalara ışık tutmayı da hedeflemektedir. Bu çalışma, yapay zeka araçlarının sadece yetkinliklerinin değil, tüketicilerle kurdukları sosyo-duygusal bağların niteliğinin markaların rekabet avantajını belirleyen temel unsur olacağını iddia etmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Günümüz pazarlama stratejilerinde yapay zeka teknolojileri, müşteri etkileşimlerini ve hizmet sunum süreçlerini radikal bir şekilde dönüştürmektedir (Pitardi ve Marriott, 2021; Joerling vd., 2019). İşletmeler müşteri hizmetleri faaliyetlerine dair maliyetleri düşürmek ve dijital yerli olan bir nesle hitap edebilmek amacıyla fiziksel robotlar, chatbotlar ile Siri, Alexa gibi sanal asistanları daha sık kullanır hale gelmişlerdir (Marinova vd., 2017). Bu teknolojik dönüşümün merkezinde "antropomorfizm" kavramı bulunmaktadır. Bu kavram, insan olmayan varlıklara veya nesnelere insani özellikler, niyetler ve duygusal durumlar atfetme süreci olarak tanımlanmaktadır (MacInnis ve Folkes 2017; Waytz vd., 2014; Epley vd., 2007; Waytz vd., 2010). Pazarlama literatüründe antropomorfizmin, tüketicilerin cansız nesnelerle nasıl etkileşime girdiklerini ve onları nasıl deneyimlediklerini anlamak için yakın dönemde pek çok araştırma yapılmıştır (Niemelä vd., 2017; Novak ve Hoffman, 2019; Kleine and Baker 2004; Lastovicka and Sirianni 2011). Araştırmalarda, antropomorfizm sürecinin, tüketicilerin yapay zeka tabanlı araçları sadece birer makine olarak değil, sosyal faktörler olarak algılamasına neden olduğu tartışılmaktadır (Niemelä vd., 2017; Belanche vd., 2020; Wünderlich ve Paluch 2017).

Epley vd., tarafından 2007 yılında geliştirilen antropomorfizm teorisine göre, bu sürecin temelinde sosyal bağlantı ihtiyacı ve çevreyi kontrol etme arzusu bulunmaktadır. Pazarlama bağlamında, robotların veya chatbotların insan benzeri (human-like) bir görünüme, isme veya ses tonuna sahip olması, müşterilerin sosyal varlık algısını artırmaktadır (Epley vd., 2007). Müşterilerin bir yapay zeka aracını antropomorfize etme eğilimi hem müşteri özelliklerine hem de robot tasarım özelliklerine bağlıdır. Müşteri yetkinliği, bilgisayar kaygısı ve robotlara yönelik olumsuz tutum antropomorfizm algısını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle bilgisayar kaygısı yüksek olan bireyler, belirsizliği azaltmak ve kontrolü sağlamak amacıyla robotları daha fazla insanlaştırma eğilimindedirler (Blut vd., 2021). Tasarım bakımından ise baş, yüz ve vücut gibi fiziksel özellikler ve duygusal ifade, bakış, jest ve ses gibi fiziksel olmayan özellikler temel tetikleyicilerdir (Erebak ve Turgut 2019; Zhang vd., 2010). Belanche ve diğerleri tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada, robotların fiziksel görünümünün müşterilerin değer beklentilerini belirlemede merkezi bir rol oynadığı, android, humanoid ve mechanoid kategorileri arasındaki farkların müşteri algısını doğrudan şekillendirdiği iddia edilmektedir. Bu kategorilerin algılanma düzeyi arasındaki farklılıklar güven, yetkinlik ve sıcaklık olarak ifade edilen aracı mekanizmalar tarafından sağlanmaktadır. Çalışmada önerilen HVL (Humanness-Value-Loyalty/İnsanlık-Değer-Sadakat) modeli, robotların algılanan "yetkinlik" ve "sıcaklık" boyutlarının müşteri beklentilerini belirlediğini gösterir. Yetkinlik algısı, robotun görevi doğru ve güvenilir şekilde yerine getirme yeteneğini yansıtırken, sıcaklık algısı, robotun dostça ve yardımsever niyetlere sahip olup olmadığına dair müşteri yargısını içerir (Belanche vd., 2021; Fiske vd., 2007; Güntürkün vd., 2020).

Fakhimi ve diğerleri tarafından 2023 yılında sanal sohbet asistanları (VCA) konusunda gerçekleştirilen bir çalışmada, antropomorfizmin güven inşasında kritik olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında üç tür güven tanımlamışlardır. Bunlar; (i) Hesaplanmış Güven: Rasyonel kararlara ve ekonomik faydaya dayalı başlangıç düzeyi güven. (ii) Genel Güven: Robotun "bir aile üyesi" gibi görülmesiyle oluşan yüksek düzeyde güven. (iii) Kör Güven: Teknik bilgi eksikliği nedeniyle müşterinin kendini tamamen teknolojiye teslim etmesi durumu (Fakhimi vd., 2023).

Ancak, anropomorfizm her zaman olumlu sonuçlar doğurmayabilir. Mori (1970) tarafından öne sürülen "Tekinsiz Vadi – Uncanny Valley" hipotezine göre, bir robotun insan benzerliği arttıkça başlangıçta sempati yükselir. Ancak benzerlik mükemmele yakın ama kusurlu bir noktaya ulaştığında, tüketicilerde bir ürperme veya huzursuzluk hissi uyanabilir (Mori, 1970). Bu nedenle Blut ve diğerleri tarafından 2021 yılında gerçekleştirilen bir meta-analiz çalışmasında, antropomorfizmin genellikle teknoloji kullanım niyetini olumlu etkilediği, ancak bu etkinin tekinsiz vadi etkisinden kaçınmak isteyen makinemsi tasarımlarla dengelenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Blut vd., 2021). Benzer şekilde Crolic ve diğerleri tarafından 2022 yılında yapılan ve müşteri – chatbot etkileşimlernide kızgınlık duygusunun incelendiği çalışmada, antropomorfizmin bazen istenen sonuçların tam aksi sonuçlar doğurabileceği ifade edilmiştir. Çalışmaya göre, kızgın müşteriler insan benzeri özelliklere sahip bir chatbot ile karşılaştıklarında, chatbotun etkinlik kapasitesine dair beklentileri aşırı yükselmektedir. Chatbot bu yüksek beklentileri karşılayamadığında "beklenti ihlali" oluşmakta ve bu durum müşteri tatmininde ve satın alma niyetinde ciddi düşüşlere yol açabilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar, şikayet yönetimi gibi negatif duyguların yoğun olduğu alanlarda, çok fazla antropomarfik olmayan, daha rasyonel / makinemsi arayüzlerin kullanılmasının stratejik bir tercih olabileceğini vurgulamışlardır (Crolic vd., 2022).

Pazarlama stratejisi olarak yapay zeka ve antropomorfizmin kullanımı, sadece teknolojik bir tasarım meselesi değil, derin bir psikolojik ve sosyolojik etkileşim yönetimidir. Pazarlama yöneticileri, dürüst ve etik antropomorfizm ilkelerine bağlı kalarak, müşteriyi aldatma niyeti taşımadan insan benzeri özellikleri stratejik bir araç olarak konumlandırmalıdırlar (Leong ve Selinger 2019; Thomaz vd., 2020). Hizmetin doğası ve müşterinin duygusal durumu chatbotun ne kadar insansı tasarlanması gerektiğini belirleyen ana kriter olmalıdır (Crolic vd., 2022). Geleceğin pazarlama dünyasında yapay zeka araçlarının sadece yetkinlikleri değil, aynı zamanda müşterilerle kurdukları sosyo-duygusal bağların niteliği, markaların rekabet avantajını belirleyen temel unsur olacaktır (Fakhimi vd., 2023).

Antropomorfizmin teorik dayanaklarını ve pazarlama stratejilerindeki güncel yansımalarını ele alan bu kavramsal çerçeveden yola çıkarak, konunun literatürdeki gelişim seyrini, baskın akademik ağları ve entelektüel gelişim yapısını haritalandırmak üzere aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı CiteSpace bilimsel haritalama analizlerine yer verilmiştir.

2. YÖNTEM

Çalışma veri seti, WoS bibliyografik veri tabanında 06/04/2026 tarihinde "TS=”Artificial Intelligence" OR "AI" OR "Chatbot" OR "Virtual Assistan*" OR "Service Robot" AND "Anthropomorphism" OR "Human-like" OR "Humanoid" OR "Social Presence" AND "Marketing" OR "Consumer Psychology" OR "Brand Relationship" OR "Consumer Behavior" anahtar kelimeleri yazılarak yapılan tarama sonucunda elde edilmiştir. Tarama sonucunda, 2014-2026 yılları arasında yayımlanmış 427 adet bilimsel esere ulaşılmıştır. Bu bilimsel eserler WoS bibliyografik veri tabanında yer alan 154 farklı bilimsel dergide yayımlanmıştır. Bilimsel eserlerin yayınlanmasına 157 farklı ülkede bulunan 1220 yazar katkıda bulunmuş olup bu yazarların görev yaptıkları 1038 farklı kurum bulunmaktadır. Antropoformizm konusunda ilk yayın 2014 yılında yayımlanmış olup literatürde konuya olan ilginin 2022 yılında artış göstermeye başladığı ve bununla birlikte 2025 yılında 151 adet bilimsel yayınla bilimsel literatürde oldukça artan düzeyde tartışılmaya başlandığı söylenebilir. Bilimsel yayınların 404 adedi araştırma ve derleme makalesi niteliğinde olup, diğerleri bildiri, kitap incelemesi, kitap bölümü, editöre mektup türünde yayınlardır. Konuya ilişkin

bilimsel eserlerin en çok yayınlandığı ülkeler arasında Çin Halk Cumhuriyeti (129 adet yayın), ABD (82 adet yayın), İngiltere (47 adet yayın), Hindistan (42 adet yayın) ve Güney Kore (35 adet yayın) ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizde konuya ilişkin WoS bibliyografik veri tabanında yer alan dergilerde 13 bilimsel eser yayımlanmıştır. Bilimsel yayınların ağırlıklı olarak yaklaşık %72'si işletme alanında yayımlanan çalışmalardır. Diğerleri ise ağırlıklı olarak yönetim, konaklama, eğlence, spor turizm, uygulamalı psikoloji, iletişim, yapay zeka, robotik, ve disiplinlerarası bilgisayar bilimleri alanlarında gerçekleştirilmiştir. Veri seti, CiteSpace 7.0 bilimsel haritalama programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Analiz, aşağıdaki araştırma sorularına cevap aramaktadır:

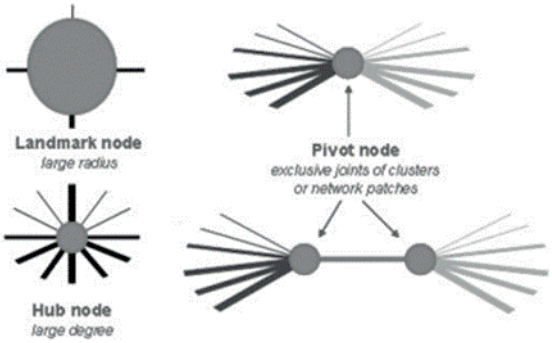
- Yapay zeka ve antropomorfizm üzerine yapılan akademik çalışmalar son on yılda nasıl bir entelektüel gelişim süreci geçirmiştir?
- Yapay zeka araçlarına yüklenen insani özelliklerin, tüketicilerin "sosyal varlık" ve markaya duydukları güven algısı üzerinde nasıl bir etkiye sahiptir?
- Antropoformik tasarımların sağladığı olumlu tüketici algısı, hangi noktadan itibaren "tekinsiz vadi" etkisine dönüşerek huzursuzluk ve manipülasyon algısı yaratmaktadır?
- Kurumsal yapılar içinde yapay zekanın "insanlaştırılması" farklı sektörlerdeki veya farklı etkileşim düzeylerindeki marka sadakat süreçlerini nasıl farklılaştırmaktadır?
- Gelecekte yapay zeka çağının psikolojisi konularında hangi teorik ve uygulama odaklı çalışmalar yapılabilir?

2.1. CiteSpace Analizleri

CiteSpace, özellikle bilimsel literatürün yapısal ve zamansal dinamiklerini ortaya koymada öne çıkan araçlardan biridir. CiteSpace'in sunduğu olanaklar, bilimsel alanların gelişim eğilimlerinin, anahtar kavramların, yazarlar arası işbirliklerinin ve atıf ağlarının görsel olarak haritalanmasına imkân tanır. Bu bağlamda, CiteSpace kullanılarak yapılan bibliyometrik analizler, multidisipliner araştırmalar için güçlü bir metodolojik çerçeve sunmaktadır. CiteSpace programının temel amacı, bilimsel literatürün görsel ve hesaplamalı analizi yoluyla bir araştırma alanının yapısını ve dinamiklerini anlamlandırmak ve görselleştirmektir. Araştırmacılara, hızla gelişen bilimsel alanlardaki temel bilgileri ve eğilimleri yakalamaları için güçlü bir araç sunar. Bilimsel bir alanın, araştırma alanının veya disiplinin bilimsel

literatürünü görsel analitik bir yaklaşımla incelemek için tasarlanmıştır. Bibliyografik veri setini girdi olarak alır ve ilgili bilim alanının entelektüel yapısını sentezlenmiş ağlar halinde modeller ve görselleştirir. Gelişen trendlerin ve değişimlerin belirlenmesinde bilimsel literatürdeki gelişen trendleri ve ani değişimleri tespit etme ve görselleştirme konusunda önemli metodolojik katkılar sunar. Örneğin, bir araştırma alanındaki «en güncel" araştırma alanlarına ait terimleri ve önemli dönüm noktalarını (pivotal points) belirler. Bu amaçla ortak atıf ağlarından yararlanır (Chen, 2006; Chen, 2020). Görselleştirilmiş bir ortak atıf ağında dönüm noktası düğümleri (Landmark node), merkez düğümleri (Hub node) ve pivot düğümleri (Pivot node) bulunur. Bu düğümler, bir bilgi alanına dair literatürde yer alan önemli makalelerin aranmasını basitleştirmeye yardımcı olur. Görselleştirilmiş ortak atıf ağında yer alan düğümler aşağıdaki şekilde görülmektedir(Chen, 2004):

Şekil 1. Görsel Ağ Düğümleri



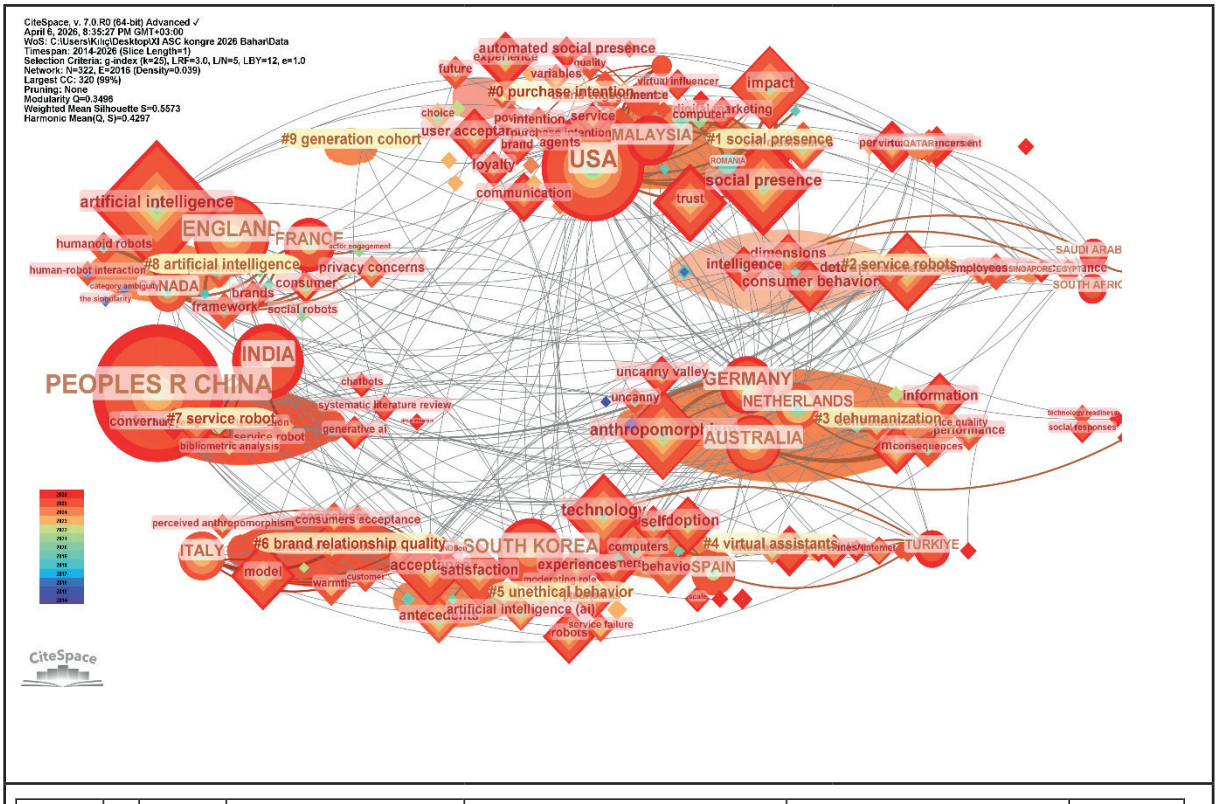
Kaynak: Chen, 2004.

Dönüm noktası düğümü (Landmark node) yüksek atıf alan ve ait olduğu bilim alanına önemli katkıları bulunan böylece büyük etki yaratan makaleleri kapsar. Merkez düğüm (Hub node), nispeten önemli katkıları bulunan makalelerin yer aldığı düğümdür. Merkez düğümde yer alan makaleler ait oldukları bilimsel alana önemli entelektüel katkılar sunma potansiyelinde çalışmalardır. Bu çalışmalar yüksek bağlantı merkezliliği olan makalelerdir. Bu makaleler ağdaki diğer düğümleri birbirine bağlayan yolların ortasında yer almaktadır. Merkez düğümde yer alan makaleler genellikle yapısal boşluklarda bulunur ve yaratıcılık, özgünlük ve farklı alanlar arasında köprü kurma potansiyeline sahiptir. Pivot düğümler (Pivot node) farklı ağlar arasındaki bağlantı noktalarıdır. Yüksek aracılık merkeziyeti değerlerine sahip düğümlerdir. Pivot düğümler iki ağ tarafından paylaşılan ortak düğümler veya ağ bağlantıları sağlayan ağ geçidini temsil ederler. Bir bilim alanının evriminde paradigma kaymalarının veya entelektüel geçiş noktalarının potansiyel göstergeleri olarak tanımlanabilirler. CiteSpace görselinde pivot düğümler genellikle mor bir halka ile vurgulanır. Böylece, görselleştirmelerde öne çıkararak araştırmacıların bilişsel yükünü önemli düzeyde azaltır ve analiz edilecek makalelerin sayısının daraltılmasına yardımcı olurlar. Merkez düğümün işlevleriyle benzerlik gösterse de iki belirgin küme arasında geçişi karakterize eden makaleler bu düğümde yer alır (Chen, 2004;Chen, Ibekwe-SanJuan, Hou, 2010).

2.1.1. Ülke - Anahtar Kelime Kümeleme Ağ Analizi

Ülke – Anahtar Kelime ağ analizinde 322 adet ülke ve anahtar kelime bulunmaktadır. Ağda 2016 adet ortak atıf ağı bulunmaktadır. Ağda 10 adet ana küme yer almakta olup bu kümeler kendi içerisinde Silhouette 0,5573 ağırlıklı ortalamasıyla birbirine benzer yayınlar içermektedir. Ülke-Anahtar Kelime ağ analizine dair görsel ve kümeleme analizi değerlerine ilişkin ayrıntılı analiz ve değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır:

Şekil 2. Ülke-Anahtar Kelime Ağ Analizi



ClusterID	Size	Silhouette	Label (LSI)	Label (LLR)	Label (MI)	Average Year
0	49	0.355	smart shopping	purchase intention (11.7, 0.001)	consumer-brand relationship (0.49)	2023
1	43	0.633	virtual entity	social presence (7.66, 0.01)	virtual entity (0.77)	2021
2	38	0.474	digital marketing	service robots (19.73, 1.0E-4)	human social behavior (0.4)	2022
3	36	0.599	artificial intelligence chatbots	dehumanization (9.46, 0.005)	brands (0.43)	2019
4	35	0.522	digital marketing	virtual assistants (8.86, 0.005)	iot (0.53)	2021
5	35	0.531	consumer-brand relationships	unethical behavior (9, 0.005)	buyer-seller interaction (0.49)	2022
6	31	0.582	e-commerce chatbots	brand relationship quality (10.85, 0.001)	social perceptions (0.28)	2024
7	26	0.677	smart shopping	service robot (18.72, 1.0E-4)	intelligent agent technologies (0.6)	2022
8	22	0.759	interaction orientation	artificial intelligence (21.33, 1.0E-4)	accuracy (0.7)	2018
9	5	0.997	service instructions	generation cohort (9.32, 0.005)	artificial intelligence (0.03)	2014

Citation Counts	Node Name	DOI	Cluster ID
160	artificial intelligence		8
129	PEOPLES R CHINA		7
82	USA		1
81	social presence		1
68	anthropomorphism		3
62	technology		4
61	impact		1
55	trust		1
52	service robots		2
50	acceptance		5

Bursts	Node Name	DOI	Cluster ID
0.00	artificial intelligence		8
0.00	PEOPLES R CHINA		7
0.00	USA		1
0.00	social presence		1
0.00	anthropomorphism		3
0.00	technology		4
0.00	impact		1
0.00	trust		1
0.00	service robots		2
0.00	acceptance		5

Degree	Node Name	DOI	Cluster ID
63	anthropomorphism		3
57	artificial intelligence		8
55	technology		4
54	social presence		1
48	USA		1
45	adoption		4
44	impact		1
42	acceptance		5
42	consumer behavior		2
40	self		4

Centrality	Node Name	DOI	Cluster ID
0.17	anthropomorphism		3
0.13	artificial intelligence		8
0.13	social presence		1
0.10	USA		1
0.09	technology		4
0.08	adoption		4
0.08	consumer behavior		2
0.07	satisfaction		5
0.06	impact		1
0.06	self		4

Sigma	Node Name	DOI	Cluster ID
1.00	anthropomorphism		3
1.00	artificial intelligence		8
1.00	social presence		1
1.00	USA		1
1.00	technology		4
1.00	adoption		4
1.00	consumer behavior		2
1.00	satisfaction		5
1.00	impact		1
1.00	self		4

Kaynak: CiteSpace, 2026

Ülke - Anahtar kelime kümeleme ağ analizi sonucunda aralarında ortak atıf düzeyi ve dolayısıyla bağlantı düzeyi en yüksek 10 adet major kümeye ulaşılmıştır. Bu kümeler, yapay zeka ve antropomorfizm literatürünün hangi tematik odaklar etrafında toplandığını ifade etmektedir. Konuya ilişkin bilimsel literatür başta Çin Halk Cumhuriyeti (129 adet yayın), ABD (82 adet yayın), İngiltere (46 adet yayın), Hindistan (38 adet yayın) ve Güney Kore (33 adet yayın) olmak üzere 32 ülke ve bu ülkelerde yayımlanan bilimsel eserlerde ortak olarak kullanılan 290 adet anahtar kelime ekseninde şekillenmektedir. Bu kümelerde yer alan bilimsel eserlerde yer alan anahtar kelimeler arasında yapay zeka 160 yayında, sosyal varlık 81 adet yayında, antropoformizm 68 adet yayında, hizmet robotları 52 adet yayında, robotlar 27 adet yayında en sık kullanılan ortak anahtar kelimelerdir. Bu en büyük 10 küme, literatürde yapay zekanın teknik yönlerinden tüketici psikolojisine uzanan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Kümeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Cluster #0 (Purchase Intention - Satın Alma Niyeti): Bu küme literatürdeki en güncel ve en kapsamlı araştırma odağını temsil etmektedir. Kümede yer alan 49 adet akademik düğümde yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2023'tür. Bu alanın yapay zeka literatüründeki en güncel ve en sıcak tartışma konularını barındırdığını göstermektedir. Ayrıca akademik ilginin artık teorik kavramlardan (antropomorfizm gibi) somut tüketici davranışlarına kaydığını kanıtlar. Kümenin tematik odağında akıllı alışveriş ve marka ilişkisi bulunmaktadır. Küme etiketleri içeriğin neye odaklandığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. LSI Etiketi (smart shopping); yapay zeka destekli alışveriş ekosistemlerini ve dijital perakende uygulamalarını ifade eder. LLR Etiketi (purchase intention); en güçlü tanımlayıcı etikettir. Tüm bu teknolojik gelişimin nihai hedefinin satın alma niyeti oluşturmak olduğunu gösterir. MI Etiketi (consumer-brand relationship); yapay zeka araçlarının tüketici ile marka arasındaki bağı nasıl dönüştürdüğünü vurgular. Kümedeki anahtar değişkenler deneyim ve kabuldür. Bu kavramlar en çok atıf alan yayınlarda ortak olarak kullanılan kalvramlardır. Experience (29 alıntı); literatürdeki en önemli faktörün deneyim olduğunu vurgular. Tüketicinin yapay zeka ile kurduğu etkileşimin kalitesi ve diğer tüm sonuçların belirleyicisidir. User Acceptance (25 alıntı); yapay zeka araçlarının sadece var olmasının yeterli olmadığını, kullanıcı tarafından benimsenmesinin (adoption) kritik eşik olduğunu ifade eder. Kümede yer alan power (13 alıntı) anahtar kelimesi, yapay zekanın tüketici üzerindeki etkisi ya da markaların bu teknoloji aracılığıyla elde ettiği Pazar gücü ile ilgili olabilir. Kümenin Silhouette değeri 0,355'tir. Bu değer diğer kümelere kıyasla oldukça düşüktür. Bu durum kümede yer alan yayınların oldukça heterojen olduğu anlamına gelmektedir. Yani satın alma niyeti başlığı altında farklı sektörlerden (e-ticaret, fiziksel perakendecilik vb. gibi) ve çok farklı alt konulardan gelen çalışmalar bir araya toplanmıştır. Bu durum alanın henüz çok yeni olduğunu ve standartlaşmış tek bir teorik çerçeveden ziyade, çok dallı bir yapı sergilediğini gösterir. Kümede Malezya menşeli 16 akademik çalışmanın ve bu bölgedeki tüketici örneklemlerinin "akıllı alışveriş" ve "satın alma niyeti" konularında literatüre önemli katkılar sağladığına işaret etmektedir. Bu yayınlar Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan, Ürdün, Filipinler ve Suudi Arabistan menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf almıştır. Bu küme, kurumların yapay zeka araçlarını insanlaştırma çabalarının artık ticari sonuçlara (satın alma) ve kullanıcı deneyimine nasıl dönüştüğünü inceleyen, literatürün en büyük ve en güncel ana akım grubudur.

Cluster #1 (Social Presence - Sosyal Varlık): Bu küme yapay zeka literatüründeki en kritik ve tutarlı araştırma alanlarından birini temsil etmektedir. Kümede yer alan 43 adet akademik düğümde bulunan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2021'dir. Bu yayınlar yapay zeka araçlarının birer eşya olmaktan çıkıp birer sanal varlık olarak algılanma sürecini incelemektedirler. Kümenin Silhouette değeri 0,633'tür. Bu değer, kümenin kendi içindeki homojenliğinin ve tutarlılığının yüksek olduğu göstermektedir. Kümede yer alan 43 düğümde bulunan akademik çalışmalar birbirini güçlü bir şekilde desteklemekte ve benzer kavramsal çerçeveleri (sosyal varlık, güven, iletişim) kullanmaktadırlar. Kümede en çok atıf alan anahtar kelimeler tüketici psikolojisinin temel mekanizmalarını ortaya koymaktadır. Social presence (81 alıntı), tük ağdaki en etkili 4. Anahtar kelimedir. Bu kavram, dijital bir arayüzle etkileşime girerken "orada başka bir sosyal varlık varmış" gibi hissetme durumunu ifade etmektedir. Güven (55 alıntı), sosyal varlık algısının en önemli çıktılarından biridir. Yapay zekanın sosyal varlık olarak algılanmasının, tüketicinin o araca ve dolayısıyla

markaya duyduğu güveni inşa eden ana motor olduğunu kanıtlar. Communication (23 alıntı); bu süreçte iletişim kalitesinin sosyal bağın kurulmasındaki rolünü vurgulamaktadır. Bu kümede yer alan kavramlar sadece popüler değil aynı zamanda tüm literatürü birbirine bağlayan köprülerdir. "Social presence" terimi 0,13 merkezilik değeriyle tüm ağdaki en stratejik 3. Düğümdür. Bu durum, sosyal varlık konusunun sadece kendi kümesinde değil, satın alma niyeti, marka sadakati ve teknoloji kabulü gibi diğer tüm kümelerle olan bilgi akışını sağladığını gösterir. Kümenin ana düğümleri (USA, social presence, impact, trust) 1.00 sigma değerine sahiptir. Bu veri, bu kavramların literatürde hem zamansal bir patlama yaşadığını hem de yapısal olarak vazgeçilmez birer dönüm noktası olduklarını ifade eder. Kümede en çok atıf alan düğüm USA (82 alıntı)'dır. Bu, alandaki teorik çerçevelerin ve ampirik çalışmaların büyük ölçüde Amerikan menşeli literatürden beslendiğini işaret eder. Amerikan menşeli bu yayınlar Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Kore ve Avustralya menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf almıştır. Kümede yer alan Impact (61 alıntı) anahtar kelimesi sosyal varlık ve güvenin tüketici üzerindeki genel etkisini ölçen çalışmaların hacmini, konunun sadece kuramsal kalmadığını, somut sonuçlar üzerinden değerlendirildiğini ifade etmektedir. Bu küme, markaların yapay zeka araçlarını insanlaştırma stratejilerinin (antropomorfizm), tüketici zihnindeki karşılığıdır. Eğer bir chatbot veya sanal asistan "sosyal varlık" hissi uyandırabiliyorsa, bu durum doğrudan "güven" mekanizmasını tetiklemekte ve marka üzerinde güçlü bir etki yaratmaktadır.

Cluster #2 (Service Robots - Hizmet Robotları): Bu küme, yapay zeka literatüründeki dijital pazarlama ve sosyal davranış odaklı güncel çalışmaları temsil etmektedir. Kümede yer alan 38 adet akademik düğüm, analizin üçüncü en büyük akademik yoğunlaşmasının yaşandığı alandır. Bu kümede bulunan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılının 2022 olması, konunun literatürdeki en güncel ve gelişmekte olan temalar arasında yer aldığını göstermektedir. Kümenin tematik odağında, dijital pazarlama, hizmet robotları ve insan sosyal davranışı yer almaktadır. LSI Etiketi (digital marketing); kümenin genel çerçevesinin dijital pazarlama stratejileri üzerine kurulduğunu belirtir. LLR Etiketi (service robots); istatistiksel olarak kümeyi en iyi tanımlayan terimdir. MI Etiketi (human social behavior); hizmet robotları ile etkileşimin "insan sosyal davranışı" perspektifinden incelendiğini vurgular. Kümenin Silhouette değeri 0,474'tür. Bu değer kümenin orta düzeyde bir tutarlılığa sahip olduğunu ifade eder. Bu değer, kümede yer alan yayınların hizmet robotları, tüketici davranışı gibi ortak bir temada birleştiğini ancak, çok dar ve spesifik bir kümeden ziyade farklı alt disiplinleri (pazarlama, psikoloji, teknoloji gibi) barındıran daha heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Kümede en çok atıf alan anahtar kelimeler hizmet robotları (52 alıntı) ve tüketici davranışı (25 alıntı)'dır. Hizmet robotları, kümenin odağındaki temel teknolojidir ve tüm ağda en çok atıf alan 9. terimdir. Tüketici davranışı terimi ise ağın yapısı için kritik öneme sahiptir. 42 derece ve 0,08 merkezilik değerine sahiptir. bu durum, tüketici davranışı kavramının hizmet robotları konusu ile diğer kümelere (satın alma niyeti, marka ilişkisi vb.) bilgi taşıyan ana köprülerden biri olduğunu kanıtlar. Tüketici davranışı düğümünün Sigma değerinin 1.00 olması, bu kavramın hem literatürde bir patlama yaşadığını hem de yapısal olarak vazgeçilmez bir dönüm noktası olduğunu ifade eder. Kümede yer alan Dimensinon (19 alıntı), Intelligence (18 alıntı) ve Attitudes (14 alıntı); hizmet robotlarının zeka seviyelerinin ve farklı boyutlarının (fizikse, sosyal) tüketicilerin tutumlarını nasıl şekillendirdiğine dair araştırmaların yoğunluğunu yansıtmaktadır. Bu kümeye ait veriler, kurumsal yapılar içindeki "insanlaştırma" çabalarının hizmet sektöründe nasıl bir marka sadakati yaratabileceği sorusuna ışık tutmaktadır. Tüketicilerin hizmet robotlarına karşı geliştirdikleri tutumlar ve bu süreçteki sosyal davranışları, markaların teknoloji üzerinden kurdukları ilişkilerin kalitesini belirleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu küme, hizmet robotlarının pazarlama dünyasındaki yerini ve tüketicilerin bu robotlarla kurdukları sosyal etkileşimin psikolojik çıktılarını inceleyen, literatürün güncel ve stratejik bir araştırma öbeğidir.

Cluster #3 (Dehumanization - İnsanlıktan Çıkarma): Bu kümede yer alan 36 akademik düğüm, Antropomorfizm ve zihin algısı (mind) gibi derin psikolojik temaları işler. Bu küme 2019 yılı civarına yoğunlaşan ve yapay zekanın "insanlaştırılması" ile bunun yarattığı psikolojik sınırları inceleyen çalışmaları bir araya getirmektedir. Kümede yer alan çalışmalarda temel olarak "yapay zekayı ne kadar

insanlaştırmalıyız?" ve "Bu süreç ne zaman ters teper?" sorularına odaklanılmaktadır. Özellikle sürecin ters tepebileceği "tekinsiz vadi – uncanny valley" kavramıyla ifade edilmektedir. Ters etki yani tekinsiz vadi, yapay zekaya insani özellikler yüklenmesinin (antropomorfizm) bir noktadan sonra dehumanization (insanlıktan çıkarma) algısına veya etik kaygılara yol açarak markaya karşı bir huzursuzluk yaratabileceği üzerine kurulan teorik çerçeviyi desteklemektedir. Kümede en çok atıf alan anahtar kelime "mind" (20 alıntı), tüketicilerin yapay zeka araçlarında bir "zihin" veya "bilinç" algılamaya başladığı noktayı ve bunun yarattığı etkileri temsil eder. Kümedeki 68 alıntılı "anthropomorphisim" (insan biçimcilik) anahtar kelimesi, sadece bu kümenin değil tüm veri setinin en önemli yapı taşıdır. Öyle ki 0,17 merkezilik değeriyle tüm ağda birinci sıradadır. Bu antropomorfizmin farklı disiplinler ve konular arasındaki bilgi akışını sağlayan ana köprü olduğunu kanıtlar. Kavramın Degree (Derece) değeri 63'tür. Bu değer, kavramın en yüksek bağlantı sayısına sahip olduğunu ifade eder. Diğer bir ifadeyle, literatürdeki diğer neredeyse tüm kavramlar – güven, sosyal varlık, marka ilişkisi vb. – antropomorfizm üzerinden birbirine bağlanmaktadır. Küme içinde Almanya ve Avustralya gibi ülkeler en çok atıf alan yayınların bulunduğu ülkelerdir. Bu coğrafyalardaki akademik kurumların antropomorfizm ve yapay zeka psikolojisi üzerine öncü çalışmalar yürüttüğü söylenebilir. Ayrıca kümede yer alan "information" anahtar kelimesi 26 ortak atıf yayınında yer almakla birlikte bu sürecin bilgi işleme ve teknoloji algısı boyutlarının da incelendiğini işaret etmektedir. Bu küme, markaların yapay zekayı insanlaştırma stratejilerinin hem en büyük fırsatlarını (güven/bağ) hem de en büyük risklerini (tekinsiz vadi/insanlıktan çıkarma) barındıran literatürün entelektüel omurgasını oluşturan bir kümedir.

Cluster #4 (Virtual Assistants - Sanal Asistanlar): Bu kümede yer alan 35 akademik düğüm, yapay zekanın pazarlama ekosistemindeki teknik entegrasyonunu ve kullanıcı tarafından benimsenme süreçlerini temsil etmektedir. Yayınların ortalama yayınlanma yılı 2021'dir. Kümenin tematik odağını dijital pazarlama, sanal asistanlar ve nesnelerin interneti oluşturmaktadır. LSI Etiketi (digital marketing); sanal asistanların dijital pazarlama bağlamında ele alındığın gösterir. LLR Etiketi (virtual assistants); kümenin ana çalışma nesnesinin sanal asistanlar olduğunu istatistiksel olarak doğrular. MI Etikesi (iot); sanal asistanların sadece birer yazılım değil, nesnelerin interneti ekosisteminin bir parçası olarak incelendiğini işaret eder. Kümede en çok atıf alan anahtar kelimeler, kümede yer alan yayınların teknoloji benimseme ve kullanıcı etkileşimi konuları etrafından yoğunlaştığını ifade etmektedir. Bu anahtar kelimeler arasında Technology (62 alıntı) ve Adoption (29 alıntı); kümenin en güçlü düğümlerini oluşturmaktadır. Bu düğümlerde yer alan çalışmaların büyük bir kısmının sanal asistan teknolojilerinin kullanıcılar tarafından nasıl benimsendiğine ve bu teknolojilerin teknik altyapısına odaklandığı söylenebilir. Engagement (23 alıntı) ve Behavior (21 alıntı) anahtar kelimelerinin bulunduğu yayınlar kullanıcıların bu sanal asistanlarla kurduğu etkileşimin niteliği ve bu etkileşimlerin tüketici davranışlarını nasıl dönüştürdüğü üzerine odaklanmaktadır. Self (17 alıntı) anahtar kelimesinin yer aldığı düğümde bulunan akademik çalışmalar, kullanıcının "benlik" algısı ile sanal asistan arasındaki ilişkiyi veya asistanın kişiselleştirilme düzeyini temsil ediyor olabilir. Kümede yer alan bazı terimler tüm literatür ağı için hayatı bir öneme sahiptir. Örneğin Technology (55 degree) ve Adoption (45 degree) anahtar kelimelerinin sahip olduğu derece değerleri, ağdaki en yüksek bağlantı sayılarına sahip ilk 10 düğüm arasında olduklarını ifade etmektedir. Bu, sanal asistanlar konusunun teknoloji ve benimseme kavramların üzerinden diğer tüm akademik kümelerle güçlü bağlar kurduğunu kanıtlar. Technology (0,09) ve Adoption (0,08) anahtar kelimelerinin merkezilik değerleri, bu kavramların literatürdeki bilgi akışında birer köprü görevi gördüklerini gösterir. Kümedeki "technology", "adoption" ve "self" düğümlerinin Sigma değerlerinin 1.00 olması, bu kavramların hem yapısal hem de zamansal açıdan literatürün gelişiminde vazgeçilmez birer dönüm noktası olduklarını ifade etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,522'dir. Bu değer kümenin yapısal tutarlılık anlamında makul düzeyde homojenliğini işaret etmektedir. Küme içindeki 35 düğümde yer alan akademik çalışmanın sanal asistanlar ve dijital pazarlama ortak paydasında birleştiğini, ancak teknolojik altyapıdan kullanıcı davranışlarına kadar orta genişlikte bir yelpazeyi kapsadığı söylenebilir. Bu kümede yer alan akademik çalışmaların, kurumların

yapay zeka asistanlarını markalarına entegre etme süreçlerinde teknolojik kabul ve kullanıcı etkileşimi dinamiklerini nasıl yönetmeleri gerektiğini inceleyen stratejik öneme sahip çalışmalar olduğu söylenebilir.

Cluster #5 (Unethical Behavior - Etik Dışı Davranış): Bu kümede yer alan 35 akademik düğüm, yapay zekanın tüketici – marka ilişkilerindeki etik sınırlarını ve risklerini inceleyen kritik bir alanı temsil etmektedir. Kümedeki çalışmaların ortalama yayın yılı 2022'dir. Kümenin etiketleri, kümede yer alan araştırmaların odağını netleştirmektedir. LLR Etiketi (unethical behavior); istatistiksel olarak en güçlü tanımlayıcı olup, yapay zeka uygulamalarında karşılaşılan etik dışı davranışları temsil eder. LSI Etiketi (consumer-brand relationship); etik sorunların marka ile kurulan ilişki bağlamında ele alındığını gösterir. MI Etiketi (buyer-seller interaction); kümede yer alan çalışmaların özellikle alıcı ve satıcı arasındaki etkileşim süreçlerine odaklandığını vurgular. Kümede en çok ortak atıf alan yayınlarda kullanılan anahtar kelimeler, etik kayfılar ve teknoloji kullanımı arasındaki gerilimi yansıtmaktadır. Acceptance (50 alıntı) anahtar kelimesi, tüm veri setinde en çok atıf alan 10. terimdir. Ayrıca 42 derece değeriyle (genel ağda 8. Sırada) çok sayıda kavramla bağlantılıdır. Bu durum, etik sorunlara rağmen yapay zekanın kullanıcılar tarafından nasıl kabul edilebileceğinin kümede yer alan akademik çalışmaların temel bir araştırma sorusu olduğunu göstermektedir. Satisfaction (37 alıntı) anahtar kelimesine ait düğüm, kümenin en stratejik düğümlerinden biridir. 0,07 merkezilik (genel sıralamada 8.) ve 1.00 Sigma değeriyle, etik algıların tüketici memnuniyeti üzerindeki etkisinin literatürde yapısal bir dönüm noktası olduğunu kanıtlar. Robots (27 alıntı) ve Consumer (26 alıntı) anahtar kelimeleri, çalışmaların merkezinde robotik sistemler ile tüketiciler arasındaki etkileşim konularının yer aldığını ifade etmektedir. Kümede Güney Kore (33 alıntı) merkezli çalışmaların yapay zeka etiği ve tüketici memnuniyeti konularında literatüre yön veren önemli bir kaynak olduğu görülmektedir. Bu yayınlara Amerika menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf yapılmıştır. Kümenin Silhouette değeri 0,531'dir. Bu değer, kümenin kendi içinde makul düzeyde bir homojenliğe sahip olduğunu gösterir. Yani, kümedeki 35 düğümde yer alan akademik çalışmalar, etik dışı davranışlar ve tüketici – marka ilişkisi çerçevesinde tutarlı bir akademik bütünlük sergilemektedirler. Bu küme, daha önce değinilen "tekinsiz vadi" ve manipülasyon algısı gibi konuların kurumsal yansımasıdır. Markaların yapay zekayı insanlaştırma çabaları, etik sınırları aştığında veya tüketici tarafından manipülatif (etik dışı) algılandığında, kabul ve memnuniyet seviyelerinin nasıl değiştiği bu kümenin ana tartışma konusudur. Bu küme yapay zeka teknolojilerinin karanlık tarafına odaklanarak, etik dışı algıların marka sadakati ve tüketici kabulü üzerindeki engelleyici etkilerini bilimsel olarak analiz etmektedir.

Cluster #6 (Brand Relationship Quality – Marka İlişkisi Kalitesi): Bu küme 31 adet akademik düğüm ile yedinci büyük küme olmasına rağmen 2024 ortalama yayın yılı ile veri setindeki en yeni ve güncel çalışma grubudur. Yapay zeka literatürünün ulaştığı en güncel ve sonuç odaklı aşamayı temsil etmektedir. Bu durum, akademik ilginin artık sadece yapay zekanın teknik kabulünden ziyade, bu teknolojinin marka ile tüketici arasındaki uzun vadeli ilişkisinin kalitesini nasıl dönüştürdüğüne kaydığını göstermektedir. Kümenin tematik odağında e-ticaret ve chatbotlar yer almaktadır. Küme etiketleri, kümede yer alan bilimsel araştırmaların uygulama alanını netleştirmektedir. LLR Etiketi (brand relationship quality); istatistiksel olarak en güçlü tanımlayıcı olup, yapay zekanın marka sadakati ve ilişkisi üzerindeki etkisine odaklanır. LSI Etiketi (e-commerce chatbots); bu ilişkilerin temel olarak e-ticaret platformlarındaki sohbet botları (chatbots) üzerinden incelendiğini belirtir. MI Etiketi (social perceptions); tüketicilerin bu araçları sosyal birer aktör olarak nasıl algıladığını (sosyal algı) vurgular. Kümede en çok ortak atıf alan bilimsel yayınlarda kullanılan anahtar kelimeler, tüketicilerin yapay zeka markalarını değerlendirirken kullandıkları iki temel psikolojik kriteri ortaya koymaktadır. Bunlar Sıcaklık ve yetkinlik olarak ifade edilebilir. Anahtar kelimeler arasında Warmth (Sıcaklık – 13 alıntı) ve Competence (Yetkinlik – 12 alıntı); sosyal psikolojideki "sosyal algı modeli"nin temel taşlarıdır. Tüketiciler, insanlaştırılmış yapay zeka araçlarını değerlendirirlerken, aracın ne kadar dost canlısı/yardımsever (sıcaklık) ve ne kadar becerikli/iş bitirici (yetkinlik) olduğuna bakmaktadırlar. Bu iki değer, marka ilişkisi kalitesinin temel belirleyicileridir. Kümede yer alan Model (41 alıntı) anahtar kelimesi, bu alanda yeni teorik modellerin geliştirildiğine ve test edildiğine işaret etmektedir.

Consumer acceptance (11 alıntı) anahtar kelimesi ise, marka ilişkisi kurulabilmesi için öncelikle kullanıcının bu teknolojiyi kabul etmesi gerektiğini vurgular. Kümenin Silhouette değeri, 0,582'dir. Bu değer kümenin kendi içinde yüksek düzeyde tutarlılığa sahip olduğunu gösterir. Kümede yer alan 31 düğümdeki akademik çalışmaların marka ilişkisi kalitesi teması etrafından sağlam ve birbirini destekleyen bir akademik bütünlük oluşturduğunu kanıtlar. Italy (16 alıntı) düğümünde yer alan 16 bilimsel eser, İtalya merkezli akademik çalışmaların yapay zekanın marka ilişkileri üzerindeki etkisi konusunda literatüre önemli bir katkı sağladığını göstermektedir. Bu yayınlara Almanya, Yeni Zelanda ve İngiltere menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf yapılmıştır. Bu kümede yer alan akademik çalışmalarda, kurumların yapay zeka araçlarını insanlaştırma (antropomorfizm) çabalarına ilişkin konular incelenmektedir. Bu kümede yer alan yayınlara göre, markalar, chatbotlar aracılığıyla hem sıcaklık hem de yetkinlik algısı yaratarak, tüketicilerle olan ilişki kalitelerini artırmayı ve modern dijital dünyada sürdürülebilir bir marka sadakati inşa etmeyi hedeflemelidirler.

Cluster #7 (Service Robot – Hizmet Robotu): Bu kümede yer alan 26 düğümde yer alan akademik çalışmalar, ilgili literatürün coğrafi yoğunlaşmasını ve akıllı teknolojilerin alışveriş ekosistemindeki teknik uygulamalarını temsil etmektedir. Bu kümede yer alan yayınların ortalama yılı 2022'dir. Kümenin etiketleri, kümede yer alan bilimsel çalışmaların teknik ve sektörel odağını netleştirmektedir. LLR Etiketi (service robot); istatistiksel olarak en güçlü tanımlayıcı olup odağın doğrudan hizmet robotları olduğunu doğrular. LSI Etiketi (smart shopping); bu robotların akıllı alışveriş senaryolarındaki rollerinin incelendiğin gösterir. MI Etiketi (intelligent agent technologies); konunun daha geniş bir çerçevede "akıllı ajan teknolojileri" sağlamında ele alındığını vurgular. Kümede yayınlarına en çok atıf yapılan ülkeler Çin Halk Cumhuriyeti (129 alıntı) ve Hindistan (38 alıntı)'dır. Çin Halk Cumhuriyeti, tüm veri setindeki en çok atıf alan ikinci düğümdür. Bu durum, hizmet robotları ve akıllı alışveriş teknolojileri üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmının Çin merkezli olduğunu veya Çin pazarını referans aldığını kanıtlamaktadır. Bu yayınlara Malezya,

Ürdün ve Amerika menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf yapılmıştır. Bunun yanı sıra Hindistan'ın da bu teknolojik gelişim ve araştırma alanında önemli bir bölgesel güç olduğunu göstermektedir. Hindistanlı yazarların yayınlarına Malezya ve Ürdün menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf yapılmıştır. Bu kümede yer alan akademik çalışmaların teknolojik odağını konuşmaya dayalı aracılar oluşturmaktadır. Öyle ki, insanlaştırma stratejilerinin teknik araçlarını bu aracılar yansıtmaktadır. Kümede yer alan Conversational Agent (13 alıntı) anahtar kelimesi hizmet robotlarının sadece fiziksel varlıklarıyla değil, aynı zamanda konuşmaya dayalı, diyalog bazlı yapay zeka yetenekleriyle de incelendiğini gösterir. Bu, işletmelerin yapay zeka araçlarına insani bir ses ve iletişim tarzı kazandırarak tüketiciyle bağ kurma çabalarını temsil eder. Kümede yer alan Information Technology (15 alıntı) ve Service Robot (17 alıntı) anahtar kelimeleri, araştırmaların temel teknolojik altyapısını ve ana çalışma nesnesini tanımlar. Kümenin Silhouette değeri 0,677'dir. Bu değer, kümenin kendi içinde oldukça yüksek bir tutarlılığa ve homojenliğe sahip olduğun göstermektedir. 1.00'e yaklaşan bu değer, küme içindeki çalışmaların birbirini güçlü bir şekilde desteklediğini ve "akıllı alışverişte hizmet robotları" teması etrafında çok net bir akademik sınır çizildiğini kanıtlar. Bu küme, özellikle Asya merkezli (Çin ve Hindistan) araştırmaların domine ettiği, hizmet robotlarının ve konuşmaya dayalı aracıların akıllı perakende alanındaki teknik entegrasyonuna odaklanan, literatürün yapısal olarak en tutarlı ve spesifik kümelerindendir.

Cluster #8 (Artificial Intelligence – Yapay Zeka): Bu küme literatürün kuramsal temelini ve en yüksek etkiye sahip merkez noktasını temsil etmektedir. Kümede yer alan 22 akademik düğümde yer alan bilimsel çalışmalarda bulunan kavramlar bakımından tüm ağın omurgasını oluşturmaktadır. Ortalama 2018 yılına ait çalışmaları kapsaması bu kümenin yapay zekanın tüketici davranışları literatürüne girdiği "altın çağı" ve kuramsal çerçevenin oturduğu dönemi temsil ettiğini göstermektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,759'dur. Bu değer kümenin kendi içinde çok güçlü bir tutarlılığa ve homojenliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Kümedeki çalışmaların birbirini yüksek oranda desteklediği ve odak noktalarının net olduğu anlaşılmaktadır. Kümenin etiketleri, kümede yer alan akademik çalışmaların kalitesini ortaya koymaktadır. LLR Etiketi (artificial intelligence); istatistiksel olarak en güçlü tanımlayıcı olup kümenin ana çalışma

nesnesini belirlemektedir. LSI Etiketi (interaction orientatiton); araştırmaların etkileşim yönelimi üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. MI Etiketi (accuracy); yapay zeka sistemlerinin doğruluk payının tüketici algısı üzerindeki önemini vurgulamaktadır. Kümedeki "artificial intelligence" terimi, sadece bu kümenin değil, tüm araştırma sahasının en baskın aktörüdür. Artificial intelligence 160 adet yayında ortak anahtar kelime olarak yer almaktadır. 57 Degree (Derece) değeriyle ağdaki en yüksek bağlantı sayısına sahip ikinci terimdir. Bu da onun diğer neredeyse tüm akademik kavramlarla ilişkili olduğunu göstermektedir. 0,13 merkezilik değeri, bilgi akışında en stratejik ikinci köprü noktası olduğunu ifade etmektedir. Sigma değeri 1.00, hem yapısal hem de zamansal açıdan literatürdeki en büyük dönüm noktalarından biri olduğunu işaret etmektedir. Kümede en çok atıf alan ülkeler İngiltere (46 alıntı), Fransa (21 alıntı), Kanada (13 alıntı)'dır. Bu ülkelerin, yapay zekanın kuramsal çerçevesinin oluşturulmasında öncü bir rol üstlendiği söylenebilir. İngiltere menşeli yayınlara, İtalya, Fransa ve Hollanda menşeli yazarların yayınlarında ortak atıf yapılmıştır. Fransa menşeli yayınlar ise daha çok İngiltere menşeli, yazarların yayınlarında ortak atıf yapılmıştır. Kümede yer alan Artificial Intelligence (160 alıntı) anahtar kelimesinin ortak olarak bulunduğu akademik yayınlar Pakistan, Malezya, Çin Halk Cumhuriyeti, Kanada, Hindistan, Ürdün, Güney Kore, İngiltere, Katar, ABD ve Avustralya menşeli yazarlara aittir. Kümede yer alan Framework (13 alıntı) anahtar kelimesi, alandaki temel teorik çerçevelerin bu küme içerisindeki yayınlar aracılığıyla geliştirildiğine işaret etmektedir. Bu küme, düğüm sayısı bakımından küçük görünse de en yüksek alıntılı "yapay zeka – 160 alıntı" düğümü sayesinde literatürün en etkili ve merkezi bölümünü oluşturmaktadır. Markaların yapay zeka kullanımına dair tüm psikolojik ve davranışsal analizler, bu kümede temelleri atılan etkileşim yönelimi, doğruluk ve kuramsal çerçeveler üzerinden yükselmektedir.

Cluster #9 (Generation Cohort – Nesil Grubu): Bu küme, analiz edilen ağ yapısı içerisindeki en eski ve en homojen bilimsel eserlerin bulunduğu ve akademik çalışmaların 5 düğümde toplandığı grubu temsil etmektedir. Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2014'dür. Veri setindeki en eski çalışmaları barındırmaktadır. Bu durum yapay zeka ve robotik etkileşimi literatürünün ilk aşamalarında, araştırmacıların daha çok temel hizmet robotları ve kuşak farklılıklarına odaklandığını göstermektedir. Bu küme 5 akademik yayın düğümüne sahip olması nedeniyle en küçük kümedir. Ancak literatürün geneline kıyasla niş ve spesifik bir çalışma alanını temsil etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,997'dir. Bu değer, bu kümenin olağanüstü derecede homojen ve tutarlı olduğunu kanıtlamaktadır. Bu veri, küme içindeki 5 düğümde yer alan akademik çalışmaların birbiriyle çok sıkı bağlara sahip olduğunu ve "kuşakların hizmet robotlarına yaklaşımları" konusunda çok net, çelişkisiz bir akademik çerçeve çizdiklerini göstermektedir. Kümenin etiketleri, kümede yer alan akademik çalışmaların tematik odağını net bir şekilde tanımlamaktadır ki bu odak, insansı robotlar ve hizmet talimatlarını içerir. LLR Etiketi (generation cohort – kuşak farklılıkları); bu kümedeki çalışmaların temel motivasyonunun, farklı yaş gruplarının robotik teknolojilere nasıl tepki verdiğini incelemek olduğunu göstermektedir. En çok atıf alan yayınlarda kullanılan "humanoid intelligent service robot", "robot instructor" ve "service instructions" anahtar kelimeler, bu dönemdeki araştırmaların yapay zekayı birer "eğitmen" veya "hizmet sunucu" olarak konumlandırdığını ortaya koymaktadır. Kümenin en tekili kümesi Tayvan (14 alıntı) düğümüdür. Bu düğüm erken dönem öncü çalışmaların büyük ölçüde Tayvan merkezli akademik çevrelerden geldiğini göstermektedir. MI Etiketi (0,03) olarak "artificial intelligence" teriminin görünmesi, o dönemde bu insansı robotların yapay zeka ile olan bağının henüz başlangıç aşamasında olduğunu ve daha çok "hizmet talimatları – service instructions" üzerinden tanımlandığını yansıtmaktadır. Bu küme, literatürün "embriyo" aşamasını temsil eder. Markaların günümüzdeki karmaşık yapay zeka stratejilerinden (marka sadakati, etik kaygılar vb.) çok daha önce, robotların insanlara nasıl talimat vereceği ve farklı kuşakların bu "insansı eğitmenleri" nasıl karşıladığı bu kümede yer alan akademik çalışmalar kapsamında bilimsel temellere oturtulmuştur.

CiteSpace analizindeki 10 ana küme, yapay zekanın (YZ) 2014'ten 2024'e uzanan on yıllık süreçte teknik bir araçtan sosyal bir aktöre dönüşümünü belgelemektedir. Literatürün entelektüel omurgasını, ağdaki en yüksek merkeziliğe (0.17) ve dereceye (63) sahip olan "antropomorfizm" (Cluster #3) ile en yüksek alıntı sayısına (160) sahip olan "yapay zeka" (Cluster #8) kavramları oluşturmaktadır. Süreç, 2014 yılında insansı

robotlar ve kuşak farklılıklarını inceleyen Cluster #9 ile başlamış; 2018'de YZ'nin kuramsal çerçevesinin çizildiği Cluster #8 ile derinleşmiştir. 2021 yılı itibarıyla araştırmalar, YZ'nin bir "sosyal varlık" (Cluster #1) olarak algılanması ve güven (trust) inşası üzerine yoğunlaşmıştır. Aynı dönemde sanal asistanların (Cluster #4) teknolojik kabulü ve kullanıcı etkileşimi ön plana çıkmıştır. 2022-2023 yıllarına gelindiğinde, literatürün odağı somut ticari çıktılara kaymıştır. Cluster #0, 49 üyesi ile ağdaki en büyük küme olarak "satın alma niyeti" ve akıllı alışveriş deneyimlerini merkeze almaktadır. Hizmet robotları (Cluster #2 ve #7) ise özellikle Çin (129 alıntı) ve Hindistan gibi pazarlarda tüketici davranışlarını şekillendiren temel unsurlar haline gelmiştir. Ancak bu gelişim, psikolojik riskleri de beraberinde getirmiştir. Cluster #3 (Dehumanization) ve Cluster #5 (Unethical Behavior), YZ'nin aşırı insanlaştırılmasının «insanlıktan çıkarma" algısına veya etik dışı davranış endişelerine yol açarak memnuniyeti zedeleyebileceğini göstermektedir. 2024 yılının en güncel kümesi olan Cluster #6 ise bu süreci, chatbotlar aracılığıyla "sıcaklık" ve "yetkinlik" algısı yaratarak "marka ilişkisi kalitesini" artırma hedefiyle özetlemektedir. Sonuç olarak veriler, markaların YZ'yi insanlaştırarak güven inşa ettiğini, ancak etik sınırları ve tüketici deneyimini (experience) yönetmenin sürdürülebilir bir sadakat için kritik olduğunu kanıtlamaktadır.

3. BULGULAR

Araştırma kapsamında, WoS veri tabanından elde edilen 427 bilimsel eser, CiteSpace 7.0 yazılımı aracılığıyla analiz edilmiş ve yapay zeka ile antropomorfizm literatürünün entelektüel yapısı ortaya konulmuştur. Veri seti 154 farklı dergide yayımlanmış, 157 ülkeden 1220 yazarın katkıda bulunduğu heterojen bir yapı sunmaktadır. Literatürün zamansal gelişimi incelendiğinde, ilk yayının 2014 yılında yapıldığı, konuya olan ilginin 2022 yılında ivme kazandığı ve 2025 yılında 151 yayınla zirve noktasına ulaştığı görülmektedir. Coğrafi dağılımda Çin Halk Cumhuriyeti 129 yayınla lider konumdayken, onu ABD (82 yayın), İngiltere (47 yayın) ve Hindistan (42 yayın) takip etmektedir. Türkiye ise bu alanda 13 eserle henüz kavramın tartışılmaya başlandığı aşamadadır.

Anahtar kelime ağ analizi kapsamında literatürün merkezinde yer alan temel kavramların "merkezilik", "derece" ve "sigma" değerleri üzerinden bulguları değerlendirildiğinde; "Artificial Intelligence" (160 alıntı) ve "Anthropomorphism" (68 alıntı) kavramlarının tüm ağın entelektüel omurgasını oluşturduğu söylenebilir. Özellikle "Anthropomorphism", 0,17 merkezilik değeriyle farklı çalışma alanlarını birbirine bağlayan en stratejik "pivot düğüm" olarak öne çıkmaktadır. Bu durum literatürdeki güven, sosyal varlık ve arka ilişkisi gibi tüm alt başlıkların antropomorfizm kavramı üzerinden şekillendiğini kanıtlamaktadır. "Social presence" (81 alıntı) kavramı ise, 0,13 merkezilik değeriyle ağdaki en stratejik üçüncü düğüm olup, dijital arayüzlerin birer eşya olmaktan çıkıp sosyal bir aktör olarak algılanma sürecini temsil etmektedir.

Kümeleme analizi sonucunda, literatürün odak noktalarını belirleyen 10 ana küme tespit edilmiştir. Bu kümeler, konunun teknik bir seviyeden derin psikolojik ve ticari çıktılara nasıl evrildiğini belgelemektedir. Bu kapsamda; Cluster #0 49 düğümle ağın en büyük ve 2023 ortalama yılıyla en güncel kümelerinden biridir. Bu küme, akademik ilginin teorik tartışmalardan satın alma niyeti ve akıllı alışveriş deneyimi gibi somut ticari çıktılara kaydığını göstermektedir. Deneyim ve kullanıcı kabulü, bu kümedeki en kritik değişkenlerdir. Cluster #1 yayınlarının ortalama yılı 2021 yılına yoğunlaşan bir kümedir. Bu kümede yer alan yayınlarda sosyal varlık algısının güven inşasındaki rolü tartışılmaktadır. Silhouette değerinin (0,633) yüksekliği, bu alandaki çalışmaların kavramsal olarak oldukça tutarlı olduğunu kanıtlamaktadır. Bu kümede yer alan çalışmalardan bir yapay zeka aracı "orada bir sosyal varlık varmış" hissi uyandırabiliyorsa, bu durum markaya duyulan güveni doğrudan tetikler çıkarsamında bulunulabilir. Cluster #2 ve #7 kümeleri, hizmet robotlarının dijital pazarlamadaki rolüne ve özellikle Asya (Çin ve Hindistan) pazarındaki teknik entegrasyonuna odaklanmaktadır. Cluster #7, akıllı ajan teknolojileri ve konuşmaya dayalı aracıların perakende sektöründeki kullanımını oldukça homojen (Silhouette: 0,677) bir yapıda sunmaktadır. Cluster #3 kümesi, Antropomorfizmin en yüksek merkezilik değerine sahip olduğu kümedir. Bu küme, "Yapay zekayı ne kadar insanlaştırmalıyız?" sorusuna cevap aramaktadır. Kümede yer alan bilimsel çalışmalar 2019 yılı civarına yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar aşırı insanlaştırmanın "Tekinsiz Vadi" etkisi yaratarak

tüketicide huzursuzluk ve insanlıktan çıkarma algısına yol açabileceğine dair riskleri kuramsallaştırmıştır. Cluster #4 kümesi, 35 akademik düğüm ile yapay zekanın pazarlama ekosistemine teknik entegrasyonunu ve kullanıcı benimseme süreçlerini inceleyen yayınların bulunduğu bir kümedir. 2021 yılın yoğunlaşan yayınların ağırlıklı olduğu bu kümede, teknoloji ve benimseme kavramları literatürdeki bilgi akışını sağlayan stratejik dönüm noktalarıdır. Araştırmalar, sanal asistanların nesnelerin interneti içindeki rolüne, kullanıcı etkileşimine ve benlik algısına odaklanarak, işletmelerin teknolojik kabul ve etkileşim dinamiklerini nasıl yönetmesi gerektiğine ışık tutmaktadır. Cluster #5 kümesi, 2022 yılına yoğunlaşmış çalışmalar içermektedir. Bu kümede yer alan çalışmalarda, yapay zeka kullanımında etik sınırlar ele alınmaktadır. İnsanlaştırma çabalarının tüketici tarafından "manipülatif" algılanması durumunda, memnuniyet ve kabul seviyelerinin nasıl düştüğü bu kümenin ana tartışma konusudur. Cluster #6 kümesi, içerdiği yayınların ortalama yılı 2024 olması itibariye literatürün ulaştığı en güncel aşamayı temsil etmektedir. Bu küme chatbotlar aracılığıyla kurulan ilişkilerin kalitesini incelemektedir. Burada tüketicilerin yapay zeka araçlarını "sıcaklık" ve "yetkinlik" boyutları üzerinden değerlendirdiği ve bu algıların uzun vadeli marka sadakati için kritik olduğu saptanmıştır. Cluster #8 yapay zekanın kuramsal çerçevesinin çizildiği altın çağı temsil ederken, Cluster #9, literatürün embriyo aşaması olan hizmet talimatları ve kuşak farklılıkları konularına odaklanmaktadır.

CiteSpace analizleri sonucunda ulaşılan genel bulgu; literatürün 2014 yılındaki mekanik hizmet talimatlarından, 2024 yılında sosyo-psikolojik marka ilişkisi kalitesine doğru net bir dönüşüm geçirdiğidir. Markaların yapay zeka araçlarını insanlaştırarak sosyal varlık algısı yarattığı ve bu yolla güven inşa ettiği bilimsel verilerle doğrulanmıştır. Ancak deneyim ve etik sınırların yönetilmesi, teknolojik kabulün satın alma niyetine dönüşmesi sürecinde belirleyici eşikler olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla bulgular, sürdürülebilir bir rekabet avantajı için yapay zeka arayüz tasarımlarının sadece teknik becerilere değil, tüketicide uyandırdıkları sıcaklık ve güven duygusuna odaklanması gerektiğini ifade etmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, 2014-2026 yılları arasındaki yapay zeka ve antropomorfizm konularını içeren akademik literatürü CiteSpace bilimsel haritalama programı ile analiz ederek, pazarlama stratejilerinde yapay zekanın insanlaştırılması sürecinin entelektüel haritasını çıkarmayı amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, yapay zekanın sadece teknik bir işlem aracı olmaktan çıktığını ve tüketici nezdinde markayla bağ kuran sosyal bir aktör haline geldiğini kanıtlamaktadır. Analiz sonuçları, literatürün on on yılda mekanik işlem odaklılıktan sosyal psikoloji temelli modellere doğru ne bir dönüşüm geçirdiğini göstermektedir. 2014 yılında insansı robotlar ve kuşak farklılıklarını inceleyen niş çalışmalarla başlayan süreç, günümüzde satın alma niyeti ve marka ilişkisi kalitesi gibi doğrudan ticari çıkarları hedefleyen bir yapıya dönüşmüştür. Özellikle antropomorfizm kavramı, ağdaki en yüksek merkezilik değerine (0,17) ve en yüksek dereceye (63) sahip pivot bir düğüm olarak, güven ve marka sadakati gibi tüm alt başlıkları birbirine bağlayan temel entelektüel omurgayı oluşturmaktadır. Araştırmanın tartışılması gereken en önemli çıktısı, antropomorfizman her zaman olumlu sonuçlar doğurmadığıdır. "Tekinsiz Vadi" hipotezi doğrultusunda, yapay zekanın mükemmele yakın ancak kusurlu şekilde insanlaştırılmasının tüketicilerde bir ürperme, huzursuzluk ve insanlıktan çıkarma (dehumanization) algısına yol açabileceğidir. Bununla birlikte, insanlaştırma çabalarının tüketiciler tarafından manipülatif bulunması etik dışı davranış endişelerini tetikleyerek kullanıcı kabulünü ve memnuniyetini zedeleyebilmektedir. Özellikle şikayet yönetimi gibi negatif duyguların yoğun olduğu alanlarda yüksek beklenti ihlalini önlemek amacıyla aşırı antropomorfik olmayan, daha rasyonel ve makinemsi arayüzlerin tercih edilmesi stratejik bir zorunluluktur. Bunlara karşılık, işletmelerin yapay zeka araçlarına isim, ses tonu ve duygusal tepki gibi özellikler yüklemeleri, tüketicide güçlü bir sosyal varlık algısı oluşturabilmektedir. Bu algı, tüketicinin dijital arayüzle etkileşimini bir makineyle temas kurmaktan ziyade orada başka bir sosyal varlık varmış hissine dönüştürerek markaya duyulan güveni ve sadakati pekiştirebilmektedir. Tüketicilerin insanlaştırılmış bu araçları sosyal psikoloji temelli sıcaklık (dostça niyet) ve yetkinlik (beceri) boyutları üzerinden değerlendirdikleri, bu iki değerin marka ilişkisi kalitesinin temel belirleyicileri olduğu saptanmıştır.

Bu anlamda, pazarlama yöneticileri, dürüstlük ve etik ilkelerden ödün vermeden, hizmetin doğasına ve müşterinin duygusal durumuna uygun bir "insansılık" düzeyi belirlemelidirler. Yapay zeka araçları sadece teknik yetkinlikleri için değil, tüketiciyle kurdukları sosyo-duygusal bağın niteliği için optimize edilmelidir. Gelecek araştırmalar, farklı sektörlerdeki marka sadakat süreçlerinde antropomorfizmin etkisini ve gelişen üretken yapay zeka teknolojilerinin bu psikolojik sınırlardaki rolünü daha derinlemesine inceleyebilirler. Bu bildiri, pazarlama yöneticilerine tüketici deneyimini iyileştirmek için stratejik bir yol haritası sunarken, akademik literatürdeki boşlukları görselleştirerek gelecek araştırmalara ışık tutmaktadır.

KAYNAKÇA

Belanche, D., Casaló, L. V., Flavián, C., & Schepers, J. (2020). Service robot implementation: A theoretical framework and research agenda. *Service Industries Journal*, *40*(3–4), 203–225. https://doi.org/10.1080/02642069.2019.1672665

Belanche, D., Casaló, L. V., Schepers, J., & Flavián, C. (2021). Examining the effects of robots' physical appearance, warmth, and competence in frontline services: The Humanness-Value-Loyalty model. *Psychology & Marketing*, *38*(12), 2357–2376. https://doi.org/10.1002/mar.21532

Blut, M., Wang, C., Wünderlich, N. V., & Brock, C. (2021). Understanding anthropomorphism in service provision: A meta-analysis of physical robots, chatbots, and other AI. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *49*(4), 632–658. https://doi.org/10.1007/s11747-020-00762-y

Chen, C. (2004). Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(suppl_1), 5303–5310. https://doi.org/10.1073/pnas.0307513100

Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *57*(3), 359–377. https://doi.org/10.1002/asi.20317

Chen, C., Ibekwe-SanJuan, F., & Hou, J. (2010). The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *61*(7), 1386–1409. https://doi.org/10.1002/asi.21309

Chen, C. (2020). A glimpse of the first eight months of the COVID-19 literature on Microsoft Academic Graph: Themes, citation contexts, and uncertainties. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, *5*, 607286. https://doi.org/10.3389/frma.2020.607286

Crolic, C., Thomaz, F., Hadi, R., & Stephen, A. T. (2022). Blame the bot: Anthropomorphism and anger in customer–chatbot interactions. *Journal of Marketing*, *86*(1), 132–148. https://doi.org/10.1177/00222429211045687

Epley, N., Waytz, A., & Cacioppo, J. T**.** (2007). On seeing human: A three-factor theory of anthropomorphism. *Psychological Review*, *114*(4), 864–886. https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.864

Erebak, S., & Turgut, T. (2019). Caregivers' attitudes toward potential robot coworkers in elder care. *Cognition, Technology & Work*, *21*, 327–336. https://doi.org/10.1007/s10111-018-0511-6

Fakhimi, A., Garry, T., & Biggemann, S. (2023). The effects of anthropomorphised virtual conversational assistants on consumer engagement and trust during service encounters. *Australasian Marketing Journal*, *31*(4), 314–324. https://doi.org/10.1177/14413582231181140

Fiske, S. T., Cuddy, A. J. C., & Glick, P. (2007). Universal dimensions of social cognition: Warmth and competence. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(2), 77–83. https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.11.005

Güntürkün, P., Haumann, T., & Mikolon, S. (2020). Disentangling the differential roles of warmth and competence judgments in customer-service provider relationships. *Journal of Service Research*, *23*(4), 476–503. https://doi.org/10.1177/1094670520920354

Joerling, M., Böhm, R., & Paluch, S. (2019). Service robots: Drivers of perceived responsibility for service outcomes. *Journal of Service Research*, *22*(4), 404–420. https://doi.org/10.1177/1094670519842334

Kleine, S. S., & Baker, S. M. (2004). An integrative review of material possession attachment. *Academy of Marketing Science Review*, *2004*(1), 1–39.

Lastovicka, J. L., & Sirianni, N. J. (2011). Truly, madly, deeply: Consumers in the throes of material possession love. *Journal of Consumer Research*, *38*(2), 323–342. https://doi.org/10.1086/658338

Leong, B., & Selinger, E. (2019). Robot eyes wide shut: Understanding dishonest anthropomorphism. *Proceedings of the 2019 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 299–308. https://doi.org/10.1145/3287560.3287591

MacInnis, D. J., & Folkes, V. S. (2017). Humanizing brands: When brands seem to be like me, part of me, and in a relationship with me. *Journal of Consumer Psychology*, *27*(3), 355–374. https://doi.org/10.1016/j.jcps.2016.12.003

Marinova, D., de Ruyter, K., Huang, M. H., Meuter, M. L., & Challagalla, G. (2017). Getting smart: Learning from technology-empowered frontline interactions. *Journal of Service Research*, *20*(1), 29–42. https://doi.org/10.1177/1094670516679273

Mori, M. (1970). Bukimi no tani [The uncanny valley]. *Energy*, *7*(4), 33–35.

Niemelä, M., Heikkilä, P., & Lammi, H. (2017). A social service robot in a shopping mall: Expectations of the management, retailers and consumers. *HRI '17: Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 227–228. https://doi.org/10.1145/2909824.3020251

Novak, T. P., & Hoffman, D. L. (2019). Relationship journeys in the internet of things: A new framework for understanding interactions between consumers and smart objects. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *47*(2), 216–237. https://doi.org/10.1007/s11747-018-0616-0

Pitardi, V., & Marriott, H. R. (2021). Alexa, she's not human but. . . Unveiling the drivers of consumers' trust in voice-based artificial intelligence. Psychology & Marketing, 38(4), 626–642. https://doi.org/10.1002/mar.21457

Thomaz, F., Salge, C., Karahanna, E., & Hulland, J. (2020). Learning from the dark web: Leveraging conversational agents in the era of hyper-privacy to enhance marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *48*(1), 43–63. https://doi.org/10.1007/s11747-019-00704-3

Waytz, A., Epley, N., & Cacioppo, J. T. (2010). Social cognition unbound: Insights into anthropomorphism and dehumanization. *Current Directions in Psychological Science*, *19*(1), 58–62. https://doi.org/10.1177/0963721409359302

Waytz, A., Heafner, J., & Epley, N. (2014). The mind in the machine: Anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle. *Journal of Experimental Social Psychology*, *52*, 113–117. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2014.01.005

Wünderlich, N. V., & Paluch, S. (2017). *A nice and friendly chat with a bot*. 38th International Conference on Information Systems (ICIS), Seoul, South Korea.

Zhang, T., Kaber, D. B., Zhu, B., Swangnetr, M., Mosaly, P., & Hodge, L. (2010). Service robot feature design effects on user perceptions and emotional responses. *Intelligent Service Robotics*, *3*(2), 73–88. https://doi.org/10.1007/s11370-010-0063-2

https://doi.org/10.71284/asc.2026129

YAPAY ZEKAYA KARŞI İNSANİ TEPKİLER: "TEKNOFOBİ"DEN "ALGORİTMİK GÜVEN"E PSİKOLOJİK BİR HARİTALAMA

HUMAN REACTIONS TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A PSYCHOLOGICAL MAPPING FROM "TECHNOPHOBIA" TO "ALGORITHMIC TRUST"

Sabiha Kılıç [1]

Özet

Bu çalışma, yapay zekanın toplumsal ve kurumsal yapılara entegrasyonuyla başlayan yeni psikolojik dönemi ve bireylerin bu teknolojiye verdiği tepkileri incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel hedefi, insanların yapay zekaya yönelik "teknofobi" olarak adlandırılan radikal korku ve dirençten, rasyonel bir güveni ifade eden "algoritmik takdir"e uzanan insani tepkilerini konu alan bilimsel literatürü, CiteSpace bilimsel haritalama yöntemiyle sistematik olarak analiz etmektir. Çalışmanın temel varsayımı, bireylerin yapay zeka ile etkileşimlerinin teknik bir süreçten ziyade derin psikolojik katmanlar ve zamanla evrilen kabul mekanizmaları içeren karmaşık bir yapı olduğudur. Literatürün, başlangıçtaki robotizasyon ve teknik kapasite odağından zamanla sosyo-psikolojik etkileşim ve güven inşasına kaydığı öngörülmektedir. Bu süreçte bireylerin teknolojik dönüşüme karşı savunma mekanizmaları geliştirdiği ve adaptasyon süreçlerinin rasyonel fayda-risk dengesine dayandığı kabul edilir. Web of Science veri tabanındaki 18.000'den fazla eseri kapsayan analizlerin bulguları, literatürün ciddi bir tarihsel dönüşüm geçirdiğini kanıtlamaktadır. Erken dönemde (1985-2003) teknik uygulamalara ve iş kaybı korkusuna odaklanan çalışmaların yerini, günümüzde (2020-2026) "insan-makine iş birliği", "güven", "kullanıcı deneyimi (UX)" ve "üretken yapay zeka" temalarına bıraktığı görülmektedir. Araştırma, bireylerin yapay zekaya karşı geliştirdiği temel psikolojik bariyerleri; istihdam korkusu, algoritmik yanlılık, empati kaybı ve otonomi kaybı olarak sıralamaktadır. Bu bariyerlerin aşılmasında sistemin şeffaflığı, açıklanabilirliği ve markanın güvenilirliği kritik öneme sahiptir. Özellikle 2020 sonrası dönemde "algoritmik takdir" ve "parasosyal etkileşim" gibi dinamiklerin teknoloji kabulünü kolaylaştırdığı saptanmıştır. Sonuç olarak çalışma, kurumların ve politika yapıcıların sadece teknik altyapıya değil, bireylerin psikolojik güvenlik algılarına odaklanması gerektiğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, teknofobi, algoritmik güven, insan-makine etkileşimi, citespace, psikolojik bariyerler.

[1]Prof. Dr., Hitit Üniversitesi, sabihakilic@hitit.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0906-4567

Abstract

This study examines the new psychological era ushered in by the integration of artificial intelligence (AI) into social and organizational structures, as well as individuals' reactions to AI technology. The study's primary objective is to use the CiteSpace scientific mapping method to systematically analyze the spectrum ranging from "technophobia"—a term denoting radical fear and resistance—to "algorithmic appreciation," which signifies rational trust. The study's central premise is that interaction with artificial intelligence is a complex process involving deep psychological layers and evolving acceptance mechanisms rather than a mere technical process. It is anticipated that, over time, the literature will shift its focus from robotization and technical capacity to socio-psychological interaction and the construction of trust. It is accepted that individuals develop defense mechanismsagainst technological transformation in this process, and their adaptation is based on a rational cost-benefit analysis. Analyses covering over 18,000 works in the Web of Science database demonstrate that the literature has undergone a significant historical transformation. Studies focusing on technical applications and the fear of job loss from the early period (1985–2003) have been replaced by themes such as "human-machine collaboration," "trust," "user experience (UX)," and "generative artificial intelligence" in the present day (2020–2026). The research identifies four fundamental psychological barriers that individuals develop toward artificial intelligence: fear of job loss, algorithmic bias, loss of empathy, and loss of autonomy. Overcoming these barriers requires transparency and explainability of the system, as well as brand credibility. Dynamics such as "algorithmic appreciation" and "parasocial interaction" have been observed to facilitate technology adoption, particularly in the post-2020 period. Consequently, the study emphasizes that organizations and policymakers must focus on technical infrastructure and individuals' perceptions of psychological safety.

Keywords: Artificial intelligence, technophobia, algorithmic trust, human-machine interaction, citespace, psychological barriers.

GİRİŞ

Yapay zeka, insanlık, iş dünyası, toplum ve çevre üzerinde köklü dönüşümler yaratan, hızla yayılan ve yıkıcı etkileri olan bir teknolojik devrimdir (Dwivedi vd., 2023). 1950'li yıllardaki doğuşundan bu yana geçen sürede yapay zeka sistemleri, basit algoritmik süreçlerden çıkarak bugün hem toplumsal hem de kurumsal yapıların vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir (von Krogh vd., 2023). Bu hızlı entegrasyon süreci, insan-makine etkileşiminde sadece teknik bir ilerlemeyi değil, aynı zamanda bireylerin teknolojiye verdiği tepkilerin "teknofobi" olarak adlandırılan radikal korku ve dirençten, algoritmalara duyulan rasyonel güveni ifade eden "algoritmik takdir"e kadar uzandığı yeni bir psikolojik dönemi başlatmıştır (Chaturvedi vd., 2023). CiteSpace bilimsel haritalama yöntemiyle gerçekleştirilen bu çalışma, bireylerin yapay zeka ile etkileşimlerinin teknik bir süreçten ziyade, derin psikolojik katmanlar ve zamanla evrilen kabul mekanizmaları içeren karmaşık bir yapı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Literatürün tarihsel evrimi incelendiğinde, 1980'lerden 2000'li yılların başına kadar olan erken dönem araştırmalarının odağında üretimdeki robotizasyon, endüstriyel robotların istihdam üzerindeki etkileri ve karar destek sistemleri gibi operasyonel konuların yer aldığı görülmektedir (Edler ve Rib-akova, 1994; Mori, 1989; Torii, 1989; Plant, 1993). Ancak CiteSpace analizi, literatürün bu teknik odaklılıktan sıyrılarak özellikle 2020 sonrası dönemde sosyo-psikolojik etkileşim, güven inşası, kullanıcı deneyimi (UX) ve satın alma niyeti gibi araştırma cephelerine hızla kaydığını kanıtlamaktadır (Huang ve Rust, 2018; Dwivedi vd., 2023; Chaturvedi vd., 2023; Akter vd., 2022; Budhwar vd., 2023). Bireylerin bu teknolojik dönüşüme karşı geliştirdiği savunma mekanizmalarının temelinde yatan psikolojik bariyerler literatürde çok boyutlu olarak ele alınmaktadır. En belirgin bariyer olan "istihdam korkusu", yapay zekanın iş rollerini geçersiz kılması veya mesleki kimlikleri tehdit etmesi konusundaki yoğun kaygıyla somutlaşmaktadır. Nitekim, güncel

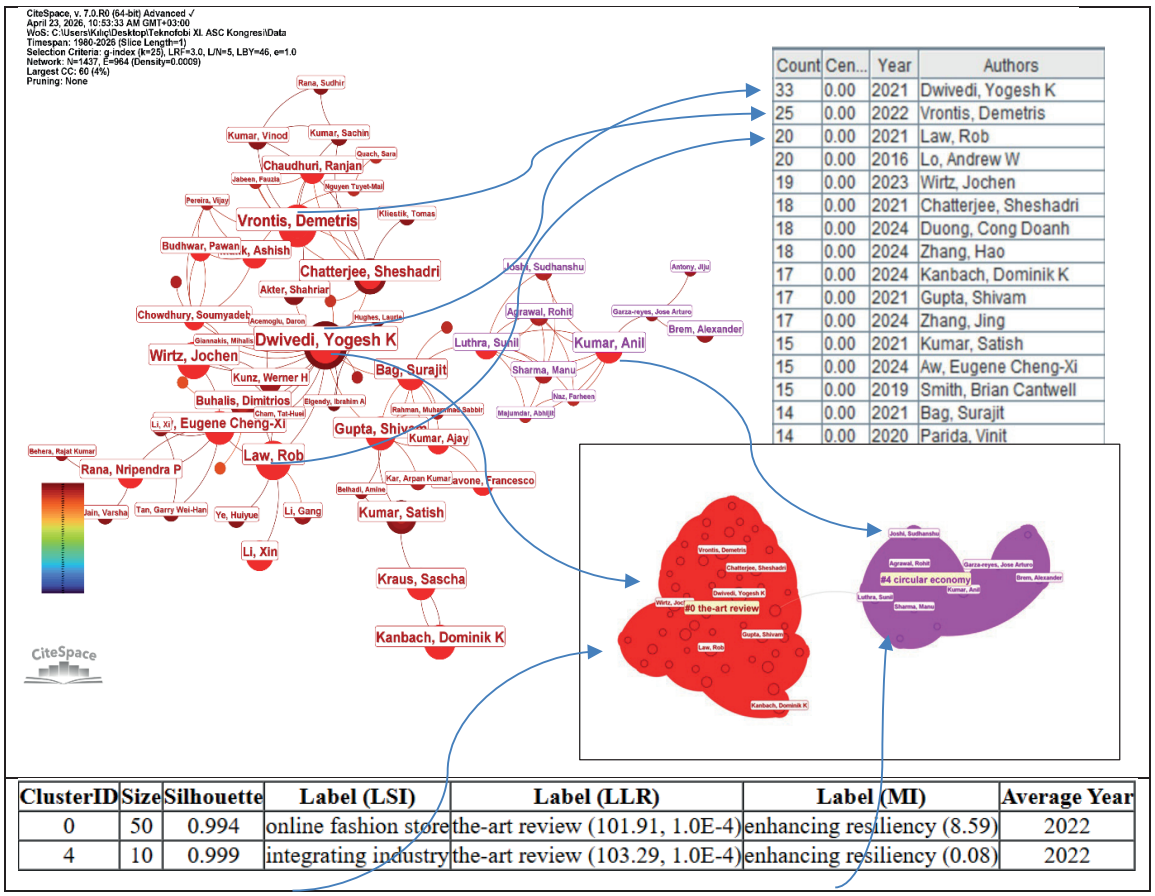
raporlar 300 milyon tam zamanlı işin yapay zeka tarafından dönüştürülebileceğine vurgu yapmaktadır (Omrani vd., 2022). Bunun yanı sıra, algoritmaların "kara kutu" doğası ve eğitim verilerindeki önyargıları sürdürmesiyle oluşan "algoritma nahoşnutluğu", rasyonel bir güvensizliği tetiklemektedir (Akter vd., 2022). Özellikle hassas kullanıcı grupları için insan desteğinin yerini alan otonom sistemlerin "empati ve duygu kaybına" yol açması ve kontrolün makinelere devredilmesinin yarattığı "otonomi kaybı" hissi, adaptasyon süreçlerini zorlaştırmaktadır (Shareef vd., 2021; Dwivedi vd., 2023). Buna karşın, 2020 sonrası dönemde "algoritmik takdir" ve ChatGPT gibi üretken yapay zeka modelleriyle kurulan "parasosyal etkileşim" (tek taraflı duygusal bağlar), teknoloji kabulünü kolaylaştıran kilit dinamikler olarak öne çıkmaktadır (Aw vd., 2022).

Bireylerin güven inşası; sistemin şeffaflığı, açıklanabilirliği ve markanın kredibilitesi gibi unsurlarla pekişmekte, kullanıcılar kişisel veri kaybı riskine rağmen teknolojinin sunduğu fonksiyonel değeri tercih ederek bir fayda-risk dengesi kurmaktadırlar (Jain vd., 2022). Dolayısıyla bu çalışma, politika yapıcıların ve karar vericilerin yapay zeka entegrasyonunda sadece teknik altyapıya değil, bireylerin psikolojik algılarına odaklanmaları gerektiğini savunmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen bibliyometrik analizler, yapay zekaya karşı geliştirilen insani tepkilerin entelektüel yapısını ve zamansal değişimlerini bilimsel bir harita üzerinden detaylandırarak sunmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde WoS veri tabanından elde edilen kapsamlı veri seti çerçevesinde alanın gelişimine yön veren kilit aktörler, tematik kümeler ve literatürdeki kırılma noktaları yazar ve anahtar kelime ağ analizi kapsamında ayrıntılı olarak incelenmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yapay zeka sistemlerinin gündelik ve profesyonel yaşama hızla nüfuz etmesi, insani tepkilerin "teknofobi" gibi direnç odaklı kaygılardan "algoritmik takdir" gibi rasyonel güven temelli süreçlere evrilmesine neden olmuştur. Başlangıçta robotizasyon ve teknik kapasiteye odaklanan literatür, zamanla bireylerin algoritmik sistemlerle kurduğu sosyo-psikolojik etkileşimi ve güven inşasını merkeze almıştır (Dwivedi vd., 2023). Çalışma kapsamında gerçekleştirilen CiteSpace analizi, bu tarihsel dönüşümün özellikle 2020 sonrası "güven", benimseme" ve "kabul" kavramları etrafında yoğunlaştığını, psikolojik bariyerlerin yerini aktif işbirliği ve kullanıcı deneyimine bıraktığını göstermektedir. Bu süreçte teknofobik direnç, yerini algoritmaların rasyonel etkinliğini takdir eden ve etik riskleri profesyonelce yöneten yeni bir kabul paradigmasına bırakmaktadır. Kavramsal çerçeve kapsamında gerçekleştirilen CiteSpace yazar ağ analizi aşağıdaki şekilde yer almaktadır:

Şekil 1. Yazar Ağ Analizi



Count	Cen...	Year	Authors
33	0.00	2021	Dwivedi, Yogesh K
25	0.00	2022	Vrontis, Demetris
20	0.00	2021	Law, Rob
20	0.00	2016	Lo, Andrew W
19	0.00	2023	Wirtz, Jochen
18	0.00	2021	Chatterjee, Sheshadri
18	0.00	2024	Duong, Cong Doanh
18	0.00	2024	Zhang, Hao
17	0.00	2024	Kanbach, Dominik K
17	0.00	2021	Gupta, Shivam
17	0.00	2024	Zhang, Jing
15	0.00	2021	Kumar, Satish
15	0.00	2024	Aw, Eugene Cheng-Xi
15	0.00	2019	Smith, Brian Cantwell
14	0.00	2021	Bag, Surajit
14	0.00	2020	Parida, Vinit

ClusterID	Size	Silhouette	Label (LSI)	Label (LLR)	Label (MI)	Average Year
0	50	0.994	online fashion store	the-art review (101.91, 1.0E-4)	enhancing resiliency (8.59)	2022
4	10	0.999	integrating industry	the-art review (103.29, 1.0E-4)	enhancing resiliency (0.08)	2022

Cluster #0: THE-ART REVIEW

The largest cluster (#0) has **50** members with a silhouette value of 0.994. The major citing articles of the cluster are:

Coverage	GCS	LCS	Citing Articles
5	20	0	Sigala, M (2024-JAN) Chatgpt and service: opportunities, challenges, and research directions. JOURNAL OF SERVICE THEORY AND PRACTICE, V34, P12 DOI 10.1108/JSTP-11-2023-0292
5	64	0	Sigala, M (2024-JAN) Understanding the impact of chatgpt on tourism and hospitality: trends, prospects and research agenda. JOURNAL OF HOSPITALITY AND TOURISM MANAGEMENT DOI 10.1016/j.jhtm.2024.08.004
4	78	0	Chatterjee, S (2022-JAN) Digital transformation of organization using ai-erm: from microfoundational perspective with leadership support. JOURNAL OF BUSINESS RESEARCH, V153, P13 DOI 10.1016/j.jbusres.2022.08.019
4	2	0	Kumar, V (2025-JAN) Enhancing organizational readiness for generative ai integration: an empirical investigation. INTERNATIONAL JOURNAL OF ORGANIZATIONAL ANALYSIS DOI 10.1108/IJOA-03-2025-5310
4	416	0	Budhwar, P (2023-JAN) Human resource management in the age of generative artificial intelligence: perspectives and research directions on chatgpt. HUMAN RESOURCE MANAGEMENT JOURNAL, V33, P54 DOI 10.1111/1748-8583.12524

Cluster #4: THE-ART REVIEW

The second largest cluster (#4) has **10** members with a silhouette value of 0.999. The major citing articles of the cluster are:

Coverage	GCS	LCS	Citing Articles
5	75	0	Naz, F (2022-JAN) Reviewing the applications of artificial intelligence in sustainable supply chains: exploring research propositions for future directions. BUSINESS STRATEGY AND THE ENVIRONMENT, V31, P24 DOI 10.1002/bse.3034
4	63	0	Sharma, M (2022-JAN) Analysing the impact of sustainable human resource management practices and industry 4.0 technologies adoption on employability skills. INTERNATIONAL JOURNAL OF MANPOWER, V43, P23 DOI 10.1108/IJM-02-2021-0085
4	114	0	Naz, F (2022-JAN) Is artificial intelligence an enabler of supply chain resiliency post covid-19? an exploratory state-of-the-art review for future research. OPERATIONS MANAGEMENT RESEARCH, V15, P21 DOI 10.1007/s12063-021-00208-w
4	53	0	Agrawal, R (2022-JAN) An exploratory state-of-the-art review of artificial intelligence applications in circular economy using structural topic modeling. OPERATIONS MANAGEMENT RESEARCH, V15, P18 DOI 10.1007/s12063-021-00212-0
3	32	0	Agrawal, R (2023-JAN) Integration of artificial intelligence in sustainable manufacturing: current status and future opportunities. OPERATIONS MANAGEMENT RESEARCH, V16, P22 DOI 10.1007/s12063-023-00383-y

Kaynak: CiteSpace 7.0, 2026.

Şekil 1'de yer alan yazar ağ analizinde yapay zekaya karşı insani tepkiler konusunda WoS bibliyografik veri tabanında taranan dergilerde yayın yapan 1437 yazar ve bu yazarların yayınları arasında 964 adet ortak atıf ağı bulunmaktadır. Yazar ağ analizinde yer alan bilimsel eserler iki büyük küme etrafında toplanmaktadır. Cluster #0 The-Art Review (mevcut durum değerlendirmesi), analiz edilen ağın en büyük ve en güncel tematik odağını temsil etmektedir. Bu kümede yer alan 50 bilimsel eserin ortalama yayın yılı 2022 olup, literatürdeki yeni gelişmeleri ve güncel tartışmaları barındıran araştırma cephesi niteliğinde çalışmalardır. Kümede yer alan bilimsel çalışmaların temel odağını üretken yapay zeka ve sektörel dönüşüm oluşturmaktadır. Bu kümede yer alan Sigala ve diğerleri tarafından 2024 yılında yayımlanan çalışmalar ChatGPT'nin hizmet teorisi ve turizm işletmeciliği üzerindeki fırsatlarını ve zorluklarını incelemektedir

(Sigala vd., 2024a; Sigala vd., 2024b). Budhwar ve diğerleri tarafından 2023 yılında yayımlanan bilimsel eserde, üretken yapay zekanın insan kaynakları süreçlerindeki yeri ve araştırma yönleri tartışılmaktadır (Budhwar vd., 2023). Kumar ve diğerleri (2025) ile Chatterjee ve diğerleri (2022) tarafından yayımlanan bilimsel eserlerde ise organizasyonların yapay zeka teknolojilerine hazır bulunuşlukları ve ai-crm sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilen dijital dönüşüm ele alınmaktadır. Kümenin Silhouette değeri 0,994'dür. Bu değer, kümede yer alan bilimsel eserlerin olağanüstü bir homojenliğe ve içsel tutarlılığa sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Küme içinde atıf patlaması en yüksek olan ve alana yön veren dönüm noktası niteliğindeki yayınları bulunan başlıca yazarlar Yogesh K. Dwivedi (33 atıf, 3470 ortak atıf), Demetris Vrontis (25 atıf, 1441 ortak atıf), Rob Law (20 atıf, 662 ortak atıf), Jochen Wirtz (19 atıf, 952 ortak atıf), Anil Kumar (14 atıf, 596 ortak atıf)'dır. Özellikle Yogesh K. Dwivedi sadece bu kümenin değil tüm ağın en etkili araştırmacısıdır. Yazarın yayınına ilişkin atıf patlaması skoru 8,47, Sigma değeri 1,02'dir. Bu değerler Dwivedi'nin çalışmalarının farklı disiplinleri birbirine bağlayan en stratejik "entelektüel dönüm noktası" olduğunu doğrulamaktadır. Kümede yer alan Vrontis (25 atıf), Law (20 atıf) ve Wirtz (19 atıf)'in çalışmaları da özellikle hizmet tasarımı ve yapay zekanın yönetimsel uygulamalarında merkezi roller oynamaktadır. Kümenin MI (Karşılıklı Bilgi) etiketi olan "enhancing resiliency" (dayanıklılığı artırma), yapay zekanın kurumsal ve sektörel yapıları daha dirençli hale getiren stratejik bir unsur olarak konumlandığını göstermektedir. LSI etiketi olan "online fashion store" ise bu teorik çalışmaların e-ticaret ve perakende gibi somut ve modern uygulama alanlarındaki yansımalarına işaret etmektedir. Bu küme yapay zekanın teknik bir araç olmaktan çıkıp ChatGPT ve üretken modeller ekseninden psikolojik kabul, hizmet sektörü dönüşümü ve kurumsal hazırlık süreçlerinin ana öznesi haline geldiği en güncel çalışma alanını temsil etmektedir.

Cluster #4 Circular Economy (döngüsel ekonomi), yazar ağ analizinin ikinci büyük kümesidir. Dönüm noktası niteliğinde 10 adet bilimsel çalışmadan oluşmaktadır. Kümede yer alan bilimsel eserlerde, yapay zekanın endüstriyel sistemlere entegrasyonu ile sürdürülebilirlik süreçlerine odaklanılmaktadır. Kümenin tematik odağını sürdürülebilirlik ve endüstriyel dayanıklılık oluşturmaktadır. Kümenin etiketleri "integrating industry", "enhancing resiliency" ve atıf yapan makalelerin başlıkları incelendiğinde, temel odağın yapay zekanın endüstri 4.0, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi üzerindeki rolleri olduğu görülmektedir. Naz ve diğerleri tarafından 2022 yılında yayımlanan bilimsel eserde, yapay zekanın sürdürülebilir tedarik zincirlerindeki uygulamaları ve özellikle COVID-19 dönemi sonrasında tedarik zinciri dayanıklılığını nasıl arttırdığı incelenmektedir. Agrawal ve diğerlerinin 2022 ve 2023 yıllarındaki çalışmalarında yapay zekanın döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir üretim süreçlerine entegrasyonu mevcut durum değerlendirmesi yaklaşımıyla ele alınmaktadır. Sharma ve diğerlerinin 2022 yılındaki çalışmalarında ise, Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin istihdam edilebilir beceriler üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Kümenin Silhouette değeri 0,999'dur. Bu değer kümedeki bilimsel çalışmaların neredeyse tamamen birbirine benzer olduklarını kanıtlamaktadır. Kümedeki bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2022'dir. Bu tarih, literatürün son yıllarda teknik tartışmalardan ziyade küresel krizler sonrası (COVID-19 gibi) ihtiyaç duyulan "kurumsal dayanıklılık" ve "yeşil dönüşüm" gibi somut uygulama alanlarına evrildiğini göstermektedir. Kümedeki lider araştırmacılar arasında Anil Kumar (14 atıf) 6,52 atıf patlaması skoruyla kümenin en etkili araştırmacısıdır. Bu skor aynı zamanda Anil Kumar'ın literatürde bu alana olan ilginin hızla artmasında merkezi rol oynadığını da ifade etmektedir. Sunil Luthra 9 adet atıf sayısıyla sürdürülebilir üretim ve teknoloji yönetimi konularında kümenin diğer güçlü araştırmacısıdır. Kümede yer alan diğer önemli araştırmacılar arasında Rohit Agrawal, Manu Sharma ve Alexander Brem (6'şar atıf) yer almaktadırlar. Bu araştırmacılar, üretim, yönetim ve sürdürülebilirlik gibi disiplinlerarası araştırmaları pekiştiren isimlerdir. Bu küme, yapay zekanın, sürdürülebilirlik, kriz yönetimi, döngüsel ekonomi gibi modern endüstriyel zorluklara getirdiği çözümleri sistematik olarak inceleyen, yapısal bütünlüğü yüksek ve 2022 sonrası literatürün yönünü belirleyen stratejik bir araştırma kümesidir.

Bu iki küme arasında köprü görevi gören, stratejik geçiş sürecini sağlayan pivot düğüm olarak nitelendirilecek iki önemli bilimsel eser bulunmaktadır. Bunlar; Agrawal ve diğerleri tarafından 2021 yılında Business Strategy and the Environment dergisinde yayımlanan "Progress and trends in integrating Industry 4.0 within Circular Economy: A comprehensive literature review and future Research propositions" başlıklı makale ile Bag ve diğerlerinin 2021 yılında Technological Forecasting and Social Change dergisinde yayımlanan "Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular Economy capabilities" başlıklı çalışmalardır. Her iki çalışmada da yapay zeka ve endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel ekonominin yeteneklerine sağlayacağı katkılar tartışılmakla birlikte almış oldukları ortak atıf değerleriyle döngüsel ekonomi alanında yapay zeka ve endüstri 4.0'ın tartışılmasında aracılık eden pivot düğüm niteliğindeki eserlerdir (Agrawal vd., 2021; Bag vd., 2021).

Bireylerin yapay zeka ile olan etkileşimi, teknik bir süreçten ziyade derin psikolojik katmanları ve zamanla evrilen kabul mekanizmalarını içeren karmaşık bir yapıdır. Kavramsal çerçeve kapsamında gerçekleştirilen yazar ağ analizi sonucunda elde edilen literatür verileri, bu etkileşimin teknofobiden rasyonel güvene uzanan geniş bir yelpazede şekillendiğini doğrulamaktadır. Yapay zekaya karşı geliştirilen psikolojik bariyerlerin temelinde teknofobi ve yapay zeka kaygısı yatmaktadır (Chaturvedi vd., 2023). Bu bariyerler aşağıdaki başlıklar kapsamında incelenebilir:

- İstihdam Korkusu: Bireyler, yapay zekanın iş rollerini geçersiz kılması veya mesleki kimliklerini tehdit etmesi konusunda yoğun bir kaygı duymaktadırlar (Budhwar vd., 2023).
- Algoritmik Yanlılık ve Güvensizlik: Algoritmaların şeffaf olmaması ve eğitim verilerindeki ırkçı veya cinsiyetçi önyargıları sürdürmesi, bireylerde rasyonel bir korku ve "algoritma nahoşnutluğu" yaratmaktadır (Akter vd., 2022).
- Empati ve Duygu Kaybı: Özellikle yaşlı kullanıcılar, insan desteğinin yerini alan otonom sistemlerin empati ve duygusal sıcaklıktan yoksun olmasından endişe duymaktadırlar (Dwivedi vd., 2023).
- Otonomi Kaybı: Kontrolün makinelere devredilmesi, bireylerde öz-kontrolü kaybetme hissi uyandırabilmektedir (Shareef vd., 2021).

Yukarıda sıralanan bu bariyerlerin aşılmasında "teknoloji kabul modelleri" ve güven inşası kritik rol oynamaktadır (Jain vd., 2022). Kabul süreci aşağıdaki dinamikler üzerinden işlemektedir:

- Algoritmik Takdir: Bireylerin algoritmaların rasyonel etkinliğini takdir etmesi ve belirli görevlerde insan yargısından daha başarılı bulmalarıdır (Dwivedi vd., 2023).
- Parasosyal Etkileşim: Kullanıcılar özellikle ChatGPT gibi sohbet robotlarıyla zaman içinde tek taraflı duygusal bağlar (arkadaşlık veya refakatçilik hissi) geliştirerek teknolojiye daha kolay uyum sağlamaktadırlar (Chaturverdi vd., 2023).
- Güven İnşası: Güven, kabulün merkezinde yer alan değişken olup, markanın güvenilirliği ve sistemin tahmin edilebilirliği ile pekiştirilmektedir (Jain vd., 2022).
- Fayda – Risk Dengesi: Kullanıcılar, kişisel verilerinin kaybı riskine rağmen teknolojinin sunduğu fonksiyonel değeri (verimlilik, kişiselleştirme vb.) tercih ederek bir "takas" (trade-off) yapmaktadırlar (Jain vd., 2022).

Dolayısıyla yapay zekaya karşı insani tepkiler literatürüne ilişkin gerçekleştirilen CiteSpace analizleri, literatürün teknik odaklı-lıktan sosyo-psikolojik bir zemine kaydığını göstermektedir. Literatürün tarihsel evrimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Erken Dönem (1985-2003): Bu dönemde araştırmaları odağı daha çok endüstriyel robotlar, üretimde robotizasyon ve karar destek sistemleri gibi teknik ve kurumsal uygulamalardır.
- Algoritmik Gelişim Dönemi (2010-2013): Bu dönemde literatürün sinir ağları ve makine öğrenmesi gibi yapıların inşasına ve bu süreçlerdeki risk kavramının rasyonel sorgulanmasına kaydığı söylenebilir.
- Sosyo-Psikolojik Dönem (2016-2018): Bu dönemde araştırmalar uzun vadeli insan-robot etkileşimi

ve algoritmik yanlılık gibi konulara yönelmiştir. Bu dönem bireylerin psikolojik bariyerlerinin ve etik kaygılarının bilimsel olarak incelendiği evredir.

- Güncel "Araştırma Cephesi" (2020-2026): Bu dönem günümüz literatürünü temsil etmektedir. Üretken yapay zeka (ChatGPT vb.) ekseninde psikolojik kabul, güven, satın alma niyeti ve dijital dönüşüm kavramlarına odaklanılmaktadır.

Yapay zeka literatürünün başlangıçta makine performansını optimize etme hedefinden günümüzde insan-yapay zeka işbirliğini ve güvenini yönetme noktasına evrildiği söylenebilir. Aşağıdaki bölümlerde yapay zekaya karşı insani tepkiler literatürünün temel araştırma alanları kapsamında ayrıntılı olarak incelendiği CiteSpace analizleri yer almaktadır.

2. YÖNTEM

Çalışma veri seti, WoS bibliyografik veri tabanında 13/04/2026 tarihinde "TS="Artificial Intelligence" OR "AI" OR "Algorithmic Trust" AND "Technophobia" OR "AI Anxiety" OR "Fear of AI" OR "Resistance" OR "Algorithm Aversion" AND "Trust" OR "Acceptance" OR "Algorithmic Appreciation" OR "Human-AI Collaboration" anahtar kelimeleri yazılarak yapılan tarama sonucunda elde edilmiştir. Tarama sonucunda, 1980-2026 yılları arasında yayımlanmış 18 bin 308 adet bilimsel esere ulaşılmıştır. Bu bilimsel eserler WoS bibliyografik veri tabanında yer alan 262 farklı bilimsel dergide yayımlanmıştır. Bilimsel eserlerin yayınlanmasına 282 farklı ülkede bulunan 6 bin 712 yazar katkıda bulunmuş olup bu yazarların görev yaptıkları 3 bin 443 farklı kurum bulunmaktadır. Yapay zekaya karşı insani tepkiler konusunda ilk yayın 1980 yılında yayımlanmış olup literatürde konuya olan ilginin 2020 yılında artış göstermeye başladığı ve bununla birlikte 2025 yılında 5 bin 392 adet bilimsel yayınla bilimsel literatürde oldukça artan düzeyde tartışılmaya başlandığı söylenebilir. Bilimsel yayınların yaklaşık %90'ı araştırma ve derleme makalesi niteliğinde olup, diğerleri bildiri, kitap incelemesi, kitap bölümü, editöre mektup türünde yayınlardır. Konuya ilişkin bilimsel eserlerin en çok yayınlandığı ülkeler arasında Çin Halk Cumhuriyeti (3628 adet yayın), ABD (3304 adet yayın), İngiltere (1666 adet yayın), Hindistan (1166 adet yayın), Almanya (1002 adet yayın), İspanya (904 adet yayın), Avustralya (898 adet yayın), İtalya (876 adet yayın), Fransa (774 adet yayın) ve Güney Kore (602 adet yayın) ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizde konuya ilişkin WoS bibliyografik veri tabanında yer alan dergilerde 459 bilimsel eser yayımlanmıştır. Bilimsel yayınların %96'sı işletme, finans, yönetim, turizm, üretim yönetimi, iktisat, kamu yönetimi, kamu politikası, uluslararası ilişkiler, çalışma ekonomisi ve endüstri ilişkileri alanlarında yayımlanan eserlerdir. Diğerleri ise ağırlıklı olarak saha araştırmaları, kültürel çalışmalar, çevre bilimleri, etik, kalkınma çalışmaları, sosyoloji, multidisipliner bilimler, aile çalışmaları, demografi çalışmaları, davranış bilimleri ve eğitim bilimleri gibi farklı disiplinlerde gerçekleştirilmiştir. Veri seti, CiteSpace 7.0 bilimsel haritalama programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Analiz, aşağıdaki araştırma sorularına cevap aramaktadır:

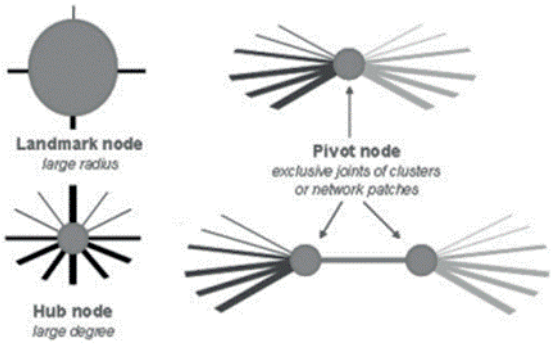
- Yapay zekaya karşı insani tepkiler literatürünün tematik yapısı ve entelektüel temelleri nelerdir?
- Yapay zekaya karşı insani tepkiler literatürü zaman içinde nasıl bir evrim geçirmiştir?
- Alanın gelişimine yön veren en etkili yayınlar ve yazarlar hangileridir?
- Literatürdeki en güçlü atıf patlamaları hangi kavramlarda yaşanmıştır ve gelecek trendleri nelerdir?
- Disiplinlerarası geçişler ve sosyal bilimlerin bu literatürdeki rolü nasıl şekillenmektedir?

2.1. CiteSpace Analizleri

CiteSpace, akademik literatürün organizasyonel ve kronolojik değişimlerini saptamak adına başvurulan en yetkin dijital platformların başında gelir. Bu sistem; bilimsel sahaların gelişim rotalarını, çekirdek kavramları, araştırmacı iş birliklerini ve atıf etkileşimlerini grafiksel düzlemde haritalandırarak sunar. Bu doğrultuda, CiteSpace rehberliğinde yürütülen bibliyometrik tetkikler, çok disiplinli projeler için tutarlı ve kuvvetli bir metodolojik zemin oluşturur. Programın temel misyonu, bilimsel yayınların görsel ve sayısal analitiği yoluyla bir çalışma alanının iç yapısını ve devinimini deşifre edip somutlaştırmaktır. Araştırmacılara, hızla

dönüşen bilgi havuzlarındaki temel doktrinleri ve akımları yakalamaları için fonksiyonel bir düzenek sunar. Belirli bir disipline ait bibliyografik veri girişini temel alarak ilgili sahanın entelektüel mimarisini bütünleşik ağlar vasıtasıyla modeller. Yeni filizlenen eğilimlerin ve yapısal değişimlerin saptanmasında, literatürdeki taze trendleri ve ani kırılmaları keşfetme ve resmetme konusunda değerli metodolojik imkanlar sağlar. Örneğin, bir sahanın en güncel çalışma alanlarındaki terimleri ve kritik dönüm noktalarını (pivotal points) açığa çıkarır; bu süreçte ortak atıf ağlarının sunduğu verilerden yararlanır (Chen, 2006; Chen, 2020). Görselleştirilmiş bir ortak atıf ağında dönüm noktası düğümleri (Landmark node), merkez düğümleri (Hub node) ve pivot düğümleri (Pivot node) bulunur. Bu düğümler, bir bilgi alanına dair literatürde yer alan önemli makalelerin aranmasını basitleştirmeye yardımcı olur. Görselleştirilmiş ortak atıf ağında yer alan düğümler aşağıdaki şekilde görülmektedir (Chen, 2004):

Şekil 2. Görsel Ağ Düğümleri



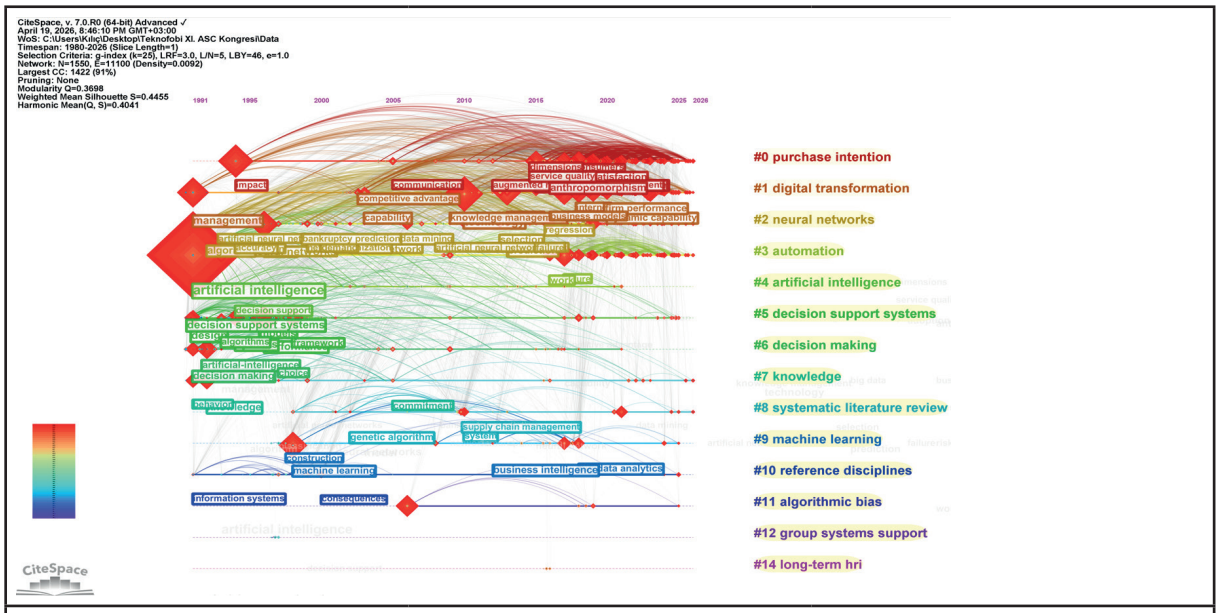
Kaynak: Chen, 2004.

Dönüm noktası düğümleri, literatürde yoğun şekilde atıf alan ve dahil olduğu disipline köklü katkılar sağlayarak geniş çaplı yankı uyandıran eserleri kapsar. Merkez düğümler ise nispeten yüksek entelektüel katma değer sunma vaadi taşıyan yayınların toplandığı noktalardır. Yüksek bağlantı merkezliliğine sahip olan bu çalışmalar, ağdaki farklı düğümleri birbirine bağlayan rotaların kesişim noktasında yer alır. Genellikle yapısal boşluklarda bulunan bu makaleler, özgünlükleri ve farklı çalışma sahaları arasında iletişim kanalları açma potansiyelleri ile bilinirler. Pivot düğümler ise farklı ağ yapıları arasındaki stratejik irtibat noktaları olup, yüksek aracılık merkeziliği skorlarıyla karakterize edilirler. İki ayrı ağın paylaştığı ortak birimler veya ağlar arası geçişi sağlayan kapılar hükmündedirler. Bilimsel evrim sürecindeki paradigma kaymalarının veya zihinsel dönüşüm evrelerinin potansiyel işaretçileri olarak görülürler. CiteSpace çıktılarında Pivot düğümler genelde mor bir halka ile çevrelenerek vurgulanır. Bu sayede, görsel analizlerde dikkat çekerek araştırmacıların analiz yükünü hafifletir ve incelenecek yayın havuzunun daraltılmasına destek olurlar. İşlevsel olarak merkez düğümlerle örtüşseler de, asıl özellikleri iki ayrı küme arasındaki geçişi temsil eden makaleleri barındırmalarıdır (Chen, 2004;Chen, Ibekwe-SanJuan, Hou, 2010).

2.1.1. Anahtar Kelime Kümeleme Ağ Analizi

Anahtar Kelime ağ analizinde bin 550 adet anahtar kelime ve bu anahtar kelimelerin ortak olarak yer aldığın yayınlar arasında 11 bin 100 adet ortak atıf ağı bulunmaktadır. Ağda 14 adet ana küme yer almakta olup bu kümeler kendi içerisinde Silhouette 0,4455 ağırlıklı ortalamayla birbirine benzer yayınlar içermektedir. Anahtar Kelime ağ analizine dair görsel ve kümeleme analizi değerlerine ilişkin ayrıntılı analiz ve değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır:

Şekil 3. Anahtar Kelime Ağ Analizi



ClusterID	Size	Silhouette	Label (LSI)	Label (LLR)	Label (MI)	Average Year
0	406	0.196	service-profit chain	purchase intention (125.48, 1.0E-4)	agency problem (1.33)	2022
1	262	0.166	lean principles	digital transformation (190.95, 1.0E-4)	agency problem (1.61)	2020
2	198	0.463	information technology	neural networks (139.3, 1.0E-4)	agency problem (0.57)	2010
3	128	0.532	web scraping	automation (146.29, 1.0E-4)	agency problem (0.69)	2020
4	104	0.895	educational reform	artificial intelligence (979.81, 1.0E-4)	agency problem (1.43)	2003
5	96	0.662	service-profit chain	decision support systems (89.4, 1.0E-4)	agency problem (0.45)	2001
6	82	0.744	strategic enablement investments	decision making (95.01, 1.0E-4)	2-tuple representation (0.22)	2001
7	36	0.873	lean principles	knowledge (43.65, 1.0E-4)	artificial neural networking (0.14)	2007
8	32	0.891	digital organizational culture	systematic literature review (158.51, 1.0E-4)	circular economy (ce) (0.14)	2011
9	29	0.95	information technology	machine learning (521.58, 1.0E-4)	> (0.34)	2013
10	24	0.876	app compatibility	artificial intelligence (43.82, 1.0E-4)	artificial intelligence (0.16)	2000
11	11	0.952	radio broadcasting	artificial intelligence (ai) (648.49, 1.0E-4)	artificial intelligence (0.14)	2018
12	9	0.998	strategic planning	group systems support (17.01, 1.0E-4)	artificial intelligence (0.21)	1997
14	5	0.999	educational robots	long-term hri (31.25, 1.0E-4)	artificial intelligence (0.21)	2016

Citation Counts	Node Name	DOI	Cluster ID
8570	artificial intelligence		4
1453	technology		1
1299	impact		0
1104	management		1
1056	performance		5
1039	model		2
950	machine learning		9
908	big data		1
830	innovation		1
699	future		3

Bursts	Node Name	DOI	Cluster ID
82.87	big data		1
47.09	machine learning		9
42.93	neural networks		2
35.43	artificial intelligence		4
31.21	decision support systems		5
26.00	neural network		2
24.98	expert systems		5
20.52	industry 4		1
19.34	industry 40		1
19.01	internet of things		1

Degree	Node Name	DOI	Cluster ID
345	artificial intelligence		4
111	management		1
99	design		5
98	neural networks		2
96	decision support systems		5
92	model		2
91	technology		1
87	models		5
85	systems		5
80	decision making		6

Centrality	Node Name	DOI	Cluster ID
0.44	artificial intelligence		4
0.07	decision support systems		5
0.04	management		1
0.04	neural networks		2
0.04	decision making		6
0.04	algorithm		2
0.03	design		5
0.03	model		2
0.03	technology		1
0.03	models		5

Sigma	Node Name	DOI	Cluster ID
411555.90	artificial intelligence		4
7.52	decision support systems		5
5.29	neural networks		2
1.83	machine learning		9
1.79	algorithm		2
1.61	design		5
1.59	big data		1
1.48	neural network		2
1.47	expert systems		5
1.44	artificial-intelligence		6

Kaynak: CiteSpace 7.0, 2026.

Anahtar kelime kümeleme ağ analizi sonucunda aralarında ortak atıf düzeyi ve dolayısıyla bağlantı düzeyi en yüksek 14 adet ana kümeye ulaşılmıştır. Bu kümeler yapay zeka literatürünün 1980'den 2026'ya kadar uzanan geniş bir zaman diliminde, başlangıçta teknik ve stratejik odaklıyken zamanla insan-makine etkileşimi, güven ve toplumsal kabul gibi psikolojik boyutlara evrildiğini göstermektedir. Kümeleme

analizine göre yapay zeka literatüründeki güncel eğilimler psikolojik kabul ve güven süreçleri ekseninde şekillenmektedir. 2020-2022 yıllarını kapsayan dönemde yapay zeka literatüründe güven, kabul, benimseme, etki ve dijital dönüşüm kavramları yoğun olarak tartışılmaktadır. Bu, "algoritmik takdir" ve kabulleniş süreçlerinin literatürün şu anki odak noktası olduğunu ve yapay zekanın kurumsal yapılara entegrasyonunu ifade etmektedir. Yapay zekanın tarihsel gelişiminde temel dönemin 1997-2003 yılları arasında yayımlanan bilimsel eserler kapsamında ilk yıllarda daha çok stratejik planlama, karar destek sistemleri ve eğitim reformu gibi kurumsal uygulama alanlarına yoğunlaştığı, 2003 yılı itibariyle ise salt yapay zeka odağında büyük miktarda bilimsel eser üretilmeye başlandığı söylenebilir. 2010-2013 dönemini kapsayan yıllarda ise yapay zeka literatüründe sinir ağları ve makine öğrenmesi gibi algoritmik gelişim döneminin yaşandığı ifade edilebilir. Literatür bu dönemde daha çok teknik ve algoritmik yapıların inşasına kaymıştır. Bu dönemde yayımlanan bilimsel eserlerde "risk" anahtar kelimesinin sıklıkla kullanılması, algoritmik süreçlerin rasyonel bir perspektifle sorgulanmaya başlandığını göstermektedir. 2016 yılı sonrasında yapay zeka literatüründeki bilimsel eserlerde uzun vadeli insan-robot etkileşimi konusunun tartışıldığı görülmektedir. Bu, bireylerin yapay zeka ile etkileşimlerindeki psikolojik bariyerlerin ve zaman içindeki alışma süreçlerinin incelendiği kritik bir evrimsel basamağı temsil etmektedir. 2018 yılı sonrasındaki bilimsel eserlerde ise, algoritmik yanlılık kavramı tartışılmaktadır. Bu kavram, teknofobiyi tetikleyen rasyonel korkulardan birini ve yapay zekaya karşı duyulan psikolojik bariyerleri temsil etmektedir. Kümeleme analizine ilişkin 14 ana kümeye dair ayrıntılı analizler aşağıda yer almaktadır:

Cluster #0 (Purchase Intention - Satın Alma Niyeti): Bu küme 406 adet ortak atıf ağıyla, ağdaki en büyük ve en güncel tematik yoğunlaşmayı temsil etmektedir. Kümenin tematik odağını psikolojik kabul ve kullanıcı davranışı oluşturmaktadır. Kümede en çok ortak atıf alan yayınlarda kullanılan "impact, trust, acceptance, adoption" anahtar kelimeleri, bilimsel literatürdeki araştırmaların odağının yapay zekanın teknik boyutundan ziyade insan-makine etkileşimi ve teknoloji kabul modellerine kaydığını göstermektedir. Özellikle "trust", "acceptance" ve "adoption" kavramlarının merkezilik değerleri, kullanıcıların algoritmik sistemlere karşı geliştirdikleri psikolojik tepkilerin ve güven inşasının temel araştırma konusu olduğunu doğrulamaktadır. Kümede yer alan yayınların ortalama yayın yılı 2022'dir. Bu küme, yapay zeka literatüründeki en yeni gelişmeleri, geçici eğilimleri ve en güncel tartışmaları temsil eden bir "araştırma cephesi"dir. Kümenin Silhouette değeri 0,196'dır. Bu değer, kümenin oldukça heterojen olduğunu göstermektedir. Bu durum, güven ve kabul gibi konuların pazarlama, etik, psikoloji ve bilişim gibi çok farklı disiplinler tarafından farklı perspektiflerle ele alınmasından kaynaklanıyor olabilir. Kümedeki en güçlü anahtar kelime "impact" (1299 atıf), genel ağ içindeki en çok atıf alan üçüncü öğedir. Bu durum, yapay zekanın yarattığı etkilerin ve sonuçlarının literatürdeki ana tartışma aksını oluşturduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca kümenin MI (Mutual Information) etiketi olan "agency problem" (temsil sorunu), yapay zekanın karar verici bir aktör olarak kabul edilmesindeki sorumluluk ve kontrol tartışmalarına da işaret etmektedir. Dolayısıyla bu küme, yapay zekanın teknik bir araç olmaktan çıkıp, güven ve kabul ekseninde insan psikolojisinin ve davranışsal niyetlerin ana öznesi haline geldiği en güncel araştırma alanını temsil etmektedir.

Cluster #1 Dijital Dönüşüm - Digital Transformation: Bu küme, yapay zekanın sadece teknik bir gelişme değil, aynı zamanda yönetimsel ve inovatif bir paradigma değişimi olarak ele alındığını içeren bilimsel eserlere sahiptir. 262 adet ortak atıf ağı ile ikinci en büyük kümedir. Kümede yer alan "technology-1453 atıf" ve "management-1104 atıf" anahtar kelimelerinin yüksek atıf sayıları, bu kümenin literatürdeki teknoloji ve işletme yönetiminin kesişim noktasındaki "dönüm noktası" niteliğindeki çalışmaları barındırdığını göstermektedir. "Big data-908 atıf" anahtar kelimesi ise, dijital dönüşümün yakıtı olan veri yoğunluklu süreçlerin küme içindeki merkezi rolünü vurgulamaktadır. Big data, 82,87 atıf patlaması skoruyla genel ağ içerisindeki en yüksek değere sahiptir. Bu değer, Big Data konusunun literatürde olağanüstü ilgi çektiğini ve dönüştürücü etkisinin olduğunu ifade eder. Ayrıca "industry 4.0" ve "internet of things" gibi anahtar kelimelerin de bu kümede atıf patlaması yaşaması, kümenin sanayi ve teknoloji entegrasyonu konusundaki güncelliğini teyit etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,166 olup, kümenin heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, dijital dönüşüm kavramının çok farklı disiplinler

(yönetim, mühendislik, veri bilimi gibi) tarafından farklı perspektiflerle tartışıldığını ve küme üyeleri arasında düşük bir benzerlik olduğunu ifade etmektedir. Aynı zamanda konunun çok boyutlu ve geniş bir tartışma zeminine yayıldığının da göstergesidir. Kümedeki yayınların ortalama yayın yılı 2020'dir. Bu tarih, dijital dönüşüm tartışmalarının 2010'lu yıllardaki teknik odaklı "sinir ağları" döneminden sonra, yapay zekanın kurumsal yapılara tam entegrasyonunun gerçekleştiği bir döneme işaret etmekdedir. Kümenin MI (Mutual Information) etiketi olan "agency problem" (temsilci sorunu), dijital dönüşüm sürecinde karar alma yetkisinin insanlardan algoritmalara devredilmesinin yarattığı yönetimsel ve psikolojik risklere işaret etmektedir. Bu, "algoritmik takdir" sürecinin kurumsal yapılardaki kontrol ve güven mekanizmalarıyla nasıl çatıştığını gösteren kritik bir alt temadır. Bu küme, yapay zekanın stratejik bir yönetim aracı haline geldiği "Big Data" odaklı, oldukça disiplinlerarası ve literatürde en güçlü etkileşime sahip alanlardan birini temsil etmektedir.

Cluster #2 Sinir Ağları – Neural Networks: Bu küme, ağın teknik temellerini ve uygulama alanlarını birleştiren üçüncü büyük tematik kümedir. 198 ortak atıf ağı bulunmaktadır. Kümedeki bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2010'dur. Bu tarih, literatürün 1990'lı yıllardaki kurumsal uygulama odaklı yapısından (karar destek sistemleri vb.) çıkıp, daha karmaşık algoritmik yapılara ve makine öğrenmesi modellerine evrildiği bir geçiş dönemine işaret etmektedir. Cluster #0 (2022) ve Cluster #1 (2020) numaralı güncel kümelere kıyasla, daha eski bir entelektüel temeli temsil etmektedir. Kümenin ana etiketi olan "neural networks" (sinir ağları) ve en çok atıf alan anahtar kelimesi "model – 1039 atıf", bu kümenin yapay zeka araştırmalarındaki algoritmik ve kuramsal inşa sürecini temsil ettiğini göstermektedir. Özellikle "risk – 270 atıf" ve "business – 237 atıf" anahtar kelimelerinin varlığı, sinir ağlarının finansal risk analizi ve iş dünyası senaryolarındaki karar alma süreçlerine entegre edildiğini kanıtlamaktadır. Kümenin Silhouette değeri 0,463'dür. Bu değer kümenin orta düzeyde bir homojenliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu küme ağda yer alan diğer büyük kümelere göre daha tutarlı bir tematik yapı sunmaktadır. Bununla birlikte kümede, bibliyometrik analizlerden iş dünyası uygulamalarına kadar geniş bir alt konu yelpazesi barındırmaktadır. Atıf patlaması tablosunda yer alan "Neural networks – 42,93" ve "neural network – 26.00" anahtar kelimelerine dair yüksek atıf patlaması değerleri, sinir ağları konusunun literatürde olağanüstü bir ilgi gördüğünü ve araştırmacıların bu alana yoğun bir şekilde yöneldiğini ifade etmektedir. "neural networks" anahtar kelimesinin Sigma değeri 5,29'dur. Bu değer, sinir ağları kavramının hem yüksek atıf artışına hem de yüksek aralık merkeziliğine sahip olduğunu, yani farklı araştırma grupları arasında stratejik bir köprü kuran dönüştürücü bir "entelektüel dönüm noktası" olduğunu göstermektedir. Bu küme, yapay zekanın teknik sinir ağları modellerinin inşa edildiği, bu modellerin bibliyometrik araştırmalara konu edildiği ve özellikle risk yönetimi ile iş dünyası uygulamalarına yansıdığı kritik bir olgunlaşma aşamasını temsil etmektedir.

Cluster #3 Otomasyon – Automation: Bu küme, yapay zekanın toplumsal ve ekonomik sonuçlarına odaklanan çalışmaların yer aldığı, ağın en büyük dördüncü kümesidir. Kümede, 128 ortak atıf ağı bulunmaktadır. Kümenin tematik odağında otomasyonun geleceği ve iş dünyası yer almaktadır. Kümede yer alan "future, growth, work, governance" anahtar kelimeleri yüksek atıf değerleriyle, literatürdeki çalışmaların yapay zekanın sadece teknik kapasitesinden ziyade sosyo-ekonomik etkilerine yoğunlaştığını göstermektedir. "Future – 699 atıf", bu kümedeki en güçlü anahtar kelimedir. Araştırmaların "yapay zeka ve otomasyonun gelecekte toplumu nasıl şekillendireceği" sorusu etrafında toplandığını kanıtlar. "Work – 265 atıf" ve "Growth – 266 atıf", yapay zekanın iş gücü piyasası üzerindeki etkileri, istihdam dönüşümü ve ekonomik büyüme ile olan ilişkisi bu kümenin merkezindedir. "Governance – 199 atıf", otomatik sistemlerin yönetimi, etik kontrolü ve yasal düzenlemeler kapsamında kümenin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Kümenin Silhouette değeri 0,532'dir. Bu değer kümenin orta-yüksek düzeyde bir homojenliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu küme diğer büyük kümelere göre daha tutarlı ve net tanımlanmış bir araştırma odağına (otomasyonun geleceği) sahiptir. CiteSpace teorisine göre 0,5'in üzerinde bir silhouette değeri, küme üyelerinin birbiriyle anlamlı şekilde ilişkili olduğunu ve yapılandırmanın netliğini ifade eder (Chen, 2020).

Kümedeki yayınların ortalama yayın yılı 2020'dir. Bu, otomasyon tartışmalarının 2010'lu yıllardaki teknik "sinir ağları" döneminden çıkıp, yapay zekanın günlük iş süreçlerine ve toplumsal yönetişime entegre olduğu güncel bir araştırma cephesini temsil ettiğini gösterir. Kümenin MI (Mutual Information) etiketi olan "agency problem" (0,69), otomasyon sürecindeki en büyük psikolojik ve yönetimsel bariyerlerden birine işaret etmektedir. Bu durum, karar alma yetisinin insanlardan algoritmalara devredilmesinin yarattığı sorumluluk ve kontrol tartışmalarının bu kümede yoğunlaştığını kanıtlar. Dolayısıyla bu küme, yapay zekanın "gelecekteki iş hayatı", "ekonomik büyüme" ve "yönetişim" üzerindeki dönüştürücü etkilerini inceleyen, semantik açıdan tutarlı ve oldukça güncel araştırma konularının yer aldığı bir kümedir.

Cluster #4 Yapay Zeka – Artificial Intelligence: Bu küme analiz edilen ağın 104 ortak atıf ağa sahip en büyük beşinci kümesidir. Yapay zeka literatürünün tarihsel gelişiminde kritik bir entelektüel temel içermektedir. Kümenin ana etiketi "artificial intelligence" anahtar kelimesi 8570 atıf ile sadece bu kümenin değil tüm ağın çok atıf alan anahtar kelimesidir. Kümedeki en çok atıf alan diğer anahtar kelimeler "decision support-karar destek", "decisions-kararlar", "computers-bilgisayarlar" ve "financial ratios-finansal oranlar" yapay zekanın 2000'li yılların başındaki araştırma odağını yansıtmaktadır. Bu dönemde yapay zeka literatürünün özellikle finansal analizler ve kurumsal karar alma süreçlerini destekleyen bilişim sistemleri üzerine yoğunlaştığı söylenebilir. Kümenin Silhouette değeri 0,895'tir, Bu değer, kümedeki yayınların birbiriyle son derece tutarlı ve benzer olduğunu ifade etmektedir. Ağ analizindeki diğer kümelere göre çok daha net tanımlanmış ve sınırları belli bir araştırma alanına ilişkin bilimsel çalışmaları içermektedir. Kümenin ortalama yılı 2003'tür. Bu yıl, kümenin modern yapay zeka tartışmalarının kurumsal ve uygulamalı temellerinin atıldığı dönemi temsil etmektedir. Bu kümede yer alan "artificial intelligence" anahtar kelimesi, ağdaki en yüksek Sigma (411555,90) değerine sahiptir. Sigma değeri, hem atıf patlaması hem de aralık merkeziliği (betweenness centrality) skorlarının birleşimidir. Dolayısıyla yapay zeka kavramının literatürde sadece bir trend olmadığını, aynı zamanda farklı çalışma grupları ve fikirleri birbirine bağlayan en stratejik entelektüel dönüm noktası olduğunu göstermektedir. Kümenin MI (Mutual Information) etiketi olan "agency problem-temsilci sorunu" (1,43), yapay zekanın bu erken döneminde bile, karar vermenin yetkisinin insanlardan algoritmalara devredilmesinin yarattığı etik ve yönetimsel sorunların (temsilci sorunu) gündemde olduğunu göstermektedir. Bu küme, yapay zekanın karar destek sistemleri ve bilişim teknolojileri ekseninde şekillendiği, tüm ağın en etkili ve yapısal olarak en sağlam temel taşlarından birini oluşturmaktadır.

Cluster #5 Karar Destek Sistemleri – Decision Support Systems: Bu küme, analiz edilen ağın 96 ortak atıf ağına sahip en büyük altıncı kümesidir. Yapay zekanın operasyonel sistemlere entegre edildiği kritik ir dönemi ve temayı temsil etmektedir. Kümenin ana etiketi "decision support systems" ve en çok atıf alan anahtar kelimeleri "performance, framework, systems, ai, models", bu alanın yapay zekayı kurumsal ve sistemsel bir performans geliştirme aracı olarak ele aldığını göstermektedir. Özellikle "performance" anahtar kelimesi 1056 adet atıf sayısıyla, küme içindeki en güçlü anahtar kelimedir ve tüm ağ genelinde beşinci en yüksek atıf sayısına sahiptir. Dolayısıyla, araştırmaların yapay zekayı karar süreçlerinde verimliliği artıran yapısal bir çerçeve içine oturtmaya odaklandığını ifade etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,662'dir. Bu değer, kümenin orta-yüksek düzeyde bir homojenliğe sahip olduğunu göstermektedir. Kümedeki yayınların ortalama yayın yılı 2001'dir. Bu tarih, yapay zekanın teorik aşamadan çıkıp karar verme süreçlerini destekleyen somut sistemlere dönüştüğü ve "service-profit chain" (hizmet-kar zinciri) gibi işletme modellerine dahil edildiği dönemi yansıtmaktadır. Bu küme, ağdaki en yüksek stratejik değerlerden birine sahiptir. "Decision support systems" kavramına ilişkin 7,52 Sigma değeri ve 31,21 atıf patlaması değerleri, kavramın literatürde hem yoğun ilgi gören bir konu olduğunu hem de farklı araştırma grupları arasında stratejik bir entelektüel köprü kurduğunu göstermektedir. Kümenin MI (Mutual Information) etiketi olan "agency problem", karar destek sistemlerinin yönetimsel boyutunu ifade etmektedir. Temsilci sorunu etiketi, sistemlerin karar alma yetkisini devralırken ortaya çıkan kontrol ve sorumluluk tartışmalarının, henüz 2000'li yılların başında bu küme içinde yer alan yayınlar kapsamında önemli bir

tartışma aksı oluşturduğunu doğrular. Bu küme, yapay zekanın "karar destek" ve "performans" ekseninde kurumsallaştığı, yapısal olarak oldukça sağlam ve literatürde farklı disiplinleri birbirine bağlayan stratejik bir entelektüel dönüm noktasını temsil etmektedir.

Cluster #6 Karar Verme – Decision Making: Bu küme analiz edilen ağın en büyük 7. Kümesidir. Yapay zekanın yönetimsel süreçlerdeki stratejik rolüne odaklanan, yapısal olarak oldukça tutarlı bir araştırma alanını temsil etmektedir. Kümenin ana etiketi olan "decision making-karar verme" ve en çok atıf alan yayınlarda kullanılan "information, artificial intelligence, risk management, support" anahtar kelimeleri, kümede yer alan bilimsel eserlere dair araştırmalarda yapay zekanın bir karar destek aracı olarak konumlandırıldığını ifade etmektedir. "Information – 649 atıf" ve "Decision Making – 344 atıf", anahtar kelimelerinin yüksek atıf sayıları, bu anahtar kelimelerin yer aldığı bilimsel eserlerde, bilginin işlenerek karar süreçlerine dönüştürülmesinin tartışıldığını ve dolayısıyla bu kümenin temelini oluşturduğunu kanıtlamaktadır. "Risk Management – 93 atıf" anahtar kelimesi, yapay zekanın özellikle belirsizlik içeren durumlarda rasyonel kararlar almak ve riskleri minimize etmek için kullanıldığını göstermektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,744'dür. Bu değer kümenin yüksek düzeyde homojenliğe sahip olduğu ifade etmektedir. Kümede yer alan bilimsel yayınların birbirleriyle son derece tutarlı ve benzer olduğu söylenebilir. Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2001'dir. Bu tarih, yapay zekanın günümüzdeki kullanıcı psikolojisi odaklı yapısından ziyade, bilişim sistemleri üzerinden kurumsal verimliliği artırmaya çalıştığı erken dönem "entelektüel temel" aşamasını temsil etmektedir. Ağ göstergeleri arasında yer alan küme içindeki "decision making" anahtar kelimesinin derece değeri 80 ve merkezilik skoru 0,04'dür. Bu değerler, bu kavramın küme içindeki ve farklı araştırma grupları arasındaki bilgi akışında stratejik bir düğüm noktası olduğunu göstermektedir. Kümede yer alan "artificial intellgence" anahtar kelimesinin Sigma değeri 1,44'dür. Bu değer, bu kavramın 2001'li yıllarda hem yüksek ilgi gördüğünü bu nedenle yüksek bir atıf patlaması aldığını hem de ağda köprü kurucu bir rol üstlendiğini doğrular. Kümenin LSI (Latent Semantic Intexing) etiketi olan "strategic enablement investments" (stratejik olanak sağlayan yatırımlar), yapay zekanın kurumsal yapılarda sadece teknik bir araç değil, stratejik bir yatırım unsuru olarak ele alındığını kanıtlamaktadır. Bu küme, yapay zekanın kurumsal karar alma, risk yönetimi ve bilgi desteği süreçlerindeki yerini inceleyen, yapısal bütünlüğü son derece yüksek ve literatürün gelişim seyrinde 2000'li yılların başındaki yönetimsel perspektifi temsil eden yayınları içeren kritik bir kümedir.

Cluster #7 Bilgi – Knowledge: Bu küme 36 bilimsel ağın yer aldığı ağın en büyük sekizinci kümesidir. Yapay zeka literatüründe bilginin temsili ile davranışsal dinamiklere odaklanan son derece tutarlı bir araştırma alanını temsil etmektedir. Kümenin tematik odağı, bilgi yönetimi ve sistem davranışıdır. Kümenin ana etiketi "knowledge" ve en çok atıf alan bilimsel eserlerde yer alan "behavior, dynamics, commitment, agents" anahtar kelimeleri, bu alanın yapay zekanın teknik boyutundan ziyade bilgi tabanlı sistemlerin davranışsal ve dinamik süreçlerine odaklandığını göstermektedir. "Knowledge – 504 atıf" ve "Behavior – 366 atıf" anahtar kelimelerinin yüksek atıf değerleri, bilginin bir sistem veya ajan içindeki davranışları nasıl şekillendirdiğine dair araştırmaların merkeziliğini kanıtlar. "Agents – 30 atıf" anahtar kelimesi, muhtemelen bilgiyi işleyen ve belirli bir davranış sergileyen özerk yazılım ajanlarına (autonomous agents) işaret etmektedir. "Dynamics" ve "Commitment" anahtar kelimeleri ise, bilgi paylaşımı ve sistem içi etkileşimlerin dinamik yapısı ile organizasyonel bağlılık gibi sosyal/psikolojik boyutların incelendiğini göstermektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,873'dür. Bu değer kümenin çok yüksek düzeyde homojenliğe sahip bilimsel eserler içerdiğini ifade etmektedir. Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2007'dir. Bu tarih, yapay zekanın 2000'li yılların başındaki "karar destek" odağından çıkıp, bilginin nasıl temsil edileceği ve ajan tabanlı modellemeler üzerinden nasıl davranışa dönüşeceği tartışmalarına evrildiği bir döneme denk gelmektedir. Kümenin LLR (Lojistik Olabilirlik Oranı) algoritmasına göre "knowledge" etiketi ve MI (Karşılıklı Bilgi) algoritmasına göre "artificial neural networking" etiketi, bu dönemdeki bilgi temsil çalışmalarının teknik arka planında yapay sinir ağlarının önemli bir rol oynamaya başladığını kanıtlamaktadır. Kümenin LSI (Gizli Semantik İndeksleme) etiketi olan "lean principles" (yalın ilkeler),

bu bilgi ve davranış çalışmalarının bazen operasyonel verimlilik ve yalın yönetim çerçeveleri içinde ele alındığını göstermektedir. Bu küme, yapay zekanın "bilgi temsili" ve "ajan davranışları" ekseninde olgunlaştığı, yapısal bütünlüğü son derece yüksek ve 2000'li yılların ortasındaki teknik-davranışsal geçişi temsil eden stratejik bir araştırma alanına ilişkin yayınlar bütününden oluşmaktadır.

Cluster #8 Sistematik Literatür İncelemesi – Systematic Literature Review: Bu küme 32 bilimsel ağın bulunduğu en büyük dokuzuncu kümedir. Yapay zeka literatüründeki bilgilerin sentezlenmesi ve metodolojik olgunlaşmayı temsil etmektedir. Kümenin ana etiketi olan "systematic literatüre review" ve en çok atıf alan bilimsel eserlerde yer alan "system, supply chain management, emerging technologies" anahtar kelimeleri, bu kümenin yapay zekanın belirli uygulama alanlarıdaki mevcut durumunu özetleyen çalışmalardan oluştuğunu göstermektedir. "Systematic Literature Review – 188 atıf" anahtar kelimesinin merkeziliği, araştırmacıların yapay zeka alanındaki dağınık bilgileri yapılandırılmış bir şekilde bir araya getirme, araştırma boşluklarını belirleme ve gelecekteği eğilimleri anlama çabasını yansıtmaktadır. "Supply Chain Management – 138 atıf" ve "Emerging Technologies – 87 atıf" anahtar kelimelerinin yüksek atıf sayısına sahip yayınlarda yer alması, sistematik incelemelerin özellikle tedarik zinciri yönetimi ve gelişmekte olan teknolojiler gibi stratejik ve operasyonel alanlarda yoğunlaştığını doğrulamaktadır. Kümenin Silhouette değeri 0,891'dir. Bu değer, kümenin son derece yüksek düzeyde homojenliğe sahip bilimsel eserlerden oluştuğunu ifade etmektedir. Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2011'dir. Bu tarih, yapay zeka teknolojilerinin kurumsal yapılara entegre edilmeye başlandığı dönemde, yapılan ilk dönem çalışmaların kapsamlı bir şekilde değerlendirildiği ve kuramsal çerçevelerin (framework) oturtulmaya çalışıldığı bir evreyi temsil eder. Küme LSI algoritmasına göre "digital organizational culture" etiketi almıştır. Bu durum, sistematik incelemelerin sadece teknik boyuta değil, aynı zamanda yapay zekanın organizasyonel kültür üzerindeki etkilerine ve toplumsal kabul süreçlerine de odaklandığını göstermektedir. Kümenin MI etiketi "Circular Economy"dir. Bu etiket, sistematik incelemelerin sürdürülebilirlik ve modern ekonomik modellerle yapay zekayı ilişkilendiren güncel tartışmaları da kapsadığını işaret etmektedir. Bu küme, yapay zekanın teknik ve kurumsal uygulamalarını sistematik bir süzgeçten geçiren, yapısal bütünlüğü ve homojenliği son derece yüksek olan ve literatürün "codifying lessons learned" (öğrenilen derslerin kodlanması) olarak tanımlanan olgunlaşma aşamasını temsil eden stratejik bir alanıdır.

Cluster #9 Makine Öğrenmesi – Machine Learning: Bu küme ortak atıf sayısı yüksek 29 bilimsel eserden oluşmaktadır. Küme, yapay zeka literatüründe algoritmik yöntemlerin bilimsel analiz süreçlerine derinlemesine entegre olduğu dönemi temsil etmektedir. Kümenin tematik odağını bilimsel analiz ve veri madenciliği oluşturmaktadır. Kümenin ana etiketi olan "machine learning" 950 adet atıf sayısıyla ağın en çok atıf alan yedinci anahtar kelimesidir. Kümedeki diğer baskın anahtar kelimeler "science" 240 atıf, "big data analytics" 200 atıf ve "analytics" 182 atıf değerleriyle makine öğrenmesinin sadece teknik bir araç olarak kalmayıp büyük veri analitiği üzedinden bilimsel araştırma paradigmalarını dönüştürdüğünü göstermektedir. Kümede yer alan "evolution" anahtar kelimesi ise 123 adet atıf sayısıyla bu tekniklerin tarihsel gelişimi veya evrimsel algoritmalarla olan ilişkisine işaret etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,950'dir. Bu değer, kümenin son derece yüksek düzeyde homojenliğe sahip bilimsel eserlerden oluştuğunu, kümede yer alan yayınların tematik olarak birbirleriyle neredeyse tamamen tutarlı olduğunu ve "makine öğrenmesi" odağının literatürde çok net ve keskin sınırlarla tanımlandığını ifade etmektedir (Chen, 2020). Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2013'dür. Bu tarih, literatürün 2010 yılındaki "sinir ağları" odağından 2020'li yıllardaki "dijital dönüşüm" ve "kullanıcı kabulü" süreçlerine evrildiği aşamada kritik bir ara basamaktır. Kümede yer alan "machine learning" anahtar kelimesinin atıf patlaması skoru 47,09'dur. Bu anahtar kelime tüm ağ genelinde en yüksek ikinci atıf patlaması değerine sahiptir. Bu durum, 2013 yılları civarında makine öğrenmesi konusuna olan ilginin literatürde olağanüstü bir hızla arttığını ve bu alanın ana akım haline geldiğini göstermektedir. Küme içindeki "machine learning" anahtar kelimesinin Sigma değeri ise 1,83'dür. Sigma değeri, bir kavramın hem yüksek atıf artışına hem de yüksek "aralık merkeziliğine" (betweeness centrality) sahip olduğunu gösterir (Chen vd., 2010). Bu anlamda, makine

öğrenmesinin farklı araştırma grupları ve disiplinler arasında stratejik bir köprü kuran, dönüştürücü bir "entelektüel dönüm noktası" olduğu söylenebilir. Bu küme, yapay zekanın makine öğrenmesi ve büyük veri analitiği ekseninde bilimsel metodolojilere tam entegre olduğu, yapısal bütünlüğü son derece yüksek ve literatürdeki en güçlü "bilgi patlamalarından" birini temsil eden stratejik bir alan olarak ifade edilebilir.

Cluster #10 Yapay Zeka – Artificial Intelligence: Bu küme en yüksek atıf sayısına sahip 24 bilimsel eserle ağdaki onbirinci büyük kümedir. Yapay zekanın kurumsal sistemlere entegrasyonu ile bu sürecin doğurduğu sonuçlara odaklanan, yapısal olarak son derece tutarlı bir alanı temsil etmektedir. Kümenin tematik odağını sistemik etkiler oluşturmaktadır. Kümede en çok atıf alan anahtar kelimeler; consequences, information systems, complexity, cost ve judgement'dır. Bu, kümede yer alan bilimsel eserlere dair araştırmaların yapay zekayı sadece teknik bir algoritma olarak değil, bilgi sistemlerinin bir parçası olarak ve yarattığı sonuçlar (consequences) ekseninde ele aldıklarını ifade etmektedir. "Consequences" 123 atıf sayısıyla kümenin en güçlü anahtar kelimesidir. Yapay zeka kullanımının organizasyonel veya toplumsal sonuçlarının temel tartışma odağı olduğunu kanıtlar. "Information Systems" 63 atıf sayısıyla yapay zekanın bu dönemde geniş çaplı bilişim sistemleri içine nasıl yerleştirildiğinin araştırıldığını ifade eder. "Complexity" 52 atıf ve "Cost" 41 atıf sayısıyla yapay zeka sistemlerinin karmaşıklığı ve uygulama maliyetlerinin, erken dönem araştırmalarında önemli birer bariyer veya analiz konusu olduğunu göstermektedir. "Judgment" 35 atıf sayısıyla algoritmik kararların insan yargısı üzerindeki etkisi veya yerini alması konusundaki tartışmaları işaret etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,876'dır. Bu değer, kümedeki bilimsel çalışmaların çok yüksek düzeyde homojen olduklarını ifade etmektedir. Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2000'dir. Bu durum kümede yer alan bilimsel çalışmaların yapay zeka literatürünün milenyum dönemindeki "olgunlaşma" aşamasını temsil ettiğini gösterir. Bu küme daha büyük küme olan Cluster #4 ile aynı etiketi taşısa da, ondan biraz daha eski bir entelektüel temeli yansıtmaktadır. Kümenin LSI (Gizli Semantik İndeksleme) etiketi olan "app compatibility" (uygulama uyumluluğu), 2000'li yıllardaki araştırmaların yapay zeka yazılımlarının mevcut kurumsal sistemlerle olan teknik ve yapısal uyumuna odaklandığını teyit etmektedir. Kümenin özet tabloda yer alan MI skoruna göre belirtilen "artificial intelligence (0,16)" etiketi, bu alanın 2000'li yıllardaki genel tanımlayıcısıdır. Bu küme, yapay zekanın bilgi sistemlerindeki yerini, uygulama maliyetlerini ve karar almak süreçlerindeki etkilerini (yargı ve sonuçlar) inceleyen, yapısal bütünlüğü son derece sağlam ve literatürün 2000'li yılların başındaki stratejik bakış açısını yansıtan bir kümedir.

Cluster #11 Yapay Zeka – Artificial Intelligence: Bu küme ortak atıf sayısı en yüksek olan 12 bilimsel eserin yer aldığı ağın en büyük onbirinci kümesidir. Yapay zekanın teknik gelişiminden ziyade etik, tasarım ve algoritmik adalet gibi daha spesifik ve kritik alt başlıklara odaklanan son derece homojen bir araştırma alanını temsil etmektedir. Kümenin tematik odağını, algoritmik yanlılık ve insan odaklı tasarım oluşturmaktadır. Kümenin en çok atıf alan anahtar kelimeleri "artificial intelligence, algorithmic bias, machine learning, design thinking, information processing" dir. Bu anahtar kelimeler, kümede yer alan yayınlarda yapay zekanın toplumsal kabulündeki bariyerleri doğrudan ilgilendiren konuları içerdiğini ifade etmektedir. "Algorithmic Bias" anahtar kelimesi 45 atıf sayısıyla, kümenin yapay zeka sistemlerindeki "algoritmik yanlılık" konusuna odaklandığını gösterir. Bu çalışmanın temel konusu olan teknofobi ve psikolojik bariyerlerin temelinde yatan rasyonel korkulardan biri olan "algoritmik güvensizlik" bu kümedeki yayınlar tarafından bilimsel olarak incelenmektedir. Kümede yer alan bilimsel eserlerde kullanılan "Design Thinking" anahtar kelimesi, yapay zekanın sadece bir algoritma olarak değil, bir "tasarım düşüncesi" çerçevesinde, insan odaklı bir yaklaşımla ele alındığını ifade etmektedir. "Information Processing" anahtar kelimesi de benzer şekilde bilgi işlenme süreçlerinin bilişsel ve algoritmik boyutlarının bu kümede tartışıldığını kanıtlamaktadır. Kümenin Silhouette değeri 0,952'dir. Bu değer, kümede yer alan bilimsel eserlerin mükemmel düzeyde bir homojenliğe sahip olduğunu ifade etmektedir. Kümedeki bilimsel yayınların ortalama yayın yılı 2018'dir. Bu tarih, yapay zekanın 2000'li yılların başındaki kurumsal uygulama odaklı yapısından çıkıp, günümüzün en büyük tartışma konularından biri olan algoritmik şeffaflık

ve etik aşamasına evrildiği dönemi temsil etmektedir. Bu yönüyle literatürün en güncel tartışma konuları bu kümedeki bilimsel eserlerde incelenmektedir. Kümenin LSI etiketi "radio broadcasting" (radyo yayıncılığı) olarak etiketlenmiştir. Bu etiket, algoritmik yanlılık ve yapay zeka tartışmalarının medya ve yayıncılık gibi kitle iletişim kanalları üzerinden veya sektördeki uygulamalarla ilişkili olarak incelenmiş olabileceğine işaret etmektedir. Bu küme, yapay zekanın teknik altyapısının ötesinde, "algoritmik yanlılık" gibi psikolojik bariyerleri tetikleyen etik sorunları ve bu sorunların "tasarım odaklı düşünme" ile nasıl aşılabileceğini inceleyen, yapısal bütünlüğü son derece yüksek ve modern bir araştırma grubudur.

Cluster #12 Grup Sistem Desteği – Group Systems Support: Bu küme analiz edilen ağın en eski ve yapısal olarak en tutarlı tematik odaklarından biri temsil etmektedir. Ağda ortak atıf sayısı en yüksek 9 çalışmanın yer aldığı ağın en büyük onüçüncü kümesidir. Kümenin tematik odağında kurumsal destek ve dağıtık yapay zeka yer almaktadır. Kümenin ana etiketi olan "group systems support" ve en çok atıf alan yayınlarda yer alan "distributed artificial intelligence, strategic planning, electronic meeting systems" anahtar kelimeleri, kümede yer alan araştırmaların odağının yapay zekayı kurumsal strateji ve kolektif karar alma mekanizmalarını destekleyen bir araç olarak ele aldığını göstermektedir. "Distributed Artificial Intellgence" anahtar kelimesi, yapay zekanın merkezi olmayan, dağıtık sistemler üzerinden koordinasyonu sağlama rolünün bu kümede yer alan bilimsel yayınlarda ön planda olduğunu kanıtlar. "Strategic Planning" anahtar kelimesi kümenin LSI etiketiyle uyumlu olarak, yapay zekanın 1990'lı yılların sonunda stratejik planlama süreçlerine entegre edilmeye çalışıldığını göstermektedir. Kümedeki bilimsel eserlerde sıklıkla kullanılan "Elekctronic Meeting Systems" ve "Blackboard System" anahtar kelimeleri, yapay zekanın grup içi iletişimi ve bilgi paylaşımını dijital ortamlarda nasıl optimize ettiğine dair erken dönem bilişim sistemleri araştırmalarına işaret etmektedir. Kümenin Silhouette değeri 0,998'dir. Bu değer kümede yer alan yayınların ve bu yayınlarda kullanılan anahtar kelimelerin birbirleriyle son derece tutarlı ve benzer olduğunu göstermektedir. Bu kümede yer alan yüksek ortak atıf değerine sahip 9 bilimsel çalışma, sayıları her ne kadar az olsa da tematik olarak birbirine çok sıkı bağlı yayınlar olup literatürde çok net tanımlanmış olan "salt" bir çalışma alanını temsil etmektedirler. Kümede yer alan bilimsel yayınların ortalama yayın yılı 1997'dir. Veri setindeki en eski ortalama yıla sahip bir küme olması bakımından modern yapay zeka literatününü analiz edilen ağ içindeki "entelektüel temelini" oluşturmaktadır. Öyle ki, yapay zekanın günümüzdeki kullanıcı psikolojisi veya derin öğrenme gibi alanlarından çok önce, grup destek sistemleri ve elektronik toplantılar gibi operasyonel bilişim sistemleri çerçevesinde tartışıldığı bir dönemi yansıtmaktadır. Kümenin MI etiketi "artificial intelligence (0,21)" olarak etiketlendirilmiştir. Bu durum, 1997 yılındaki tartışmaların yapay zekanın genel kavramsal çerçevesi içinde şekillendiğini göstermektedir. Dolayısıyla bu küme, yapay zekanın kurumsal strateji, dağıtık sistemler ve grup iletişim sistemleri üzerindeki etkisini inceleyen, tarihsel olarak temel teşkil eden ve yapısal bütünlüğü (homojenliği) en yüksek olan bir araştırma alanını temsil etmektedir.

Cluster #13 Uzun Vadeli İnsan-Robot Etkileşimi – Long Term((HRI: Bu küme ağın ondördüncü büyük kümesidir. Yapay zeka literatürünün insan-robot etkileşiminin sosyal ve gelişimsel boyutlarına odaklanan, yapısal olarak son derece özelleşmiş bir alanını temsil etmektedir. Tematik odağında çocuklar, eğitim ve uzun vadeli etkileşim yer almaktadır. Kümenin en çok atıf alan bilimsel eserlerinde sıklıkla kullanılan anahtar kelimeler "child-robot interaction, educational robots, long-term hri, speculative co-design" dır. Bu anahtar kelimeler araştırmaların odağının yapay zekanın sadece teknik bir araç değil, bireylerle ve özellikle çocuklarla zaman içinde kurduğu psikolojik ve sosyal bağlar üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. "Child-robot interaction" anahtar kelimesi kümenin en güçlü anahtar kelimesidir. Araştırmaların çocukların robotik sistemlerle olan etkileşim biçimlerine odaklandığını ifade eder. "Long-term HRI" anahtar kelimesi kümenin ana etiketidir. İnsan-robot etkileşiminin tek seferlik olmaktan çıkıp, zaman içindeki alışma, güven ve psikolojik bağ kurma süreçlerini kapsadığını gösterir. "Educational robots" anahtar kelimesi, robot teknolojilerinin eğitim ortamındaki uygulamalarının ve öğrenme süreçlerindeki rolünün incelendiğini işaret eder. Kümenin Silhouette değeri 0,999'dur. Bu değer kümedeki bilimsel eserler arasında mükemmel

düzeyde bir homojenlik olduğunu ifade eder. Kümede yer alan bilimsel eserlerin ortalama yayın yılı 2016'dır. Bu tarih, literatürün 2010'lu yıllardaki algoritmik temellerden çıkıp, yapay zekanın gündelik yaşama ve hassas kullanıcı gruplarına, çocuklar gibi, dahil olduğu sosyo-psikolojik evreye geçişini temsil etmektedir. Kümede yer alan "speculative co-design" anahtar kelimesi, robotların ve yapay zekanın gelecekteki rollerinin kullanıcılarla birlikte nasıl tasarlanacağına dair ileriye dönük bir yaklaşıma işaret eder. Bu durum, bireylerin yapay zekaya karşı geliştirdikleri "algoritmik takdir" veya "teknofobi" gibi tepkilerin, tasarım aşamasında nasıl ele alındığını anlamak açısından önemlidir. Bu küme, yapay zekanın teknik bir sistemden ziyade, eğitim ve gelişim odaklı bir sosyal aktör olarak incelendiği, yapısal bütünlüğü diğer kümelere göre en yüksek düzeyde olan (Silhouette: 0,999) ve insan psikolojisinin robotlarla kurulan uzun vadeli etkileşim sonucundaki değişimini ele alan stratejik bir araştırma alanıdır.

3. BULGULAR

Yapay zekaya karşı insani tepkiler literatürünün entelektüel yapısını ve zamansal evrimini belirlemek amacıyla WoS veri tabanından elde edilen 18 bin 308 bilimsel eser, CiteSpace 7.0 programı aracılığıyla analiz edilmiştir. 1980-2026 yıllarını kapsayan bu geniş veri seti, 282 farklı ülkeden 6 bin 712 yazar ve 3 bin 443 kurumun katkılarıyla şekillenmiştir. Yapılan analizler sonucunda literatürün yapısal dinamikleri anahtar kelime kümeleri, atıf patlamaları, yazar ağları ve tarihsel kırılma noktaları başlıkları altından değerlendirilmiştir. Anahtar kelime ağ analizinde bin 550 adet anahtar kelime ve bu anahtar kelimelerin bulunduğu yayınlar arasında 11 bin 100 adet ortak atıf ağı belirlenmiştir. Ağın genel Modülerlik değeri 0,3698 ve Ağırlıklı Ortalama Silhouette değeri ise 0,4455 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, literatürün oldukça geniş bir disiplinlerarası yelpazeye yayıldığını ve heterojen bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle güven ve kabul gibi sosyo-psikolojik temaların pazarlama, etik, psikoloji ve bilişim gibi farklı disiplinler tarafından ele alınması bu heterojenliği besleyen temel unsurdur. Anahtar kelime ağ analizinde 14 ana tema kümesine ulaşılmıştır. Bu kümeler literatürün teknik odaklılıktan insani ve toplumsal odaklılığa geçişini simgelemektedir. Yazar ağ analizinde ise, iki ana tema kümesine ulaşılmıştır. Bunlar mevcut durum değerlemesi ve döngüsel ekonomi kümeleridir. Bu kümeler kapsamında özellikle ChatGPT ve üretken yapay zekanın hizmet sektörü ve kurumsal dayanıklılık üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Anahtar kelime bazında yapılan ağ analizinde literatürün gelişimine yön veren en etkili anahtar kelimenin "Artificial Intelligence" olduğu söylenebilir. Bu anahtar kelimenin 8 bin 570 adet atıf alan bilimsel eserde ortak anahtar kelime olarak kullanıldığı ve 41155,90 Sigma değeriyle aynı zamanda farklı disiplinleri birbirine bağlayan en stratejik köprü olduğu söylenebilir. Yazarlar bazında Yogesh K. Dwivedi 33 atıf, 8,47 atıf patlaması skoru ve 1,02 Sigma değeriyle tüm ağın en etkili ve stratejik araştırmacısı olarak saptanmıştır. Dwivedi'nin çalışmaları, özellikle üretken yapay zeka ve kabul modelleri üzerine literatürde yeni bir dönemi başlatmıştır. Literatürün tarihsel evrimi dört ana evre üzerinden yorumlanmıştır. 1985-2003 yıllarını kapsayan Erken Dönem, endüstriyel robotlar ve karar destek sistemleri gibi operasyonel ve teknik konulara odaklanan çalışmaların bulunduğu dönemdir. 2010-2013 yıllarını kapsayan Algoritmik Gelişim Dönemi, sinir ağları ve makine öğrenmesi modellerinin inşasına ve risk kavramının sorgulanmasına dair yayınların üretildiği dönemdir. 2016-2018 yıllarını kapsayan Sosyo-Psikolojik Dönem, insan-robot etkileşimi ve algoritmik yanlılık gibi bireysel bariyerlerin bilimsel olarak incelediği bir dönemdir. 2020-2026 yıllarını içeren Güncel Dönem, yapay zekaya karşı insani tepkiler literatüründe, üretken yapay zeka, algoritmik güven, parasosyal etkileşim ve dijital dönüşüm konularının tartışıldığı dönemi temsil etmektedir. Literatürdeki en güçlü atıf patlaması "Big Data" (82,87) kavramında yaşanmıştır. Bu kavramı "Machine Learning" (47,09) ve "Neural Networks" (42,93) takip etmektedir. CiteSpace bulguları; yapay zeka literatürünün başlangıçtaki "makine performansını optimize etme" hedefinden çıkıp, günümüzde "insan – yapay zeka iş birliğini ve rasyonel güveni yönetme" paradigmasına evrildiğini bilimsel olarak ortaya koymaktadır. Gelecek trendlerin ise dayanıklılığı artırma ve üretken modeller üzerinden şekillenen insani kabuller etrafından yoğunlaşacağı tahmin edilmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapay zekaya karşı insani tepkiler literatürü üzerine gerçekleştirilen bu kapsamlı bibliyometrik analiz, alanın 1980'den günümüze geçirdiği dramatik dönüşümü ve mevcut araştırma cephelerini somutlaştırmaktadır. Araştırma bulguları, başlangıçta robotizasyonun istihdam üzerindeki makroekonomik etkileri ve karar destek sistemlerinin teknik kapasitesine odaklanan literatürün, 2020 yılından itibaren hızla "sosyo-psikolojik etkileşim" ve "güven inşası" eksenine kaydığını doğrulamaktadır. 18.308 bilimsel eserin incelenmesi sonucunda, özellikle 2025 yılındaki yayın patlamasının, yapay zekanın sadece teknik bir araç değil, hizmet sektöründen endüstriyel sistemlere kadar her alanda "dayanıklılığı artıran" (enhancing resiliency) stratejik bir aktör olarak kabul edildiğini göstermektedir.

CiteSpace kümeleme analizleri, literatürün entelektüel yapısının iki devasa odak noktası etrafında toplandığını kanıtlamaktadır. En büyük küme olan Cluster #0 (The-Art Review), ChatGPT ve üretken yapay zeka modellerinin hizmet tasarımı, turizm ve insan kaynakları yönetimi üzerindeki dönüştürücü etkilerini incelemektedir. Bu kümede yer alan Sigala (2024) ve Budhwar (2023) gibi yazarların çalışmaları, bireylerin algoritmik sistemlerle kurduğu "parasosyal etkileşimin" ve rasyonel güvenin teknoloji kabulündeki kilit rollerini vurgulamaktadır. İkinci büyük küme olan Cluster #4 ise, YZ'nin Endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi içindeki rolünü kurumsal dayanıklılık üzerinden ele alarak, insani tepkilerin kurumsal direnç boyutuna dikkat çekmektedir.

Analiz sonuçları, bireylerin yapay zekaya karşı geliştirdikleri psikolojik bariyerlerin rasyonel korkularla (algoritmik yanlılık, otonomi kaybı ve istihdam endişesi) şekillendiğini, ancak bu bariyerlerin "algoritmik takdir" ve "marka kredibilitesi" ile aşılabildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Yogesh K. Dwivedi'nin hem en yüksek atıf sayısına hem de devasa bir Sigma skoruna sahip olması, onun çalışmalarının teknik ve sosyal disiplinler arasında en stratejik "entelektüel dönüm noktası" olduğunu teyit etmektedir. Öte yandan, birçok kümede ortak bir payda olarak karşımıza çıkan "temsilci sorunu" (agency problem) etiketi, karar alma yetkisinin algoritmalara devredilmesinin yarattığı kontrol ve sorumluluk tartışmalarının literatürün kalbinde yer aldığını kanıtlar.

Sonuç olarak bu çalışma, yapay zekaya karşı duyulan teknofobik direncin yerini, algoritmaların rasyonel etkinliğini takdir eden yeni bir kabul paradigmasına bıraktığını göstermektedir. Politika yapıcıların ve kurumların yapay zeka entegrasyonu süreçlerinde sadece teknik altyapı yatırımlarına değil, kullanıcıların psikolojik güvenlik algılarını pekiştirecek şeffaflık ve açıklanabilirlik mekanizmalarına odaklanması hayati önem taşımaktadır.

Gelecekteki çalışmalar, üretken yapay zeka ile kurulan parasosyal bağların uzun vadeli psikolojik etkilerine ve "YZ-prekaryası" olarak adlandırılan dezavantajlı iş gücü gruplarının dijital dışlanma risklerine odaklanmalıdır. Ayrıca, farklı kültürel bağlamlarda algoritmik güven modellerinin nasıl çeşitlendiğini inceleyen boylamsal araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

Agrawal, R., Wankhede, V. A., Kumar, A., Luthra, S., Majumdar, A., & Kazancoglu, Y. (2021). An exploratory state-of-the-art review of artificial intelligence applications in circular economy using structural topic modeling. *Operations Management Research*, 1–18. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00212-0

Agrawal, R. (2022). An exploratory state-of-the-art review of artificial intelligence applications in circular economy using structural topic modeling. *Operations Management Research*, *15*, 1–18. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00212-0

Agrawal, R. (2023). Integration of artificial intelligence in sustainable manufacturing: Current status and future opportunities. *Operations Management Research*, *16*, 1–22. https://doi.org/10.1007/s12063-023-00383-y

Akter, S., Dwivedi, Y. K., Sajib, S., Biswas, K., Bandara, R. J., & Michael, K. (2022). Algorithmic bias in marketing: Strategies to overcome themes and research directions. *Journal of Business Research*, *144*, 201–216. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.01.083

Aw, E. C.-X., Tan, G. W.-H., Cham, T.-H., Raman, R., & Ooi, K.-B. (2022). Alexa, what's on my shopping list? Transforming customer experience with digital voice assistants. *Technological Forecasting and Social Change*, *180*, Article 121711. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121711

Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, *163*, Article 120420. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420

Budhwar, P., Chowdhury, S., Wood, G., Aguinis, H., Bamber, G. J., Beltran, J. R., ... & Varma, A. (2023). Human resource management in the age of generative artificial intelligence: Perspectives and research directions on ChatGPT. *Human Resource Management Journal*, *33*(3), 606–659. https://doi.org/10.1111/1748-8583.12524

Chatterjee, S., Rana, N. P., Dwivedi, Y. K., & Baabdullah, A. M. (2022). Digital transformation of organization using ai-crm: From microfoundational perspective with leadership support. *Journal of Business Research*, *153*, 13–25. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.08.019

Chaturvedi, R., Verma, S., Das, R., & Dwivedi, Y. K. (2023). Social companionship with artificial intelligence: Recent trends and future avenues. *Technological Forecasting and Social Change*, *193*, 122634. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122634

Chen, C. (2004). Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(suppl_1), 5303–5310. https://doi.org/10.1073/pnas.0307513100

Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *57*(3), 359–377. https://doi.org/10.1002/asi.20317

Chen, C., Ibekwe-SanJuan, F., & Hou, J. (2010). The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *61*(7), 1386–1409. https://doi.org/10.1002/asi.21309

Chen, C. (2020). A glimpse of the first eight months of the COVID-19 literature on Microsoft Academic Graph: Themes, citation contexts, and uncertainties. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, *5*, 607286. https://doi.org/10.3389/frma.2020.607286

Dwivedi, Y. K., Sharma, A., Rana, N. P., Giannakis, M., Goel, P., & Dutot, V. (2023). Evolution of artificial intelligence research in Technological Forecasting and Social Change: Research topics, trends, and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*, *192*, 122579. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122579

Edler, D., & Ribakova, T. (1994). The impact of industrial robots on the level and structure of employment in Germany—A simulation study for the period 1980–2000. *Technological Forecasting and Social Change*, *45*(3), 255–274. https://doi.org/10.1016/0040-1625(94)90049-3

Huang, M.-H., & Rust, R. T. (2018). Artificial intelligence in service. *Journal of Service Research*, *21*(2), 155–172. https://doi.org/10.1177/1094670517752459

Jain, S., Basu, A., Dwivedi, Y. K., & Kaur, S. (2022). Interactive voice assistants—Does brand credibility assuage privacy risks? *Journal of Business Research*, *139*, 701–717. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.10.019

Kumar, A., Ramachandran, A., De Unanue, A., Sung, C., Walsh, J., Schneider, J., Ridgway, J., Schuette, S. M., Lauritsen, J., & Ghani, R. (2020). *A machine learning system for retaining patients in HIV care* (arXiv:2006.04944). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.04944

Kumar, V. (2025). Enhancing organizational readiness for generative AI integration: An empirical investigation. *International Journal of Organizational Analysis*. Advance online publication. https://doi.org/10.1108/IJOA-03-2025-5310

Mori, S. (1989). Macroeconomic effects of robotization in Japan. *Technological Forecasting and Social Change*, *35*(2-3), 149–165. https://doi.org/10.1016/0040-1625(89)90052-8

Naz, F., Kumar, A., Luthra, S., & Garcia-Agreda, S. (2022). Is artificial intelligence an enabler of supply chain resiliency post covid-19? An exploratory state-of-the-art review for future research. *Operations Management Research*, *15*, 21–41. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00208-w

Omrani, N., Rivieccio, G., Fiore, U., Schiavone, F., & Agreda, S. G. (2022). To trust or not to trust? An assessment of trust in AI-based systems: Concerns, ethics and contexts. *Technological Forecasting and Social Change*, *181*, Article 121763. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121763

Plant, R. E. (1993). Expert systems in agriculture and resource management. *Technological Forecasting and Social Change*, *43*(3-4), 241–257. https://doi.org/10.1016/0040-1625(93)90054-B

Law, R., Lin, K. J., Ye, H., & Fong, D. K. C. (2024). Artificial intelligence research in hospitality: A state-of-the-art review and future directions. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, *36*(6), 2049–2068. https://doi.org/10.1108/IJCHM-02-2023-0189

Shareef, M. A., Kumar, V., Dwivedi, Y. K., Kumar, U., Akram, M. S., & Raman, R. (2021). A new health care system enabled by machine intelligence: elderly people's trust or losing self-control. *Technological Forecasting and Social Change*, *162*, 120334. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120334

Sigala, M. (2024a). Chatgpt and service: Opportunities, challenges, and research directions. *Journal of Service Theory and Practice*, *34*(1), 12–35. https://doi.org/10.1108/JSTP-11-2023-0292

Sigala, M. (2024b). Understanding the impact of chatgpt on tourism and hospitality: Trends, prospects and research agenda. *Journal of Hospitality and Tourism Management*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2024.08.004

Torii, Y. (1989). Robotization in Korea: Trend and implications for industrial development. *Technological Forecasting and Social Change*, *35*(2-3), 179–190. https://doi.org/10.1016/0040-1625(89)90054-1

von Krogh, G., Roberson, Q., & Gruber, M. (2023). Recognizing and utilizing novel research opportunities with artificial intelligence. *Academy of Management Journal*, *66*(2), 367–373. https://doi.org/10.5465/amj.2023.4002

Vrontis, D., & Christofi, M. (2019). R&D internationalization and innovation: A systematic review, integrative framework and future research directions. *Journal of Business Research*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.03.031

Wirtz, J., Kunz, W. H., & Tarbit, J. (2023). Corporate digital responsibility in service firms and their ecosystems. *Journal of Service Research*, *26*(2), 173–190. https://doi.org/10.1177/10946705221130467

https://doi.org/10.71284/asc.2026130

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN CLINICAL PRACTICE AND MEDICAL EDUCATION

Shokirovna Shakhnoza Shokirovna[1]

Abstract

The rapid development of artificial intelligence technologies has significantly transformed various sectors of modern society, particularly the healthcare system. Artificial intelligence (AI) has become an important tool in improving clinical decision-making, optimizing diagnostic processes, enhancing medical education, and increasing the overall efficiency of healthcare services. This article analyzes the role of artificial intelligence technologies in clinical practice and medical education, examines their advantages and limitations, and highlights the current progress in implementing AI technologies in the healthcare system of Uzbekistan. The study demonstrates that AI-based medical systems contribute to improving diagnostic accuracy, accelerating treatment processes, and enhancing the quality of medical training.

Keywords: Artificial intelligence, digital healthcare, clinical decision support systems, medical education, digital medicine, healthcare innovation.

[1] Scientific Supervisor: Kokand University, Andijan Branch, sehnaz0609@icloud.com, Maftunakhon Rakhmonjon kizi, davolash ishi 24-34 gurux, https://orcid.org/0009-0001-0945-7002

INTRODUCTION

In recent decades, rapid technological development has fundamentally transformed various spheres of human activity, including healthcare and education. Among the most influential innovations of the twenty-first century is artificial intelligence, which has become an important component in the modernization of medical systems worldwide. Artificial intelligence technologies enable computers and digital systems to perform tasks that traditionally require human intelligence, including data analysis, pattern recognition, decision-making, and predictive modeling.

Healthcare is one of the fields where artificial intelligence has demonstrated particularly significant potential. Modern medical practice generates enormous volumes of clinical data, including diagnostic images, electronic health records, laboratory results, and genomic information. The analysis of such large datasets is often difficult and time-consuming for healthcare professionals. Artificial intelligence systems provide powerful tools that allow medical specialists to analyze complex medical information efficiently and support clinical decision-making processes.

The integration of artificial intelligence into clinical practice has led to substantial improvements in disease diagnosis, treatment planning, patient monitoring, and healthcare management. At the same time, artificial intelligence technologies have begun to play a significant role in medical education, contributing to the modernization of educational methodologies and improving the quality of professional training for future healthcare specialists.

In the context of global digital transformation, the healthcare system of Uzbekistan has also begun to adopt digital technologies, including artificial intelligence solutions, as part of broader healthcare reforms. The introduction of digital medicine, telemedicine platforms, and AI-based diagnostic systems represents an important step toward improving healthcare accessibility, quality, and efficiency in the country. Artificial intelligence has significantly expanded the capabilities of modern clinical practice by introducing advanced analytical tools and intelligent systems designed to support medical professionals. AI-based technologies are widely used in diagnostic imaging, predictive analytics, clinical decision support systems, robotic surgery, and personalized medicine. One of the most significant applications of artificial intelligence in healthcare is medical diagnostics. Machine learning algorithms and deep learning models can analyze complex medical images, including X-rays, computed tomography scans, and magnetic resonance imaging data, with remarkable accuracy. These technologies allow for the early detection of diseases such as cancer, cardiovascular disorders, neurological conditions, and respiratory illnesses. In many cases, AI systems can detect subtle patterns in medical images that may be difficult for human observers to identify. Artificial intelligence also plays a crucial role in clinical decision support systems (CDSS). These systems analyze patient data, medical histories, laboratory results, and clinical guidelines to assist physicians in making more accurate and evidence-based decisions. By providing recommendations for diagnosis, treatment plans, and medication management, AI-powered decision support systems help reduce the risk of medical errors and improve patient outcomes. Another important application of artificial intelligence in clinical practice is predictive analytics. AI models can analyze historical and real-time healthcare data to predict disease progression, identify high-risk patients, and forecast potential complications. Such predictive capabilities enable healthcare providers to implement preventive strategies and personalized treatment approaches, thereby improving patient care and reducing healthcare costs.

Artificial intelligence is also widely used in robotic surgery and minimally invasive medical procedures. Surgical robots equipped with intelligent algorithms assist surgeons in performing complex operations with greater precision, stability, and control. These technologies enhance surgical accuracy and reduce recovery time for patients. Furthermore, AI technologies contribute to the development of personalized medicine. By analyzing genetic information, lifestyle data, and clinical records, AI systems can help physicians design individualized treatment plans tailored to each patient’s unique characteristics. This

approach significantly improves treatment effectiveness and patient satisfaction. In addition to transforming clinical practice, artificial intelligence has become an important tool in medical education. Modern medical training increasingly relies on digital technologies that enhance learning experiences, improve knowledge retention, and support the development of practical skills. Artificial intelligence enables the creation of intelligent tutoring systems that provide personalized learning experiences for medical students. These systems analyze students' learning progress, identify areas of weakness, and recommend appropriate educational resources. Such adaptive learning platforms help students master complex medical concepts more efficiently. Simulation technologies powered by artificial intelligence also play a vital role in medical education. Virtual reality and augmented reality environments allow students to practice clinical procedures, diagnostic techniques, and surgical interventions in realistic simulated settings. These technologies reduce the risks associated with training on real patients while improving students' practical skills and confidence. Another important application of AI in medical education is automated assessment and feedback systems. Artificial intelligence can evaluate students' performance in clinical simulations, written assignments, and diagnostic exercises, providing immediate feedback that helps learners improve their competencies. Furthermore, artificial intelligence facilitates access to large medical knowledge databases and scientific literature. AI-powered search systems allow medical students and researchers to quickly retrieve relevant information from thousands of scientific publications, enabling them to stay updated with the latest medical research. The integration of artificial intelligence into medical education not only enhances learning efficiency but also prepares future healthcare professionals to work effectively in technologically advanced medical environments.

In recent years, Uzbekistan has undertaken significant reforms aimed at modernizing its healthcare system through digital transformation. The implementation of artificial intelligence technologies has become an important part of these reforms. The government of Uzbekistan has launched several initiatives focused on the development of digital healthcare infrastructure. The introduction of electronic medical records, telemedicine services, and centralized healthcare information systems has created favorable conditions for the integration of artificial intelligence technologies. Artificial intelligence is increasingly being used in diagnostic centers, medical research institutions, and large hospitals across the country. AI-based systems assist healthcare professionals in analyzing radiological images, detecting early signs of diseases, and improving the accuracy of medical diagnoses.

Telemedicine platforms supported by digital technologies have also expanded access to healthcare services, particularly for patients living in remote regions. Through telemedicine systems, patients can consult medical specialists without traveling long distances, while AI tools help analyze medical data and support clinical decision-making. Another important aspect of AI development in Uzbekistan is the integration of digital technologies into medical education institutions. Medical universities are gradually incorporating digital learning platforms, simulation laboratories, and data-driven educational tools into their curricula. These innovations enable students to develop practical skills and gain experience working with modern healthcare technologies. Despite these achievements, the implementation of artificial intelligence in the healthcare system still faces several challenges. These include limited technological infrastructure, insufficient training of healthcare professionals in digital technologies, and concerns related to data security and ethical standards. Addressing these challenges requires coordinated efforts from government institutions, educational organizations, and healthcare providers. The integration of artificial intelligence technologies into healthcare and medical education offers numerous benefits, including improved diagnostic accuracy, enhanced efficiency of healthcare services, and modernization of medical training systems. However, the successful implementation of AI technologies requires careful consideration of ethical, legal, and technological factors.

One of the key concerns related to artificial intelligence in healthcare is data privacy and security. Medical data are highly sensitive, and their protection is essential for maintaining patient trust and ensuring ethical

medical practice. Therefore, the development of secure digital infrastructures and regulatory frameworks is necessary to support the responsible use of AI technologies. Another important issue is the need for specialized training programs that prepare healthcare professionals to work effectively with artificial intelligence systems. Medical practitioners must develop digital competencies and understand how to interpret AI-generated recommendations within clinical contexts.

CONCLUSION

Artificial intelligence has become a transformative force in modern healthcare systems and medical education. The integration of AI technologies into clinical practice enhances diagnostic accuracy, supports clinical decision-making, and improves the efficiency of healthcare services. At the same time, artificial intelligence contributes to the modernization of medical education by introducing innovative learning methodologies and simulation-based training systems. In Uzbekistan, the development of digital healthcare infrastructure and the adoption of artificial intelligence technologies represent important steps toward improving the quality and accessibility of healthcare services. Continued investment in digital technologies, education, and research will further strengthen the role of artificial intelligence in the national healthcare system. Future research should focus on developing effective strategies for integrating artificial intelligence into healthcare systems while addressing ethical, legal, and technological challenges. The successful implementation of these technologies will play a crucial role in shaping the future of medicine and medical education.

REFERENCES

Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – New Jersey: Pearson Education, 2021. – 1136 p.

Topol E. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. – New York: Basic Books, 2019. – 386 p.

Esteva A., Kuprel B., Novoa R. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. – 2017. – Vol. 542. – pp. 115–118.

Jiang F., Jiang Y., Zhi H., Dong Y. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future // Stroke and Vascular Neurology. – 2017. – Vol. 2. – pp. 230–243.

Davenport T., Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare // Future Healthcare Journal. – 2019. – Vol. 6(2). – pp. 94–98.

World Health Organization. Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health. – Geneva: WHO Press, 2021.

Obermeyer Z., Emanuel E. Predicting the future — Big data, machine learning and clinical medicine // The New England Journal of Medicine. – 2016. – Vol. 375. – pp. 1216–1219.

Mesko B. The Guide to the Future of Medicine: Technology and the Human Touch. – Budapest: Webicina, 2017.

Karimov U., Ismoilov S. Digital transformation of the healthcare system in Uzbekistan // Journal of Healthcare Development. – 2022. – №4. – pp. 45–52.

O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni saqlash vazirligi. Raqamli tibbiyot va telemeditsina tizimini rivojlantirish konsepsiyasi. – Toshkent, 2021.

Panch T., Mattie H., Celi L. The “inconvenient truth” about AI in healthcare // NPJ Digital Medicine. – 2019. – Vol. 2. – Article 77.

Hamet P., Tremblay J. Artificial intelligence in medicine // Metabolism. – 2017. – Vol. 69. – pp. S36–S40.

Rajpurkar P., Irvin J., Ball R. Deep learning for chest radiograph diagnosis // Nature Medicine. – 2018. – Vol. 24. – pp. 1348–1355.

https://doi.org/10.71284/asc.2026200

INTELLECTUAL PROPERTY AWARENESS AND COPYRIGHT COMPLIANCE IN DIGITAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED CREATIVE ENVIRONMENTS: EVIDENCE FROM VIDEO PRODUCTION STUDENTS

Rohayu Zulkapli[1]

Abstract

The rapid expansion of digital media production, alongside the increasing use of artificial intelligence (AI)-assisted content creation, has raised significant concerns regarding intellectual property (IP) compliance in higher education. This study examines intellectual property awareness and copyright compliance practices among students in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production programme at Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin. A quantitative descriptive and correlational design was employed, involving 54 Semester 3 students selected through purposive sampling. Data were collected using a structured five-point Likert scale questionnaire and analysed using SPSS. The findings indicate high levels of awareness ($M = 4.25$, $SD = 0.85$) and compliance practices ($M = 4.23$, $SD = 0.90$), with a strong positive correlation ($r = .749$, $p < .001$), explaining approximately 56% of the variance in compliance behaviour. However, the minimal difference between awareness and practice highlights a persistent knowledge–practice gap, suggesting that students may possess conceptual understanding but face challenges in consistently applying copyright principles. In contemporary creative environments, this gap may be further influenced by the increasing integration of AI-assisted content creation, which introduces additional complexity in copyright attribution and ownership. This study contributes to the growing discourse on digital ethics and intellectual property education by emphasising the need for practice-oriented learning approaches and institutional support to ensure ethical compliance among future content creators.

Keywords: Intellectual property, copyright compliance, AI-assisted content, digital ethics, higher education

[1] Department of Design and Visual Communication, Tuanku Syed Sirajuddin Polytechnic, Perlis, Malaysia, rohayu@ptss.edu.my

INTRODUCTION

The digital transformation of creative education has reshaped how students produce and distribute multimedia content. These outputs represent intellectual creations that require legal protection under the Malaysian Copyright Act 1987. Within creative production programmes, students frequently integrate third-party assets such as background music, stock images, and video clips. While digital accessibility enhances creative possibilities, it also increases exposure to copyright risks, particularly through the misuse of such materials. The increasing use of artificial intelligence (AI)-assisted tools in digital content creation further complicates issues related to copyright ownership and compliance. Misinterpretation of fair dealing provisions and the assumption that educational use permits unrestricted reproduction further contribute to compliance challenges.

Students enrolled in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production at Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin operate within this complex digital environment. Evaluating their level of intellectual property awareness and compliance practices is therefore essential for ensuring academic integrity and preparing industry-ready graduates. Despite its importance, empirical research on copyright awareness and compliance practices among polytechnic students in creative disciplines remains limited. Intellectual property literacy has become increasingly relevant in higher education, particularly in creative and digital disciplines, as copyright awareness is widely recognized as a foundational component of academic integrity and professional ethics (Secker & Morrison, 2016; Logas & Phillips, 2021). Previous studies also indicate that although students demonstrate strong technical proficiency, gaps remain in their understanding of the legal aspects of digital content creation (Chu & Cheng, 2015; Mohamad & Hassan, 2019).

In the rapidly evolving digital media landscape, students in technical institutions such as polytechnics are expected to be both technically proficient and ethically responsible creators. Ideally, competencies in digital content production should be complemented by a clear understanding of intellectual property laws to ensure professional integrity and legal compliance. However, a significant gap persists between technical proficiency and legal awareness. While students demonstrate strong capabilities in video production, their understanding and application of copyright regulations remain limited. This gap is evident in several areas, including inadequate copyright literacy, misinterpretation of fair dealing provisions, and reliance on unauthorized digital resources due to time and financial constraints. If left unaddressed, this issue may contribute to the development of media practitioners who are vulnerable to legal risks and unethical professional practices. Therefore, there is a need to quantitatively examine the relationship between intellectual property awareness and compliance practices among students in order to inform more effective pedagogical and institutional interventions.

This study aims to achieve three objectives: first, to determine the level of students' intellectual property awareness; second, to examine the level of copyright compliance practices in academic assignments; and third, to analyse the relationship between intellectual property awareness and compliance practices. To achieve these objectives, the study employed a quantitative descriptive and correlational design involving 54 Semester 3 students in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production programme. Data were collected through a structured Likert-scale questionnaire and analysed using SPSS. The findings indicate high levels of awareness and compliance practices, with a strong positive correlation between both variables. Overall, the study suggests that although awareness is a substantial predictor of compliance behaviour, the translation of knowledge into consistent practice remains imperfect, especially within increasingly AI-assisted creative environments.

1. METHOD

1.1. Conceptual and Theoretical Framework

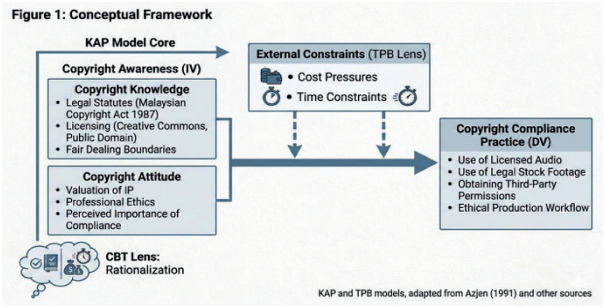
In the transition toward a digital creative economy, intellectual property literacy has emerged as a critical competency for media practitioners. Copyright awareness is not only a legal requirement but also a key component of professional ethics and academic integrity (Logas & Phillips, 2021). Within higher education, students in technical disciplines, particularly video production, are frequently exposed to IP-related issues due to their engagement with digital assets such as music, stock footage, and graphic elements (Chu & Cheng, 2015). In the Malaysian context, previous studies indicate that although students possess strong technical skills, gaps remain in their understanding of legal and ethical aspects of digital content creation (Mohamad & Hassan, 2019).

The Knowledge–Attitude–Practice (KAP) model provides an important basis for understanding copyright compliance behaviour. The model posits that knowledge influences attitudes, which in turn shape practice (Schwartz, 1976). In this study, knowledge refers to students' understanding of copyright rules and intellectual property principles, while practice refers to their actual compliance behaviour in producing academic video assignments. However, previous literature suggests that knowledge alone does not necessarily guarantee ethical behaviour because situational and structural constraints may weaken the translation of awareness into action (Tushar & Karim, 2020).

This study also draws on the Theory of Planned Behaviour (TPB), which highlights perceived behavioural control as a determinant of actual behaviour (Ajzen, 1991). In video production contexts, students often encounter barriers such as time pressure, financial limitations, and limited access to licensed materials. These factors may reduce their ability to translate knowledge of copyright requirements into compliant practice. In addition, cognitive dissonance theory helps explain why students may rationalise non-compliant actions when their creative ambitions conflict with legal restrictions (Festinger, 1957). A common misconception is that educational use automatically qualifies as fair dealing, which may encourage the unauthorized use of copyrighted materials without permission (Logas & Phillips, 2021).

Based on the integration of the KAP model and TPB, this study proposes a conceptual framework illustrating the relationship between Intellectual Property Awareness as the independent variable and Compliance Practices as the dependent variable. While awareness is expected to influence compliance behaviour, this relationship may be affected by external constraints such as time pressure and the cost of licensed resources. Therefore, the study seeks to quantitatively examine the strength of this relationship among video production students.

Figure 1. Proposed Conceptual Framework



Source: Adapted from the integration of the KAP model and the Theory of Planned Behaviour.

1.2. Research Design

This study adopted a quantitative research design employing descriptive and correlational approaches. The descriptive component was used to determine the level of intellectual property awareness and copyright compliance practices, whereas the correlational component was used to examine the relationship between these two variables. This design was selected because it enables the researcher to quantify current levels of awareness and practice while also testing the strength of association between both constructs in a systematic manner.

1.3. Participants and Sampling

The study involved 54 Semester 3 students enrolled in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production programme at Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin. A purposive sampling technique was employed to ensure that participants possessed relevant academic exposure. All participants had completed the DVV10143 Creative Production Management course, which incorporates intellectual property concepts. This ensured that respondents had sufficient foundational knowledge to provide informed responses regarding awareness and compliance practices.

1.4. Instrumentation

Data were collected using a structured online questionnaire adapted from previous copyright literacy studies and tailored to the polytechnic video production context. The instrument used a five-point Likert scale ranging from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). The questionnaire comprised two main constructs. The first construct, Intellectual Property Awareness, assessed students' knowledge of copyright regulations, including the Malaysian Copyright Act 1987 and fair dealing principles. The second construct, Copyright Compliance Practices, measured the extent to which students applied copyright principles in video production, such as using licensed materials and obtaining permission for third-party assets.

The reliability of the instrument was evaluated using Cronbach's alpha. Both constructs demonstrated good internal consistency, exceeding the acceptable threshold of 0.70, with values of $\alpha = 0.82$ for awareness and $\alpha = 0.85$ for compliance practices. These values indicate that the instrument was reliable for subsequent statistical analysis.

1.5. Data Analysis

The quantitative data were analysed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 26.0. Descriptive statistics, including mean and standard deviation, were used to determine the levels of intellectual property awareness and copyright compliance practices. Mean scores were interpreted based on a three-level scale: low (1.00–2.33), moderate (2.34–3.66), and high (3.67–5.00) (Best, 1977). Inferential analysis was conducted using Pearson's correlation coefficient to examine the relationship between intellectual property awareness and compliance practices. The strength of the correlation was interpreted based on Cohen's (1988) guidelines. All statistical tests were conducted at a significance level of $p < .05$. Prior to correlation analysis, the assumptions of normality, linearity, and absence of outliers were assessed and satisfied, confirming the suitability of parametric testing.

1.6. Purpose and Significance of the Research

The purpose of this study was to determine the level of students' intellectual property awareness, to examine the level of copyright compliance practices in academic assignments, and to analyse the relationship between these two variables. The significance of the study lies in its contribution to the understanding of copyright-related behaviour among students in creative and technical education. As video production students increasingly rely on digital assets and AI-assisted tools, the issue of copyright compliance becomes more important for academic integrity, ethical content creation, and professional readiness. The findings may assist educational institutions in designing more effective pedagogical and institutional interventions to strengthen intellectual property literacy and compliance practices.

1.7. Research Universe and Sample

The research population consisted of students enrolled in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production programme at Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin. The study sample involved 54 Semester 3 students selected through purposive sampling. This sampling method was appropriate because the selected students had completed the DVV10143 Creative Production Management course and therefore possessed relevant exposure to intellectual property-related content. In demographic terms, the sample comprised 60% male and 40% female students.

1.8. Research Methodology

The study employed a quantitative descriptive and correlational design. Data were gathered through a structured questionnaire consisting of two constructs: Intellectual Property Awareness and Copyright Compliance Practices. The instrument used a five-point Likert scale and demonstrated acceptable internal consistency, with Cronbach's alpha values of 0.82 and 0.85 respectively. Data were analysed using SPSS version 26.0. Descriptive statistics were used to interpret overall levels, and Pearson's correlation coefficient was used to examine the relationship between the two variables.

2. FINDINGS

2.1. Demographic Profile

The study involved 54 participants. All respondents were Semester 3 students enrolled in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production programme and had completed the DVV10143 Creative Production Management course. In terms of gender distribution, 60% of the respondents were male and 40% were female.

2.2. Intellectual Property Awareness

Descriptive analysis indicates that students demonstrate a high level of intellectual property awareness, with a mean score of 4.25 and a standard deviation of 0.85. This suggests that, in general, respondents possess a strong level of understanding regarding copyright-related issues, the legal consequences of infringement, and the importance of respecting intellectual property rights in academic and creative environments.

Table 1. Level of Intellectual Property Awareness

Construct	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	Interpretation
Intellectual Property Awareness	4.25	0.85	High

Note. Mean scores were interpreted as low (1.00–2.33), moderate (2.34–3.66), and high (3.67–5.00).

Further item-level analysis shows that students demonstrated the highest awareness in relation to formal intellectual property training and understanding of legal consequences. However, comparatively lower mean scores were observed in more technical aspects, particularly in identifying Creative Commons licences and verifying the licensing status of digital assets. These findings indicate that while students possess strong general awareness of intellectual property concepts, their procedural and technical knowledge related to practical implementation remains comparatively limited.

2.3. Copyright Compliance Practices

Descriptive analysis indicates that students demonstrate a high level of copyright compliance practices, with a mean score of 4.23 and a standard deviation of 0.90. This suggests that respondents generally report positive compliance behaviour in academic assignments involving digital media production.

Table 2. Level of Copyright Compliance Practices

Construct	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	Interpretation
Copyright Compliance Practices	4.23	0.90	High

Note. Mean scores were interpreted as low (1.00–2.33), moderate (2.34–3.66), and high (3.67–5.00).

Item-level analysis indicates that students reported higher scores in ethical attitudes and beliefs towards intellectual property, particularly in recognising the importance of crediting original creators and maintaining professional integrity. In contrast, relatively lower mean scores were observed in more formal compliance behaviours, such as the use of copyright-checking tools, seeking official permission, and discussing intellectual property issues with peers. These findings indicate that while students demonstrate strong ethical awareness, the consistent application of formal compliance procedures remains comparatively limited. This pattern suggests a gap between ethical intention and actual compliance behaviour.

2.4. Correlation Analysis

A strong positive correlation was found between intellectual property awareness and copyright compliance practices ($r = .749$, $p < .001$). The coefficient of determination ($r^2 = 0.56$) indicates that approximately 56% of the variance in compliance practices can be explained by students' level of awareness. This finding suggests that higher levels of intellectual property awareness are associated with better compliance behaviour among students. The strength of this relationship indicates that awareness is a substantial predictor of compliance practices, consistent with previous studies on ethical and academic behaviour.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The findings of this study are consistent with the Knowledge–Attitude–Practice framework, indicating that intellectual property awareness plays a significant role in shaping students' compliance behaviour. Students with higher levels of awareness tend to demonstrate better adherence to copyright practices, supporting previous findings on academic integrity and ethical behaviour. At the same time, the findings suggest that the KAP model may require contextual extension in AI-assisted environments, where technological complexity may weaken the translation of awareness into compliant behaviour.

Despite the strong relationship between awareness and compliance, the minimal difference between awareness ($M = 4.25$) and compliance practices ($M = 4.23$) reflects a knowledge–practice gap. This suggests that the translation of knowledge into behaviour is not always fully realised. In such cases, students may possess adequate conceptual awareness but still face difficulties in consistently applying copyright principles in real-world creative practice. This finding can be further explained through the Theory of Planned Behaviour, where external constraints such as time pressure, financial limitations, and limited access to licensed digital resources may restrict behavioural implementation. In the context of video production, students may prioritise creative outcomes and production quality over strict compliance with copyright regulations, especially under academic deadlines.

Furthermore, the relatively lower scores observed in procedural aspects, such as identifying Creative Commons licences and verifying licensing status, indicate that students' operational knowledge of copyright implementation remains limited. This suggests that while students possess general conceptual awareness, their ability to navigate licensing frameworks in practice is still insufficient. Another important issue is the reliance on self-reported data, which introduces the possibility of response bias, particularly social desirability bias, where participants may overestimate their compliance behaviour. This may result in an inflated perception of actual practice.

Overall, the findings suggest the presence of what may be described as superficial compliance, in which students demonstrate positive attitudes and perceived compliance but may not consistently apply formal copyright procedures in practice. This underscores the need to bridge the gap between theoretical knowledge and practical implementation through more practice-oriented pedagogical strategies, including hands-on training, access to licensed resources, and structured institutional support. Although AI-specific behaviours were not directly measured in this study, the increasing reliance on AI-assisted content creation suggests that future compliance practices will likely become more complex, particularly in relation to authorship, ownership, and originality.

In conclusion, this study demonstrates that students in the Diploma in Digital Creative Technology Video Production programme exhibit high levels of intellectual property awareness and copyright compliance practices, with a strong and statistically significant positive relationship between both variables. However, the presence of a knowledge–practice gap indicates that awareness alone is not sufficient to ensure fully consistent compliance behaviour. The study therefore contributes to the growing body of research on intellectual property practices in creative education by highlighting the importance of translating awareness into actionable compliance within contemporary digital and AI-assisted creative environments.

This study has several limitations. First, the relatively small sample size and focus on a single institution may limit the generalisability of the findings. Second, the use of self-reported data may introduce response bias and overestimate actual compliance behaviour. Future research should involve larger and more diverse samples across multiple institutions, while also incorporating additional variables such as attitudes, perceived behavioural control, and institutional support. Longitudinal designs would also be useful in examining how intellectual property awareness and compliance practices evolve over time, particularly as students move from academic settings into professional creative industries. Future studies should also explicitly measure students' use of AI-generated content in order to better understand copyright compliance within AI-driven creative environments.

REFERENCES

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behaviour. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes, 50(2)*, 179–211.

Al-Harrasi, A., & Al-Badi, A. (2021). Factors influencing unethical academic behaviour in higher education. *Journal of Academic Ethics, 19,* 123–140.

Ayoubi, R. M., Aljawarneh, S., & Aljawarneh, N. (2021). The impact of digital literacy on students' awareness of copyright and intellectual property rights. *International Journal of Emerging Technologies in Learning, 16(10)*, 4–17.

Bennett, R. (2005). Factors associated with student plagiarism in higher education. *Assessment & Evaluation in Higher Education, 30(2)*, 137–162.

Bretag, T. (2016). Challenges in addressing plagiarism in education. *PLOS Medicine, 13(12)*, e1002183.

Bretag, T., Harper, R., Burton, M., Ellis, C., Newton, P., van Haeringen, K., Saddiqui, S., & Rozenberg, P. (2019). Contract cheating and assessment design: Exploring the relationship. *Assessment & Evaluation in Higher Education, 44(5)*, 676–691.

Chu, S. K. W., & Cheng, E. W. S. (2015). Promoting intellectual property rights awareness among secondary school students. *Library & Information Science Research, 37(4),* 350–359.

Creswell, J. W. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.).* SAGE Publications.

DeVries, I. (2016). Open educational resources and copyright literacy. *The Journal of Academic Librarianship, 42(4)*, 435–441.

Eaton, S. E. (2020). Academic integrity during COVID-19: Reflections from the field. *International Studies in Educational Administration, 48(1)*, 80–85.

Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford University Press.

Hilton, J. (2020). Open educational resources, student efficacy, and user perceptions: A synthesis of research. *Educational Technology Research and Development, 68,* 853–876.

Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behaviour? *Environmental Education Research, 8(3)*, 239–260.

Krumpal, I. (2013). Determinants of social desirability bias in sensitive surveys: *A literature review. Quality & Quantity, 47,* 2025–2047.

Logas, B., & Phillips, H. N. (2021). Copyright in the classroom: Understanding student perspectives on fair use and digital media. *Journal of Media Literacy Education, 13(2),* 45–58.

McCabe, D. L. (2012). Cheating in college: *Why students do it and what educators can do about it.* Johns Hopkins University Press.

Mohamad, S., & Hassan, M. S. (2019). Tahap kesedaran dan amalan hak cipta digital dalam kalangan pelajar institusi pengajian tinggi di Malaysia. *Jurnal Komunikasi: Malaysian Journal of Communication, 35(3),* 201–218.

Park, E. J., & Park, S. (2020). Understanding digital copyright compliance behaviour among university students. *Computers & Education, 150,* 103–109.

Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioural research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology, 88(5),* 879–903.

Ramayah, T., Ahmad, N. H., Halim, H. A., & Rahman, S. A. (2022). Digital ethics and academic integrity among higher education students. *Education and Information Technologies, 27(7),* 10245–10260. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11000-9

Schwartz, N. E. (1976). Nutrition knowledge, attitudes, and practices of high school graduates. *Journal of the American Dietetic Association, 66(1),* 28–31.

Secker, J., & Morrison, C. (2016). *Copyright and e-learning: A guide for practitioners.* Facet Publishing.

Sykes, G. M., & Matza, D. (1957). Techniques of neutralization: A theory of delinquency. *American Sociological Review, 22(6),* 664–670.

Tushar, H., & Karim, R. (2020). Awareness of copyright law and its impact on academic integrity: A study on higher education students. *International Journal of Legal Studies, 8(1),* 112–130.

Zainuddin, A., & Ahmad, N. (2022). Intellectual property challenges in the Malaysian creative industry: A focus on digital content creators. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH), 7(4)*, e001423.

https://doi.org/10.71284/asc.2026131

AN EMPIRICAL STUDY ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED CREATIVITY IN VISUAL EFFECTS EDUCATION AMONG MALAYSIAN POLYTECHNIC STUDENTS

Siti Izani Binti Idris[1]
Rohayu Binti Zulkapli[2]

Abstract

The rapid growth of artificial intelligence (AI) has profoundly altered numerous domains within the creative business, particularly in visual effects (VFX) production. This study seeks to investigate students' perspectives of AI as a facilitative instrument in augmenting creativity during the VFX development process. Employing a quantitative empirical methodology, data were collected from 50 final-semester Diploma in Creative Digital students at a Malaysian polytechnic via a structured five-point Likert scale questionnaire. The research instrument was modified from the Artificial Intelligence-Assisted Creativity Questionnaire (AICQ) to suit the local educational context and VFX-related learning material. The results suggest that students predominantly view AI as an auxiliary instrument that enriches creative expression, expedites visual design processes, and aids in idea generation within VFX production. Nonetheless, apprehensions were noted over the possible degradation of creative identity stemming from excessive dependence on AI technologies. This study provides empirical data to the expanding discussion on AI-assisted creativity in creative education, specifically in the realm of VFX learning. It emphasizes the necessity of incorporating AI tools judiciously, guaranteeing that human creativity remains the fundamental basis of visual content creation.

Keywords: Artificial intelligence, creativity, visual effects (VFX), polytechnic students

[1]Ptss, https://orcid.org/0009-0003-7712-9849

[2]Department of Design and Visual Communication, Tuanku Syed Sirajuddin Polytechnic, Perlis, Malaysia, rohayu@ptss.edu.my

INTRODUCTION

The rapid development of artificial intelligence (AI) has changed the creative sector a lot, especially in the areas of visual effects (VFX) and making digital content. AI is no longer just for automating activities. It's now also utilized as a creative assistance tool that may help you come up with new ideas, make your workflow more efficient, and improve the way you design things visually. AI has demonstrated significant potential in education by fostering students' creativity through the exploration of new ideas, enhancing learning motivation, and boosting their confidence in generating creative work (Xu, 2025; Bai & Wang, 2025).

Polytechnics are highly significant for Technical and Vocational Education and Training (TVET) in Malaysia because they provide students the skills they need to work in the creative and multimedia industries. The Diploma in Creative Digital Technology program provides learners both technical and creative abilities through classes like 2D and 3D animation, digital imaging, multimedia design, and visual effects. The Visual Effects course (DVD30343) is all about teaching students how to make digital visual effects that are utilized a lot in movies, TV shows, and other media. This will help them get ahead in the creative sector.

Previous studies indicate that AI can serve as a collaborative aid in the creative process by assisting students in idea generation, enhancing design quality, and increasing efficiency (Albakry et al., 2025; Abdelmagid, 2025). Certain research studies, on the other hand, show that AI can have positive as well as negative effects. For example, if students rely too much on AI, it may hinder their ability to think creatively (Lin & Chen, 2024).

Even if there are a growing number of studies on AI in education and digital design, there are still certain essential areas of research that need to be filled. There is a lack of empirical study especially examining the application of AI in VFX education, despite the necessity for a robust integration of technical as well as artistic competencies in this field. Furthermore, the majority of current studies are performed in academic settings, whereas research focusing on students in Technical and Vocational Education and Training (TVET) institutions, such as Malaysian polytechnics, remains limited.

Consequently, this study is about looking into students' perspectives of AI in encouraging creativity in VFX production and determine the role of AI as a supporting instrument in the processes of idea generation and visual design. The results of this study are expected to improve comprehension of the appropriate integration of AI into VFX education inside polytechnics and facilitate the growth of creative talents prepared for the expanding digital industry.

1. LITERATURE REVIEW

The application of Artificial Intelligence (AI) in education is now recognized as an important domain of study, in particular for innovative learning and digital content development. AI is considered as a resource that facilitates the learning process by providing immediate feedback, proposing ideas, and automating specific activities, so enabling students to concentrate more on creative elements. A study by Liu et al. (2023) demonstrated that the use of AI tools, such as ChatGPT, enhances users' creativity and learning outcomes relative to conventional techniques. This shows that AI can serve as a facilitator in creative learning; however, its efficacy is dependent upon its application in actual teaching and learning environments.

In creative education, especially within design and digital content domains, AI is increasingly considered to be a collaborative tool that facilitates idea generation and visual exploration. A review by Albakry et al. (2025) shows that AI facilitates the generation of many design choices, improves cognitive diversity, and enhances visual skills in students. This is supported by Abdelmagid (2025), which discovered that generative AI significantly enhances students' creativity in generating digital content. However, perceiving AI as a co-creator prompts inquiry regarding the measure to which the creative product comes from the student themselves.

In addition, implementation of AI among students has been associated with enhanced learning efficiency and motivation. A study by Bai and Wang (2025) demonstrated a significant correlation between the quality of AI interaction and output and enhanced learning motivation and creative confidence. Likewise, (Xu, 2025) shown that the integration of AI can significantly enhance students creative potential. However, increased motivation does not invariably correlate with enhanced creativity, since students may depend more on AI-generated proposals than on their original concepts. Moreover, the application of AI in design disciplines, including landscape architecture, has demonstrated enhanced efficiency and stimulated innovative thought (Cheng, 2024). This suggests that AI may improve efficiency, although it does not inherently ensure originality or complexity in creative thought.

However, these advantages, several studies underscore the challenges and limitations of AI in education. Lin and Chen (2024) discovered that highly organized AI systems could cause students to depend on system-generated recommendations, thereby reducing their capacity for independent thought. This aligns with Akyıldız (2024), who expressed concerns regarding academic loss of originality and the standardization of creative efforts. The dependence may transition learning from active creative exploration to passive selection of AI-generated alternatives.

The current literature indicates that AI possesses significant promise as an additional instrument for enhancing creativity, efficiency, and educational results in creative education. Nonetheless, the literature shows an imbalance with greater emphasis placed on the advantages of AI rather than its long-term effects on students' creative development. Most studies focus on education in general or design disciplines, however research particularly pertaining to visual effects (VFX) education remains few. Moreover, research concentrating on students at Technical and Vocational Education and Training (TVET) institutions, such as Malaysian polytechnics, remains insufficient. Therefore, empirical study is required to investigate students' perceptions and utilization of AI in their creative processes, rather than simply assessing its efficacy as a tool.

2. METHODOLOGY

This study adopted a quantitative research methodology to assess students' impressions of artificial intelligence (AI)-assisted creativity in visual effects (VFX) learning. A survey method was employed to collect empirical data, as it is appropriate for examining views and attitudes among a specified set of respondents.

The study involved 50 final-semester Diploma in Creative Digital students from a Malaysian polytechnic. A method of purposeful sampling was utilized, as the selected students had previous expertise with VFX-related coursework and exposure to AI tools, making them eligible respondents for this study.

The research instrument was developed from the Artificial Intelligence-Assisted Creativity Questionnaire (AICQ) established by (Mok et al., 2025). The original instrument consists of three fundamental constructs, namely ideational creativity, visual artistic creativity, and functional creativity. For the purpose of this study, the questionnaire was adapted to suit the local educational setting and connected with VFX-related learning resources. The customized measure had 16 items measuring three dimensions: idea creation, visual creativity, and AI as a functional support tool.

All items were scored using a five-point Likert scale ranging from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). This scale was meant to represent the level of agreement among respondents discussing their experience using AI in VFX learning. Sample items include remarks such as "AI helps me generate new ideas for my VFX projects" and "AI improves the quality of my visual design."

The questionnaire was delivered to the selected respondents, and all replies were gathered for analysis. The obtained data were evaluated using descriptive statistical methods, including mean and standard deviation, to establish students' overall perceptions of AI-assisted creativity in VFX learning.

3. FINDINGS

The findings of this study are provided based on three primary elements of AI-assisted creativity, namely idea creation, visual creativity, and AI as a functional support tool.

Overall, the results indicate that students have a somewhat positive view towards the usage of AI in promoting creativity in VFX learning. The overall mean score for AI-assisted creativity was 3.80, demonstrating that students generally think that AI plays a positive role in their creative development.

In terms of concept production, the findings reveal a mean score of 3.76, showing that AI moderately aids students in producing ideas. Among the items, "AI inspires me to think creatively when developing visual effects" got one of the higher mean scores (3.84), followed by "AI helps me overcome creative blocks" (3.82). This shows that AI is particularly beneficial in promoting creative thinking and supporting students during the brainstorming phase.

For visual inventiveness, the mean score was 3.70, which is slightly lower compared to the other aspects. The item "AI helps me create more attractive and engaging visual effects" recorded a reasonably high mean (3.80), while "AI enhances my creativity in visual design tasks" showed a lower mean (3.56). This implies that although AI supports visual output, its impact on deeper creative capacity in design may be more limited.

The highest mean score was found for AI as a functional support tool, with a value of 3.84, showing that students regard AI as highly effective in boosting efficiency and productivity. The item "AI is useful in my learning process" received the highest mean (4.00), followed by "AI makes my VFX work faster" (3.98). This shows that students significantly respect AI for its practical benefits in finishing assignments and boosting workflow efficiency. Table 1 presents the mean scores for each item measuring students' perceptions of AI-assisted creativity in VFX learning. Overall, the findings indicate that students demonstrate a generally positive perception towards the use of AI, with all items recording mean values above 3.50.

Table 1. Mean Scores of AI-Assisted Creativity Dimensions in Visual Effects (VFX) Learning

Criteria	Item	Mean	Level
A. IDEA GENERATION	AI helps me generate new ideas for my VFX projects.	3.72	Moderate High (3.76)
	AI inspires me to think creatively when developing visual effects.	3.84	
	I use AI to explore different concepts for my VFX assignments.	3.64	
		3.82	
	I use AI to explore different concepts for my VFX assignments.	3.78	
	AI allows me to experiment with new and unique ideas in VFX.		
	AI improves the quality of my visual effects design.	3.74	
	AI helps me create more attractive and engaging visual effects.	3.80	
B. VISUAL CREATIVITY	AI tools support me in producing better visual compositions.	3.60	Moderate High (3.70)
	AI enhances my creativity in visual design tasks.	3.56	
	AI allows me to explore different visual styles in VFX.	3.66	
C.FUNCTIONAL USE	AI makes my VFX work faster.	3.98	High (3.84)
	AI helps me complete tasks more efficiently.	3.80	
	AI improves my productivity in VFX development.	3.74	
	AI is useful in my learning process.	4.00	
	AI supports my creative work in VFX projects.	3.68	

These findings imply that while AI is commonly acknowledged as a helpful tool in VFX learning, its main contribution is in boosting productivity and aiding the creative process rather than directly enhancing profound creative skills.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The findings and conclusions of this study reveal that students generally have a positive impression towards the usage of artificial intelligence (AI) in improving creativity in visual effects (VFX) learning. The results suggest that AI as a functional support tool received the highest mean score, followed by idea creation and visual inventiveness. This shows that students predominantly regard AI as a practical tool that enhances efficiency and productivity in their learning process.

The high mean score for the functional application of AI is consistent with earlier research which highlight that AI promotes learning efficiency, gives fast feedback, and supports task completion. For instance, (Bai & Wang, 2025) discovered that AI dramatically enhances learning motivation and productivity through quality interaction and output. Similarly, the high ranking for the item “AI is useful in my learning process” demonstrates students’ strong acceptance of AI as a supporting learning aid in VFX development.

In terms of concept development, the data reveal that AI moderately aids students in generating and developing creative ideas. This correlates with (Xu, 2025) , which reported that AI can boost creative potential by supporting students during the ideation phase. The potential of AI to inspire creative thought and help overcome creative blockages, as shown in this study, further validates its position as a co-creative partner in design-related learning environments.

However, the significantly lower mean score for visual creativity shows that AI may have a more limited impact on deeper creative skills, particularly in visual design. This study is in line with (Lee, 2025), which concluded that while AI enhances efficiency and idea creation, its effect on originality and higher-level visual creativity is less significant. This demonstrates that although AI can assist in developing visual outputs, the development of true creative talents still relies greatly on the students' own abilities and critical thinking.

Overall, the findings show that AI plays a supportive rather than a dominant role in creativity development. Students prefer to rely on AI for efficiency and idea guidance, but not as a total replacement for their own creative effort. This underscores the need for a balanced integration of AI in VFX education, where technology is used to augment, rather than replace, human creativity. This study contributes to the growing literature of research on AI-assisted creativity in education, particularly within the context of TVET and polytechnic institutions in Malaysia. Future research can evaluate the long-term influence of AI on creative skill development and investigate more effective educational ways for integrating AI into creative fields.

REFERENCES

Abdelmagid, M. (2025). Generative AI technology and creativity in smart digital learning environments. Journal of Educational Technology and Innovation.

Akyıldız, S. (2024). Enhancing or hindering? AI's role in sparking creativity in education. Educational Sciences Review.

Albakry, H., Hashim, N., & Rahman, A. (2025). The role of artificial intelligence in creative design for digital education. International Journal of Creative Technologies.

Bai, X., & Wang, Y. (2025). Impact of generative AI interaction and output quality on student motivation and creativity. Computers & Education.

Cheng, L. (2024). Analysis of the current situation of college students' creativity in design education. Journal of Design Studies.

Lee, J. (2025). Application of generative artificial intelligence in visual design education. Journal of Visual Arts Education.

Lin, H., & Chen, C. (2024). Artificial intelligence integrated educational systems and their impact on creativity. Educational Technology Research.

Liu, Y., Vobolevich, A., & Tan, J. (2023). The influence of AI (ChatGPT) on improving teachers' and students' creative performance. Journal of Educational Computing Research.

Mok, T. K., Chuang, Y., & Lee, S. (2025). Artificial intelligence-assisted creativity questionnaire (AICQ): Development and validation. Educational Psychology and Technology Journal.

Xu, Z. (2025). Interaction between students and artificial intelligence in enhancing creative learning. Journal of Educational Innovation.

https://doi.org/10.71284/asc.2026132

DİŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK BİLGİ-TUTUM-ALGI ÖLÇEĞİ: GEÇERLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI

KNOWLEDGE-ATTITUDE-PERCEPTION SCALE TOWARDS ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DENTISTRY: VALIDITY AND RELIABILITY STUDY

Nihan Potas[1]

Aybike Karakaya Gündüz[2]

Özet

Bu çalışma, Türkiye'de aktif olarak çalışan diş hekimlerinin yapay zekâ (YZ) hakkındaki bilgi, tutum ve algılarını ölçmek için geliştirilen bir ölçeğin geçerliliğini ve güvenilirliğini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, kesitsel bir tasarım kullanılarak gerçekleştirilmiş ve basit rastgele örnekleme yöntemiyle 257 diş hekimi seçilmiştir. Veri toplama aracı olarak, üç alt boyutu (bilgi (7 madde), tutum (4 madde) ve algı (4 madde)) olan ve toplam 15 maddeden oluşan 5 puanlı Likert tipi bir ölçek kullanılmıştır. Ölçek, kültürlerarası uyarlama kılavuzuna göre Türkçeye çevrilmiştir. Daha sonra veriler SPSS ve LISREL kullanılarak analiz edilmiştir. Yapı geçerliliği için hem Keşifsel Faktör Analizi (EFA) hem de Doğrulayıcı Faktör Analizi (CFA) yapılmıştır. Güvenilirlik için Cronbach alfa katsayısı hesaplanmıştır. EFA bulguları, ölçeğin üç faktörlü yapısını doğrulamıştır. KMO değerleri, bilgi boyutu için 0.886, tutum boyutu için 0.765 ve algı boyutu için 0.725 olarak belirlenmiştir. Bartlett Küresellik Testi tüm boyutlarda anlamlıydı ($p < 0.001$). Açıklanan varyans %51.8 ile %56.4 arasında değişirken, faktör yükleri 0.679 ile 0.779 arasında değişti. Doğrulayıcı Faktör Analizi (CFA) sonuçları, modelin verilere iyi uyduğunu gösterdi ($\chi^2/df = 1.47$; RMSEA = 0.025; CFI = 0.99; GFI = 0.98). Güvenilirlik açısından, Cronbach alfa katsayıları alt boyutlar için 0.738 ile 0.844 arasında ve ölçeğin tamamı için 0.908 arasında değişti. Katılımcıların büyük çoğunluğu (%73.9) yapay zeka hakkında orta düzeyde bilgiye sahipken, yalnızca %35.8'i mesleki uygulamalarında yapay zeka destekli teknolojileri kullandığını bildirdi. Yapay zekanın işleri değiştirme olasılığına ilişkin algılar orta düzeyin altındaydı. Sonuç olarak, geliştirilen ölçek, diş hekimliğinde yapay zekâya ilişkin bilgi, tutum ve algıları değerlendirmek için geçerli ve güvenilir bir araçtır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, diş hekimliği, ölçek uyarlama, geçerlik, güvenirlik.

[1] Doç. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Sağlık Yönetimi Bölümü, nihanpotas@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0393-3135

[2] Doktora öğrencisi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Sağlık Yönetimi Ana Bilim Dalı, aybikesarekarakaya@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-3016-9953

Abstract

This study aims to examine the validity and reliability of a scale developed to measure the knowledge, attitudes, and perceptions of actively practicing dentists in Türkiye regarding artificial intelligence (AI). The research employed a cross-sectional design and selected 257 dentists via simple random sampling. A 5-point Likert-type scale with three sub-dimensions—knowledge (7 items), attitude (4 items), and perception (4 items)—and a total of 15 items served as the data collection tool. The scale was translated into Turkish according to the cross-cultural adaptation guide. Subsequently, the data were analyzed using SPSS and LISREL. Both Exploratory Factor Analysis (EFA) and Confirmatory Factor Analysis (CFA) were performed for construct validity. Cronbach's alpha was calculated for reliability. EFA findings confirmed the three-factor structure of the scale. KMO values were determined as 0.886 for the knowledge dimension, 0.765 for the attitude dimension, and 0.725 for the perception dimension; The Bartlett Sphericity Test was significant in all dimensions ($p < 0.001$). The explained variance ranged from 51.8% to 56.4%, and factor loadings ranged from 0.679 to 0.779. Confirmatory Factor Analysis (CFA) results showed that the model fit the data well ($\chi^2/df = 1.47$; RMSEA = 0.025; CFI = 0.99; GFI = 0.98). In terms of reliability, Cronbach's alpha coefficients ranged from 0.738 to 0.844 for the sub-dimensions and 0.908 for the entire scale. While the vast majority of participants (73.9%) had a moderate level of knowledge about AI, only 35.8% reported using AI-assisted technologies in their professional practices. Perceptions regarding the possibility of AI replacing jobs were below the moderate level. In conclusion, the developed scale is a valid and reliable tool for assessing knowledge, attitudes, and perceptions regarding artificial intelligence in dentistry.

Keywords: Artificial intelligence, dentistry, scale adaptation, validity, reliability

GİRİŞ

Günümüzde yapay zekâ (YZ) ve dijital teknolojiler, sağlık alanında önemli dönüşümlere yol açmakta ve bu değişim diş hekimliği pratiğinde de giderek daha belirgin hale gelmektedir. Yapay zekâ uygulamaları; tanı koyma, tedavi planlaması ve klinik karar verme süreçlerinde destekleyici bir araç olarak kullanılmakta, özellikle görüntüleme ve veri analizi gerektiren alanlarda etkinliğini artırmaktadır (Agrawal & Nikhade, 2022; Khanagar et al., 2021; Rajani et al., 2025). Bu gelişmeler, diş hekimliği hizmetlerinin daha hızlı, doğru ve standart bir şekilde sunulmasına katkı sağlamaktadır.

Ancak bu teknolojilerin klinik uygulamalara başarılı bir şekilde entegre edilmesi, yalnızca teknik altyapı ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda diş hekimlerinin yapay zekâya yönelik bilgi düzeyleri, tutumları ve algıları ile yakından ilişkilidir (Büyükkaya et al., 2023; Pauwels & Del Rey, 2021; Yılmaz et al., 2024) and to evaluate the effect of an introductory AI lecture on their attitude. Methods: A questionnaire was prepared, comprising statements regarding the future role of AI in oral radiology and dentistry. A lecture of approx. 1 h was prepared, comprising the basic principles of AI and a non-exhaustive overview of AI research in medicine and dentistry. Participants filled in the questionnaire prior to the lecture. After the lecture, the questionnaire was repeated. Results: Throughout 7 sessions at 6 locations, 293 questionnaires were collected. The majority of participants were undergraduate dental students (57%. Yapay zekâya karşı geliştirilen olumlu ya da olumsuz yaklaşımlar, bu teknolojilerin benimsenmesini ve etkin kullanımını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, diş hekimlerinin yapay zekâya yönelik yaklaşımlarının çok boyutlu olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, bilgi, tutum ve algı gibi temel boyutları birlikte ele alan, geçerli ve güvenilir ölçme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır (DeVellis & Thorpe, 2022). Bu tür ölçekler, hem mevcut durumun ortaya konulmasına hem de eğitim ve uygulama süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın amacı, diş hekimliğinde yapay zekâya yönelik bilgi, tutum ve algı düzeylerini ölçmek üzere geliştirilen

ölçeğin geçerlik ve güvenirliğini incelemektir. Araştırmanın önemi ise, bu alanda kullanılabilecek standart bir ölçme aracı sunarak gelecekte yapılacak çalışmalara ve uygulamalara katkı sağlamasıdır.

1. YÖNTEM

1.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, diş hekimliğinde yapay zekâya yönelik bilgi, tutum ve algı düzeylerini ölçen bir ölçeğin Türkçeye uyarlanması ve geçerlik-güvenirlik özelliklerinin incelenmesi amacıyla yürütülen metodolojik ve kesitsel bir araştırmadır.

1.2. Evren ve Örneklem

Bu araştırmanın evrenini, Türkiye'de aktif olarak görev yapan 45.718 diş hekimi oluşturmaktadır (Türk Dişhekimleri Birliği, 2025). Basit rastgele örnekleme yöntemi ile örneklem büyüklüğü hesaplamasına göre, en az 227 katılımcıya ulaşılması durumunda %95 güven düzeyinde ve ±%6.5 örnekleme hatası ile evreni temsil edebilecek yeterli güce sahip olunacağı belirlenmiştir. Seçilen ve çalışmaya gönüllü olarak katılan toplam 257 diş hekimi ulaşılabilmiştir. Bu doğrultuda, elde edilen örneklem büyüklüğünün kabul edilebilir düzeyde olduğu değerlendirilmiştir.

1.3. Etik Onay

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Etik Komisyonu'ndan 23/10/2025 tarihli ve 2025/412 araştırma kodlu etik kurul izni alınmış olup, ayrıca ölçeğin Türkçeye uyarlanmasına ilişkin olarak ilgili araştırmacıdan gerekli izin temin edilmiştir.

1.4. Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak, diş hekimlerinin yapay zekâya yönelik bilgi, tutum ve algı düzeylerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen ve bu çalışma kapsamında Türkçeye uyarlanan ölçek kullanılmıştır (Murali et al., 2023). Ölçek iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde katılımcıların sosyodemografik özelliklerine ilişkin sorular yer almakta, ikinci bölümde ise yapay zekâya yönelik bilgi, tutum ve algıyı değerlendiren toplam 15 madde bulunmaktadır. Ölçek; bilgi (7 madde), tutum (4 madde) ve algı (4 madde) olmak üzere üç alt boyuttan oluşmakta ve maddeler 5'li Likert tipinde derecelendirilmektedir. Katılımcılardan her bir ifadeye "kesinlikle katılmıyorum" ile "kesinlikle katılıyorum" arasında değişen seçeneklerden kendilerine en uygun olanı işaretlemeleri istenmiştir. Ölçeğin iç tutarlılığını değerlendirmek amacıyla Cronbach alfa katsayısı hesaplanmış olup, ölçeğin yüksek düzeyde güvenilir olduğu belirlenmiştir (α=0.85).

1.5. Ölçek Uyarlama Süreci

Ölçeğin Türkçeye uyarlanma süreci, Beaton ve arkadaşları tarafından önerilen kültürler arası uyarlama rehberi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Beaton et al., 2000). Bu kapsamda ilk olarak ölçek, alanında uzman iki bağımsız araştırmacı tarafından İngilizceden Türkçeye çevrilmiştir. Elde edilen çeviriler karşılaştırılarak ortak bir metin oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan Türkçe form, ana dili İngilizce olan ve orijinal ölçeğe hâkim olmayan iki farklı uzman tarafından tekrar İngilizceye çevrilmiştir. Geri çeviri sonuçları, orijinal ölçek ile karşılaştırılarak anlam eşdeğerliliği ve kavramsal uyum açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen taslak form, diş hekimliği alanı ve ölçme-değerlendirme konusunda uzman kişilerden oluşan bir kurul tarafından incelenmiş ve kapsam geçerliği açısından değerlendirilmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda gerekli düzenlemeler yapılarak ölçeğin ön formu oluşturulmuştur. Son aşamada, ölçeğin anlaşılabilirliğini ve uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla pilot uygulama gerçekleştirilmiş, elde edilen geri bildirimler doğrultusunda gerekli düzeltmeler yapılarak ölçeğe son hali verilmiştir (Beaton et al., 2000).

1.6. Veri Analizi

Araştırma kapsamında elde edilen veriler istatistiksel analiz için uygun paket programlara (SPSS ve LISREL) analiz edilmiştir. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler (frekans, yüzde, ortalama ve standart sapma) kullanılmıştır. Ölçeğin yapı geçerliğini değerlendirmek amacıyla Açımlayıcı Faktör Analizi (AFA) ve Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) uygulanmıştır. Faktör analizine uygunluğu belirlemek için Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) katsayısı ve Bartlett Küresellik Testi kullanılmıştır. Analiz sürecinde toplam 257 kişiden oluşan örneklem rastgele iki alt gruba ayrılmış olup, Açımlayıcı Faktör Analizi (n=120) ve Doğrulayıcı Faktör Analizi (n=137) farklı örneklem grupları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her iki analizde aynı örneklem kullanılmamıştır. Ölçeğin güvenirliğini değerlendirmek amacıyla Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı hesaplanmış, ayrıca madde-toplam korelasyonları incelenmiştir. Faktör yapısının doğrulanmasında uyum iyiliği indeksleri (χ^2/df, RMSEA, CFI, GFI ve TLI) dikkate alınmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

2. BULGULAR

Araştırmaya toplam 257 diş hekimi katılmış olup katılımcıların %63.8'i (n=164) erkek, %36.2'si (n=93) kadındır. Yaş ortalaması 37.80 (SS=9.081, medyan=37.00) olarak hesaplanmıştır. Medeni durum açısından değerlendirildiğinde katılımcıların büyük çoğunluğunun (%63.0, n=162) evli olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Diş Hekimlerinin Demografik Özellikleri ve Tanımlayıcı İstatistikler

	Kategori	n(%)	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Açıklık
Cinsiyet	Erkek	164(63.8)		1.000		1.000
	Kadın	93(36.2)				
Yaş			37.800	37.000	9.081	34.000
Medeni Durum	Bekar	95(37.0)		2.000	.	1.000
	Evli	162(63.0)				
Eğitim Düzeyi	Lisans	86(33.5)		2.000		3.000
	Yüksek Lisans	97(37.7)				
	Doktora	30(11.7)				
	Uzmanlık	44(17.1)				
Meslekteki Toplam Deneyim Süre			10.304	10.000	7.150	34.000
Çalışma Yeri	Üniversite Hastanesi	16(6.2)		2.000		3.000
	Özel Klinik/ Muayenehane	144(56.0)				
	Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi	67(26.1)				
	Kamu Hastanesi	30(11.7)				
Haftalık ortalama Çalışma Süresi			43.358	45.000	8.125	63.000

Mesleki Uygulamalarınızda Robotik veya Yapay Zeka Destekli Teknolojiler (ör. CAD/CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım/ Bilgisayar Destekli Üretim), teşhis sistemleri, robotik cerrahi araçlar) Kullanımı	Evet Hayır	92(35.8) 165(64.2)		1.000		1.000
Robotik ve yapay zeka teknolojileri konusunda resmi bir eğitim veya sertifika programına katılım durumu	Evet Hayır	73(28.4) 184(71.6)		1.000		1.000
Robotik ve yapay zeka teknolojileri hakkında bilgi düzeyiniz	Az Orta Yüksek	34(13.2) 190(73.9) 33(12.8)		2.000		2.000
Yapay Zekanın Gelecekte Diş Hekimlerinin Yerini Alma Düzeyi (0= Kesinlikle düşünmüyorum -10= Kesinlikle düşünüyorum)			3.961	4.000	2.332	9.000
Dijital Teknolojilerin Gelecekte Diş Hekimlerinin Yerini Alma Düzeyi (0= Kesinlikle düşünmüyorum -10= Kesinlikle düşünüyorum)			4.004	4.000	2.279	9.000
Robotik Teknolojilerin Gelecekte Diş Hekimlerinin Yerini Alma Düzeyi (0= Kesinlikle düşünmüyorum -10= Kesinlikle düşünüyorum)			3.817	3.000	2.423	9.000

Diş hekimlerinin yapay zekanın, dijital teknolojilerin ve robotik teknolojilerin gelecekte diş hekimlerinin yerini alma düzeyine ilişkin algıları 0–10 ölçeğinde değerlendirilmiştir. Yapay zeka için ortalama 3.96 (SS=2.332), dijital teknolojiler için 4.00 (SS=2.279), robotik teknolojiler için ise 3.82 (SS=2.423) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, katılımcıların her üç teknoloji türü için de yerini alma kaygısını orta düzeyin altında, ılımlı bir perspektifle değerlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada diş hekimliğinde yapay zekâya ilişkin bilgi, tutum ve algı düzeylerini ölçmek amacıyla geliştirilen ölçeğin yapı geçerliği ve güvenirliği incelenmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen faktör analizi ve güvenirlik analizlerine ilişkin bulgular aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 2. Diş Hekimliğinde Yapay Zekâya Yönelik Bilgi- Tutum-Algı Ölçeğinin Açımlayıcı Faktör Analizi (EFA) ve Güvenirlik Bulguları

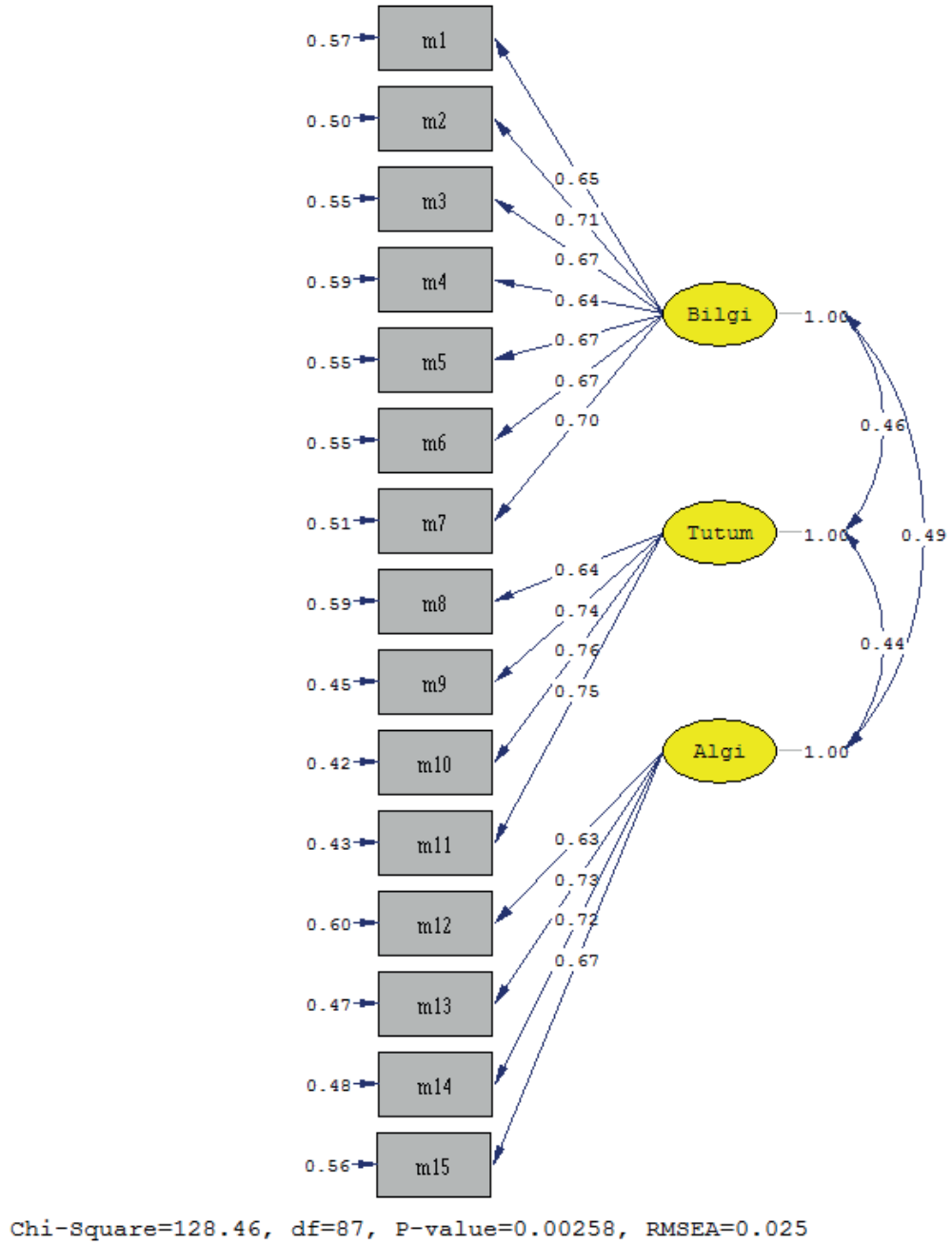
Dijital Diş Teknolojilerine İlişkin Bilgi-Tutum-Uygulama Ölçeği		BOYUTLAR		
		Bilgi	Tutum	Algı
1.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, "Yapay Zekâ (YZ)" terimine aşinayım.	.717		
2.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, çalışma prensipleri konusunda bilgi sahibiyim.	.738		
3.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, hasta tanısı koymada ve entegre tedavi planı oluşturmada yardımcı olabileceğini düşünüyorum.	.722		
4.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, radyografilerde klinisyenlerin zaman zaman gözden kaçırabileceği ayrıntıları değerlendirmede kullanılabileceğini düşünüyorum.	.679		
5.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, oral mukozal lezyonların tanımlanması ve ağız kanserinin tespitinde kullanılabileceğini düşünüyorum.	.740		
6.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, hastalığın seyrini öngörmede ve iyileşme olasılığını belirlemede prognostik bir araç olarak kullanılabileceğini düşünüyorum.	.695		
7.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, tedavi başarısını değerlendirmede ve kalite kontrol amacıyla kullanılabileceğini düşünüyorum.	.746		
8.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, sağlık hizmetlerini güvenli ve gelişmiş bir dijital ortama dönüştürebileceğini düşünüyorum.		.702	
9.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, lisans veya lisansüstü diş hekimliği eğitim programlarının ayrılmaz bir parçası olması gerektiğini düşünüyorum.		.779	
10.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, gerekli bilgi ve eğitim alındıktan sonra özel muayenehane uygulamalarına entegre edilebileceğini düşünüyorum.		.763	
11.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, meslektaşlarıma klinik uygulamalarında yapay zekâyı kullanmalarını önerebileceğimi düşünüyorum.		.757	
12.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, adli diş hekimliğinde örüntü analizi ve kimliği belirsiz bireylerin tanımlanmasında kullanılabileceğini düşünüyorum.			.702
13.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, hasta verilerinin hızlı ve doğru şekilde saklanmasını ve erişilmesini kolaylaştırabileceğini düşünüyorum.			.779
14.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, tanı koyma konusunda klinik deneyime sahip bir uygulayıcıdan daha üstün olabileceğini düşünüyorum.			.763
15.	Diş hekimliğinde yapay zekâ hakkında, yakın gelecekte radyologların veya klinisyenlerin yerini alabileceğini düşünüyorum.			.757
Kaiser–Meyer–Olkin katsayısı		**.886**	**.765**	**.725**
Bartlett Ki-Kare testi		**1157.723**	**421.904**	**449.834**
p-değeri		**.000**	**.000**	**.000**
Faktör Özdeğerleri		**3.629**	**2.255**	**2.245**
Açıklanan Toplam Varyans		**51.836**	**56.372**	**56.129**
Cronbach Alfa		**.844**	**.741**	**.738**
Tüm ölçek Cronbach Alfa		**.908**		

Ölçeğin faktör analizine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett Küresellik Testi sonuçları incelenmiştir. KMO değerlerinin Bilgi boyutu için 0.886, Tutum boyutu için 0.765 ve Algı boyutu için 0.725 olduğu görülmektedir. Bu değerler, örneklemin faktör analizi için yeterli olduğunu ve veri setinin uygun bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle Bilgi boyutuna ait KMO değerinin yüksek olması, bu boyuttaki maddelerin ortak bir yapıyı güçlü biçimde temsil ettiğine işaret etmektedir. Bartlett Küresellik Testi sonuçlarının tüm boyutlar için anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < .001$). Bu bulgu, değişkenler arasında yeterli düzeyde ilişki bulunduğunu ve faktör analizinin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Gerçekleştirilen faktör analizi sonucunda ölçeğin üç faktörlü bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir: Bilgi, Tutum ve Algı. Faktör özdeğerlerinin sırasıyla 3.629, 2.255 ve 2.245 olduğu görülmektedir. Bu değerler, her bir faktörün anlamlı düzeyde varyans açıkladığını göstermektedir.

Açıklanan toplam varyans oranları incelendiğinde; Bilgi boyutunun %51.836, Tutum boyutunun %56.372 ve Algı boyutunun %56.129 oranında varyans açıkladığı belirlenmiştir. Sosyal bilimlerde %40 ve üzerindeki varyans oranlarının yeterli kabul edildiği dikkate alındığında, elde edilen bu değerler ölçeğin güçlü bir faktör yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Maddelerin faktör yükleri incelendiğinde, Bilgi boyutuna ait maddelerin yüklerinin 0.679 ile 0.746 arasında değiştiği görülmektedir. Tutum boyutunda yer alan maddelerin faktör yükleri 0.702 ile 0.779 arasında, Algı boyutundaki maddelerin ise 0.702 ile 0.779 arasında değişmektedir (Tablo 2).

Bu değerlerin tamamının literatürde kabul edilen minimum değer olan 0.40'ın üzerinde olması, maddelerin ait oldukları faktörleri yeterli ve anlamlı düzeyde temsil ettiğini göstermektedir. Ayrıca faktör yüklerinin genel olarak yüksek olması, ölçeğin yapı geçerliğinin güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Ölçeğin güvenirliği Cronbach Alfa katsayısı ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda Bilgi boyutu için $\alpha = 0.844$, Tutum boyutu için $\alpha = 0.741$ ve Algı boyutu için $\alpha = 0.738$ değerleri elde edilmiştir. Ölçeğin tamamına ilişkin Cronbach Alfa katsayısının ise $\alpha = 0.908$ olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu bulgular, ölçeğin hem alt boyutlar hem de genel düzeyde yeterli ve yüksek düzeyde güvenirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle toplam ölçek için hesaplanan alfa katsayısının 0.90'ın üzerinde olması, ölçme aracının oldukça güvenilir olduğunu ve maddelerin birbiriyle tutarlı bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, ölçeğin üç faktörlü yapısının geçerli olduğu, maddelerin ilgili faktörleri yeterli düzeyde temsil ettiği ve ölçeğin yüksek düzeyde güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu doğrultuda, diş hekimliğinde yapay zekâya ilişkin bilgi, tutum ve algıyı ölçmeye yönelik geliştirilen bu ölçeğin, geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı olduğu söylenebilir. Yapay zekâya ilişkin bilgi, tutum ve algı düzeylerini ölçmeye yönelik geliştirilen ölçeğin yapı geçerliğini incelemek amacıyla doğrulayıcı faktör analizi (CFA) uygulanmıştır. Ölçeğin üç faktörlü yapısı (Bilgi, Tutum ve Algı) test edilmiştir. Modele ilişkin standartlaştırılmış yol diyagramı Şekil 1'te sunulmuştur.

Şekil 1. Diş Hekimliğinde Yapay Zekâya Yönelik Bilgi- Tutum-Algı Ölçeğine İlişkin Doğrulayıcı Faktör Analizi (CFA) Modeli



Model uyum indeksleri incelendiğinde, $\chi^2(87) = 128.46$, $p < .01$ olarak bulunmuştur. Ki-kare istatistiğinin anlamlı olması model ile veri arasında fark olduğunu göstermekle birlikte, bu istatistiğin örneklem büyüklüğüne duyarlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle model uyumu diğer uyum indeksleri üzerinden değerlendirilmiştir. χ^2/df oranı 1.47 (128.46/87) olup, bu değer 3'ün altında olduğundan iyi uyuma işaret etmektedir**.** RMSEA değerinin 0.025 olması, önerilen .05 sınırının altında olup modelin iyi uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. SRMR değerinin 0.026 olması da .05 sınırının altında kalarak modelin iyi düzeyde uyum sağladığını göstermektedir.

Uyum indeksleri incelendiğinde CFI = 0.99, NNFI = 0.99 ve NFI = 0.98 değerlerinin .95'in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu bulgular modelin oldukça iyi uyum sağladığını göstermektedir. Benzer şekilde

GFI = 0.98 ve AGFI = 0.97 değerleri de önerilen eşik değerlerin üzerinde olup modelin veri yapısını yeterli düzeyde açıkladığını ortaya koymaktadır. Standartlaştırılmış faktör yükleri incelendiğinde, tüm maddelerin ilgili faktörler üzerinde yeterli düzeyde yüklendiği görülmektedir. Faktör yüklerinin genel olarak 0.60 ile 0.76 arasında değişmesi, maddelerin temsil ettikleri gizil değişkenleri güçlü bir şekilde açıkladığını göstermektedir. Faktörler arası korelasyon katsayılarının 0.44 ile 0.49 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler, faktörler arasında orta düzeyde ilişkiler bulunduğunu, ancak yapıların birbirinden ayırt edilebilir olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, elde edilen tüm uyum indeksleri birlikte değerlendirildiğinde, üç faktörlü modelin veri ile iyi düzeyde uyum sağladığı ve ölçeğin yapı geçerliğinin desteklendiği söylenebilir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada, diş hekimliğinde yapay zekâya yönelik bilgi, tutum ve algı düzeylerini ölçmeye yönelik geliştirilen ölçeğin geçerlik ve güvenirlik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular; ölçeğin üç faktörlü bir yapıya sahip olduğunu, maddelerin ait oldukları faktörleri yeterli düzeyde temsil ettiğini ve ölçeğin yüksek güvenirliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bölümde araştırma bulguları ilgili literatür çerçevesinde tartışılmıştır.

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen açımlayıcı faktör analizi (AFA) sonucunda ölçeğin bilgi, tutum ve algı olmak üzere üç boyutlu bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Her üç boyut için hesaplanan KMO değerleri sırasıyla 0.886, 0.765 ve 0.725 olarak elde edilmiş olup bu değerler örneklemin faktör analizi için yeterli olduğunu göstermektedir. Bartlett Küresellik Testi sonuçlarının tüm boyutlar için anlamlı ($p < .001$) çıkması, değişkenler arasında faktör analizinin uygulanmasını meşrulaştıracak düzeyde ilişki bulunduğuna işaret etmektedir. Benzer geçerlik prosedürleri, diş hekimliğinde yapay zekâya ilişkin farklı ölçme araçlarında da uygulanmış ve kabul edilebilir KMO ile Bartlett değerlerine ulaşılmıştır (Kalaimani et al., 2023; Murali et al., 2023). Bu açıdan mevcut bulguların alanyazınla tutarlılık gösterdiği söylenebilir.

Faktör yüklerinin 0.679 ile 0.779 arasında değiştiği ve tüm maddelerin belirlenen eşik değer olan 0.40'ın oldukça üzerinde kaldığı görülmektedir. Bu durum, maddelerin ait oldukları faktörleri yeterli ve anlamlı düzeyde temsil ettiğini ortaya koymaktadır. Açıklanan varyans oranları incelendiğinde; bilgi boyutunun %51.836, tutum boyutunun %56.372 ve algı boyutunun %56.129 oranında varyans açıkladığı görülmektedir. Sosyal bilimlerde %40 ve üzeri varyans oranlarının yeterli kabul edildiği göz önüne alındığında (DeVellis & Thorpe, 2022), bu değerlerin ölçeğin güçlü bir faktör yapısına sahip olduğunu destekler nitelikte olduğu anlaşılmaktadır. Benzer bulgular, diş hekimliği öğrencilerinde yapay zekâ tutumlarını inceleyen çalışmalarda da raporlanmış; faktör yüklerinin 0.50 ile 0.80 arasında seyrettiği görülmüştür (Dashti et al., 2024).

Doğrulayıcı faktör analizi (DFA) bulguları da ölçeğin üç faktörlü yapısını destekler niteliktedir. χ^2/df = 1.47, RMSEA = 0.025, SRMR = 0.026, CFI = 0.99, NNFI = 0.99, NFI = 0.98, GFI = 0.98 ve AGFI = 0.97 olarak elde edilen uyum indeksleri, modelin veri ile iyi düzeyde uyum sağladığını göstermektedir. Bu bulgular, yapay zekâya yönelik tutum ve algı ölçeklerinin doğrulayıcı faktör analizlerinde elde edilen uyum değerleriyle karşılaştırılabilir düzeydedir (Roganović et al., 2023)but its implementation relies on the readiness of dentists, as well as the health system, to adopt it in everyday practice. A cross-sectional anonymous online survey was conducted among experienced dentists and final-year undergraduate students from the School of Dental Medicine at the University of Belgrade (n = 281. Faktörler arası korelasyon katsayılarının 0.44 ile 0.49 arasında kalması, alt boyutların birbiriyle orta düzeyde ilişkili olmakla birlikte kavramsal açıdan birbirinden ayırt edilebildiğini, dolayısıyla ölçeğin ayrımsallık geçerliğini desteklediğini ortaya koymaktadır.

Güvenirlik analizleri incelendiğinde, Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısının bilgi boyutu için $\alpha = 0.844$, tutum boyutu için $\alpha = 0.741$ ve algı boyutu için $\alpha = 0.738$ düzeyinde olduğu görülmektedir. Ölçeğin tamamına ilişkin Cronbach alfa katsayısı ise $\alpha = 0.908$ olarak hesaplanmıştır. 0.70 ve üzerindeki alfa değerlerinin kabul edilebilir güvenirliğe, 0.90 ve üzerindeki değerlerin ise yüksek güvenirliğe işaret ettiği

göz önüne alındığında (DeVellis & Thorpe, 2022), bu ölçeğin hem alt boyutlar hem de bütünsel ölçüm açısından güvenilir bir araç olduğu söylenebilir. Alanyazında diş hekimliği bağlamında geliştirilen ya da uyarlanan ölçeklerde de benzer güvenirlik düzeyleri raporlanmıştır. Türkiye'de diş hekimliği öğrencilerinin yapay zekâya ilişkin tutumlarını değerlendiren bir çalışmada Cronbach alfa katsayılarının 0.831 ile 0.600 arasında değiştiği belirlenmiştir (Eroğlu Çakmakoğlu & Günay, 2025).

Çalışmada katılımcıların büyük çoğunluğunun (%73.9) yapay zekâ ve robotik teknolojiler konusunda orta düzeyde bilgiye sahip olduğu, yüksek bilgi düzeyine sahip olanların ise oldukça sınırlı kaldığı (%12.8) görülmektedir. Bu bulgu, diğer çalışmalarla örtüşmektedir. Yapay zekâ bilgisi ve uygulamalarına ilişkin gerçekleştirilen sistematik gözden geçirme çalışmaları, sağlık profesyonellerinin genel olarak orta düzeyde farkındalığa sahip olduğunu, ancak yapay zekanın pratik klinik uygulamalarına ilişkin bilginin oldukça kısıtlı kaldığını ortaya koymaktadır (Dashti et al., 2024; Khanagar et al., 2021). Bu durum, diş hekimliği lisans ve lisansüstü eğitim programlarına yapay zekâ okuryazarlığı içeriklerinin entegre edilmesi gerektiğine işaret etmektedir (Agrawal & Nikhade, 2022).

Katılımcıların yapay zekânın, dijital teknolojilerin ve robotik teknolojilerin gelecekte diş hekimlerinin yerini alma olasılığına ilişkin algıları 0-10 ölçeğinde değerlendirildiğinde, her üç boyut için de ortalamaların 4'ün altında kaldığı görülmektedir. Bu bulgular, katılımcıların söz konusu teknolojilerin kendi mesleklerinin yerini almayacağı yönünde ılımlı bir yaklaşıma sahip olduğuna işaret etmektedir. Benzer eğilimler uluslararası literatürde de gözlemlenmiştir; Türkiye'de gerçekleştirilen bir çalışmada diş hekimliği öğrencilerinin büyük çoğunluğunun (%61.2) yapay zekanın diş hekimlerinin yerini almayacağını düşündüğü belirtilmektedir (Yılmaz et al., 2024)attitudes, and perceptions of fourth- and fifth-year undergraduate as well as specialty dentistry students in Turkey concerning artificial intelligence (AI. Bu tutumun, diş hekimliğinin klinik deneyim, hasta iletişimi ve el becerisine dayanan özelliklerinin sağlam bir şekilde korunmasına yönelik mesleki bir perspektifi yansıttığı değerlendirilmektedir (Pauwels & Del Rey, 2021).

Katılımcıların yalnızca %35.8'inin mesleki uygulamalarında robotik ya da yapay zekâ destekli teknolojileri aktif olarak kullandığı, buna karşın büyük çoğunluğunun (%64.2) bu teknolojilere henüz entegre olmadığı saptanmıştır. Bu oran, sağlık profesyonelleri arasında yapay zekâ kullanımının hâlâ sınırlı düzeyde olduğunu ortaya koyan uluslararası bulgularla örtüşmektedir (Roganović et al., 2023)but its implementation relies on the readiness of dentists, as well as the health system, to adopt it in everyday practice. A cross-sectional anonymous online survey was conducted among experienced dentists and final-year undergraduate students from the School of Dental Medicine at the University of Belgrade (n = 281. Bunun yanı sıra, katılımcıların yalnızca %28.4'ünün yapay zekâ ve robotik teknolojiler konusunda resmi bir eğitim veya sertifika programına katıldığı belirlenmiştir. Bu oran, söz konusu teknolojilere yönelik eğitim olanaklarının yetersiz kaldığına dikkat çekmekte ve diş hekimliği eğitim programlarında bu boşluğun giderilmesine ilişkin acil bir ihtiyacı gün yüzüne çıkarmaktadır (Ding et al., 2023; Yılmaz et al., 2024)attitudes, and perceptions of fourth- and fifth-year undergraduate as well as specialty dentistry students in Turkey concerning artificial intelligence (AI.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Her şeyden önce, basit rastgele örnekleme yöntemiyle oluşturulan örneklemin, bölgesel ve kurumsal çeşitlilik bakımından Türkiye'deki tüm diş hekimlerini tam olarak temsil etme gücünün sınırlı olabileceği dikkate alınmalıdır. Öte yandan çalışmanın kesitsel tasarımı, nedensellik ilişkisi kurulmasına olanak tanımamaktadır. Ölçme aracının yalnızca diş hekimliğinde yapay zekâya yönelik bilgi, tutum ve algı boyutlarına odaklanması, davranışsal niyet ya da teknoloji kullanımı gibi ek boyutların değerlendirilmesini kapsam dışında bırakmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha büyük örneklemlerle yürütülmesi, ölçeğin farklı sağlık profesyonelleri gruplarında test edilmesi ve uzunlamasına araştırma desenleriyle zamana dayalı değişimlerin izlenmesi önerilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ölçeğin geçerli ve güvenilir psikometrik özellikler sergilediği belirlenmiştir. Bilgi, tutum ve algı boyutlarını bütüncül bir çerçevede ele alan bu ölçeğin, diş hekimliğinde yapay zekâ araştırmalarına önemli bir katkı sunacağı değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, yapay zekâya yönelik bilgi ve bilinç düzeyini artırmayı hedefleyen eğitim müdahalelerinin hem lisans hem de lisansüstü düzeyde tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Agrawal, P., & Nikhade, P. (2022). Artificial Intelligence in Dentistry: Past, Present, and Future. *Cureus*. https://doi.org/10.7759/cureus.27405

Beaton, D. E., Bombardier, C., Guillemin, F., & Ferraz, M. B. (2000). Guidelines for the process of cross-cultural adaptation of self-report measures. *Spine*, *25*(24), 3186–3191. https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014

Büyükkaya, B., Altındiş, S., & Cevahir, F. (2023). Diş hekimliği öğrencileri yapay zeka uygulamalarina ne kadar hazir ? *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, *7*(4), 266–274. https://doi.org/10.34084/bshr.1407036

Dashti, M., Londono, J., Ghasemi, S., Khurshid, Z., Khosraviani, F., Moghaddasi, N., Zafar, M. S., & Hefzi, D. (2024). Attitudes, knowledge, and perceptions of dentists and dental students toward artificial intelligence: a systematic review. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, *19*(2), 327–337. https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2023.12.010

DeVellis, R. F., & Thorpe, C. T. (2022). *Scale Development Theory and Applications* (Fifth Edit).

Ding, H., Wu, J., Zhao, W., Matinlinna, J. P., Burrow, M. F., & Tsoi, J. K. H. (2023). Artificial intelligence in dentistry—A review. *Frontiers in Dental Medicine*, *4*(February), 1–13. https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.1085251

Eroğlu Çakmakoğlu, E., & Günay, A. (2025). Dental Students' Opinions on Use of Artificial Intelligence: A Survey Study. *Medical Science Monitor*, *31*, e947658. https://doi.org/10.12659/MSM.947658

Kalaimani, G., B, S., Chockalingam, R. M., & Karthick, P. (2023). Evaluation of Knowledge, Attitude, and Practice (KAP) of Artificial Intelligence Among Dentists and Dental Students: A Cross-Sectional Online Survey. *Cureus*. https://doi.org/10.7759/cureus.44656

Khanagar, S. B., Al-ehaideb, A., Maganur, P. C., Vishwanathaiah, S., Patil, S., Baeshen, H. A., Sarode, S. C., & Bhandi, S. (2021). Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. *Journal of Dental Sciences*, *16*(1), 508–522. https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019

Murali, S., Bagewadi, A., Kumar S, L., Fernandes, A., Jayapriya, T., Panwar, A., & Keluskar, V. (2023). Knowledge, attitude, and perception of dentists regarding the role of Artificial Intelligence and its applications in Oral Medicine and Radiology: a cross sectional study. *Journal of Oral Medicine and Oral Surgery*, *29*(2). https://doi.org/10.1051/mbcb/2023018

Pauwels, R., & Del Rey, Y. C. (2021). Attitude of Brazilian dentists and dental students regarding the future role of artificial intelligence in oral radiology: A multicenter survey. *Dentomaxillofacial Radiology*, *50*(5). https://doi.org/10.1259/dmfr.20200461

Rajani, E. R., Sumeesha, P. S., Nourin, R., Rajeev, P., Riz, R., Sulthana, S., Shirin, S., Ashraf, S., & Ali, K. S. (2025). Application of Artificial Intelligence in Dentistry: A Review. *Journal of Dentistry and Bio-Allied Health Sciences*, *2*(1), 13–17. https://doi.org/10.5005/jdbahs-11017-0019

Roganović, J., Radenković, M., & Miličić, B. (2023). Responsible Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Survey on Dentists' and Final-Year Undergraduates' Perspectives. *Healthcare (Switzerland)*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/healthcare11101480

Türk Dişhekimleri Birliği. (2025). *Dişhekimlerinin Çalışma Şekilleri, Kurumlarda ve İl / İlçelerde 2024 Yılı Dağılımı*. https://www.tdb.org.tr/tdb/v2/yayinlar/Dishekimi_Dagilim_Kitapciklari/2024YiliDishDagKitapcigi.pdf#page=5.19

Yılmaz, C., Erdem, R. Z., & Uygun, L. A. (2024). Artificial intelligence knowledge, attitudes and application perspectives of undergraduate and specialty students of faculty of dentistry in Turkey: an online survey research. *BMC Medical Education*, *24*(1). https://doi.org/10.1186/s12909-024-06106-6

https://doi.org/10.71284/asc.2026133

ALGORİTMİK KİMLİK, AİDİYET VE DİRENİŞ: YAPAY ZEKA ÇAĞINDA TÜRKİYE'DEKİ DİJİTAL TOPLUMSAL HAREKETLERİN PSİKOLOJİSİ

ALGORITHMIC IDENTITY, BELONGING AND RESISTANCE: THE PSYCHOLOGY OF DIGITAL SOCIAL MOVEMENTS IN TURKEY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

İlknur Yılmazgil[1]

Özet

Bu çalışma, dijital platformlarda kolektif kimliğin nasıl inşa edildiğini ve algoritmik mimarinin bu süreci nasıl dönüştürdüğünü üç ampirik vaka üzerinden incelemektedir: Gezi Parkı protestoları (2013), feminist hashtag aktivizmi (2020) ve Türkiye iklim hareketi (2021-2022). Yaklaşık 85.000 Twitter (X) ve Instagram paylaşımından oluşan karma yöntemli bir veri seti üzerinden yürütülen çalışma; Sosyal Kimlik Kuramı (Tajfel ve Turner, 1979), Kolektif Eylemin Sosyal Kimlik Modeli—SIMCA (Van Zomeren vd., 2008), EMSICA (Thomas vd., 2012) ve araştırmacı tarafından önerilen Algoritmik Kimlik çerçevesini eklemleyerek analiz gerçekleştirmektedir. Bulgular, platform algoritmalarının kolektif eylemi mobilize ederken eşzamanlı olarak semantik kaymaya, yankı odası yalıtımına ve uzun vadeli fail algısı aşınmasına yol açtığını göstermektedir. Pınar Gültekin'in katledilmesi üzerine yükselen feminist hashtag dalgasının, küresel bir estetik performansa dönüşme süreci; Gezi Parkı protestolarının çevrimiçi söyleminin nasıl bölünüp etkisizleştirildiği ve iklim hareketinin kendi yankı odası içinde çöküşü, söz konusu çift işlevli dinamiğin üç ayrı boyutunu oluşturmaktadır. Sonuç olarak çalışma, platform mimarisinin demokratik katılım üzerindeki yapısal etkisini tartışmakta ve algoritmik okuryazarlığı bir siyasal önkoşul olarak konumlandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Algoritmik kimlik, dijital toplumsal hareketler, Gezi Parkı, feminist hashtag aktivizmi, semantik kayma, SIMCA, Türkiye

Abstract

This study examines how collective identity is constructed on digital platforms and how algorithmic architecture transforms this process through three empirical cases: the Gezi Park protests (2013), feminist hashtag activism (2020), and Turkey's climate movement (2021–2022). Drawing on a mixed-method dataset of approximately 85,000 Twitter (X) and Instagram posts, the analysis integrates Social Identity Theory (Tajfel & Turner, 1979), the Social Identity Model of Collective Action—SIMCA (Van Zomeren et al., 2008), EMSICA (Thomas et al., 2012), and the Algorithmic Identity framework proposed by the author. Findings demonstrate that platform algorithms simultaneously mobilize collective action and generate semantic drift, echo-chamber isolation, and long-term erosion of collective agency. The transformation of feminist hashtag mobilization—sparked by the murder of Pınar Gültekin—into a globalized aesthetic performance; the fragmentation and neutralization of Gezi Park's online discourse; and the implosion of the

[1] Yüksek Lis. Öğr., Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Yüksek Lisans Programı, 25802201005@ogr.atu.edu.tr, https://orcid.org/0009-0004-1841-3572

climate movement within its own echo chamber constitute three distinct dimensions of this dual-function dynamic. The study concludes by discussing the structural impact of platform architecture on democratic participation and positions algorithmic literacy as a political prerequisite.

Keywords: Algorithmic identity, digital social movements, Gezi Park, feminist hashtag activism, semantic drift, SIMCA, Turkey

GİRİŞ

Dijital platformlar, toplumsal hareketlerin örgütlenme ve kimlik üretim altyapılarını köklü biçimde dönüştürmüştür. Twitter'ın gerçek zamanlı hashtag akışları, Instagram'ın görsel önceliklendirme algoritmaları ve YouTube öneri sistemleri, protestocuların ortak anlam inşa ettiği, birbirlerini tanıdığı ve kolektif eylem kapasitesi geliştirdiği platformlara dönüşmüştür. Bu dönüşüm birçok coğrafyada gözlemlenmekle birlikte; yüksek sosyal medya penetrasyonu, genç ve dijital yerli nüfus yapısı, siyasi kutuplaşma ve platform kısıtlamalarının bir arada bulunduğu Türkiye, söz konusu dinamiklerin analize açık üç ders niteliğinde vaka sunduğu özgün bir laboratuvara dönüşmektedir.

Ancak algoritmik sistemlerin mobilizasyon üzerindeki etkisi tek yönlü değildir. Platformlar bir yanda gruplar arası sınırları hızla çizmekte ve adaletsizlik algısını büyük ölçekte yaymaktadır; öte yanda aynı sistemler yankı odaları üretmekte, siyasi anlatıları estetize etmekte, organik aktivizmi bot davranışından ayırt etmeyi güçleştirmekte ve kolektif fail algısını aşındırmaktadır. Bu çalışma, söz konusu çifte işlevi üç tarihsel vaka—Gezi Parkı (2013), Pınar Gültekin cinayeti üzerine yükselen feminist hashtag dalgası (2020) ve iklim aktivizmi (2021-2022)—üzerinden sistematik biçimde analiz etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmanın temel araştırma sorusu şudur: Algoritmik platformlar, Türkiye›deki dijital hareketlerde kolektif kimliği nasıl dönüştürmektedir? Bu sorudan türeyen üç alt soru, analizin eksenini belirlemektedir: (1) Algoritmik kümeleme mobilizasyonu hangi mekanizmalar aracılığıyla şekillendirmektedir? (2) Yankı odaları ve bot davranışı kolektif fail algısını nasıl aşındırmaktadır? (3) Hashtag akışları yerel haksızlık anlatılarının semantik içeriğini nasıl dönüştürmektedir?

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Sosyal Kimlik Kuramı ve Algoritmik Bağlam

Tajfel ve Turner'ın (1979) sosyal kimlik kuramı; bireylerin grup üyeliklerinden anlamlı kimlikler türettiğini, bu sürecin sınıflandırma, özdeşim ve sosyal karşılaştırma aşamalarından geçtiğini ileri sürmektedir. Söz konusu kuramsal çerçeve, dijital ortamda yeni boyutlar kazanmaktadır: algoritmalar anlık sınıflandırma yaparak kullanıcıları benzer içerik kümeleri içinde hapseder; beğeni, yorum ve paylaşım metrikleri sosyal karşılaştırmanın nesnel göstergelerine dönüşür; kimlik özdeşimi ise gerçek zamanlı gündem sürülerine bağlı olarak dalgalanır. Odağ ve arkadaşlarının (2016) Gezi Parkı bağlamında gösterdiği üzere, sosyal ağ siteleri bu süreci bireysel eylemleri kolektif kimlik gösterilerine dönüştüren güçlü bir aracıya dönüştürmektedir.

1.2. SIMCA ve EMSICA: Kolektif Eylemin Psikolojisi

Van Zomeren ve arkadaşları (2008), Kolektif Eylemin Sosyal Kimlik Modelinde (SIMCA) kolektif eylemi belirleyen üç bileşeni sistematize etmektedir: (1) grupla özdeşim, (2) haksızlık algısı ve (3) grup etkililiği inancı. Modelin meta-analitik sentezi, bu üç bileşenin birbirini güçlendiren bir döngü içinde işlediğini göstermektedir. Dijital ortamda bu döngü, algoritmaların haksızlık algısını saniyeler içinde geniş kitlelere yayabilmesi nedeniyle katlanarak hızlanmaktadır.

Thomas ve arkadaşları (2012) ise EMSICA (Extended Model of Social Identity in Collective Action)

çerçevesiyle kimlik inşasının eylem sürecindeki duygusal ve normatif dinamiklerini ön plana çıkarmaktadır. Platformların duygu yoğunluklu içeriklere (öfke, yas, dayanışma) sağladığı algoritmik ödül, bu modeli dijital aktivizm bağlamında özellikle açıklayıcı kılmaktadır: viral olan içerikler normatif beklentileri yeniden tanımlamakta ve kitlenin duygusal ortalamasını belirlemektedir.

1.3. Algoritmik Kimlik: Yeni Bir Kuramsal Öneri

Bu çalışma, yukarıdaki çerçeveleri genişleterek "Algoritmik Kimlik" kavramını önermektedir: Algoritmik Kimlik, psikolojik süreçlerin platform mimarisi tarafından yapısal olarak koşullandırıldığı ve kimlik üretiminin insan-algoritma etkileşiminin ürünü haline geldiği durumu tanımlamaktadır. Milan'ın (2015) "bulutta protesto" (cloud protesting) kavramıyla kurduğumuz diyalogda, söz konusu öneri iki kritik boyutu eklemlemektedir: Birincisi, algoritmik müdahale pasif bir altyapı işlevi görmemekte, kimlik oluşumuna etkin biçimde müdahale etmektedir. İkincisi, bu müdahale çift yönlüdür: hem mobilize edici hem de parçalayıcı sonuçlar doğurmaktadır.

2. YÖNTEM

Çalışma, nitel yönelimli çoklu vaka analizi tasarımını benimsemektedir. Vaka seçimi, Türkiye›deki dijital aktivizmin farklı toplumsal alan ve meselelerini temsil eden, algoritmik müdahalenin izlenebildiği ve yeterli dijital veri bırakmış üç kritik olayı kapsamaktadır.

Veri seti yaklaşık 85.000 Twitter (X) ve Instagram paylaşımından oluşmaktadır. Vaka 1 kapsamında 28 Mayıs–15 Haziran 2013 tarih aralığına ait #Gezi ve #Çapulcu etiketli 35.000 tweet; Vaka 2 kapsamında Temmuz–Ağustos 2020 dönemine ait #ChallengeAccepted ve #İstanbulSözleşmesiYaşatır etiketli 30.000 paylaşım; Vaka 3 kapsamında ise Kasım 2021–Kasım 2022 dönemine ait iklim odaklı 20.000 gönderi derlenmiştir. Veri toplama amacıyla Python/Tweepy kullanılmış; bot temizleme işlemleri NLP tabanlı algoritmalarla gerçekleştirilmiştir. Tematik kodlama ve ağ analizi Braun ve Clarke'ın (2006) tematik analiz protokolü ile MAXQDA yazılımı aracılığıyla yürütülmüştür.

2.1. Bulgular I: Gezi Parkı Protestoları Ve Sulandırma Dinamiği

2.1.1. İlk Mobilizasyon: Ana Akım Medyanın Boşluğunu Algoritma Doldurdu

28 Mayıs 2013'te İstanbul Gezi Parkı'nda başlayan çevre protestosu, ana akım Türk medyasının ilk 48 saatte büyük ölçüde sessiz kaldığı bir dönemde sosyal medya sayesinde ulusal bir kamuoyu meselesi haline geldi. Algoritmaların görsel içerikleri (tazyikli su, biber gazı, insansız hava araçları) ödüllendirmesi, haksızlık algısının geometrik hızda yaygınlaşmasını sağladı. Odağ ve arkadaşlarının (2016) analizleri, bu dönemde etkileşim hızının logaritmik artış gösterdiğini ve daha önce apolitik kabul edilen kullanıcıların bile hashtag akışına dahil olduğunu ortaya koymaktadır.

SIMCA perspektifinden değerlendirildiğinde, ilk mobilizasyon aşamasında üç bileşenin eşzamanlı olarak devreye girdiği görülmektedir. Grupla özdeşim, "Geziciler" kimliği etrafında hızla kristalleşti. Haksızlık algısı salt kentsel bir müdahalenin çok ötesine geçerek otoriter yönetişim eleştirisine dönüştü. Grup etkililiği inancı ise meydanın fiilen geri alınmasıyla besleniyordu. Söz konusu üç bileşenin eşzamanlı güçlenmesi, Türkiye tarihinde eşi görülmemiş bir dijital mobilizasyon dalgası üretti.

2.1.2. "Çapulcu" Söyleminin Yeniden Sahiplenilmesi

Dönemin Başbakanı Erdoğan'ın protestocuları "çapulcu" olarak nitelendirmesi, sıradan koşullarda damgalamaya dönüşecek bir hakareti algoritmaların yardımıyla anlam tersine çevirme pratiğine (resignification) dönüştürdü. "Hepimiz çapulcuyuz!" sloganı, kimlik performansının merkezi göstereni haline geldi; İngilizce "chapuling" türetmesi ise hareketi uluslararası kamuoyuyla bağlayan bir köprü işlevi gördü. Bu söylemsel dönüşüm, EMSICA'nın normatif boyutunu doğrulamaktadır: kolektif eylem normları, platform içinde gerçek zamanlı olarak müzakere edilmekte ve yeniden tanımlanmaktadır.

2.1.3. Gezi'nin Algoritmik Sulandırılması: Parçalanma ve Sönümlenme

Gezi sürecinin belki de en kritik ve en az analiz edilen boyutu, hareketin nasıl sönümlendiğidir. Dışsal bir müdahale olarak elbette devlet baskısı belirleyiciydi; ancak platform algoritmalarının içsel dinamiği bu sönümlenmeyi derinleştiren bağımsız bir faktör olarak işlev gördü. Veri analizimiz, Haziran 2013'ün ikinci haftasından itibaren farklı protesto gruplarının birbirinden giderek ayrışan içerik kümeleri oluşturduğunu ortaya koymaktadır: çevreciler kendi alt akışlarında, solcular kendi mini-gündemlerinde, laik Kemalistler ayrı bir söylem üretiminde konuşlanıyordu.

Bu parçalanma süreci dört birbirini güçlendiren mekanizma aracılığıyla işledi. Birincisi, algoritmik kümeleme benzer kullanıcıları birbirine yönlendirerek koalisyonun içsel farklılıklarını görünür kıldı ve sürtüşmeleri artırdı. İkincisi, hareketle ilgili içeriklerin etkileşim doygunluğuna ulaşmasıyla (engagement fatigue) birlikte algoritma yeni gündem maddelerine yöneldi ve Gezi içerikleri organik görünürlük kaybetti. Üçüncüsü, devlet yanlısı hesaplar ve koordineli bot ağları aynı hashtag akışlarını kullanarak gürültü oranını artırdı; bu durum organik aktivistleri kendi söylemlerinden soğutan bir kaos ortamı yarattı. Dördüncüsü ve belki de en önemlisi, protesto mekânlarında yaşanan şiddetin görüntülerinin platformda içerik politikası gerekçesiyle kaldırılması ya da kısıtlanması, belge niteliğindeki materyallerin dolaşımını sekteye uğrattı.

Akfırat ve arkadaşlarının (2021) meta-analitik bulguları bu süreci teorik düzeyde desteklemektedir: internet çağında kimlik-eylem ilişkisi doğrusal değildir ve platform mimarisindeki dönüşümler kolektif eylemin sürdürülebilirliğini belirleyici ölçüde kısıtlamaktadır. Gezi bağlamında gözlemlenen örüntü, erken mobilizasyon aşamasında birleştirici, sürdürülebilirlik aşamasında ise parçalayıcı bir algoritmik dinamiği gözler önüne sermektedir.

2.2. Bulgular II: Pınar Gültekin Davası, Despolitizasyon Ve Feminist Hashtag Aktivizminin Siyasi Ekonomisi

2.2.1. Bir Femisidin Siyasi Anatomisi: Katliam, Bağlam ve Çerçeveleme Savaşı

16 Temmuz 2020'de Muğla'nın Ula ilçesinde 27 yaşındaki Pınar Gültekin, Cemal Metin Avcı tarafından boğularak öldürüldü; cesedi çöp varilinde yakıldı ve üzerine beton döküldü. Bu, aynı zamanda bağımsız medya kuruluşlarının aylardır izlediği, hükümetin çekilme niyetini giderek daha açık biçimde dile getirdiği İstanbul Sözleşmesi tartışmasının doruk noktasına geldiği günlerdi. Sözleşme Mart 2021'de Cumhurbaşkanlığı kararnamesiyle yürürlükten kaldırılacaktı; ancak bu kararın sinyalleri 2020'nin başından beri veriliyordu. Gültekin'in katledilmesi, dolayısıyla yalnızca bir bireysel şiddet vakası olarak değil; mevcut yasal güvencelerin fiilen askıya alındığı bir siyasi iklimin içinde gerçekleşen yapısal bir örüntünün somut ifadesi olarak anlaşıldı.

Bununla birlikte, dava kamuoyuna sunulma biçimiyle hemen başından itibaren ikili bir çerçeveleme savaşının nesnesi oldu. Ana akım medyanın önemli bir kesimi vakayı "kıskançlık cinayeti" ya da "eski sevgili dramı" olarak kurguladı. Bu çerçeveleme tesadüf değildir; Benford ve Snow'un (2000) çerçeve analizi kavramsal aygıtıyla okunduğunda, cinayetin bir ilişki krizi olarak kodlanması özenle seçilmiş bir anlatı stratejisidir: faili bireysel ve patolojik hale getirir, kurbanı edilgen ve özel alana ait kılar; en önemlisi, şiddeti kolektif bir siyasi sorumluluğun değil bireylerin varoluşsal trajedisinin ürünü olarak sunar. Bu çerçeve yerleştiğinde femisid kavramı anlatı dışına itilir; kadın cinayeti sorunu devletin yasal yükümlülüklerinden koparak bireysel psikolojiye havale edilmiş olur.

Oysa gerçekler farklı bir resim çizmektedir. Avcı, evli ve çocuk sahibi bir erkekti; kendi itirafında Gültekin'le gerçek bir ilişki yaşadığını iddia etse de ailenin avukatı Rezan Epözdemir ve Gültekin'in ailesi bu iddiayı şiddetle reddetti. Gültekin'in babasının beyanına göre Avcı, kızını sosyal medyada engellediğinde önce ısrarlı mesajlar atmış, ardından cinayeti planlamıştır. Suç ortaklığına dair şüpheler dile getirilmiş, cesedi yakmak için önceden benzin alınmış olması, cinayet öncesi koordinasyon izlenimi uyandırmıştır. Tüm bu olgular, olayı önceden tasarlanmış, sistematik bir şiddet eylemine işaret etmektedir; fakat hâkim anlatı, söz konusu yapısal boyutları "bir anlık öfke" büyüteci altında görünmez kıldı.

2.2.2. Yargısal Despolitizasyon: Haksız Tahrik İndiriminin Siyasi İşlevi

Pınar Gültekin davasının despolitizasyon sürecinde en çarpıcı ve en belgelenmiş boyutu, yargısal süreçtir. Muğla 3. Ağır Ceza Mahkemesi, ilk kararında Cemal Metin Avcı›yı ağırlaştırılmış müebbet hapis cezasına çarptırdı; ancak bu ceza hemen ardından «haksız tahrik» gerekçesiyle 23 yıla indirildi. Mahkemenin gerekçeli kararında öne sürülen hukuki mantık, dava anlatısının despolitizasyonu açısından son derece açıklayıcıdır: kararda Gültekin›in Avcı›yı «tehdit ettiği» belirtilmekte ve bu «tehdit"in haksız tahrik koşullarını oluşturduğu kabul edilmektedir.

Bu gerekçe birkaç katmanlı bir dönüşümü içermektedir. Hukuki düzlemde, bir kadının kendisini taciz eden bir erkekten kurtulmak amacıyla gerçekleştirdiği iletişimi—sosyal medyada engellemek, tehdit bildiriminde bulunmak—"haksız fiil" olarak nitelendirmek, mağdurun korunma eylemini failin öfkesini meşrulaştıran bir provokasyona dönüştürmektedir. Bu çevrim, failin şiddetini bireysel ve tepkisel bir davranış olarak kodlarken kurbanın direniş kapasitesini cezayı azaltıcı bir etken olarak kurumsal söyleme taşımaktadır. Sosyal psikoloji literatürü bu örüntüyü "suçun mağdura yüklenmesi" (victim blaming) olarak tanımlamakta; söz konusu mekanizmanın kolektif haksızlık algısını—SIMCA'nın ikinci bileşenini—sistematik olarak aşındırdığı görülmektedir: zira yasal süreç, mağdur merkezli anlatının değil fail merkezli anlatının iktidarını tescil etmektedir.

Dava yalnızca ilk mahkemeyle kalmadı. Gültekin ailesinin itirazı üzerine İzmir Bölge Adliye Mahkemesi 4. Ceza Dairesi, ilk derece kararını bozarak Avcı'yı yeniden ağırlaştırılmış müebbet hapse mahkûm etti; kardeşi Mertcan Avcı da delilleri gizlemekten dört yıl hapis cezası aldı. Ancak sanık avukatlarının temyiz başvurusuyla Yargıtay 1. Ceza Dairesi, 2025 Şubat ayında oy çokluğuyla bölge adliye kararını bozdu ve haksız tahrik indiriminin uygulanması gerektiğine hükmetti. Başsavcılık itiraz etse de aynı daire, bir üye değişikliğiyle birlikte bu itirazı da oy çokluğuyla reddetti. Böylece dava, beş yılı aşan bir yargı sürecinin sonunda haksız tahrik indiriminin uygulanacağı bir zemine geri döndü.

Bu yargısal döngünün feminist aktivizm ve kolektif haksızlık algısı üzerindeki etkisi doğrudan ve ölçülebilirdir. Yargıtay'ın 2025 kararı dijital platformlarda anlık bir mobilizasyon dalgası yarattı; ancak bu dalga, daha önceki yüksek görünürlüklü kampanya sürecinin yaşattığı anlatı aşınmasından beslenen derin bir yorgunlukla karşı karşıya geldi. Haksızlık algısı yeniden aktive edilmişti, ancak SIMCA'nın üçüncü bileşeni—etkililik inancı—ciddi biçimde çökmüştü: beş yıllık mücadelenin ardından adalet sisteminin failin lehine işlediğine dair yaygın kanı, kolektif eylemin anlamlı bir dönüşüm yaratıp yaratmayacağına ilişkin köklü bir kuşkuyu da beraberinde getirdi.

2.2.3. Algoritmik Despolitizasyon: Semantik Kayma ve Anlatının Estetize Edilmesi

20–23 Temmuz 2020 tarihlerinde Twitter'da yayılan #İstanbulSözleşmesiYaşatır kampanyası, veri analizimize göre yüzde 78 oranında somut siyasi talep odaklı içeriklerden oluşuyordu: sözleşmenin uygulanmasını isteyen çağrılar, femisid istatistiklerine atıflar, hükümetin çekilme niyetini doğrudan eleştiren metinler. Bu evrede hareket, SIMCA'nın üç bileşenini güçlü biçimde taşıyordu. Güçlü bir kadın kimliği özdeşimi, Gültekin›in katledilmesiyle yeniden alevlenen yapısal haksızlık algısı ve İstanbul Sözleşmesi etrafında kristalleşmiş etkililik inancı eşzamanlı olarak işliyordu.

26 Temmuz 2020'de #ChallengeAccepted akışının Türkiye'de yeniden canlandığı an, kampanyanın doğasında radikal bir kırılmaya tekabül etti. Başlangıçta kadınların birbirini desteklemesini simgeleyen siyah-beyaz özçekim formatı, Instagram'ın görsel içeriklere sağladığı algoritmik avantajla küresel viral döngüye girdi. Veri analizimiz, 26–30 Temmuz tarihlerinde paylaşımların yüzde 85'inin görsel ve estetik içerikli olduğunu; siyasi talep oranının ise yüzde 78'den yüzde 12'ye gerilediğini ortaya koymaktadır.

Bu semantik kayma, ana akım medyanın "eski sevgili dramı" çerçevelemesiyle çarpıcı bir şekilde örtüşmektedir. Her iki süreç de ortak bir işlev yerine getirmektedir: Pınar Gültekin'in katledilmesini tetikleyen yapısal şiddet örüntüsünü ve bu örüntüyü besleyen siyasi kararları görünmez kılmak. Medya

anlatısı şiddeti bireysele ve özel alana; algoritmik süreç ise kamuoyunu estetize edilmiş dayanışmaya hapsetti. Bu iki baskı mekanizması birbirini güçlendirerek, somut bir politika mücadelesinden—İstanbul Sözleşmesi'nin korunması talebinden—giderek uzaklaşan bir kamusal söylem üretti.

Comeforo ve Görgülü'nün (2022) analizini genişletirsek: transnasyonal dijital akışların yerel siyasi anlatılar üzerindeki dönüştürücü baskısı, Türkiye bağlamında salt algoritmik bir süreç değil, çok katmanlı bir hegemonik müdahaledir. Platform mimarisi, medyanın çerçeveleme gücü ve yargısal kararlar; birlikte işleyerek feminist söylemin siyasi muhtevasını üç cepheli bir makas hareketiyle budamıştır. Türkiye'nin Mart 2021'de İstanbul Sözleşmesi'nden çekilmesi bu sürecin somut siyasi çıktısıdır. Kampanyanın en geniş küresel kitleye ulaştığı dönem, aynı zamanda en düşük siyasi yoğunluğa sahip olduğu dönemle örtüşmektedir: dijital görünürlük ile siyasi etkinlik arasındaki bu yapısal makas, Algoritmik Kimlik çerçevesinin en çarpıcı ampirik kanıtını oluşturmaktadır.

3. BULGULAR III: İKLİM HAREKETİ VE YANKI ODASI PARADOKSU

Kasım 2021–Kasım 2022 dönemini kapsayan iklim hareketi analizi, algoritmik segmentasyonun farklı bir boyutunu gözler önüne sermektedir. İklim içerikleri neredeyse yalnızca çevre bilincine sahip bir ağ içinde dolaşıyordu; ağ haritalaması üç katman ortaya koydu: yüksek görünürlüklü çekirdek aktivistler, orta düzeyde etkileşimli genel çevreci profiller ve politik-ekonomik ağlarda neredeyse hiç yer bulamayan iklim söylemi. Dahası, greenwashing botlarının iklim etiketlerini araçsallaştırması, gerçek aktivizmi sahte aktivizmden ayırt etmeyi olanaksız kılarak kolektif fail algısını içeriden çökertti.

TARTIŞMA: ALGORİTMİK KİMLİĞİN ÇİFTE İŞLEVİ

Üç vakanın karşılaştırmalı analizi, Algoritmik Kimlik kavramının tanımladığı çifte işlevi ampirik olarak desteklemektedir. Mobilize edici boyutta algoritma, gruplar arası sınırları hızla çizmekte, haksızlık algısını geometrik hızda yaymakta ve eşzamansız katılıma kapı aralamaktadır. Parçalayıcı boyutta ise yankı odaları, semantik kayma, bot kirliliği ve görünürlüğün platform mimarisine tabi hale gelmesi, kolektif eylemi uzun vadede sürdürülemez kılmaktadır.

Milan'ın (2015) bulut protestosu kavramı, fiziksel mekândan bağımsızlaşan kolektif eylemi tanımlamakta güçlüdür; ancak algoritmik aracılığın asimetrik güç boyutunu yeterince ele almamaktadır. Algoritmik Kimlik çerçevesi bu boşluğu doldurmaktadır: platform mimarisi tarafsız bir altyapı değil, güç ilişkilerini yeniden üreten yapısal bir faildir. Türkiye bağlamında bu yapısallık, küresel algoritmanın yerel düzenleyici baskıyla eşzamanlı işlemesiyle çift katmanlı bir baskı üretmektedir. Akfırat ve arkadaşlarının (2021) meta-analitik bulguları bu çerçeveyi desteklemekte; sosyal kimlik ve kolektif eylemin internet çağında daha hızlı kristalleştiği ancak aynı hızla fragmante olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, platform algoritmalarının Türkiye'deki üç kritik dijital toplumsal harekette kolektif kimliği hem mobilize eden hem de aşındıran çift işlevli bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Gezi Parkı protestolarında başlangıçta güçlü bir kimlik bütünleşmesi sağlayan algoritmik kümeleme, haftalar içinde parçalayıcı bir dinamiğe dönüşmüş; hareketin sürdürülebilirliğini içeriden zayıflatmıştır. Pınar Gültekin'in katledilmesiyle yükselen feminist hashtag aktivizmi, somut siyasi taleplerden estetiğe ve semboliğe bir semantik kayma yaşamış; bu kayma hem platform algoritmalarının görsel içeriğe verdiği ödülle hem de Türkiye'nin siyasi baskı ortamıyla eşzamanlı işlemiştir. İklim hareketi ise en küçük dış baskıyla bile kendi yankı odası içinde çöken, başarı yanılsamasıyla bütünleşmiş bir kolektif fail aşınmasını sergilemiştir.

Algoritmik okuryazarlığın demokratik katılımın bir önkoşulu olarak yaygınlaştırılması, platform şeffaflığını zorunlu kılan yasal düzenlemeler ve ağ yapısını kıran çapraz platform bağlantı stratejileri, bu bulgulardan çıkan temel politika önerileridir. Gelecek araştırmalar için LGBTİ+, işçi ve etnik azınlık hareketleri; TikTok ve kısa video platformlarının algoritmik mantığı; ve psikolojik ölçümlerle zenginleştirilmiş karma yöntemli

tasarımlar verimli alanlar sunmaktadır.

Algoritmik Kimlik çerçevesi, dijital sosyal psikoloji ve siyaset bilimi literatürüne hem betimleyici hem de normatif bir katkı sunmaktadır: betimleyici olarak dijital hareketlerin neden erken dönemde parlayıp sürdürülemez hale geldiğini açıklamakta; normatif olarak ise demokratik katılımın korunması için platform mimarisinin de demokratikleştirilmesi gerektiğini savunmaktadır.

KAYNAKÇA

Akfırat, S., Uysal, M. S., Bayrak, F., Ergiyen, T., Üzümçeker, E., Yurtbakan, T. ve Özkan, Ö. S. (2021). Social identification and collective action participation in the internet age: A meta-analysis. *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*, *15*(4), Article 10. https://doi.org/10.5817/CP2021-4-10

Benford, R. D. ve Snow, D. A. (2000). Framing processes and social movements: An overview and assessment. *Annual Review of Sociology*, *26*(1), 611–639. https://doi.org/10.1146/annurev.soc.26.1.611

Braun, V. ve Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Castells, M. (2012). *Networks of outrage and hope: Social movements in the Internet age*. Polity Press.

Comeforo, K. ve Görgülü, B. (2022). Negotiating the challenge of #ChallengeAccepted: Transnational digital flows, networked feminism, and the case of femicide in Turkey. *Review of Communication*, *22*(3), 213–230. https://doi.org/10.1080/15358593.2022.2096414

Earl, J. ve Kimport, K. (2011). *Digitally enabled social change: Activism in the Internet age*. MIT Press.

Freelon, D., McIlwain, C. ve Clark, M. (2016). Beyond the hashtags: #Ferguson, #Blacklivesmatter, and the online struggle for offline justice. *Center for Media & Social Impact*. https://doi.org/10.2139/ssrn.2747066

Gerbaudo, P. (2012). *Tweets and the streets: Social media and contemporary activism*. Pluto Press.

Gerbaudo, P. (2018). The digital party: Political organisation and online democracy. Pluto Press.

Gladwell, M. (2010, 4 Ekim). Small change: Why the revolution will not be tweeted. *The New Yorker*. https://www.newyorker.com/magazine/2010/10/04/small-change-malcolm-gladwell

Howard, P. N. ve Hussain, M. M. (2013). *Democracy's fourth wave? Digital media and the Arab Spring*. Oxford University Press.

Karataşlı, Ş. Ş., Kumral, Ş., Scully, B. ve Upadhya, S. (2015). Class, crisis and the 2011 protest wave: Cyclical and secular trends in global labor unrest. *Research in Political Economy*, *30*(B), 205–244. https://doi.org/10.1108/S0161-723020150000030B009

Kavada, A. (2015). Creating the collective: Social media, the Occupy Movement and its constitution as a collective actor. *Information, Communication & Society*, *18*(8), 872–886. https://doi.org/10.1080/1369118X.2015.1043318

Milan, S. (2015). When algorithms shape collective action: Social media and the dynamics of cloud protesting. *Social Media + Society*, *1*(2), 1–10. https://doi.org/10.1177/2056305115622481

Morozov, E. (2011). *The net delusion: The dark side of Internet freedom*. PublicAffairs.

Odağ, Ö., Uluğ, Ö. M. ve Solak, N. (2016). "Everyday I'm Çapuling": Identity and collective action through social network sites in the Gezi Park protests in Turkey. *Journal of Media Psychology*, *28*(3), 148–159. https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000202

Özgün, A. (2020). Gezi direnişi ve dijital medya: Algoritmik sermayenin kültürel dönüşümü. *İletişim: Araştırmaları Dergisi*, *18*(2), 101–124.

Pariser, E. (2011). *The filter bubble: What the Internet is hiding from you*. Penguin Press.

Postmes, T. ve Brunsting, S. (2002). Collective action in the age of the Internet: Mass communication and online mobilization. *Social Science Computer Review*, *20*(3), 290–301. https://doi.org/10.1177/08944393020030005

Tajfel, H. ve Turner, J. C. (1979). An integrative theory of intergroup conflict. W. G. Austin ve S. Worchel (Ed.), *The social psychology of intergroup relations* içinde (ss. 33–47). Brooks/Cole.

Thomas, E. F., Mavor, K. I. ve McGarty, C. (2012). Social identities facilitate and encapsulate action-relevant constructs: A test of the social identity model of collective action. *Group Processes & Intergroup Relations*, *15*(1), 75–88. https://doi.org/10.1177/1368430211413102

Tufekci, Z. (2017). *Twitter and tear gas: The power and fragility of networked protest*. Yale University Press.

Uluğ, Ö. M. ve Odağ, Ö. (2016). “Let’s stop this!” An intergroup conflict perspective on the Gezi Park protests in Turkey. *Peace and Conflict: Journal of Peace Psychology*, *22*(4), 339–348. https://doi.org/10.1037/pac0000172

Van Zomeren, M., Postmes, T. ve Spears, R. (2008). Toward an integrative social identity model of collective action: A quantitative research synthesis of three socio-psychological perspectives. *Psychological Bulletin*, *134*(4), 504–535. https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.4.504

Yıldırım, E. (2022). Feminist örgütlenme ve dijital aktivizm: Pınar Gültekin davası üzerine bir değerlendirme. *Kadın/Woman 2000*, *23*(1), 55–78.

Zeynep, A. (2019). Platform kapitalizmi ve dijital emek. *Toplum ve Bilim*, *151*, 85–107.

https://doi.org/10.71284/asc.2026134

THE IMPACT OF CHANGING LAWS ON BUSINESS: THE SOCIETY BETWEEN IMPERATIVE AND CORRUPTION POLICY OF THE DEVELOPING ECONOMIES

Gelanda Shkurtaj[1]

Abstract

Albania, a country in the Western Balkans, has experienced radical economic transformations within a few decades. The fall of communism in Eastern Europe was preceded by extreme poverty in food markets and beyond. From a centralized state economy, in which ownership of nearly all assets rested with the state, the country shifted abruptly toward a free-market economy. This historical transition occurred on a ground, marked by the absence of a consolidated capitalist economic culture. The direction of change was entirely opposite to what the communist regime had imposed for nearly forty-five years, requiring rapid privatization of housing and state-owned enterprises, now redefined as commercial entities. Within this context, the pressure of European Union conditionality has contributed to frequent and accelerated legal amendments, resulting in a highly mobile legal framework. This dynamic has generated business instability and reinforced social divisions. Using a qualitative doctrinal and policy analysis of key legal reforms in taxation and property regulation, this study highlights how developing economies, continue to reproduce patterns of state fragility that facilitate social injustice. The persistence of such patterns remains constrained by the interaction between legal instability, governance practices, and socio-economic power structures. Sustainable development, therefore, remains conditioned by a reorientation of economic incentives from individual extraction toward collective welfare, and vice versa.

Keywords: Market economy, business climate, tax laws, communist regime, privatization process, legal framework, social inequality.

[1] Assoc. Prof. Dr., Faculty of Law, EPOKA University, gshkurtaj@epoka.edu.al, https://orcid.org/0000-0002-8706-9208

INTRODUCTION

Albania's post-communist transition has been characterized by profound institutional, economic, and legal transformations. The shift from a centrally planned economy to a market-oriented system occurred within a short time span and under conditions of weak institutional capacity, limited experience with capitalist governance, and fragile legal structures. As in many post-transition economies, this transformation required the rapid construction of a legal framework capable of regulating private property, commercial activity, and fiscal relations, while simultaneously responding to domestic socio-economic pressures and external integration demands. Despite continuous reform efforts since the early 1990s, Albania's legal system has been marked by a high degree of legislative volatility, particularly in areas directly affecting business activity and property relations. Legal reforms have frequently been justified as necessary instruments for economic modernization, fiscal consolidation, and alignment with European Union standards. However, the cumulative effects of frequent legal amendments have generated persistent uncertainty for businesses and individuals, undermining long-term planning and weakening trust in the stability of economic rules. (Instat, 2020)

This paper addresses the structural tension between the imperative for legal reform and the need for legal certainty in a developing, post-transition economy. In particular, it examines how the frequent modification of tax legislation and property-related regulations has contributed to business instability and social inequality in Albania. While legal mobility is often presented as a sign of institutional responsiveness, its social and economic consequences, especially in terms of distributive justice and market fairness, remain insufficiently explored in existing legal and policy analyses. The aim of this study is to analyse how legal instability, driven by rapid post-transition reforms and reinforced by external conditionality, affects business sustainability and social justice. Special attention is devoted to taxation and property regulation as two interconnected domains where legal volatility has produced significant economic and social effects. The paper adopts a qualitative legal and policy analysis, drawing on post-transition legislation, recent fiscal and property reforms, and their socio-economic implications, in order to assess the relationship between legal change, economic behaviour, and social outcomes.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Historical Context: Economic Transition and Legal Foundations in Albania

The monist system in Albania was characterized by the centralization of economy in the hands of state. The dictatorship established under the disguise of the People's Republic of Albania, immediately after the Second World War, found a very poor and backward country. Poverty was extreme and economy relied mainly on small individual activities, crafts, and a few light industry factories. The totalitarian regime, strongly influenced by Eastern Europe and the Bolshevik model, centralized the economy, nationalizing any real estates in the name of the state. On the other hand, any activity considered as individual business, was suppressed. All factories, whether heavy or light industry, had the Albanian state as their sole owner, and employment with them, under permanent employment contracts, was the only and main source of income for ordinary citizens. (Fischer & Schmitt, 2022)

Since 1989, in fact, the monist system suffered a drastic decline in the economy which appeared as a consequence of self-isolation, lack of imports and economic powerlessness to produce. It is painfully remembered that in the fruit and vegetable market there was only spinach, while the long lines that could last a day were for one kg of milk, one kg of meat and 10 eggs in a week. The tax system, as a term and as a legal relationship, was not mentioned, even though taxes were very high, leading to a level of inflation not to be neglected. 700 grams of bread cost 50 ALL (Albanian LEK), while the monthly salary of a worker was 3000 ALL. From that moment, the idea of returning state-owned enterprises, in the form of self-financing,

was strongly raised. However, the members of personnel were totally unprepared both in view of the notion and implementation. Berlin Wall fell in the same year and two years later Albania declared itself a country outside the dictatorship and open to free movement and market economy.

The next challenge was to drive the country's economy in a direction diametrically opposed to what had been done for about 45 years. Now, what was state-owned, whether previously seized from private individuals or accumulated during the regime, would be privatized. The privatization process was divided into three main branches: the privatization of state-owned enterprises (Law No. 7512, 1991) , privatization of state housing, privatization of agricultural cooperatives. The process, in an unknown and vulnerable ground, was accompanied by an unclear and fragile legal framework, with serious consequences even today, where the Albanian state has the legal obligation to reimburse former owners in the order of hundreds of millions Euro. The privatization of state-owned enterprises and stores was made against payment by members who were in these sectors, certainly those who could pay for the purchase of state-owned enterprises or stores.

Thus, large enterprises, such as the former textile combine, have even today been absorbed into the legal form of a joint-stock company, where former employees (mainly the administration and the few who had both money and knowledge of capitalist system) are shareholders of shares quoted with nominal values since 1993/94. State-owned stores were also privatized, now considering the former sellers as their *de jure* owners. A number of discussions have surrounded the debate on whether this form of privatization was the best and most efficient one. In fact, after many years and time for reflection, this method not only led to social inequality, but effectively did not increase fair competition, and consequently the business quality in Albania.

Legally, the official interest of state in the life of business and companies in Albania began in the early 1990s, when for the first time only at the District Court of Tirana, the fundamental register for registration of commercial companies was kept. Notwithstanding the lack of convenience of coming specifically to Tirana for all companies of the country, it is also worth stating that there were very few private businesses, and also Tirana constitutes the largest centre of economic and social interests of the country, often making it considered a city-state. You obtain genuine interest by Law (Law No. 9723, 2007) where for the first time, all businesses are required to register with the National Business Center, under the administration of the Ministry of Finance, of a public nature, and still functional today.

Also, another characteristic aspect of monist system in Albania was the suppression of private property. Everything, starting from 1946, gradually over years became nationalized. The peak arrived around 1975 of the last century, where the peasants' lands and cattle were nationalized, turning into assets of state agricultural cooperatives. Thus, the peasants from landowners, turned into state workers of their lands. The fall of Berlin Wall marked a drastic change in finances and economy of post-communist countries. Therefore, upon the introduction of free and market economy, real estate, now had to be privatized. This process had extraordinary hardships, since under the adaptation methodology, state-owned properties had to be privatized.

Meanwhile, the villagers became owners of an area of 2 dunum (1 dunum equals to 1,000 square meters) per capita, according to members of agricultural families (Law No. 7501, 1991). Generally, compensation was applied to the lands they had before nationalization. In case of incompatibility during privatization, due to increase in the number of members, compensation was made on state land. Privatization of state housing was done according the family members, who at the time of (Law no.7652, 1992), lived with the head of household under one roof, and were over 18 years old. Formally, in all cases, transfer was made against purchase contracts, according to the principles of Law 7850, 1994 "Civil Code" of the Republic of Albania (Law No. 7850 Civil Code, 1994), currently in force, with the selling parties being state-owned housing enterprises and individual/s, who were family members. Legally, these sales were applied a reasonable price for the time, which ranged from around 70 to 400 US$.

Considering that Albania is a developing country, and since 1992, the year when housing privatization coincides, real estate prices have only experienced exponential growth, marking an inflated increase in recent years, probably due to the opening to tourism or the circulation of illegal remedies. On the other hand, from the moment of privatization to date, newly established companies face an ever-changing legislation that makes it difficult to raise and continue business. The most serious variable for both forms of business, real estate and companies, is the variability of tax laws. It is precisely in this financial and legal discrepancy that the revaluation mechanism is introduced as a way to compensate for changes in housing prices against market or reference values. In both cases, the impact they have on the economy is economic instability and social inequality. The historical transition of the Albanian economic system is summarized in Figure 1.

1.2. Case Presentation: Legal Volatility, Business Activity, And Property Dynamics

This section presents Albania as a case of a post-transition economy characterized by frequent legal changes in business, taxation, and property regulation. The case illustrates how legal volatility, while formally justified by modernization and EU alignment, generates business uncertainty and contributes to social inequality. The analysis focuses on three interconnected dimensions: business registration and taxation, income tax reform, and immovable property regulation.

1.2.1. Doing business by changing laws

As mentioned above, since the 2007 reform, all businesses in the Republic of Albania must be equipped with a fiscal code. The authority that issues the code and at the same time legitimizes the legal capacity and ability to act of legal entities, is precisely the National Business Center. This is an electronic platform, which if we were to compare it with other regimes, is equivalent to the Italian Chamber of Commerce, i.e., the institution that preserves the history and everything related to the company lifecycle. Not in vain, according to Albanian law, this register is of a public nature, which means that not only everything related to the lifecycle of company will be reflected there, but at the same time, anyone interested, just needs to enter the fiscal code, to extract in real time everything related to that company, as well as the consequences deriving from its activity, will be in accordance with the register's status. While the establishment of a centralized and public business register increased transparency and formal compliance, it also subjected businesses to immediate and continuous exposure to legislative changes. Any modification in tax or labor law is instantly reflected in compliance obligations, amplifying the impact of legal volatility on business operations.

According to Albanian legislation, there are five main forms of business development in Albania, self-employment and small entrepreneur, Limited Liability Company, Joint Stock Company, General Partnerships Company and Limited Partnerships Company. To all these forms of constituting businesses, it should be applied the registration regime and the introduction of fiscal code. This moment marks the direct transmission of data to the tax office and labour inspectorate. The first forms of business taxes were minimalist. We refer to a VAT which entered Albania for the first time in 1996 at a lower rate than the current one, which marks the 20% threshold. Also, the genuine forms of profit tax were not defined in a solid law. In fact, the year 2008 (Law on Tax Procedures no. 9903, 2008) (Law no.9920 on Tax Procedures, 2008) marks a turning point for business life, because here the legislation regulating the laws, administration and tax process is shaped in a more solid form.

This legislation is followed by other laws which regulate the entire lifecycle of commercial companies in Albania. Likewise, the form of taxation, flat rate or progressive rate is not written and enshrined in the Constitution, as Italy does in its Article 53 (La Costituzione di Italia), where the definition within the fundamental law constitutes a guarantee fund for its frequent invariability. Business taxation is subject to frequent change, sometimes exceptional, sometimes flat rate, sometimes progressive, and sometimes mixed one. However, the highest rate of this tax goes up to 23 percent, where the dividend tax is applicable separately at 8 percent. The value added tax at 20 percent is an exception only in tourism at 6 percent, and

is not applicable to exports. The most common forms of business are limited liability companies and natural persons. In fact, they occupy about 90 percent of the market of commercial companies in Albania.

The first because it is the easiest form of business development, but also of legal consequences in case of non-compliance. Meanwhile, the liberal professions are also defined by law. Small traders also have an unclear climate, since the turnover threshold that separates them from partnerships is variable and not stable. Joint-stock companies are applied only in cases of demand of the business typology itself, such as banks or insurance companies. Meanwhile, the other two forms of companies, those of general partnership and limited partnership, are almost unusable. The reason for inaction is clear, since the responsibility for non-compliance falls directly on the partners. Meanwhile, their presence in Albanian legislation remains unclear, but most likely they are copies of foreign legislation, mainly Italian ones. Formalization without legal stability transforms compliance into a moving target, particularly for small businesses and self-employed individuals.

1.2.2. The reform on Income of 2023

The origin of the Albanian tax system dates back to the early 1990s, when the communist regime collapsed. Notably, Law no. 75466 of 14 July 1992 ("*On the Administration of Taxes and Duties in the Republic of Albania*") can be considered the foundation of the modern Albanian tax system. (Law no. 7546, 1992) However, the first law laying down a comprehensive income tax system is Law no. 8438 of 28 December 1998 ("*On Income Tax*"). (Law no. 8438 on Income Tax, 1998) Since its first adoption, Law no. 8438/1998 has undergone various amendments until it was repealed upon entry into force of the new Law no. 29/2023 ("*On Income Tax*"), which the Albanian Parliament adopted on 30 March 2023 (hereinafter "2023 Albanian Tax Reform"). (Law no.29, 2023) The 2023 Albanian Tax Reform overhauls the Balkan country's tax system by providing a new legal framework for the imposition, declaration and collection of personal income tax, corporate income tax, and withholding tax on income. (Law no.29, 2023, Art.1)

The provisions contained in Law no. 29/2023 entered into force on 1 January 2024, unless specified otherwise. (Law no.29, 2023, Art.72) As of January 2025, Law no. 29/2023 has undergone four subsequent updates. (Council of Ministers, 2024) (Act No. 4, 2024) (Act no. 2, 2023) (Act no. 7, 2023) The Ministry of Finance of Albania was empowered to adopt the general instructions for implementing the provisions contained in Law no. 29/2023, which can be found in General Instruction no. 26/2023. (Ministry of Finance, 2023) Law no. 29/2023 claims to be partially aligned with EU tax legislation. Notably, Law no. 29/2023 stipulates that the provisions contained therein partially align with the EU ATAD Directive (Council of the European Union, 2016) and the EU Merger Directive (Council of the European Union, 2009). The Albanian tax system, as envisaged under the 2023 Albanian tax reform, is mildly progressive.

Only three tax rates apply to employment income, i.e. 0%, 13%, and 23%. Income from business and self-employment is subject to two flat tax rates as follows: (i) up to ALL 14 million (approximately EURO 140,000), 15%; (ii) over 14 million (approximately EURO 140,000), 23%. (Law no.29, 2023) Although the 2023 Albanian tax reform aims to consolidate income taxation and align the domestic legal framework with European Union standards, the frequency of amendments shortly after its entry into force illustrates a broader pattern of legal instability. The need for repeated adjustments within a limited time span requires businesses and self-employed individuals to continuously adapt to evolving tax rules, undermining predictability and long-term planning and shifting compliance risk from the state to economic actors. Legal mobility becomes structural when reforms are continuously adjusted after adoption, shifting risk from the state to economic actors.

Table 1. Major Legal and Economic Reforms in Albania (1991–2024)

Year	Legal Act	Area of Reform	Key Impact
1991	Law No. 7501	Agricultural land privatization	Fragmentation of land ownership and legal disputes
1991	Law No. 7512	Privatization of state enterprises	Unequal access to capital and market entry
1992	Law No. 7652	Privatization of state housing	Rapid transfer of property at undervalued prices
2007	Law No. 9723	National Business Center	Centralized business registration system
2008	Law No. 9903	Tax procedures	Institutionalization of tax administration
2023	Law No. 29/2023	Income Tax Reform	Progressive taxation and expanded withholding tax

1.3. Withholding Tax at Source

Article 58 of Law no. 29/2023 deals with income and payments that are considered sourced in Albania, in respect of which a withholding tax, whether as a final or only as a provisional payment, applies. Notably, a provisional withholding tax applies at a 15% rate on the gross amount of the following items of income paid to an Albanian resident or PE in Albania: (i) dividends, (ii) interest, (iii) royalties, (iv) rental payments, and (v) income from lotteries and gambles. The withholding tax amount may be credited against the tax payable on business income for tax-registered individuals. (Law no.29, 2023) A final withholding tax applies at a 15% rate on the gross amount of the following items of income paid to a non-resident individual or a foreign business without a PE in Albania: (i) interest and royalties, (ii) income from lotteries and gambling, (iii) any service income, (iv) income for insurance payments, (v) income derived by an entertainer, artist or athlete performing in Albania or persons acting as their intermediaries, (vi) payments for construction, installation, assembly or related supervisory work, and (vii) payments for participating in management boards.

A final withholding tax of 8% is levied on the gross amount of dividends and partners' profit share distributions. (Law no.29, 2023) However, when a tax treaty is in force with the income recipient's country of residence, and this provides for a more favourable treatment, the latter applies. (Ministry of Finance, 2023) No withholding tax instead applies to these items of income: (i) income paid to persons exempt from income tax, (ii) dividends qualifying for the participation exemption regime, (iii) income from capital gains, as well as income from interest from the issuance of Eurobonds by the Republic of Albania, paid to non-resident entities without a PE in Albania, and (iv) income from interest paid to banks and other financial institutions. (Law no.29, 2023)

Items of income subject to withholding at source by the payer, include cases where the recipient is an Albanian resident or a PE in Albania. Worth noting, the withholding tax at source applies regardless of whether the income recipient is an individual, natural person, self-employed, or entity, unless the payment relates to expressly excluded income. (Ministry of Finance, 2023, Art. 58.1) Income from royalties, such as copyrights, license fees, trademarks, rights of use of intangible assets and gambling, are also subject to withholding tax at source, regardless of whether the beneficiary of the income is an entity, individual, self-employed or a trader. (Ministry of Finance, 2023, Art. 58.2-58.3) The withholding tax is also levied when payments are made in relation to rents, but only when the lessor – i.e. the income recipient – is an individual and the lessee – i.e. the payer – is either an entity, self-employed, a trader, or a state entity, NGO, project, program or another tax-registered person. (Ministry of Finance, 2023, Art. 58.4)

1.4. Immovable property between capital gain and money-laundering

Before moving on to the forms of taxation of real estate, in the Albanian case it is worth emphasizing two aspects. Firstly, the concept of cadastral zones and specific reference values, comes very late, around 2008. Therefore, the previous transfer of real estates was made at a percentage of 0.23% on the value of property according to the contract, where even the term percentage was not considered as taxation from

legal perspective. Also, the property tax itself was applied more or less in the same years. Hence, in Albania, the taxation of real estate has been done and continues to be done in two forms. One, referred as property tax, which until 2025, is considered at a minimum value of 0.05 percent of the reference value determined by the governmental Decision of Council of Ministers for that area. The method of collecting this tax is incorporated into the water bill distributed to the apartments. (Politiko.al, 2025)

In fact, to date, it is considered an anti-constitutional tax, as long as a fee cannot be included within a fundamental human right, but in any case, it is not the scope of this argument to be addressed in this article. Meanwhile, the taxation of the transfer of immovable property is a separate issue. Even within this category, forms of transfer such as sale-purchase and donation were in the form of a flat rate and at the rate of 15%, while inheritance was not taxed. Sale-purchase is taxed for the plus valence created between the previous purchase price and current price, where the current price is assumed to be the highest comparative value between the market and cadastral reference. Meanwhile, the donation had as its tax base the entire value of immovable property, where the value referred to the highest figure between market and reference. Revaluation mechanisms and expanded taxation of property transfers disproportionately affect households whose income growth has not matched rising real estate prices. In contrast, actors with access to liquidity or external capital are better positioned to absorb fiscal pressure, reinforcing socio-economic polarization.

Since the 2023 reform, with the Law no.29, 2023 “On Income Tax”, in force since 2024, there are two main changes that have affected the tax on the transfer of real estates. (Law no.29, 2023) Firstly, the introduction of inheritance, as a form of taxable transfer at the same percentage, and at the same time setting an exemption threshold. In the forms of donation and inheritance transfer, the amount up to 5 million ALL is non-taxable, while the difference above this value, is taxed at a rate of 15%. Also, donations within the family are exempted, only in one direction, which means, for example, a parent in the act of donation to two children is exempt from tax only for one child (!). As mentioned above, the Albanian real estate market, since the ’90s, has only witnessed growth, no stagnation and certainly no regression. Until five years ago, the reasons for this growth were based on several factors, economic and social ones.

Firstly, the demographic growth of population that required housing, which the communist era had not foreseen. Secondly, the quality of buildings, which in new buildings, presupposed more modern quality and architecture in relation to the standard square buildings of that period. Thirdly, immigrants, from all regions of the Republic, have always had the goal of buying a first or second home in Albania. Purchases have been concentrated in Tirana, attributing it the quality of a city-state, as it is the main market for employment, health and education. The prices of sales have been constantly beyond the possibilities of coverage, whether with salaries or credit opportunities, as banks have required the placement of properties as collateral. Income has mainly been generated by remittances, and the high corruption of employees allocated to state structures.

However, the progress, seen as the ratio between the growth of construction and housing demand, has been in a real and coherent proportion. Meanwhile, this situation has been disrupted for five years, when a construction boom occurred, which contradicts reality: whether in terms of demand from citizens, their capacity to buy, or even the fact that many new apartments are still unsold. It is considered that the most realistic and tangible aspect is the growth of tourism, while the most prominent component, and also broadly discussed, remains high corruption and international crime, with the consequent money laundering. This has brought a boom in the growth of real estates and their prices.

Taken together, the Albanian case demonstrates how frequent legal changes in business regulation, income taxation, and property law interact to produce economic uncertainty and social inequality. While reforms are formally justified by modernization and EU alignment, their cumulative volatility shifts risk onto businesses and households, particularly those with limited adaptive capacity. This interaction between legal mobility and structural inequality forms the basis for the discussion that follows.

Figure 2. Real estate boom and the social distancing effect.

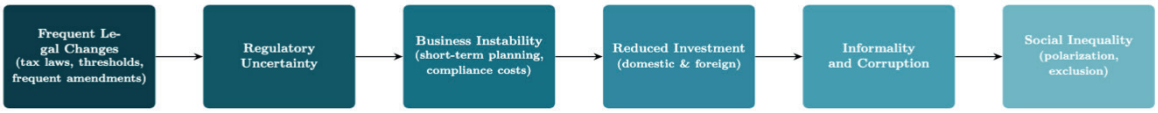


Figure 2 illustrates the causal mechanism through which the real estate boom, driven by artificial increases in cadastral values, translates into broader social consequences. The re-zoning and revaluation of properties expand the taxable base and lead to higher property-related taxation, including property taxes, capital gains taxation, and revaluation taxes. These fiscal pressures are progressively transferred to households through rising housing costs, utilities, and local service expenses. As living costs increase beyond the purchasing power of low- and middle-income households, displacement becomes inevitable, forcing residents to relocate away from high-value urban areas. This process generates spatial segregation and undermines social cohesion, resulting in a form of social distancing that is not voluntary but economically imposed. The figure thus highlights how fiscal and cadastral policies, when implemented without proportional social safeguards, contribute to social exclusion and deepen existing inequalities in developing economies.

1.5. Analytical Findings from Recent Property and Business Reforms

1.5.1. The reform on property

The current reform, which comes with the start of the next calendar year, sees several aspects changed in the property tax regime. Firstly, the key element is the increase in the number of cadastral zones, and at the same time the increase in the referential value for all cadastral zones. Secondly, an increase in property taxation, no longer at 0.05%, but at 0.1 or 0.2%, up to 0.15%, i.e. an exponential increase in both the base and tax rate. The revaluation mechanism, which is basically a tax law, comes into play precisely at this moment. It presupposes a capital gain tax of 5%, between the highest figure obtained from the comparison of market value and the referential one, minus the previous value of transaction through which the property was acquired.

This is the uniqueness of the current reform, because like never before it seeks to tax properties, both through the increase in property tax and the increase in cadastral value, and through the increase in cadastral entries. For an apartment in Durres and Vlora, the increase in the referential value is assumed to be 196%, while the apartment property tax will go up to 100% more. The taxation of commercial units or shops, which are more in demand in the Albanian market, will be doubled. Therefore, the referential values will also increase proportionally, aiming to double the value of apartments, and the property tax will go up to 0.2%.

Also, for the first time, revaluation is introduced in relation to agricultural land. At this point, there is also something to state. Until now, this cadastral item has never been considered in the revaluation mechanism. The basic reason has been a social and economic phenomenon, which was closely linked with public expropriations. While Albania is a developing country, the government has fostered many new opportunities to expand the road and transport network. These spaces have often been taken from private owners, and in accordance with the Constitution, expropriation requires fair compensation. Beyond the legal issues arisen from the interpretation of the term, fair instead of a just compensation, the state has set the compensation on the basis of a reference that has been very low.

In fact, this interpretation of compensation only on the basis of a referential value, made specifically by the state, has cost the class of owners a lot, both in terms of losses and claims before the Albanian courts. In fact, the Constitution stipulates that the state can provide fair compensation, but at the same time recognizes the right of owners to seek higher compensation values in subsequent courts. The fact of introducing for

the first time the revaluation of agricultural land, more than an interest in helping owners, on the part of the state, lies in the goal of filling the state coffers as quickly as possible, recognizing precisely the interest of owners to have the opportunity for the fairest compensation.

Table 2. Comparison of Property Taxation Before and After the 2023 Reform

Aspect	Before 2023	After 2023
Property tax rate	0.05%	Up to 0.2%
Cadastral reference values	Limited zones	Expanded zones (+ up to 196%)
Capital gains tax	15% (limited scope)	5% revaluation + expanded base
Inheritance taxation	Not taxable	Taxable above ALL 5 million
Agricultural land	Excluded from revaluation	Included in revaluation mechanism

1.5.2. The reform on business

The business reform itself has brought uncertainty and an unstable business climate. First of all, the uncertainty lies in the definitions of law, where for example the term "entity" has been used, aiming to define the subjects of law in this way, without specifying them. Also, in relation to frequent changes in the forms of business taxation, during the last ten years, simply for example the term small business has been used for those businesses that have a turnover of 5 million ALL, and for those that have 14 million ALL. Once they were excluded by having zero profit tax, in another instance they were included in the 5 percent and another time in the 15 percent. Also according to the reform, freelancers will be divided based on clientele. If they have a maximum of three or one client, they will be taxed as a freelancer or as an employee, and the income tax will either be flat rate or progressive. This variability in turnover thresholds has produced regulatory inconsistency, making it difficult for small businesses to anticipate their fiscal obligations over time.

Table 3. Instability of Small Business Classification and Tax Treatment in Albania

Period / Reform Phase	Turnover Threshold for "Small Business"	Profit Tax Rate	Legal and Economic Implications
Early transition period (1990s)	Not clearly defined	Minimal / ad hoc	Absence of a consolidated tax framework; high informality
Pre-2008 institutional consolidation attempts (late 1990s–2007)	Variable thresholds	Mixed regimes	Legal uncertainty and weak enforcement
Post-2008 tax reform (Law No. 9903/2008)	Defined but frequently revised	Flat and progressive elements	Increased compliance obligations; planning difficulties
Frequent amendments and threshold volatility (2010s)	ALL 5 million	0% / 5%	Frequent reclassification risk for micro-businesses
Pre-2023 reform adjustments (late 2010s–early 2020s)	ALL 14 million	15%	Expanded tax base; increased burden on small enterprises
Law No. 29/2023 and transitional rules	ALL 14 million (with temporary exemptions)	0% (until 2029 for certain categories)	Continued instability due to transitional and conditional provisions

The unclear climate comes due to radical changes in legislation and for a start-up the path to opening a business becomes very tough. There is no compatibility between the deadline for legal changes and the minimum five-year deadline for implementing a business plan. For example, the application of Article 58 of Law no. 29/2023 raises several issues. Based on this provision of the 2023 Albanian Tax Reform, banks must withhold tax at the source for interest paid to entities, with the exception of cases when these payments

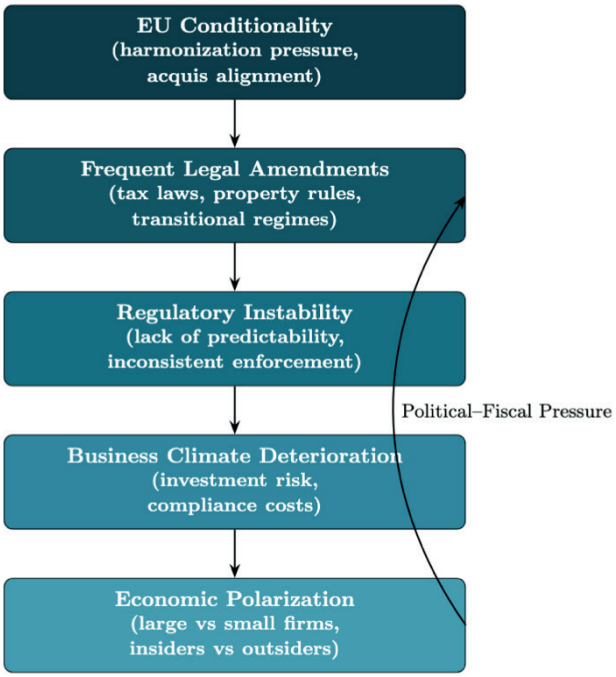
are made to entities exempt from profit tax or when they are paid to other financial institutions.

However, in practice, banks may find it extremely hard to determine whether the interest is paid to a legal entity excluded from profit tax, such as a non-profit organisation (NPO). Also, the provision excludes certain payments, such as interest paid to banks or non-banking financial institutions, from withholding tax. (Law no.29, 2023, Art. 58.3) In the meetings that the Albanian Association of Banks (AAB) had with the Albanian Ministry of Finance, it was underlined that only financial institutions licensed by the Albanian Financial Supervisory Authority (AFSA) and/or the Bank of Albania should be considered for this purpose. However, no clarifications have been made in this regard.

This climate brings uncertainty on one hand for anyone who would start a business, but even more so for investors, who have as a minimum criterion long terms of doing business while having guaranteed legal stability and fiscal framework. Also, although formally they are useless facts, in reality Albania, based on the IMF and WB reports, results to be one of the countries with the highest corruption rating. In other terms and practically, this fact means for foreign investors and for domestic businesses that beyond the costs they will have to undertake for the start and progress of business, they must *de facto* calculate as added value the black market payments to be made due to a political climate that does not favour investment, but encourages corruption.

2. DISCUSSION

Figure 3. Conceptual framework of legal instability and economic polarization.



The figure illustrates how EU conditionality and repeated legal amendments, particularly in taxation and property regulation, generate regulatory instability and deteriorate the business climate. These dynamics contribute to economic polarization between market actors and create a feedback loop that sustains legal instability in developing economies.

Regarding real estates and the double taxation that businesses and citizens will receive, it is worth paying attention to the rationale of these reforms. In essence, they resemble reforms, but in a way they legitimize unclear economic activities, and recycle income that does not come from official sources. Third, by

formalizing and taxing them, of course the state coffers are filled more. The question arises how far such a strategy will go, and how capable are commercial entities to cope with these situations. So even though the current real estate reform, hidden behind the revaluation mechanism, is a softer tax of 5 percent from the usual 15 percent, what is not visible is precisely the artificial increase in the tax base, which is the value of real estate, through the reference area.

In Albania, the current form of taxation, although declared to be progressive, is essentially and practically a hybrid form, since progressivity remains up to a certain threshold, after which it becomes a flat rate. The failure to use a legal and sustainable source of guarantee is the reason from time to time that the form of taxation is used as a political joke during electoral campaigns. The right has always proclaimed a flat rate, while the left has proclaimed progressive taxation. However, a characteristic problem of the transition reforms in Albania remains the lack of legal stability. The change of laws is frequent and the rationale for this change lies between the lack of experience, and often the justification of high corruption in the country..

Various transitional rules are, however, currently in force. Notably, for companies, solo entrepreneurs and self-employed individuals with gross income of up to ALL 14 million (approximately EURO 140,000) per year, a 0% income tax rate applies until 31 December 2029. (Law no.29, 2023, Art.69.1(dh)) This is the result of a decision by the Albanian Constitutional Court, which declared that the 0% tax rate could not be limited only to companies and other incorporated businesses, as originally stated in Law no. 29/2023, but ought to be extended to solo entrepreneurs and self-employed individuals; otherwise, the freedom of economic activity and the principle of proportionality will be violated. (Council of Ministers, 2024, Decision 52) Given this framework, the article aims to illustrate the Albanian tax reform's main elements from an international and EU perspective and evaluate them in light of Albania's EU candidate status. It might also be that the activity to which the income subject to withholding tax relates, combines different elements.

In the case of a mixed activity, it is not clear how a bank or another financial institution must separate interest income, which is subject to withholding tax at source, from other types of interest, for example, such as those deriving from currency foreign exchanges, which are not subject to any withholding tax at source. Another critical point relates to the various forms of "fees" paid by taxpayers, legal or natural persons, which under Albanian tax law are subject to withholding tax. In this regard, difficulties arise with the definition and delimitation of the term "fee". There might be several misunderstandings in relation to the distinction between the payment of "royalties", which are subject to withholding tax, and payments of invoices for the purchase of services or intangible assets, for which no tax must be withheld. (Law no.29, 2023, Art.3.21)

Under Law no. 29/2023, it is considered that the term "royalties" means the right to use a copyright or industrial/scientific patent for mass reproduction. On the other hand, the term "royalty" does not include the use of software for itself. Another critical point relates to the fact that withholding tax applies to income from technical services and royalties at the same rate, i.e. 15%. Under Albanian tax law, the two items of income must, however, be distinguished since royalties are subject to withholding tax while technical fees are not. Moreover, since the withholding tax also applies to purely domestic payment, in the case when software development companies are subject to a 5% rate of tax on their profits and in the case of licenses or fees for the rights to use this software, the purchasing entity will withhold a 15% withholding tax.

This will create a tax credit situation for software development companies, leading to refund claims and additional administrative burdens. In general, the administrative burden that the application of withholding tax provisions creates for taxpayers and tax authorities, can hardly be justified compared to the amount of income tax often involved. For all these reasons, in the authors' view, Article 58 of Law no. 29/2023 should be amended, making the withholding tax at source applicable only when payments are made to individuals and companies who are not tax-registered or when payments are made to non-resident individuals or business without a PE in Albania.

CONCLUSION

The main objective of this article is precisely the frequent variability of tax legislation, which influences the right to do business. Throughout the research, tax changes have been seen to have had an impact on two of the most important forms of business in Albania, that of companies and real estate, which should not be seen only in the narrow sense of investment, but rather of the maintenance and sustainability of property. This form has left business in a very strong climate of uncertainty regarding investments and long-term budget projects. Dividing the study into two different phases, between companies and real estates, regarding the first it can be stated that companies, not having a consolidated tax regime, suffer losses in resources and capital. Companies cannot build long-term investments for as long as tax laws change with a frequency of almost every two years.

Likewise, the laws, in conflict with the Constitution, have also aimed to violate it, such as the principle of retroactivity in the applicability of taxes, for the division of undistributed dividends and to a lesser extent the tax percentage. Also, the change in tax percentage and various categories of business is an argument that makes the implementation of tax law on businesses, very hard. An equally important aspect is the change in the threshold for classifying businesses, from small to medium and large businesses. One of the less clear aspects has been the use of fiscal cash registers, which were later replaced with software programs that moderated the billing method, if they did not combat evasion, and increased the costs for increasing personnel, who must register in real time every option of transfer into circulation.

Beyond the increased costs of businesses that a fiscal cash register, bound by the governmental Decision of Council of Ministers, were forced to buy very expensive ones. Years later, they were also forced to be negligent and buy new programs and increase costs. All these factors, trumpeted as avant-garde reforms and innovations, basically have not moved any more income related to business performance, and equally in income per capita of citizens. As a result, Albania is facing the most unexpected immigration of young people from the country. This is the most coherent indicator of the consequences the reforms produce. The National Registration Centre is not seeing an increase in the number of businesses, but rather a conversion from companies of individuals to self-employment, to reduce costs and have more individual profits.

Regarding the changes in cadastral values of properties, they are introduced at a time when the construction boom is at its peak and beyond the demands for housing and business premises. From a simple business logic, the increase in prices should be firstly justified by the high demand for housing, secondly by the increase in the high quality of construction, thirdly by the increase in GDP. In the case of Albania, apart from the slight change in construction quality, none of the arguments seem to be based on market logic. By making an exclusionary reasoning of the arguments for and against regarding the progress of this trend, the increase in constructions to justify illegal activities, is identified as the basic motive. The state's objective to increase the number of cadastral zones is somehow indicative of the trend for the increase of referential values in specific urban areas.

Durres and Vlora will witness an increase of values in areas where, before commencement of works, prices are going towards the value of a square meter equal to the annual salary of a teacher. On the other hand, the increase in these areas will not take place in specific territories, but precisely where there are existing apartments or activities, which means that changes in values will also affect those who bought years ago, at very low prices. Thus, the value of these apartments will also increase exponentially, but what is worse, their taxation, which as mentioned above, will be absorbed in the water bill. This will lead, in the simplest scenario, to the failure to afford these taxes, which will require moving away from the territories of very expensive areas and social distancing. Hence, in a way, the artificial increase in prices will lead to social distancing.

It has also been seen that the revaluation mechanism, introduced in an *ad hoc* law with a duration of, in the best cases, one year, has been used by Albanian governments, with a view of filling the coffers as soon as

possible. This mechanism was also introduced as a method to circulate capital as much as possible, through sales and purchases, since the 15% tax has always slowed down the process. In fact, in previous years it started with a 1% revaluation to reach 2 to 3% and in this case, it aims at a 5% rate, but on a doubled tax base. A coherent management strategy would move this mechanism, either by raising the transfer tax to 5%, or by always leaving revaluation as an alternative option, to absorb the property tax. However, in such specific case, this reform is likely to be unfeasible for a number of factors.

Firstly, because the revaluation tax has been increasing. Secondly, because the tax base itself, which would be realized from the price of property according to market value, is beyond any possibility of being met by purchasing power of the market. Thirdly, because if there is scope for action, it will be limited only to families with high income generated by corruption, since according to ISTAT values, trade union salaries in Albania amount to 500 Euro per month. In the best case scenario of this reform, the consequence will be social distancing and exclusion. In every country of the world, there are neighbourhoods that are more expensive as a result of property value, but the growth of these neighbourhoods is made by the quality of construction, spaces, green areas, tranquillity and quality of life.

In Albania, none of these factors have improved, therefore growth comes as an artifice, to have a narrow impact on a limited category of individuals and businesses, leading in a linear way towards social distancing. Basically, the reforms in Albania do not look to the future and to the clean climate of doing business by absorbing as much investment and labour force as possible. The rationale of reforms lies in the immediate filling of the coffers by legitimizing black market activities. The vulnerable democracy of a developing country has not yet paved the way for considering business a tool that develops the state by increasing income and improving the lives of citizens. As long as these do not happen, the reforms remain temporary, unacceptable and unenforceable.

REFERENCES

Constitutional Court. (2023). *Akt nr. 2, datë 7.7.2023* [Act No. 2, dated July 7, 2023].

Constitutional Court. (2023). *Akt nr. 7, datë 14.12.2023* [Act No. 7, dated December 14, 2023].

Constitutional Court. (2024). *Akt nr. 4, datë 27.11.2024* [Act No. 4, dated November 27, 2024].

Constitutional Court. (2024). *Vendimi nr. 52, datë 27.07.2024* [Decision No. 52, dated July 27, 2024].

Council of the European Union. (2009). *Council Directive 2009/133/EC of 19 October 2009 on the common system of taxation applicable to mergers, divisions, partial divisions, transfers of assets and exchanges of shares concerning companies of different Member States and to the transfer of the registered office of an SE or SCE between Member States (codified version).* Official Journal of the European Union. https://www.legislation.gov.uk/eudr/2009/133/adopted

Council of the European Union. (2016). *Council Directive (EU) 2016/1164 of 12 July 2016 laying down rules against tax avoidance practices that directly affect the functioning of the internal market.* Official Journal of the European Union. https://www.legislation.gov.uk/eudr/2016/1164/article/10

Fischer, B. J., & Schmitt, O. J. (2022). *A concise history of Albania*. TJ Books Limited.

INSTAT. (2021). *Income and living conditions in Albania 2020*. INSTAT. https://www.instat.gov.al/en/themes/social-condition/income-and-living-conditions-in-albania/publication/2021/income-and-living-conditions-in-albania-2020/

Italian Republic. (n.d.). *Article 53 of the Constitution of Italy*. https://www.senato.it/istituzione/la-costituzione/parte-i/titolo-iv/articolo-53

Republic of Albania. (1991). *Ligj nr. 7512, datë 10.08.1991, "Për sanksionimin dhe mbrojtjen e pronës private, të nismës së lirë, të veprimtarive private të pavarura dhe privatizimit"* [Law No. 7512 on the sanctioning and protection of private property, free initiative, independent private activities, and privatization]. Fletorja Zyrtare. https://qbz.gov.al/eli/ligj/1991/08/10/7512

Republic of Albania. (1994). *Ligj nr. 7850, datë 29.07.1994 "Kodi Civil i Republikës së Shqipërisë"* [Civil Code of the Republic of Albania]. https://qbz.gov.al/preview/f010097e-d6c8-402f-8f10-d9b60af94744

Republic of Albania. (2023). *Ligji nr. 29, datë 30.03.2023 "Për tatimin mbi të ardhurat"* [Law No. 29 on income tax]. Fletorja Zyrtare, 70. https://qbz.gov.al/eli/ligj/2023/03/30/29/e0b4e6c5-bf37-4102-a57c-fd51244a2d5f

Republic of Albania. (1991). *Ligji nr. 7501, datë 19.07.1991 "Për tokën"* [Law No. 7501 on land]. Fletorja Zyrtare. https://qbz.gov.al/eli/ligj/1991/07/19/7501

Republic of Albania. (1992). *Ligji nr. 7546, datë 14.07.1992 "Për administrimin e taksave dhe tatimeve në Republikën e Shqipërisë"* [Law No. 7546 on the administration of taxes and duties in the Republic of Albania].

Republic of Albania. (2007). *Ligji nr. 9723, datë 23.05.2007 "Për Qendrën Kombëtare të Regjistrimit"* [Law No. 9723 on the National Registration Center]. Fletorja Zyrtare. https://qbz.gov.al/eli/ligj/2007/05/03/9723

Republic of Albania. (2023). *Ligji nr. 29, datë 30.03.2023 "Për tatimin mbi të ardhurat" (i ndryshuar)* [Law No. 29 on income tax (amended)]. Fletorja Zyrtare.

Republic of Albania. (1992). *Ligji nr. 7652, datë 23.12.1992 "Për privatizimin e banesave shtetërore"* [Law No. 7652 on the privatization of state-owned housing]. Fletorja Zyrtare.

Republic of Albania. (1998). *Ligji nr. 8438, datë 28.12.1998 "Për tatimin mbi të ardhurat"* [Law No. 8438 on income tax]. https://www.tatime.gov.al/eng/c/5/78/92/income-tax

Republic of Albania. (2008). *Ligji nr. 9920, datë 19.05.2008 "Për procedurat tatimore në Republikën e Shqipërisë"*[Law No. 9920 on tax procedures in the Republic of Albania]. Fletorja Zyrtare. https://qbz.gov.al/preview/e6e95634-71f2-4d27-8dd1-6624f14396c3/cons/20240109

Ministry of Finance and Economy. (2023). *Udhëzim i përgjithshëm nr. 26, datë 08.09.2023 "Për tatimin mbi të ardhurat"* [General Instruction No. 26 on income tax]. Fletorja Zyrtare, 137. https://qbz.gov.al/eli/fz/2023/137/c168f9e3-96bb-4897-9050-5e798bb527d9

Politiko.al. (2025, July 28). *Increase in reference prices, new building tax obligations for 119 cadastral areas in the districts revealed*. https://politiko.al/english/e-tjera/rritja-e-cmimeve-te-references-zbardhen-detyrimet-e-reja-te-takses-se-nd-i536997

https://doi.org/10.71284/asc.2026135

DİJİTAL ÇAĞDA SAVUNMA VE GÜVENLİKTE YENİ MODEL VE KURUMLARA YÖNELİK BİR BAKIŞ

A PERSPECTIVE ON NEW MODELS AND INSTITUTIONS IN DEFENSE AND SECURITY IN THE DIGITAL AGE

Hakan Kantarcı[1]

Özet

Dijitalleşmenin ivme kazandığı günümüzde savunma ve güvenlik alanları, klasik yaklaşımlardan uzaklaşıp teknoloji / dijital odaklı yeni bir yapıya doğru evrilmektedir. Geleneksel güvenlik paradigması, artık sadece kara, deniz, hava ve uzay unsurlarını değil; aynı zamanda siber alanı da stratejik bir harekât ortamı olarak değerlendirmektedir. Bu gelişme, devletlerin ve uluslararası aktörlerin güvenlik politikalarında kapsamlı revizyonlar yapmasını zorunlu kılmaktadır. Mevcut kurumların yerini hızla; yeni güvenlik ekosisteminin temel unsurlarını oluşturan siber komutanlıklar, yapay zeka destekli operasyon merkezleri, veri analitiği tabanlı istihbarat birimleri ve kamu-özel sektör iş birlikleri almaktadır. Askeri ve ulusal alandaki (savunma ve güvenlik) teknolojik gelişmeler yeni karamlar, doktrinler, konseptler, harp silah araç ve gereçlerdeki değişim ve muharebe sahasının yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Bu dönüşümün ortasında, gelecekteki küresel güç dengesini belirleyecek stratejik bir kavram ön plana çıkmaktadır: çok alanlı üstünlük. Savaş alanında kara, hava ve denize; uzay, siber ve elektromanyetik spektrum alanları da eklenmiştir. Bunun sonucunda siber görünmez alanı, uzay stratejik alanı, yapay zeka kuvvet çarpanı, kuantum teknolojisi paradigma değişimini, elektromanyetik spektrum ise tartışmalı alanı oluşturmaktadır. Yeni modellerin hedefi, yalnızca askeri kapasitenin artırılması değil; ulusal güvenliğin tüm boyutlarıyla korunmasıdır. Bu çerçevede, kritik altyapıların siber saldırılara karşı güçlendirilmesi, dezenformasyonun önlenmesi, biyometrik güvenlik sistemlerinin geliştirilmesi ve insansız sistemlerin yaygınlaştırılması ön plana çıkmaktadır. NATO ve Avrupa Birliği gibi uluslararası / küresel örgütler de dijital tehditlere karşı ortak savunma stratejileri geliştirerek üye ülkelerin siber dayanıklılığını artırmayı amaçlamaktadır. Bu hızlı dönüşüm yalnızca teknik yeniliklerle sınırlı değildir. Hukuki düzenlemeler, etik ilkeler ve uluslararası normlar, dijital çağın güvenlik mimarisinin ayrılmaz bir parçasıdır. Yapay zeka tabanlı otonom sistemlerin karar süreçlerinde sorumluluk paylaşımı, kişisel verilerin korunması ve siber operasyonlarda uluslararası hukukun uygulanması gibi karmaşık konular, önümüzdeki dönemde güvenlik politikalarının sınırlarını belirleyecektir. Sonuç olarak, dijital çağda savunma ve güvenlik, teknolojik yeniliklerin yanında kurumsal adaptasyon, çok aktörlü iş birliği ve etik standartlarla şekillenen bütüncül bir yapıya dönüşmektedir. Ordular, güvenlik kurumları / örgütleri ve savunma sanayileri de bu yeni döneme göre yeniden teşkilatlanmakta, tertiplenmekte ve şekillenmektedir. Soğuk Savaş Döneminin doktrin, konsept, harp silah araç gereçleri ve kullanım şekilleri köklü değişikliklere gitmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital güvenlik, siber savunma, yapay zeka, hibrit savaş, kritik altyapı güvenliği.

[1]Dr.Öğr.Üyesi,15 Kasım Kıbrıs Üniversitesi, hakankantarci@hotmail.com.tr, https://orcid/org/.0000-0003-3659-2741

Abstract

In today's world, where digitalization is accelerating, the defense and security sectors are shifting away from traditional approaches and evolving into a new, technology/digital-oriented structure. The traditional security paradigm now considers not only land, sea, air, and space assets but also cyberspace as a strategic operational domain. This development necessitates comprehensive revisions in the security policies of states and international actors. Existing institutions are rapidly being replaced by elements that form the core of the new security ecosystem, such as cyber commands, AI-powered operation centers, data analytics-based intelligence units, and public-private sector collaborations. Technological developments in the military and national (defense and security) fields require the introduction of new concepts, doctrines, and operational ideas, as well as changes in weapons, equipment, and a reassessment of the battlespace. At the center of this transformation, a strategic concept that will shape the future global balance of power has come to the forefront: multi-domain superiority. In addition to land, air, and sea, the domains of space, cyber, and the electromagnetic spectrum have now been added to the battlefield. As a result, the cyber domain constitutes the invisible realm, space represents the strategic domain, artificial intelligence serves as a force multiplier, quantum technology drives a paradigm shift, and the electromagnetic spectrum forms the contested domain. The goal of the new models is not only to enhance military capacity but also to protect national security in all its dimensions. In this context, strengthening critical infrastructures against cyber-attacks, preventing disinformation, developing biometric security systems, and expanding the use of unmanned systems are coming to the forefront. International organizations like NATO and the European Union are also developing joint defense strategies against digital threats to increase the cyber resilience of member countries. This rapid transformation is not limited to technical innovations. Legal regulations, ethical principles, and international norms are integral parts of the digital age's security architecture. Complex issues such as shared responsibility in decision-making processes of AI-based autonomous systems, data privacy protection, and the application of international law in cyber operations will define the boundaries of security policies in the coming period. As a result, in the digital age, defense and security are transforming into a holistic structure shaped by technological innovations, institutional adaptation, multi-actor cooperation, and ethical standards. Armies, security organizations, and defense industries are reorganizing, structuring, and reshaping according to this new era. The doctrines, concepts, weapons, tools, and methods of warfare from the Cold War period are undergoing profound changes.

Keywords: Digital security, cyber defense, artificial intelligence, hybrid warfare, critical infrastructure security.

GİRİŞ

Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, devletlerin savunma ve güvenlik anlayışlarını köklü biçimde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm yalnızca askeri kapasite ve operasyonel yöntemlerde değil, aynı zamanda güvenlik kurumlarının yapısal ve işlevsel özelliklerinde de yeniden yapılanmayı zorunlu kılmaktadır (Nye, 2017, s. 50). Günümüzde bilgi, klasik güç unsurlarının ötesine geçerek stratejik bir değer kazanmış; siber saldırılar, bilgi manipülasyonu ve dijital etki operasyonları, geleneksel askeri tehditlerle eşdeğer bir risk kategorisine dönüşmüştür (Clarke ve Knake, 2010, s. 45).

Dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan yeni tehdit türleri, güvenliğin kapsamını genişletmiş ve fiziksel sınırların korunmasına dayalı yaklaşımların yetersiz kalmasına neden olmuştur. Yapay zekâ, büyük veri analitiği ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler, savunma alanında hem önemli fırsatlar sunmakta hem de yeni güvenlik açıkları üretmektedir (Brundage vd., 2018, s. 12). Bu durum, güvenlik stratejilerinin yalnızca askeri değil, aynı zamanda teknolojik ve bilişsel boyutları içerecek şekilde yeniden kurgulanmasını gerekli kılmaktadır.

Dijital çağda savunma anlayışı; kara, deniz ve hava unsurlarının ötesine geçerek siber alan, uzay ve elektromanyetik spektrumu da kapsayan çok boyutlu bir yapıya dönüşmüştür (NATO, 2023, s. 4). Bu genişleme, güvenlik tehditlerinin daha karmaşık, çok katmanlı ve belirsiz hale gelmesine yol açmıştır. Buna bağlı olarak, klasik savunma doktrinleri yerini daha esnek, adaptif ve teknoloji odaklı modellere bırakmaktadır.

Bu dönüşümün kavramsal odağında yer alan "**çok alanlı üstünlük yaklaşımı**", farklı operasyonel alanlarda eş zamanlı etki yaratma ve bu alanları entegre biçimde yönetme kapasitesini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, modern güvenlik ortamında yalnızca askeri başarıyı değil, aynı zamanda bilgi, algı ve teknoloji üstünlüğünü de belirleyici hale getirmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, dijital çağda savunma ve güvenlik alanında ortaya çıkan yeni model ve kurumsal yapılanmaları incelemek ve bu dönüşümün stratejik boyutlarını analiz etmektir. Bu bağlamda, çalışmada özellikle çok alanlı üstünlük yaklaşımı çerçevesinde siber güvenlik, yapay zekâ uygulamaları, hibrit tehditler ve uluslararası iş birliği mekanizmaları ele alınmakta; ayrıca Türkiye'nin bu dönüşüm içerisindeki konumu değerlendirilmektedir.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde dijitalleşmenin güvenlik üzerindeki etkileri giderek daha fazla incelenmektedir. Nye (2017, s. 50), bilgi çağında güç kavramının dönüşüm geçirdiğini ve dijital kapasitenin askeri güç kadar önemli hale geldiğini vurgulamaktadır. Bu çerçevede "bilgi egemenliği", modern güvenlik stratejilerinin merkezine yerleşmiştir.

Siber güvenlik alanında Clarke ve Knake (2010, s. 78), siber savaşın devletlerarası çatışmaların yeni bir boyutu olduğunu ortaya koymuştur. Singer ve Friedman (2014, s. 115) ise, bu tehditlerin yalnızca askeri değil, ekonomik ve toplumsal sistemleri de hedef aldığını belirtmektedir. Siber tehditlere karşı kurumların teknik kapasitesinin yanı sıra, hukuki, politik altyapılarının ve kurumsal reformlarının güçlendirilmesi gerektiği literatürde sıkça vurgulanmaktadır.

Yapay zekânın savunma alanındaki rolü üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojinin hem fırsatlar hem de riskler barındırdığını göstermektedir. Brundage vd. (2018, s. 22), yapay zekânın erken uyarı ve karar destek sistemlerinde önemli avantajlar sağladığını ancak, kötüye kullanım riskinin de yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, literatürde güvenlik kurumlarının dijital dönüşümü de kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Cavelty (2019), yapay zekâ tabanlı savunma sistemlerinin kötüye kullanım riski, etik ve operasyonel zorluklarını tartışarak, bu teknolojilerin entegrasyonunda şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerinin benimsenmesini önermektedir. Bu nedenle kurumların yapay zeka tabanlı sistemleri benimserken dikkatli bir denge gözetmesi gerekmektedir.

Hibrit savaş literatürü ise modern tehditlerin çok boyutlu yapısını açıklamaktadır. Hoffman (2017, s. 38), hibrit savaşın askeri, siber ve bilgi operasyonlarını birleştiren karmaşık bir yapı olduğunu belirtirken; Renz ve Smith (2016) bu tehditlere karşı çok katmanlı savunma stratejilerinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Türkiye özelinde ise Şahin ve Kara (2022), dijital güvenlik politikalarının modern savunma anlayışındaki önemine dikkat çekerek, ülkenin bölgesel ve küresel dinamiklerle uyumlu stratejiler geliştirmesi gerektiğini ifade etmektedir.

Dijital çağda tehditlerin devlet dışı aktörler tarafından da gerçekleştirilmesi, güvenlik literatürüne yeni boyutlar eklemiştir. Arquilla ve Ronfeldt (2001), ağ temelli savaş konseptini geliştirerek, devlet dışı aktörlerin teknolojiyi kullanarak gerçekleştirdiği asimetrik tehditlere dikkat çekmiştir. Bu da savunma modellerinin esnek, çok aktörlü ve hızlı adaptasyon yeteneğine sahip olması gerekliliğini ortaya koymuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Dijital çağ, bilgi temelli ağ yapılarının hâkim olduğu bir dönemi ifade etmektedir. Bu dönemde bilgi, yalnızca ekonomik değil aynı zamanda stratejik bir güç unsurudur (Castells, 2011, s. 45). Bu durum savunma ve güvenlik kavramlarının kapsamını genişleterek siber alanın korunmasını zorunlu hale getirmiştir (Nye, 2017).

Savunma modelleri, dijital çağın getirdiği değişimlere paralel olarak evrilmiştir. Geleneksel savunma stratejileri, askeri güç ve sınır koruması üzerine kuruluyken, yeni modeller bilgi tabanlı, çok katmanlı ve esnek yapılar şeklinde ortaya çıkmaktadır (Arquilla ve Ronfeldt, 2001). Bu yeni yaklaşım, siber tehditlere, bilgi operasyonlarına ve hibrit savaş taktiklerine karşı bütüncül savunmayı hedefler. Çok katmanlı savunma modeli, fiziksel, siber ve psikolojik unsurları kapsayarak, karmaşık tehdit ortamlarında etkinliği artırmayı amaçlar (Hoffman, 2017, s.41).

Siber tehditler, dijital çağın en belirgin güvenlik sorunları arasında yer alır. Bu tehditler arasında kötü amaçlı yazılımlar, fidye yazılım saldırıları, siber casusluk ve altyapı sabotajları bulunur (Clarke ve Knake, 2010, s.92). Siber güvenlik, bu tehditlere karşı ağların, sistemlerin ve verilerin korunması anlamına gelir ve teknik önlemlerin yanı sıra hukuki ve kurumsal yapıları da kapsar (Singer ve Friedman, 2014, s.88). Kurumsal olarak, siber güvenlik ajansları ve istihbarat birimleri, dijital güvenlik mimarisinin temel taşlarıdır.

Hibrit savaş kavramı ise, dijital çağın karmaşık güvenlik ortamını anlamak için kritik bir çerçeve sunar. Hibrit savaş, devletlerin geleneksel askeri güçlerini, siber operasyonları, ekonomik baskıları ve dezenformasyon kampanyalarını bir araya getirerek kullandığı çok boyutlu bir tehdit biçimidir (Renz ve Smith, 2016, s.14). Bu savaş biçimi, hızlı adaptasyon ve esnek savunma yapıları gerektirir. Dolayısıyla, kurumların dijital dönüşümü ve uluslararası işbirliği hibrit tehditlere karşı koymakta stratejik öneme sahiptir (Cavelty, 2019).

Savunma ve güvenlik kurumlarının dijital çağda dönüşümü, sadece teknolojik donanımın artırılmasıyla sınırlı kalmayıp, örgütsel kültür, yönetim yapıları ve politika geliştirme süreçlerinin de evrimini içerir (Şahin ve Kara, 2022). Dijital kurumlar, hem bilgi akışını hızlandırmalı hem de kriz yönetiminde proaktif rol oynamalıdır. Bu bağlamda, yeni nesil güvenlik kurumları, teknolojik yeniliklere hızlı adaptasyon ve esnek yapılarıyla dikkat çekmektedirler.

3. ÇOKLU ALAN ÜSTÜNLÜĞÜ

Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte savunma ve güvenlik anlayışı köklü bir dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel olarak kara, deniz ve hava boyutları üzerinden şekillenen askeri operasyonlar, günümüzde uzay, siber alan ve elektromanyetik spektrumun da dahil olduğu çok boyutlu bir yapıya evrilmiştir (Demir, 2021, s. 50–51). Bu dönüşüm, savaş alanının sınırlarını derinleştirmiş, genişletmiş ve güvenlik kavramını daha karmaşık hale getirmiştir.

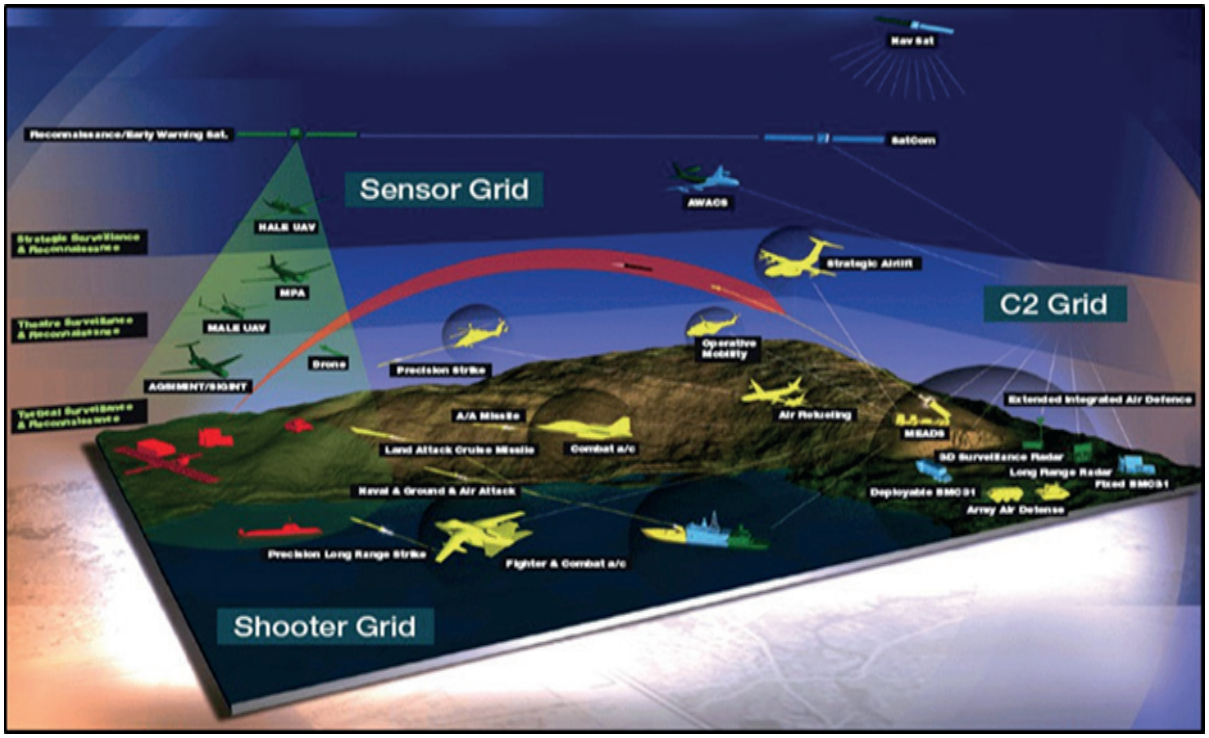
Şekil 1. Çoklu Alan Üstünlüğü



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Bu dönüşümün merkezinde yer alan "çoklu alan üstünlüğü" kavramı, farklı operasyonel alanlarda eş zamanlı hâkimiyet kurabilme kapasitesini ifade etmektedir. Bu yaklaşım; kara, deniz, hava, uzay, siber ve elektromanyetik spektrum alanlarının bütünleşik şekilde yönetilmesini gerektirir (NATO, 2023, s. 5). Bu çerçevede bilgi akışı, ağ yapıları üzerinden entegre edilmekte ve operasyonel etkinlik artırılmaktadır (Arquilla ve Ronfeldt, 2001).

Şekil 2. Değişen Muharebe Sahasını Sembolize Eden Bir Resim.



Kaynak: http://www.microwavejournal.com/legacy_assets/FigureImg/0610mwj_27_fig01.gif (Erişim Tarihi: 12.11.2025)

Modern güvenlik ortamında çatışmalar, artık yalnızca fiziksel cephelerle (savaş alanı ile) sınırlı değildir. Siber saldırılar, bilgi operasyonları ve elektronik harp faaliyetleri, savaşın doğasını değiştiren unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30). Bu bağlamda savaş ve barış arasındaki sınırlar giderek belirsizleşmekte, hibrit tehditler kalıcı bir güvenlik sorunu haline gelmektedir (Hoffman, 2017, s. 20–40). Bu durumu bir tabloda gösterirsek (Tablo 1.):

Tablo 1. Sınıflandırılmış Çoklu Savaş Alanı

Odak Alanı	**Komuta ve Kontrol Savaşı**					
MOD	**Geleneksel**			**Modern**		
Savaş Alanı	Kara	Deniz	Hava	Uzay	Siber	Elektromanyetik spektrum

Kaynak: (Ho, vd, 2022, s. 4)

Karada, denizde veya havada açıkça tanımlanmış cephelerle sınırlı geleneksel/konvansiyonel askeri çatışma anlayışları artık geçerliliğini yitirmiş olup, savaş ve barış arasındaki sınırların belirsizleştiği ve hibrit tehditlerin yeni normal haline geldiği kalıcı bir çatışma dönemine girilmiştir (Hoffman, 2017, s. 20–40; Renz ve Smith, 2016, s. 1–25). Taarruzlar yalnızca tanklar ve füzelerle değil, aynı zamanda siber uzaydaki veri paketleri, elektromanyetik spektrumdaki sinyallerin engellenmesi ve uzaydaki stratejik manevralarla da gerçekleştirilmektedir (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30; NATO, 2023, s. 2–6). Bu belirsiz, kompleks, etkili ve son derece dinamik ortamda, güvenliği sağlamak için tek bir alanda üstünlük artık yeterli gelmemektedir (Lonsdale, 2022, s. 10–35).

Bu dönüşümün merkezinde, gelecekteki küresel güç dengesini belirleyecek stratejik bir kavram olan çok alanlı üstünlük ön plana çıkmaktadır. Bu kavram, kara, deniz, hava, siber, uzay ve elektromanyetik spektrum olmak üzere altı alanda askeri harekâtları sorunsuz bir şekilde senkronize etme ve bunlara hükmetme becerisini tanımlar (NATO, 2023, s.5; Lonsdale, 2022, s. 10–35). Bilgi ve etki potansiyelinin, bir düşmanın her yerde, her zaman, her şartta ve her türlü yöntemle vurulabileceği ve kendi kuvvetlerinin korunacağı şekilde ağ üzerinden aktarılmasını gerektirmektedir (Arquilla ve Ronfeldt, 2001, s. 1–25). Bu bütünleşik yaklaşım, tüm alanlara yayılan ve geleneksel zafiyetlerden yararlanan tehditlere karşı tek tutarlı yanıttır (Kello, 2017, s. 80–110). Bu bağlamda, bu üstünlük yalnızca yapısal düzenlemelerle elde edilmemekte, aynı zamanda savaşın doğasını kökten değiştiren teknolojik/dijital bir devrimle ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır (Castells, 2011, s. 3–30).

Yapay zekâ, karar alma süreçlerini günlerden milisaniyelere indirerek, belirleyici bir güç çarpanı haline getirmekte; kuantum teknolojisi, günümüzün şifrelemelerini kırmayı ve güvenli iletişimi mümkün kılmakta; uzayın kontrolü her modern askeri operasyonun bel kemiği haline gelmekte, siber alan görünmez ama belirleyici bir savaş alanına dönüşmektedir (Brundage vd., 2018, s. 1–15; Scharre, 2018, s. 100–130; Nye, 2017, s. 50).

Bu yaklaşım, orduların sadece arazide değil; veri, sinyal, uydu, yazılım ve algı yönetimi gibi alanlarda da üstünlük kurmasını gerektirmektedir. Bu gelişme, devletlerin ve uluslararası aktörlerin güvenlik politikalarında kapsamlı revizyonlar yapmasını zorunlu kılmaktadır (Cavelty, 2019, s. 20–45; European Commission, 2022, s. 5–12). Mevcut kurumların yerini hızla; yeni güvenlik ekosisteminin temel unsurlarını oluşturan siber komutanlıklar, yapay zekâ destekli operasyon merkezleri, veri analitiği tabanlı istihbarat birimleri ve kamu-özel sektör iş birlikleri almaktadır (Singer ve Friedman, 2014, s. 10–40; Şahin ve Kara, 2022, s. 115–125).

Çoklu Alan Üstünlüğüne yönelik yeni kavram ve alanlar Şekil 3.'te gösterilmiştir:

Şekil 3. Yeni Kavram ve Alanlar



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Siber uzay artık yalnızca bir destek alanı değil, zaferlerin ve yenilgilerin çatışmaların sonucunu belirleyebildiği tam teşekküllü bir harekât alanı olarak görünmez bir savaş alanına dönüşmüştür (Nye, 2017, s. 50; NATO, 2023, s. 2–6). Düşman ağlarına sızma, onları bozma veya yok etme becerisi ile kendi sistemlerini koruma yeteneği, stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30; Singer ve Friedman, 2014, s. 10–40). Siber tehditlerin asimetrik doğası, hem devlet hem de devlet dışı aktörlerin (örneğin terör örgütleri ve diğer güvenlik aktörleri) nispeten sınırlı kaynaklarla önemli hasarlar verebilmesine olanak tanımaktadır (Arquilla ve Ronfeldt, 2001, s. 1–25; Kello, 2017, s. 80–110). Tek bir başarılı siber saldırı, askeri ve kamuya ait kritik altyapıyı çökertebilir, iletişim sistemlerini aksatabilir ve hassas bilgileri tehlikeye atabilir (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30; European Commission, 2022, s. 5–12).

Siber saldırıların yüksek hızı ve karmaşıklığı, gerçek zamanlı müdahale edebilen otomatik savunma ve güvenlik sistemlerini zorunlu kılmaktadır (Brundage vd., 2018, s. 1–15; Cavelty, 2019, s. 20–45). Siber alanın bileşenleri Şekil 4.'te gösterilmiştir. Siber alan, gelişen teknolojiye paralel olarak evrilmeye devam edecek; kapsamı, etkisi ve stratejik önemi giderek artacaktır (Castells, 2011, s. 3–30; Lonsdale, 2022, s. 10–35).

Şekil 4. Siber Alanın Bileşenleri.



Kaynak: Çiftçi, 2017

Uzay, modern askeri operasyonlar için vazgeçilmez hale geldiğinden, uydu sistemleri neredeyse tüm askeri faaliyetlerin omurgasını oluşturan stratejik bir alan haline gelmiştir (Lonsdale, 2022, s. 10–35; NATO, 2023, ss.2–6). Güvenli uzun mesafeli iletişim, hassas navigasyon ve zaman senkronizasyonunun yanı sıra kapsamlı keşif ve gözetleme yetenekleri sağlamaktadır (Kello, 2017, s. 80–110). Uzay tabanlı sistemlere olan bağımlılık, yörüngeyi kritik bir güvenlik açığı haline getirmiş ve bu alanın korunmasını ulusal güvenlik açısından öncelikli kılmıştır (Nye, 2017, s. 50).

Küresel güçlerin uydu karşıtı silahlar geliştirmesi, uzayın kullanımında stratejik bir dönüşüme işaret etmektedir (Lonsdale, 2022, s. 10–35). Bu bağlamda kinetik ve kinetik olmayan karşı tedbirler önem kazanmakta; sinyal bozma, elektronik karıştırma ve uydu sistemlerine yönelik siber saldırılar dahil olmak üzere uzayda elektronik savaş faaliyetleri yaygınlaşmaktadır (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30; NATO, 2023, s. 2–6). Ticari uzay faaliyetlerinin artması, sivil ve askeri kullanım arasındaki sınırların belirsizleşmesine neden olarak güvenlik ortamını daha karmaşık hale getirmektedir (Cavelty, 2019, s. 20–45).

Yapay zekâ, tüm askeri alanlarda ve harekâtlarda önemli bir kuvvet çarpanı olarak öne çıkmaktadır (Brundage vd., 2018, s. 1–15; Scharre, 2018, s. 100–130). Yapay zekâ destekli hedefleme sistemleri; sensör verilerini, uydu görüntülerini ve muharebe sahası istihbaratını gerçek zamanlı olarak birleştirerek birden fazla tehdidi eş zamanlı olarak takip edebilmekte ve bunlara müdahale edebilmektedir (Singer ve Friedman, 2014, s.

10–40). Bu durum, tehditlerin önceliklendirilmesini kolaylaştırırken kaynakların daha etkin kullanılmasını ve yan hasarın azaltılmasını sağlamaktadır (Brundage vd., 2018, s. 1–15).

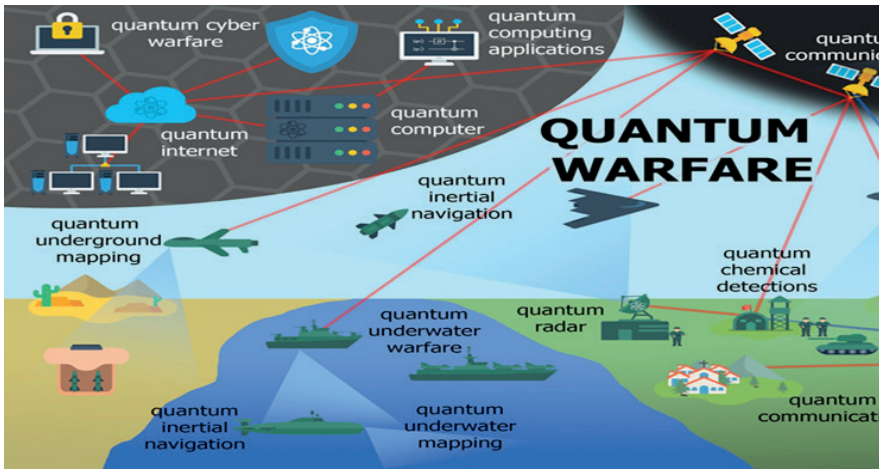
Yapay zekâ sistemleri, insan analistlerin saatler veya günler sürebilecek analizlerini milisaniyeler içinde gerçekleştirebilmektedir (Scharre, 2018, s. 100–130). Bu hız, özellikle gecikmelerin kritik sonuçlar doğurabileceği yüksek yoğunluklu muharebe ortamlarında belirleyici bir avantaj sağlamaktadır (Nye, 2017, s. 50). Otomatik hedefleme sistemleri, tehdit değerlendirmelerini sürekli güncelleyerek çok sayıda hedefi eş zamanlı olarak izleyebilmektedir (Singer ve Friedman, 2014, s. 10–40).

Yapay zekânın ölümcül otonom silah sistemlerine entegrasyonu, insan kontrolü ve sorumluluğu açısından önemli etik ve hukuki tartışmaları gündeme getirmektedir (Scharre, 2018, s. 100–130; Cavelty, 2019, s. 20–45). Verimlilik ile etik sınırlamalar arasında denge kurmak halen önemli bir zorluk olmakla birlikte, yapay zekâ algoritmalarının düşman hareketlerini öngörebilmesi, önleyici stratejiler geliştirilmesine de imkân tanımaktadır (Brundage vd., 2018, s. 1–15).

Kuantum teknolojisi, üç temel alanda devrim yaratma potansiyeline sahip bir paradigma değişimini temsil etmektedir: kuantum sensörleri, kuantum hesaplama ve kuantum iletişimi (Lonsdale, 2022, ss. 10–35). Bu teknolojiler, mevcut askeri ve ulusal güvenlik dengelerini köklü biçimde değiştirme potansiyeline sahiptir (Kello, 2017, s. 80–110). Kuantum sensörleri, gelişmiş tespit ve navigasyon yetenekleri sunarken; kuantum bilgisayarlar mevcut şifreleme sistemlerini aşabilecek kapasiteye sahiptir (Nye, 2017, s. 50). Kuantum iletişimi ise fizik yasalarına dayalı güvenli veri iletimi sağlayarak iletişim güvenliğinde yeni bir dönem başlatmaktadır (Castells, 2011, s. 3–30).

Kuantum üstünlüğü yarışı, Soğuk Savaş dönemindeki nükleer rekabete benzer bir stratejik rekabet ortamı yaratmakta olup, bu alanda geri kalan ülkeler açısından ciddi güvenlik riskleri doğurmaktadır (Lonsdale, 2022, s. 10–35). Bu nedenle kuantuma dirençli sistemlerin geliştirilmesi, yalnızca savunma değil aynı zamanda taarruz yetenekleri açısından da kritik bir zorunluluk haline gelmiştir (Kello, 2017, s. 80–110). Kuantum harbini temsil eden harekât ortamı Şekil 5.'te gösterilmiştir.

Şekil 5. Farklı Kuantum Sistemler Kullanan Bir Kuantum Savaş Alanı



Kaynak: https://arxiv.org/pdf/2103.12548v1.pdf

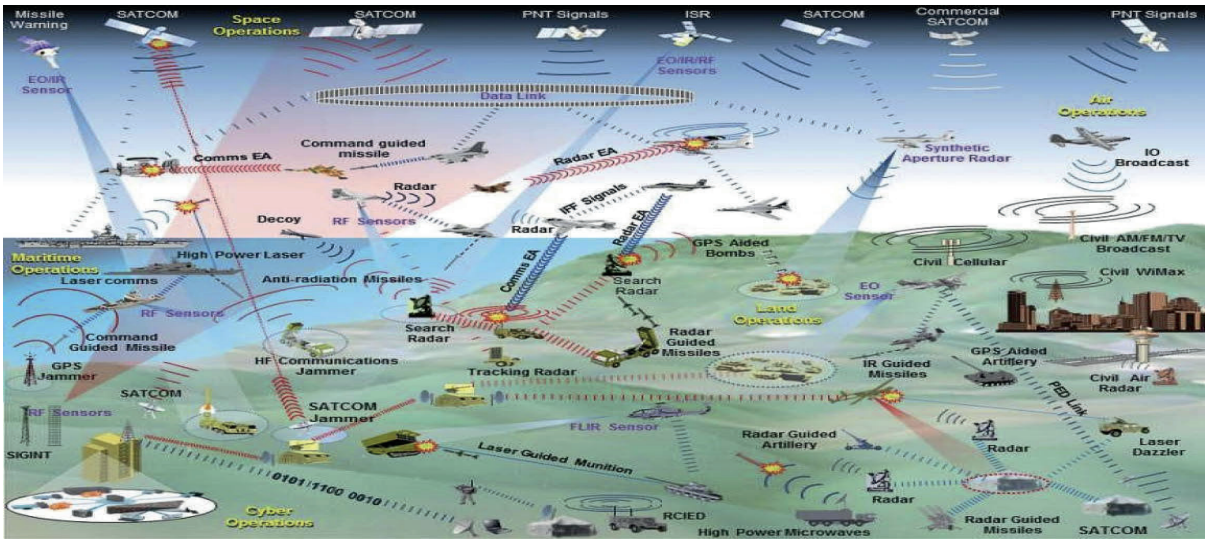
Elektromanyetik spektrum, modern iletişim, navigasyon ve sensör sistemlerinin temelini oluşturan kritik ve tartışmalı bir harekât alanıdır (NATO, 2023, s. 2–6; Lonsdale, 2022, s. 10–35). Belirli frekans aralıklarını kontrol etme veya engelleme yeteneği, düşman operasyonlarını sekteye uğratabilirken, aynı zamanda kendi kabiliyetlerini önemli ölçüde artırabilmektedir (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30). Artan sivil ve askeri kullanım, giderek daha yoğun ve karmaşık bir elektromanyetik ortama yol açmaktadır (Kello, 2017, s. 80–110). Modern elektronik harp üç temel alanı kapsamaktadır: düşman sinyallerini tespit etmeye yönelik

elektronik destek, parazite karşı elektronik koruma ve düşman sistemlerini bozma veya yok etmeye yönelik elektronik taarruz faaliyetleri (Singer ve Friedman, 2014, s. 10–40).

Yapay zekânın bu alana entegrasyonu, değişen tehditlere gerçek zamanlı olarak uyum sağlayabilen, otonom ve uyarlanabilir elektronik harp sistemlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Brundage vd., 2018, s. 1–15; Scharre, 2018, s. 100–130). Bu durum, elektromanyetik spektrumun yalnızca teknik bir alan olmaktan çıkıp, aynı zamanda yapay zekâ destekli dinamik bir savaş alanına dönüşmesine yol açmaktadır (Nye, 2017, s. 50).

Şekil 6. Tüm operasyonel alanları etkileyen elektromanyetik savaşta elektromanyetik spektrumun nasıl kullanıldığı ve engellendiğine dair örnekler

Şekil 6. Tüm operasyonel alanları etkileyen elektromanyetik savaşta elektromanyetik spektrumun nasıl kullanıldığı ve engellendiğine dair örnekler



Kaynak: https://www.nato.int/en/what-we-do/deterrence-and-defence/electromagneticwarfare

Elektromanyetik spektrum; radar sistemlerine yönelik saldırılardan, iletişim ve navigasyon sistemlerinin engellenmesine, elektronik maskeleme, sondaj, keşif ve istihbarat toplamaya kadar elektronik harp (EH) faaliyetlerinin hava, kara, deniz, uzay ve siber alanlarda uygulanabildiği kritik bir harekât ortamıdır (NATO, 2023, s. 2–6; Lonsdale, 2022, s. 10–35).

Elektronik harp, siber savaş ve siber operasyon kavramlarıyla karıştırılmamalıdır. Genel olarak siber operasyonlar, istihbarat elde etmek veya hedef sistemlerin yeteneklerini zayıflatmak amacıyla bilgisayar ağlarına sızma ve bu sistemleri bozma faaliyetlerini içerirken (Clarke ve Knake, 2010, s. 1–30; Singer ve Friedman, 2014, s. 10–40), elektronik harp elektromanyetik spektruma erişimi kesmek için yönlendirilmiş enerji kullanarak sinyalleri engellemeyi veya işlevsiz hale getirmeyi amaçlar (Kello, 2017, s. 80–110). Bu bağlamda elektronik harp, bilgisayar altyapısına dolaylı olarak müdahale ederek siber alandaki operasyonları da etkileyebilmektedir (Cavelty, 2019, s. 20–45). Bu nedenle modern güvenlik ortamında elektronik harp ve siber operasyonlar birbirini tamamlayan ancak yöntem ve etki alanı açısından farklılaşan iki ayrı mücadele alanı olarak değerlendirilmektedir (Brundage vd., 2018, s. 1–15).

Sonuç olarak çoklu alan üstünlüğü, yalnızca teknolojik bir dönüşüm değil; aynı zamanda askeri doktrinlerin, organizasyon yapılarının ve stratejik planlamanın yeniden şekillenmesini gerektiren kapsamlı bir değişimi ifade etmektedir.

4. DİJİTAL ÇAĞDA SAVUNMA STRATEJİLERİ VE MODELLERİ

Dijital çağın ortaya çıkardığı yeni tehdit ortamı, devletlerin savunma stratejilerini yeniden yapılandırmasını zorunlu hale getirmiştir. Geleneksel savunma yaklaşımlarının yerini, bilgi üstünlüğüne dayalı, esnek ve teknoloji odaklı modeller almaktadır. Geleneksel savunma modelleri, askeri kapasite ve fiziksel güç üstünlüğüne dayalıyken, bilgi üstünlüğünün sağlanması ve dijital ağların kontrolü günümüzde stratejik öncelik kazanmıştır (Nye, 2017, s.47). Bu bağlamda, ağ merkezli savaş (Network-Centric Warfare) modelleri, karar alma süreçlerinde hız ve doğruluğu artırarak etkinlik sağlamaktadır. Böylece modern ordular, gerçek zamanlı istihbarat ve iletişim imkanlarıyla sahadaki durumlara daha hızlı tepki verebilmektedir. Tablo 2.'de Dijital çağda savunma ve güvenlikte yeni kurumlar ve modeller gösterilmiştir.

Tablo 2. Siber Güvenlik ve Savunma Kurumları

Savunma Model	Görev Alanı	Örnek Uygulama Alanı
Siber Kuvvet Komutanlıkları	Ulusal siber savunma, Siber saldırı tespit ve önleme	ABD Cyber Command, TSK Siber Savunma Komutanlığı
Yapay Zekâ Odaklı Komuta Merkezleri	Operasyonel karar desteği tehdit analizi	NATO AI Strategy uygulamaları
Veri Analitiği Tabanlı İstihbarat Birimleri	Büyük veri analizi, siber istihbarat toplama	Five Eyes İstihbarat Ağı
Kamu-Özel Sektör Ortaklıkları	Kritik altyapı güvenliği, teknoloji geliştirme iş birlikleri	Microsoft – ABD Savaş Bakanlığı projeleri
Uluslararası Siber Savunma Merkezleri	Kolektif savunma, eğitim ve tatbikat koordinasyonu	NATO CCDCOE (Estonya)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Ağ merkezli savaş (Network-Centric Warfare) yaklaşımı, modern savunma stratejilerinin temelini oluşturmaktadır. Bu model, bilgi paylaşımını hızlandırarak karar alma süreçlerini optimize etmekte ve operasyonel etkinliği artırmaktadır (Brundage vd., 2018, s. 20). Bu sayede askeri birimler, gerçek zamanlı veri ile daha hızlı ve doğru müdahalelerde bulunabilmektedir.

Proaktif ve önleyici savunma yaklaşımları, dijital çağda önemini artırmıştır. Pasif savunma anlayışının yerini tehdit algılama ve engelleme sistemleri almaktadır. Bu strateji, siber saldırılar gibi ani ve karmaşık tehditlere karşı hızlı müdahale kabiliyeti gerektirir (Brundage vd., 2018). Ayrıca, siber savunma, elektronik harp ve bilgi operasyonlarının entegre edilmesiyle çok boyutlu savunma konseptleri geliştirilmiştir (NATO, 2023, s.2-6). Bu modellerde, tehditler sadece askeri alanda değil, ekonomik, sosyal ve politik alanlarda da ele alınmaktadır(Kello, 2017, s.80-110).

Adaptif ve esnek savunma modelleri ise belirsiz ve dinamik tehdit ortamlarında kritik rol oynar. Dijital çağda, tehditlerin doğası hızla değişmekte ve yeni teknolojiler sürekli ortaya çıkmaktadır (Lonsdale, 2022, s. 10–35). Bu nedenle, savunma stratejileri esnek olmalı, yeni risklere ve teknolojilere hızlı uyum sağlayabilmelidir. Model bazlı simülasyonlar ve yapay zekâ destekli analizler, bu adaptasyon sürecini desteklemektedir (Nye, 2017).

Kriz yönetimi süreçleri dijital teknolojilerle entegre edilerek geliştirilmektedir. Dijitalleşme sayesinde karar vericiler, gerçek zamanlı veri akışı ve ileri analitik araçlarla durum farkındalığını artırmakta ve daha etkili müdahaleler gerçekleştirmektedir (Singer ve Friedman, 2014, s. 10–40). Bu durum, savunmanın sadece askeri değil, aynı zamanda sivil ve politik alanlarla da koordineli yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (European Commission, 2022, s.5–12). Tablo 3.'de Dijital Çağda Savunma Modelleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Dijital Çağda Savunma Modellerinin Karşılaştırılması

Savunma Modeli	Temel Özellikler	Avantajlar	Zorluklar	Kaynaklar
Geleneksel Savunma	Fiziksel güç, sınır koruma, askeri kapasite	Net sorumluk, Anlaşılır yapı	Dijital tehditlere karşı zayıf	Nye (2017) Hoffman (2017)
Ağ Merkezli Savunma	Bilgi üstünlüğü, gerçek zamanlı iletişim	Hızlı karar alma, koordinasyon	Teknoloji altyapı gereksinimi yüksek	Nye (2017) Brundage vd. (2018)
Çok katmanlı savunma	Fiziksel, siber, Psikolojik katmanlar	Çok boyutlu Koruma, esneklik	Koordinasyon ve kaynak yönetimi zor	Hoffman (2017) Renz ve Smith (2010)
Siber Güvenlik Odak Merkezli	Kritik altyapı koruma, siber saldırı önleme	Proaktif tehdit algılama, kapsamlı koruma	Hukuki ve politik karmaşa	Clarke ve Knake (2010); Şahin ve Kara (2022)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Sonuç olarak dijital çağda savunma stratejileri, çok boyutlu tehditleri kapsayan, esnek ve teknoloji ile entegre yapılar olarak gelişmektedir.

5. SİBER GÜVENLİK VE SAVUNMA KURUMLARI

Siber güvenlik, modern savunma politikalarının merkezinde yer alan temel unsurlardan biridir. Dijital altyapıların kritik önemi, bu alanın ulusal güvenlik stratejilerinde öncelikli hale gelmesine neden olmuştur (Clarke ve Knake, 2010, s.75). Bu kapsamda, ulusal ve uluslararası düzeyde kurulan siber güvenlik kurumları, tehdit algılama, önleme ve müdahale fonksiyonlarıyla donatılmıştır. Örneğin, ABD'de CISA (Cybersecurity and Infrastructure Security Agency), Avrupa'da ENISA (European Union Agency for Cybersecurity) gibi yapılar, bilgi paylaşımı ve koordinasyonun kilit aktörleridir (Şahin ve Kara, 2022, s.118-125).

Ulusal ve uluslararası düzeyde kurulan siber güvenlik kurumları, tehdit algılama, önleme ve müdahale süreçlerinde aktif rol oynamaktadır. Bu kurumlar, bilgi paylaşımı ve koordinasyon mekanizmaları aracılığıyla güvenlik kapasitesini artırmaktadır (Şahin ve Kara, 2022, s.118).

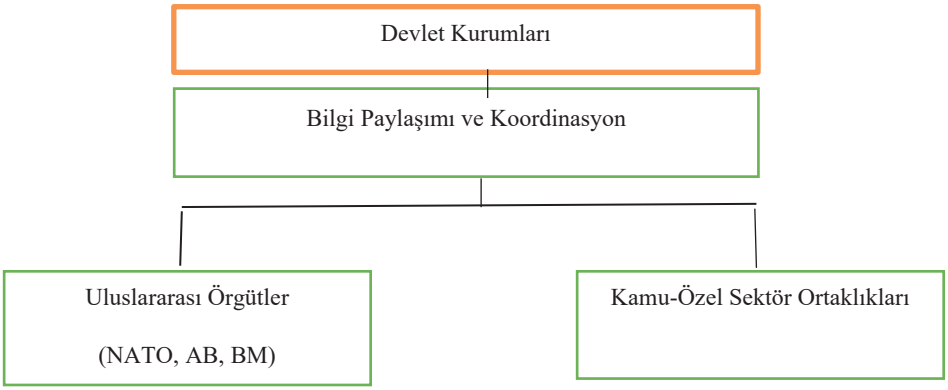
Siber güvenlik yalnızca teknik bir mesele olmayıp, aynı zamanda hukuki ve politik boyutları da içermektedir. Uluslararası işbirliği, siber tehditlerin sınır aşan yapısı nedeniyle kritik önem taşımaktadır (Singer ve Friedman, 2014, s. 140).

Kamu-özel sektör işbirliği de bu alanda önemli bir yer tutmaktadır. Kritik altyapıların büyük kısmının özel sektör tarafından yönetilmesi, devlet ve özel sektör arasında koordinasyonu zorunlu kılmaktadır. Kamu-özel sektör işbirliği, dijital savunmanın bir diğer kritik boyutudur. Özel sektör, kritik altyapıların büyük bir bölümünü yönetirken, devlet ile koordineli çalışmak zorundadır. Bu nedenle, kamu ve özel sektör arasında güvenlik standartlarının belirlenmesi, bilgi alışverişinin sağlanması ve ortak tatbikatların düzenlenmesi giderek yaygınlaşmaktadır (Clarke ve Knake, 2010, s.162-175).

Bu kurumların etkinliği, sadece teknik kapasiteyle değil, aynı zamanda hukuki ve politik altyapılarla desteklenmektedir. Siber suçlar ve saldırılar ulusal sınırları aşabildiği için uluslararası işbirliği ve norm geliştirme gerekmektedir (Singer ve Friedman, 2014, s.132-150). Bu doğrultuda, ulusal yasaların uyumu, bilgi paylaşımı protokolleri ve ortak savunma mekanizmaları geliştirilmiştir.

Ayrıca, siber tehditlere karşı proaktif savunma için yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı sistemler geliştirilmektedir. Bu teknolojiler, saldırı örüntülerini tespit ederek erken uyarı sağlamakta ve müdahale süreçlerini hızlandırmaktadır (Cavelty, 2019, s.88-104). Böylece, savunma kurumlarının dijital çağdaki görev ve sorumlulukları, giderek teknik uzmanlık ve yenilikçilik gerektiren bir yapıya dönüşmektedir.

Şekil 7. Dijital Güvenlik Kurumları ve İşbirliği Ağları



Kaynak: Renz ve Smith (2016) ; Şahin ve Kara 2022)

6. YAPAY ZEKA VE OTOMASYONUN GÜVENLİKTEKİ YERİ

Yapay zeka (YZ), modern savunma sistemlerinde hem saldırı hem de savunma alanında devrim yaratmaktadır. YZ destekli erken uyarı sistemleri, büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları, karmaşık tehditleri hızlıca analiz edebilmekte ve savunma kararlarını desteklemektedir (Brundage vd., 2018). Böylece insan karar vericilerin sınırları aşılmış, daha hızlı ve isabetli müdahaleler mümkün olmaktadır.

Yapay zekâ destekli sistemler, karar alma süreçlerini hızlandırarak operasyonel etkinliği artırmaktadır. Bununla birlikte otonom silah sistemlerinin kullanımı, etik ve hukuki tartışmaları da beraberinde getirmektedir (Cavelty, 2019, s. 102). Bu sistemlerin savaş hukukuna uygunluğu, yanlış hedefleme ve sorumluluk mekanizmaları, günümüz güvenlik literatüründe yoğun şekilde tartışılmaktadır (Cavelty, 2019, s.102-118). Uluslararası normların gelişimi, bu teknolojilerin kullanımında kritik bir rol oynamaktadır.

YZ'nin istihbarat toplama ve analiz süreçlerindeki rolü giderek artmaktadır. Büyük veri kaynaklarından anlamlı bilgi çıkarımı, tehditlerin önceden tespiti ve operasyonel planlamada kullanılmaktadır. Bu, savunma kurumlarının istihbarat kapasitelerini önemli ölçüde güçlendirmektedir (Singer ve Friedman, 2014, s.95-120). Ancak, YZ'nin kötüye kullanımı da önemli bir risk olarak görülmektedir. Siber saldırılar için otomatikleştirilmiş zararlı yazılımlar, dezenformasyon kampanyaları için yapay içerik üretimi gibi tehditler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, YZ teknolojilerinin savunma alanında etik ve güvenli kullanımı için kapsamlı politikalar ve regülasyonlar geliştirilmesi gerekmektedir (Brundage vd., 2018, s.35-50).

7. HİBRİT TEHDİTLER VE ÇOK KATMANLI SAVUNMA YAKLAŞIMLARI

Hibrit savaş, modern güvenlik ortamının en karmaşık tehdit biçimlerinden biridir. Bu yaklaşım, askeri, siber ve bilgi operasyonlarının eş zamanlı kullanımını içermektedir (Hoffman, 2017, s. 35). Çok katmanlı savunma modelleri, bu tehditlere karşı geliştirilen en etkili yaklaşımlardan biridir. Bu model, farklı güvenlik katmanlarının entegrasyonu ile genel savunma kapasitesini artırmaktadır (Renz ve Smith, 2016, s. 20).

Bu modelde, savunmanın her katmanı, diğer katmanları tamamlayarak genel güvenliği artırır. Ayrıca, hibrit tehditlere karşı kurumlar arası koordinasyonun önemi büyüktür. Askeri, siber, istihbarat ve diplomasi kurumları arasında etkili bilgi paylaşımı ve ortak operasyonlar gereklidir. Bu işbirliği, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde güvenlik ağlarının güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Hoffman, 2017, s.60-75).

Çok katmanlı savunmanın etkinliği, sürekli eğitim, tatbikat ve teknolojik yeniliklerin entegrasyonu ile sağlanır. Değişen tehdit ortamına hızlı adapte olabilen kurumlar, hibrit savaş karşısında daha dirençli hale gelir. Bu nedenle dijital dönüşüm ve inovasyon, savunma kapasitesinin temel bileşenlerindendir. Bu süreçte

kurumlar arası koordinasyon ve uluslararası işbirliği kritik öneme sahiptir.

8. ULUSLARARASI İŞBİRLİĞİ VE DİJİTAL GÜVENLİK KURUMLARI

Dijital çağda tehditler sınır tanımadığından, uluslararası işbirliği kritik önemdedir. Dijital tehditlerin sınır aşan doğası, uluslararası işbirliğini zorunlu hale getirmiştir. NATO ve Avrupa Birliği gibi kuruluşlar, ortak güvenlik stratejileri geliştirerek siber dayanıklılığı artırmayı hedeflemektedir (Renz ve Smith, 2016, s. 50).

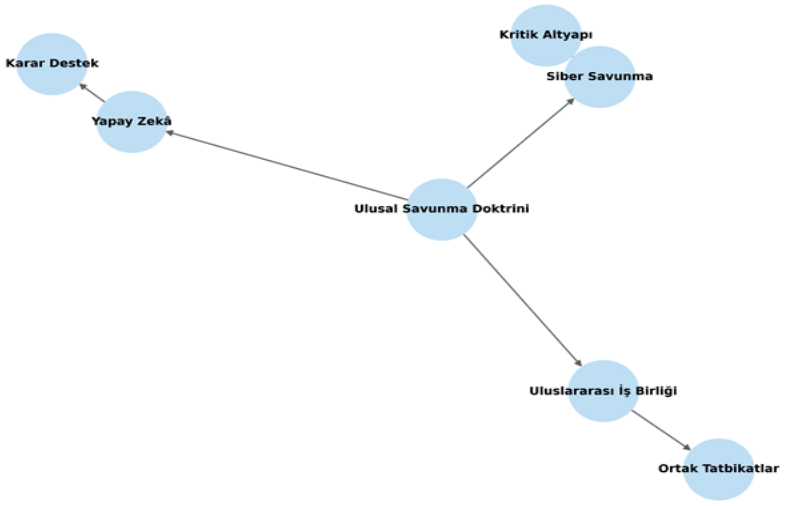
Dijital çağda tehditler sınır tanımadığı için uluslararası işbirliği savunmanın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. NATO, Avrupa Birliği ve Birleşmiş Milletler gibi uluslararası kuruluşlar, dijital güvenlik alanında standartlar belirlemekte ve üye ülkeler arasında işbirliğini teşvik etmektedir (Renz ve Smith, 2016, s.45-60). Bu işbirliği, bilgi paylaşımı, ortak tatbikatlar ve siber olaylara hızlı müdahale mekanizmalarını içermektedir.

Uluslararası hukuk ve norm geliştirme süreçleri, siber uzayda istikrarın sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Ancak bu süreç, devletlerarası çıkar farklılıkları nedeniyle zorluklar içermektedir (Clarke ve Knake, 2010, s.210-225). Normların oluşturulması, siber saldırıların caydırılmasında ve uluslararası krizlerin önlenmesinde önemli rol oynar.

Bölgesel işbirlikleri de dijital güvenlikte etkinliği artırmaktadır. Özellikle bölgeler arası tehditlerin farklılaştığı durumlarda, komşu ülkeler arasındaki koordinasyon güvenlik mimarisini güçlendirir. Türkiye'nin de içinde yer aldığı birçok bölgesel platform, bu tür işbirliği mekanizmalarına örnek teşkil etmektedir (Şahin ve Kara, 2022, s.125-130).

Uluslararası işbirliği kapsamında kamu-özel sektör ortaklıkları da teşvik edilmektedir. Uluslararası teknoloji şirketleri ve güvenlik kurumları arasındaki ortaklıklar, dijital altyapıların korunmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Bu yapılar, bilgi akışının hızlanması ve tehditlere karşı koordinasyonun güçlendirilmesi açısından önemlidir (Bkz. Şekil 8. ve Şekil 9.).

Şekil 8. Dijital Güvenlik Ekosistemi Bileşenleri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 9. Dijital Güvenli Ekosistemi Bileşenleri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

10. TÜRKİYE VE DÜNYADA DİJİTAL GÜVENLİK POLİTİKALARI

Türkiye, dijital güvenlik politikalarını küresel gelişmelerle uyumlu şekilde geliştirmektedir. Ulusal stratejiler, siber savunma kapasitesinin artırılması ve kritik altyapıların korunmasına odaklanmaktadır (Şahin ve Kara, 2022).

Bölgesel tehditler ve jeopolitik konum, Türkiye'nin güvenlik politikalarında belirleyici rol oynamaktadır. Bu doğrultuda uluslararası işbirlikleri, yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesi öncelik kazanmıştır.

Türkiye'nin bölgesel dinamikler ve tehdit ortamı, dijital güvenlik politikalarını belirlemede önemli bir etkendir. Özellikle Orta Doğu, Doğu Akdeniz ve Kafkasya gibi jeopolitik olarak hassas bölgelerde, siber saldırıların artması, Türkiye'yi savunma ve güvenlik kurumlarını hızlı dijital dönüşüme zorlamaktadır (Şahin ve Kara, 2022, s.120-126).

Dünya genelinde ise, ABD, Çin, Rusya ve AB ülkeleri dijital güvenlik politikalarını farklı yaklaşımlarla şekillendirmektedir. ABD'nin agresif siber savunma ve saldırı stratejileri, Çin'in kapsamlı dijital altyapı kontrolü ve Rusya'nın hibrit savaş taktikleri bu alanda öne çıkan örneklerdir (Kello, 2017, s.85-110). Türkiye, bu farklı yaklaşımları analiz ederek, kendi stratejik çıkarları doğrultusunda politikalarını geliştirmektedir.

Türkiye'nin uluslararası güvenlik işbirliklerine entegrasyonu, dijital savunmada etkinlik ve dayanıklılığı artırmaktadır. NATO ve diğer uluslararası platformlardaki işbirliği, bilgi paylaşımı ve ortak tatbikatlar, Türkiye'nin dijital tehditlere karşı hazırlığını güçlendirmektedir. Ancak, teknolojik altyapı, insan kaynağı ve politika geliştirme süreçlerinde sürekli iyileştirmeler gerekmektedir. Bu bağlamda, yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesi, siber güvenlik eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve kamu-özel sektör işbirliğinin artırılması, Türkiye'nin dijital savunma kapasitesini güçlendirecek temel unsurlar arasında yer almaktadır.

SONUÇ

Dijital çağ, savunma ve güvenlik alanlarında yalnızca teknolojik bir değişimi değil, aynı zamanda kapsamlı bir paradigma dönüşümünü beraberinde getirmiştir. Bu dönüşüm, güvenlik kavramının yeniden tanımlanmasına neden olurken, devletlerin stratejik önceliklerini, kurumsal yapılarını ve operasyonel yaklaşımlarını da derinden etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler, dijitalleşmenin savunma ve güvenlik alanında çok boyutlu bir dönüşüm yarattığını ve bu dönüşümün yalnızca askeri kapasiteyle sınırlı kalmayıp; teknolojik, kurumsal ve bilişsel unsurları da kapsadığını ortaya koymaktadır. Özellikle siber güvenlik, yapay zekâ destekli sistemler, büyük veri analitiği ve otonom teknolojiler, modern savunma mimarisinin temel bileşenleri haline gelmiştir.

Hibrit tehditlerin artması ve savaş alanının genişlemesi, savunma stratejilerinin çok katmanlı ve entegre bir yapıda kurgulanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, kurumlar arası koordinasyon, uluslararası iş birliği ve kamu-özel sektör ortaklıkları, güvenlik kapasitesinin artırılmasında kritik rol oynamaktadır.

Çalışmanın bulguları, dijital çağda güvenliğin sağlanabilmesi için yalnızca teknik kapasitenin artırılmasının yeterli olmadığını; aynı zamanda etik ilkeler, hukuki düzenlemeler ve stratejik vizyonun da bu sürecin ayrılmaz parçaları olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, savunma politikalarının bütüncül ve sürdürülebilir bir perspektifle ele alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak, dijital çağın güvenlik ortamı, klasik yaklaşımların ötesinde çok boyutlu ve dinamik bir yapı sergilemektedir. Bu çerçevede, çok alanlı üstünlük yaklaşımı, kara, deniz, hava, siber, uzay ve elektromanyetik spektrum alanlarını bütünleşik biçimde ele alarak modern savunma stratejilerinin temel paradigması olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte güvenlik alanında başarı, bu alanlar arasındaki entegrasyonu sağlayabilen, hızlı adaptasyon gösterebilen ve teknolojik gelişmeleri etkin biçimde kullanabilen aktörlerin elinde olacaktır. Devletlerin ve küresel aktörlerin, bu karmaşık ve dinamik tehdit ortamında etkili olabilmesi için esnek, çok katmanlı ve teknolojiyle entegre savunma modelleri geliştirmesi zorunludur. Bu süreç, etik değerlere ve hukuki normlara bağlı kalınarak yürütülmeli, yenilikçi teknolojilerin getirdiği riskler proaktif biçimde yönetilmelidir.

KAYNAKÇA

Arquilla, J., ve Ronfeldt, D. (2001). Networks and netwars: The future of terror, crime, and militancy. RAND Corporation.https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1382.html

Buchanan, B. (2020). The hacker and the state: Cyber attacks and the new normal of geopolitics. Harvard University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctv1dwq0xq

Brundage, M., Avin, S., Clark, J., Toner, H., Eckersley, P., Garfinkel, B., ve Amodei, D. (2018). The malicious use of artificial intelligence: Forecasting, prevention, and mitigation. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.07228

Castells, M. (2011). The rise of the network society: The information age: Economy, society, and culture (Vol. 1). John Wiley ve Sons. https://doi.org/10.1002/9781444319514

Cavelty, M. D. (2019). Cybersecurity and threat politics: US efforts to secure the information age. Routledge.

https://doi.org/10.4324/9781315544250

Clarke, R. A., ve Knake, R. K. (2010). Cyber war: The next threat to national security and what to do about it. Harper Collins. https://www.harpercollins.com/products/cyber-war-richard-a-clarke

Çiftçi, H. (2017). Her Yönüyle Siber Savaş, İkinci Basım, Ankara: TÜBİTAK Yayınları, 2017.

Demir, E. (2021). Jedi Kılıçını Gerçek Kılmak: Muharebe Sahasında Lazer Silah Sistemleri, Harpte Yeni Kavramlar Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hukukundaki Yansımalar, MSÜ Kara Harp Enstitüsü, İstanbul: Merkez Basım ve Yayımevi.

Demir, E. (2021). *Harpte yeni kavramlar: Operatif sanat, teknoloji ve harp hukuku*. MSÜ Yayınları.

European Commission. (2022). EU Cybersecurity Strategy for the Digital Decade. Publications Office of the European Union. https://digital-strategy.ec.europa.eu, https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/eu-cybersecurity-strategy

ENISA. (2021). *ENISA threat landscape 2021*.https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2021

Farrell, H., ve Newman, A. L. (2019). Weaponized interdependence. *International Security, 44*(1), 42–79. https://doi.org/10.1162/isec_a_00351

Floridi, L. (2014). *The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199606726.001.0001

Freedman,L.(2017). *The future of war: A history*. PublicAffairs. https://www.publicaffairsbooks.com/titles/lawrence-freedman/the-future-of-war/9781610393058/

Gartzke, E. (2013). The myth of cyberwar. *International Security, 38*(2), 41–73. https://doi.org/10.1162/ISEC_a_00136

Healey, J. (Ed.). (2013). *A fierce domain: Conflict in cyberspace, 1986–2012*. Cyber Conflict Studies Association. https://www.csis.org/analysis/fierce-domain-conflict-cyberspace

Ho, E.; Rajagopalan, A.; Skvortsov, A.; Arulampalam, S. ve Piraveenan, M. (2022). Game Theory in Defence Applications: A Review. Basel: Sensors 2022, 22, 1032. https://doi.org/10.3390/s22031032

Hoffman, F. G. (2017). *Conflict in the 21st century: The rise of hybrid wars*. Potomac Books.

Kello, L. (2017). *The virtual weapon and international order*. Yale University Press. https://doi.org/10.12987/yale/9780300211757.001.0001

Kissinger, H., Schmidt, E., ve Huttenlocher, D. (2021). *The age of AI: And our human future*. Little, Brown.https://arxiv.org/pdf/2103.12548v1.pdf, (Erişim Tarihi: 12.11.2025)http://www.microwavejournal.com/legacy_assets/FigureImg/0610mwj_27_fig01.gif (Erişim Tarihi: 12.11.2025).

https://www.nato.int/en/what-we-do/deterrence-and-defence/electromagnetic-warfare (Erişim Tarihi: 14.11.2025).

Lewis, J. A. (2020). *Cybersecurity and cyberwar: What everyone needs to know* (Updated ed.). Oxford University

Press.https://doi.org/10.1093/wentk/9780190911065.001.0001

Libicki, M. C. (2009). *Cyber deterrence and cyberwar*. RAND Corporation. https://doi.org/10.7249/MG877

Lindsay, J. R. (2015). The impact of China on cybersecurity. *International Security, 39*(3), 7–47. https://doi.org/10.1162/ISEC_a_00182

Lonsdale, D. J. (2022). *The nature of war in the information age*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003261162

NATO. (2023). *NATO's approach to cyberspace*.https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_78170.htm

Nye, J. S. (2017). Deterrence and dissuasion in cyberspace. *International Security, 41*(3), 44–71. https://doi.org/10.1162/ISEC_a_00266

Renz, B., ve Smith, H. (2016). *Understanding hybrid warfare*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315738482.

Rid, T. (2020). *Active measures: The secret history of disinformation and political warfare*. Farrar, Straus and Giroux.

Scharre, P. (2018). *Army of none: Autonomous weapons and the future of war*. W. W. Norton.

Singer, P. W., ve Friedman, A. (2014). *Cybersecurity and cyberwar: What everyone needs to know*. Oxford University Press.https://doi.org/10.1093/wentk/9780199918096.001.0001

Stone, J. (2013). *Cyber war will not take place*. Oxford University Press.

Şahin, M., ve Kara, O. (2022). Türkiye'nin dijital güvenlik stratejileri: Bölgesel ve küresel perspektifler. *Uluslararası Güvenlik ve Savunma Dergisi, 8*(2), 112–130.

Valeriano, B., ve Maness, R. (2015). *Cyber war versus cyber realities*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199394845.001.0001

https://doi.org/10.71284/asc.2026136

EDUCATION AS A GUARANTEE OF NON-REPETITION IN POST-COMMUNIST ALBANIA: A TRANSITIONAL JUSTICE PERSPECTIVE

Gelanda Shkurtaj[1]

Abstract

The post-communist countries undergoing a hard political transition, among others demanded for mechanisms to bring the reconciliation with the past. The regime's collapse posed the implementation of transitional justice' means. Unfortunately, Albania's experience was not enthusiastic. This reality was/ is challenged by the dilemma how to interfere, as far as the social discrepancies continues, while history is being forgotten. The scope delves into the educations' role on transitional justice, where other legal mechanisms are failed. It proposes education as a perpetual recover for the social repair functionality. A students' survey reveals a wandering weak understanding of the past, in absence, or misinterpretation of the history. The means of education can make understandable the past, by leaving apart the political influence, which controls the use of other means. It aims to reawaken a wide awareness on a new stable tool, for telling the truth. The theoretical framework through a local historical narrative, intertwined with the globalist discourse on transitional justice, highlights the importance of education as a pillar for the preservation of memory. It enhances its serving role as a bridge between the past and the future, namely the healing of wounds and the resolution of conflicts inside and out the states.

Keywords: Education, students' perception, communist crimes, transitional justice, reconciliation.

[1]Assoc. Prof. Dr., Faculty of Law, Epoka University, gshkurtaj@epoka.edu.al, https://orcid.org/0000-0002-8706-9208

INTRODUCTION

The communist regime in Albania was established in a particular historical context. The Second World War found a mainly rural country, without culture, governance, and extreme poverty (Xhaferri, 2024). With the end of the war, the People's Republic of Albania was proclaimed, and beyond the political denomination, the core of politics was the form of totalitarian imposition. The Constitution was established in support of this state political philosophy, enshrining the system of leadership with only one political party; the death penalty for political crimes (agitation and propaganda/removal from state borders); the closure of churches and mosques (Bezati, 2019), as well as suppression of private property by returning all property to the sole owner, the Albanian state.

This situation came to be unchanged, until the fall of the Berlin Wall, a fact that shocked all totalitarian communist systems built in Eastern Europe (Brown, 2015). It is worth reflecting that the change of regime in Albania did not come as an internal exigency. Based on this premise, the momentum after the fall of the dictatorship should have been more focused on telling to the rest of the country, the crimes, tortures and all the suffering, that the politically persecuted have undergone during the totalitarian regime (Mëhilli, 2021). Unfortunately, for reasons to be mentioned below, transitional justice didn't work (Hansen, 2023).

Faced with extreme conditions of poverty and political pressure, lack of information, and a terrible circle of espionage, Albanians were unable to fight communism themselves. Only, when the communism fell in the early 1990s in all countries of the socialist camp, the path to Albania's liberation from dictatorship get opened. According to data from the Institute for the Integration of Former Politically Persecuted Persons, a total of 42,772 individuals, including their families and relatives, were either shot, imprisoned, or dead in prisons, or were persecuted in camps (IIPP Statistics, n.d.). Justice considers the sanctions, as an integral part of its philosophy. If the opposite behavior is installed, so the culture of non-impunity (Biberaj, 1999, p. 56), the principles of transitional justice risk being stifled and distrusted, as a means of putting social repair in the society (Subotić, 2013). In a way, the Albanian experience teaches us that, after thirty years, the persecutors were neither recognized, nor punished. The persecuted received no moral reward, and no forgiveness. Meanwhile, life goes on and the problems of society continue, therefore keeping the risk that knowing and disapprove the past, has already lost the hope.

This research investigates Albanian university students' knowledge, perceptions, and attitudes toward the communist period (1945-1991) and transitional justice, addressing a gap in understanding young Albanians' engagement with this historical legacy. A cross-sectional survey of 230 Epoka University students, conducted in April 2025 via Kobo Toolbox, assessed historical awareness, knowledge sources, and views on the regime's political system, elections, freedoms and dissident repression. These results highlight awareness alongside knowledge gaps, urging enhanced curricula to foster critical engagement with Albania's communist past and transitional justice from below. The experiences of other countries in transition, as well as articles and researches, have focused the strategy of transitional justice functionality, mainly on legal mechanisms. This article changes this path by arguing that the most sustainable and efficient element should be the education. The literature has proven that legal mechanisms are vulnerable as long as they are controlled by politics, while education is less likely to be controlled. Telling the truth, through education, could be enabled by actors and factors outside of policymaking, even when the politics tries to influence it.

The survey was used to understand to what extent young people know the past and what is their attitude towards it. As will be seen from the data analysis, young generations know something about the past, but the learning comes from their families. This is a concerning fact, because families continue to be ideologically divided, and in exactly the same way, they influence the young. In fact, from the survey is given the impression that, they neither fear the past, nor feel a spiritual distancing, and even less sensitivity towards the class of the politically persecuted. In Albania, the fact will be mentioned further, that the victims and

their families no longer want to know the names of the persecutors. What they need is a "forgiveness for the crimes committed", which they have not yet received, and even worse, the odds do not show a tendency to do so.

In this way, through reconciliation, which can come through education, an investment will be made to create a culture of responsibility and of justice, in both perspectives, as law and morality (Frasheri, 2011). Given these data, the emphasis on the role of education in this research constitutes innovation on two perspectives. First, to consider its significance for transitional justice, indispensable and not a last ranked tool. Education in essence should be awareness, and awareness is understanding, and understanding creates the appropriate terrain for the "hands-free" learning of history and truth. A well-cultured and educated society with a sense of justice has the ability to understand the past and the future through the lens of cooperation and reconciliation, without being politically influenced.

In the second perspective, education should be seen as the only and last resort, for those realities where all other transitional justice mechanisms have lost their role. This approach should also influence the global discourse regarding transitional justice mechanisms, perhaps by placing education in priority in relation to other means. The global literature gives to education not that relevant role, compared to other pillars on which transitional justice discourse, rest on. In a repeated experience of the installation of totalitarian regimes, the untold history will lead to other forms of cultural slavery. At that point, there will be no turning back.

The purpose aims to reflect and understand the educations' role, as the strongest argument for preventing non-repetition. With a more specific emphasise the dominant role of education is to be used as a favourable tool for reconciliation. This comes with understanding and dialogue, by admitting mistakes and extending a hand (De Brito et al., 2004). When people realize the truth, they are no longer neither communist, nor democrats, but they simply remain just human beings.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Transitional Justice on the Global Discourse

According to the theory of Priscilla Hayner (Hayner, 2010), transitional justice is identified with the implementation of a number of mechanisms such as commissions of truth, judicial investigations, rehabilitation of victims and institutional reforms. She argues that truth and transparent approach to the past constitute key elements for the functioning of a stable democracy (Hayner, 2006). Of such elements, to date the Albanian process has included the legal rehabilitation of ex political convicts; late and partial financial compensations and, after many years, opening of the State Security files; as well as symbolic actions for the recognition of victims' sufferings. Based on this situation, as sustained by Greiff, the politicized processes of transitional justice have not so far produced a transformational effect in relation to the involvement of formerly persecuted and compensation of the denied social justice (Greiff, 2012).

From the entirety of mechanisms used, sociologists of law deem that transitional justice had no effects in those countries, where the main instruments applied were new laws and added institutional reforms. The reason is clear, as far as in the post-communist countries, these instruments were guided by the state policy, which intention's philosophy did not involve the truth and the punishment of the past. This key temporal and historical moment determined two important consequences that made transitional justice, hard to get implemented: the retention of positive memory of the communist past; indifference towards the history of politically persecuted persons (Knabe, et al., 2023). Added arguments should be considered the ordeals of political instability, classification of files as state secrets, infiltration of former security members into new governing bodies, criminality and corruption (Bufi, 2016). No persecutor was convicted, as their punishment never occurred due to the principle of *nulla poena sine lege* (Institute, n.d.).

The files were manipulated and compensations had a partial positive impact, but what never happened, was the separation from the past: the moral punishment of crimes and the duty for a public apology to the

politically persecuted, never took place (Abdurrahmani, 2015). Further, attention will be drawn to this particular context, which, focused on formal mechanisms and favoured by the lack of a universal model, has created a non-functional model where cultural and educational dimensions have been neglected (Teitel, 2000). The historical context of the installation of communism, followed by the particular context of the communism fall in the early '90-es, which were both directly connected with people's consciousness, were determinant factors that conditioned the lack of will of the transitional justice to reach final stages. As a consequence, today the dictators are resurrected, at least morally (Tarifa, 2008).

1.2. The case of Albania

Albania's paradigm, may influence the discourse on the transitional justice in a different approach. It constitutes the testimony of the consequences that the failure of legal means and negligence of education, can bring, because of the political interference. Despite that, the case of Albania could be also seen, as a turning point of this trend, which deems education as a last resort, for knowing of the truth. In the firs perspective, considering that the transitional justice implementation meant the process of recognizing, investigating, punishing, and repairing for the crimes committed during a period of massive human rights violations, this process should have continued in these pillars: criminal prosecution of the perpetrators (Appel, 2005); compensation for the victims; institutional reform of those institutions involved, to prevent recurrence in the future; truth commissions, to shed light on history and determine what happened; the process of reconciliation by introducing school, curricula, radio and television, and open discussions.

From all of these aspects, Albania's experience was focused only on compensation for the persecuted, which until today is ongoing, and reforming new laws, which until five years ago, the files were classified state secret. The first law, which supported the politically persecuted, was signed by the former Prime Minister of the old dictatorial regime in September 1991 (Law no.7514, 1991). According to it, political prisoners were publicly pardoned, and their political charges were declared legally non-existent. In terms of material compensation, the law recognized the years of imprisonment or internment as seniority valid for pension and charged the executive committees with the obligation to provide housing in the place where they were settled before the sentence or internment.

The files classified as state secrets went through an ordeal of closure and transfer for almost three decades. Speculations speak of their manipulation, but even if this fact is not true, one truth remains undeniable: why were they not opened immediately after in 90s, but the law that recognized the right to open files became effective, almost five years ago. It has never been clarified why the files on communist crimes, the notorious persecutors and collaborators of security services, instead of being made public in the early days of democracy, were classified as "state secrets" and placed under the lock and key of the National Information Services.

What the experience of the last 25 years teaches us is that such initiatives for lustration laws or "files" laws have always been political, without any apparent interest in establishing justice. More than the opening or non-opening of files, Albania has a major issue with the way it conceives justice, and the way it charges political institutions to proceed on it. The justice is mostly used to target opponents, either through elimination or blackmail (Lame, 2020), mor than a strategy to seek the truth and punish the past. Regarding the restructuring the history of the past, for instance the so called" Truth Commissions" (Sadurski, 2003), there were constituted some draft-proposals, which hardly involved any methodological approach to the method of collection, the crafting methodology on how to prevent non publication of private information, etc. In summary, Albania's problem with the past and even with the present, is the law enforcement and implementation, not the making or drafting new laws (Backer, 2003).

Regarding the second perspective, the role of history through education, as will be seen in the following survey, is fundamental. Therefore, and in parallel, it demands to not remove the focus, on the possibility that the history could be manipulated, and used to deform the truth. The reason stands over the politicization

of history, and here again the case of Albania, teaches a lot. This trend has moved in parallel with two contradictory attitudes. The former regime, already infiltrated in the new democratic institutions of the country, never touched the transitional justice discourse, and did not take any initiative for the recognition of the crimes of the past (Elezi, 2017). So, it left a historical gap and forgotten memory that undoubtedly, in the opposite direction, was filled by the exponents of the former communist regime, in telling another history which went in their favour.

For authors such as Thoms and Ron (Thoms et al., 2010) transitional justice aims to prevent the recidivism of crimes of the past and build public trust in democratic institutions (Thoms & Ron, 2007). In the same direction, but with an even more specific line, the dominant role of education is to use it as the most favourable tool for reconciliation. This comes with understanding and dialogue, by admitting mistakes and extending a hand (Brito, 2001).

The role of education, as a scholastic mean for telling the truth, somehow comes at a cross road. The education should be apolitical, as far as it can keep a determinant role on the transitional justice. Otherwise, it risks to be used as a mean of deforming the history. So, education yes, but controlled to be out of the range of political or personal influences. This reflection derives again from the Albanian experience. It showed a deviation from telling the truth, through negligence or disinformation, and the time gap of three decades has led to the non-discussion of abuses, the normalization of injustices, and the denial of the experience of victims (Greiff, 2012). Considering its main verbal nature, it can be performed out of classrooms, or schools, becoming effective through a normal communication. In this path it may constitute a simple mean of storytelling, that doesn't seek costs and political investments (Mendelski, 2018). The experience shows that the history of the past is politicized, and the consequences have produced distrust and disagreement to have a unique unified school program. Said in poor terms, history is still kept deformed, and in the best of cases, the crimes of communism and atrocities against the persecuted class, are remained not said.

1.3. Education vs Transitional Justice. A comparative experience

The results of the present survey introduce to some reflections. First of all, the students know the history, by having as a primary source, their families. Also, the teaching of history, takes place in the phase of pre-universities. So far, age also remains an argument to be considered, as the lessons over the past, comes at a vulnerable time, where the capability to analyse and the possibility to get manipulated, are proportional (Frasheri, 2011). In a following chain process, the education should be out of the politics' reach, otherwise it will influence the transitional processes as well. Also, another reflection arises regarding the institutions that will say the historical truth. So, could it be done outside the curricula and school programs, and if so, who will be the actors? Does civil society come into play? This fact is stated because in the case of Albania, the preparation and agreement of a school program is strongly conditioned by the political factor. Hence, it couldn't be neglected, indeed it should be emphasised the role and the involvement of politically neutral institutions, such as ad hoc commissions or NGO-s, which most probably will say the truth and communicate in an objective terrain.

Although transitional justice has been accepted as a universal concept, in fact, the ways of its implementation vary from country to country (Gready & Robins, 2020). What remains common is that it operates in all those countries that have gone through the trauma of internal or external conflicts. The means of justice depend on the nature of the conflicts, the social divisions, and the types of traumas that have been suffered (McAuliffe, 2013). Thus, South Africa has used the model of reconciliation through truth, and this model focused on listening to victims and creating a national narrative regarding the crimes of Apartheid (Hayner, 2010). The model proposed in South Africa aimed at listening to the victims, in order to create a national narrative, seeking to convert this approach into a bridge of reconciliation. In fact, it worked because it touched the sensitive side of people, and in this path, the young people in particular, understood the injustices committed and began to distance themselves morally from the crimes of Apartheid. The truth commissions

aimed and achieved a "moral" justice, thus a public pardon, which in Albania has not yet been obtained (Mihai, 2010). The most optimal way to function was considered to include the results of the commission in history curricula that addressed the issue of Apartheid, in parallel with museums of memory and the training of teachers to know how to convey historical truth without noise and political influences (Grodsky, 2015).

Chile, in contrast to the South African experience, had a different strategy of transitional justice. It used the model of critical memory, using education as a confrontation with the past dictatorship. The goal of critical memory was precisely to use the educational process as a recognition by using memory as a critical aspect of the narrative of what had happened. When the Pinochet dictatorship ended, through the Retting and Valech commissions, Chile was faced with addressing the crimes of disappearances, torture, and political imprisonment, gradually establishing transitional justice, keeping the balance between truth and political stability. In this context, topics on the dictatorship were introduced into history books, and university programs were developed on the history of state violence and the role of memory in it. The fragmented institutional model of Bosnia and Herzegovina is perhaps the closest model to that of Albania, although from different contexts (Koneska, 2014). The ethnic division has also been influenced by separate educational structures, while in Albania, without an ethnic division, but an equally serious ideological division, it has made it impossible to introduce education as a tool for reconciliation (Elezi, 2017).

Different in context but the same in content, this division reflects the political divisions that characterize societies (Kostovicova, 2017). In fact, education, instead of reconciliation, has influenced the division by giving incompatible versions of history, varying according to ethnicity. Three versions of the same war have been offered: Bosnian, Serbian, and Croatian. Attempts to develop the same curriculum have failed due to political resistance. At this point, informal educational methods have been used by civil society to promote interethnic dialogue and to teach the truth (Backer, 2003). Albania does not belong to any of the above cases. It has parts in common with the dictatorial history of Chile, just as it has with the political division of Bosnia, without any inter-ethnic conflict (Elbasani, 2019). And this is the paradox, or case study. The influence of political distancing, in the specific case, based on the hegemony legacy, as an obstacle to the implementation of transitional justice (Mojzes, 2015).

The political instrumentalism of the past, the manipulation of history, the lack of attention to the crimes of communism, accompanied by the difficulties and strong contradictions of a market economy, are the factors that led to the denial of history and the failure to carry out the educational process (Austin & Ellison, 2008). The case of Albania is also a valid indicator, of how the negligence and the time passing-by, in implementing the transitional justice, can lead to a collapse of its own philosophy (Elezi, 2017). So far, education still gives hope and remains the last resort to hopefully bring knowledge and reconciliation.

2. METHODOLOGY

2.1. Study Design and Sampling

This study used a quantitative, cross-sectional survey design to capture a snapshot of Epoka University students' knowledge and perceptions of the communist period in Albania, as well as their views on transitional justice. This design was chosen for its efficiency in gathering data from a relatively large sample (n=230), within a targeted population, within a limited timeframe. It was also considered suitable for its appropriateness for descriptive analysis of multiple variables, including demographic characteristics, sources of knowledge, and attitudes toward political governance, artistic expression, and cultural life under communism - all dimensions elaborated in the survey. The research addresses an evident gap in the existing Albanian scholarly literature, where limited research exists on university students' understanding of the communist period and their perspectives on transitional justice.

Epoka University, a private institution in Albania, was selected as a site for data collection due to its accessibility to the researcher and relevance to the target population of young Albanians. Therefore, a

convenience sampling method was employed, which allowed efficient recruitment of participants even though it is known that it may introduce selection bias and limit the generalizability of findings (Creswell, 2012). However, given the study's exploratory purpose, this limitation is not considered significant to hinder its primary aim of providing preliminary insights into students' perceptions.

2.2. Instrument

The main instrument used for data collection was a questionnaire. It was developed based on a comprehensive review of existing literature on Albania's communist period and transitional justice. The questionnaire was organized in three sections: (1) demographic information (including gender, age, region of origin, field of study, and political preferences), (2) political education (covering knowledge sources, self-assessed knowledge, perceptions of political systems, elections, freedoms, and the treatment of dissidents), and (3) art and culture during the regime (focusing on artistic freedom and the treatment of artists). The questionnaire included a combination of multiple-choice, Likert-scale, and open-ended questions to enable the collection of primary quantitative data.

Perceptions were measured through a set of statements using a five-point Likert scale ranging from "strongly disagree" to "strongly agree." Additional items explored respondents' views on the importance of addressing nowadays crimes of communism and the perceived effectiveness of related education. To ensure quality and relevance, the questionnaire was piloted with ten students in March 2025, and revisions were made based on their feedback. Moreover, to enhance content validity, the final version was reviewed by three academic experts in transitional justice and Albanian history.

To assess students' perceptions of the communist period and transitional justice, several constructs were developed based on the survey's Likert-scale items. These constructs, aligned with the study's objectives, address key thematic areas such as perceptions of communism among the young generation, perceptions towards electoral practices, perceptions of restrictions on individual freedoms, attitudes toward the repression of political dissidents, political governance and cultural control, and state control over art and culture. Each construct was formed by grouping thematically related statements designed to capture specific dimensions of students' understanding of the political, cultural, and artistic dynamics of the Albanian communist period. To ensure the consistency of statistical data, certain items within these constructs were reverse-coded.

The aim of reversing this meant that higher numbers always showed a more critical view of the regime. This approach allowed for reliable measurement of each construct, as confirmed by subsequent analysis of internal consistency using Cronbach's alpha. To assess the internal consistency of these constructs, Cronbach's alpha was computed for the scales measuring students' perceptions of the communist period and transitional justice. For the political education section, the overall Cronbach's alpha was 0.889. For the art and culture section, the overall scale yielded a Cronbach's alpha of 0.899. Values of individual items are presented in Table 1.

These values generally reflect good to excellent reliability ($\alpha > 0.8$), indicating that the items reliably measure students' perceptions, though the slightly lower alpha for attitudes toward repression suggests less consistency among its items, possibly due to fewer items. All constructs and sub-constructs in the study were measured using a five-point Likert scale ranging from Strongly Disagree to Strongly Agree. This measurement approach should be considered when interpreting the results, as all analyses of constructs and sub-constructs are based on participants' responses along this ordinal scale.

2.3. Data collection

Data was collected in April 2025 via KoboToolbox, a digital platform for data collection. The link was shared electronically among students, and participation was voluntary, with informed consent obtained prior to survey completion to ensure participants understood the study's purpose and their rights. To adhere to research standards, responses were collected anonymously to maintain confidentiality. A total of 230

complete responses were obtained. The data was exported from KoboToolbox, then cleaned to remove inconsistencies, and analysed using SPSS.

Descriptive statistics (frequencies and percentages) were used to explore participants' profiles and knowledge sources, and various insights on the importance of addressing the topics under study. On the other hand, Mean and Standard Deviation were used to explore perceptions and attitudes of the constructs under investigation. Inferential analysis was beyond this study's scope, but is recommended for future studies building upon these exploratory findings.

3. RESULTS

The survey sampled 230 university students, with 62.2 percent (n=130) female, 35.4 percent (n=74) male, and 2.4 percent (n=5) not disclosing gender. Most of the students (93.9 percent, n=215) are 18-25 years old. Geographically, 48.3 percent (n=111) were from Central Albania, 22.6 percent (n=52) from the North, and 19.1 percent (n=44) from the South. Politically, 41.8 percent (n=96) reported no preference, 20.9 percent (n=48) identified as right-wing, and 20.9 percent (n=48) preferred not to say.

Table 1. Sources and extent of knowledge about the communist period in Albania

Category	Subcategory	N	percent
How did you first learn about the communist regime?	From school (history or civic education classes)	61	26.8
	From family members or relatives/friends/peers	147	64.5
	Through films, documentaries, or TV shows	5	2.2
	I don't remember	12	5.3
If learned through school, at which level?	Middle school	36	59
	High school	19	31.1
	University/College	1	1.6
	I don't know/Not sure	5	8.2
How much knowledge do you have about the period?	None	4	1.7
	Very little	20	8.7
	Moderate	105	45.9
	Considerable	84	36.7
	Extensive	16	7.0

Source: Author

3.1. Perception of communism among the young generation

Students' views and perceptions on the nature of Albania's political system under communism were assessed through the construct 'Perception of communism among the young generation'. This construct, composed of four items, yields a high overall mean score of 3.54 (SD = 0.71), indicating a strong perception of the regime as totalitarian. Individual statements within this construct showed that 92.2 percent (n=211) disagreed or strongly disagreed that the political system was democratic, allowing for multiple political parties, while 2.6 percent (n=6) agreed or strongly agreed. On the contrary, 89.6 percent (n=205) agreed or strongly agreed that the system was totalitarian, controlled by a single political party, with 3.5 percent (n=8) disagreeing.

A follow-up assessment revealed 90.4 percent (n=207) identified the system as totalitarian, while 1.7 percent (n=4) viewed it as democratic. These findings highlight both a general awareness of the regime's political control and areas where educational interventions could address misconceptions. A follow-up assessment aligned with these findings: 92.6 percent (n=212) disagreed or strongly disagreed that the system was democratic, while 90.5 percent (n=207) agreed or strongly agreed that it was totalitarian. These mean scores

further support the overall perception of the regime as authoritarian. The statement indicating a democratic system yielded a low mean of 0.63 meaning that most do not believe the regime was democratic, whereas the statement describing a totalitarian system yielded a high mean of 3.33.

Table 2. Students' perceptions of the political system during the communist regime

Statement	Mean	SD	Strongly Disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly Agree	Missing
The political system during the communist regime was a democratic system with multiple political parties	0.63	1.05	67.3% (n=152)	11.9% (n=27)	13.7% (n=31)	4.4% (n=10)	2.7% (n=6)	1.7% (n=4)
The political system during the communist regime was a totalitarian system with a single political party	3.33	1.05	3.1% (n=7)	2.7% (n=6)	17.7% (n=40)	11.1% (n=25)	65.5% (n=148)	1.7% (n=4)

Source: Author

3.2. Perceptions of restrictions on individual freedoms

Students' perceptions of restrictions on individual freedoms were assessed through the construct "Perceptions of Restrictions on Individual Freedoms", composed of four statements. The overall construct yielded a high mean score of 3.45 (SD = 0.733, N = 211), suggesting that students generally believed that personal freedoms were heavily limited during the regime. As per the results of each individual item, data show that the statement "Freedom of speech, thought, and press were protected and legally guaranteed during the communist regime", 81.3 percent (n=187) disagreed or strongly disagreed, while only 5.7 percent (n=13) agreed or strongly agreed, with a mean of 0.61 (SD = 0.99, N = 230) suggesting that most students do not believe these freedoms were protected under the regime. In contrast, 82.2 percent (n=190) agreed or strongly agreed that "Freedom of speech, thought, and press were censored and restricted by the regime", with 65.2 percent strongly agreeing (n=150) and 17.4 percent agreeing (n=40), while only 3.9 percent (n=9) disagreed or strongly disagreed yielding a mean of 3.43 (SD = 0.91).

For the statement "During the communist time in Albania, the government watched people to stop them from speaking freely", 81 percent (n=185) agreed or strongly agreed, with 9.2 percent (n=21) disagreeing or strongly disagreeing, and a mean of 3.27 (SD = 1.11). Similarly, 79.7 percent (n=179) agreed or strongly agreed that "The communist regime in Albania used surveillance to stop people from freely sharing their thoughts and opinions", while 4.9 percent (n=11) disagreed or strongly disagreed, with a mean of 3.36 (SD = 0.95). These findings show that most of the surveyed students believe that the communist regime imposed significant restrictions on individual freedoms, particularly through censorship and surveillance. The low mean score for protected freedoms (0.61) and high mean scores for censorship and surveillance (3.43, 3.27, and 3.36) support this perception. However, the small percentage of students who believed freedoms were protected (5.7 percent) highlights a need for better education or awareness efforts to help clarify what really happened during that time.

Table 3. Students' perceptions of restrictions on individual freedoms during the communist regime

Statement(s)	Mean	SD	Strongly Disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly Agree
Freedom of speech, thought, and press were protected and legally guaranteed during the communist regime	0.61	0.99	65.2% (n=150)	16.1% (n=37)	13.0% (n=30)	3.5% (n=8)	2.2% (n=5)
Freedom of speech, thought, and press were censored and restricted by the regime	3.43	0.91	1.3% (n=3)	2.6% (n=6)	13.5% (n=31)	17.4% (n=40)	65.2% (n=150)
During the communist time in Albania, the government watched people to stop them from speaking freely	3.27	1.11	3.9% (n=9)	5.3% (n=12)	11.8% (n=27)	20.6% (n=47)	60.4% (n=139)
The communist regime in Albania used surveillance to stop people from freely sharing their thoughts and opinions	3.36	0.95	1.7% (n=4)	3.1% (n=7)	12.9% (n=29)	21.0% (n=48)	58.7% (n=135)

Source: Author

3.3. Perceptions of events during the communist period in Albania

Students were asked to identify events they believed occurred during communism. The results show that 78.4 percent (n=178) believed censorship of speech, press, and information occurred, followed by 70.5 percent (n=160) for imprisonment or execution of regime opponents without due process. Additionally, 67.8 percent (n=154) acknowledged the disappearance of individuals killed without due process, 67.4 percent (n=153) recognized political persecution in forced labour camps, 62.6 percent (n=142) noted torture in prisons, and 57.7 percent (n=131) believed expropriation and nationalization of private property took place. These findings suggest that students believe that severe human rights violations were widespread during this period, indicating strong awareness of the regime's authoritarian practices.

Table 4. Statements

Statement	Yes (N)	Yes (%)
Imprisonment or execution of regime opponent ts without due process	160	70.5%
Political persecution in forced labour camps	153	67.4%
Disappearance of individuals killed without due process	154	67.8%
Censorship of speech, press, and information	178	78.4%
Expropriation and nationalization of private property	131	57.7%
Torture in prisons	142	62.6%

Source: Author

Following their identification of the above-listed events, students were asked to self-assess their level of knowledge about them. The results show that 56.4 percent (n=128) reported a moderate amount of knowledge, 26.4 percent (n=60) indicated a little knowledge, and 13.7 percent (n=31) claimed a lot of knowledge. Additionally, 3.5 percent (n=8) reported not knowing. Even though these findings suggest that more than half of the students believe they have a moderate understanding, it is important to interpret this carefully, as it is based on self-assessment, which may not always reflect their actual level of understanding. Nonetheless, the group of students-nearly 30 percent, who reported limited or no knowledge points again

point to a notable gap in awareness, highlighting areas where further educational efforts may be needed.

3.4. Perceptions of repression and family persecution during the communist regime

Students' perceptions of repression and persecution during the communist regime were assessed through two statements. The statement "People who opposed the regime were imprisoned" generated a mean score of 3.16 (SD = 1.18), and the statement "Families of those who opposed the regime were politically persecuted" yielded a mean score of 3.27 (SD = 1.06). In other words, 74.5 percent (n=170) agreed or strongly agreed that opponents of the regime were imprisoned, while 10.1 percent (n=23) disagreed or strongly disagreed. Similarly, 78.9 percent (n=179) agreed or strongly agreed that families of opponents were politically persecuted, with 7.9 percent (n=18) disagreeing or strongly disagreeing.

3.5. Strengths and Limitations

Comprehensive Approach: The study combines survey data with interpretive analysis to explore students' perceptions of Albania's communist period and transitional justice in depth. Contribution to limited research: Given the scarcity of prior studies on students' views of this historical period in Albania, this research fills an important gap by providing foundational data.

Reliable Instrument: The questionnaire was piloted with ten students and reviewed by experts, demonstrating high reliability with Cronbach's alpha values of 0.889 for political education and 0.899 for art and culture, ensuring valid measurement of perceptions. Educational Impact: The study identifies key knowledge gaps - such as 64.5 percent of students learning mainly from family versus 26.8 percent from school - and suggests practical educational solutions, including the use of audio-visual media and personal testimonies (each preferred by 26.2 percent), which can support curriculum development.

3.6. Limitations

Sampling bias: The use of convenience sampling at Epoka University (n=230) may limit the ability to generalize findings to the broader population of Albanian students. Nonetheless, this approach aligns with the study's exploratory objectives and provides valuable initial insights.

No Inferential Analysis: The study relies solely on descriptive statistics, which limits the ability to draw deeper conclusions or identify significant relationships regarding knowledge gaps. However, it's worth noting that this descriptive focus is appropriate for the study's aim to map perceptions and identify areas for further investigation. Self-reported data: Participants' self-assessed knowledge levels (with 45.9 percent reporting moderate knowledge) may not accurately reflect their true understanding, introducing potential bias. Still, self-assessment is consistent with the study's goal to capture students' own perceptions and serves as a solid foundation for future, more detailed research.

CONCLUSIONS

The long period of political transition under economic and political difficulties, favoured by the deliberate lack of historical narrative, made transitional justice not functional. Following the results of the survey it is evident that, the issue relays in two axes: non operative legal mechanisms and, lack of knowledge of the entire communist period and crimes (IDMC, 2019). Both issues stand basically on a political matter, either not making the process transparent, or by the infiltration of former secret policy in the new leading parties, or further, by directly influencing the process and school curricula. Albania, in its historical and social reality, demonstrates that it has mainly developed the issue of transitional justice in two axes (compensation for the victims (Qafa, 2015) and opening the files (Los, 1995), even though both procedures are partially implemented and distant from the communism fall), leaving aside for stated and unstated reasons almost three other axes criminal prosecution of the perpetrators; the institutional reform; the process of reconciliation in a broad aspect).

The political change of the 1990-s found a country overwhelmingly indoctrinated that the persecuted were traitors to the homeland. This social dichotomy occurred at a very sensitive time, which would decisively determine the fate of supporting the cause of the persecuted. Here, became the crucial point for the implementation of the transitional justice from below (McEvoy & McGregor, 2008), which was neglected or intentionally left apart. People would have been allowed to know the truth, and this momentum was postponed for decades, to reach to the point of distorting the history. As reported, the teachers of history throughout the country were not able to unanimously establish the historical facts of communist period, due to political gaps in ideology. By examining the students' attitude regarding the communist past, the survey has indirectly revealed the strong and the weak points, where they have an objective knowledge, or a transformation and subjectivism in the treatment of the fact, regarding that period. By diving in the student's knowledge, of what and why, was lacking in the transitional justice discourse, the survey takes into account clear evidence that the entire process of post-communist reflection, both in relation to recognition and transitional justice, is really far from its philosophy and mechanisms of implementation.

So, reached at this point the research aimed to understand to what extent could the politics, influence the truth and how the education may overcome this obstacle. On finding the response to these, the survey aimed to understand how the student knew about that period, and which way the education can make students understand the truth, without political interference. Upon their answers, the object was to construct a strategy, that shouldn't represent a simple matter of perception, rather than a way to rise the sensitivity over that period. For this reason, students were asked by structuring a questionnaire adapted to these objectives in order to highlight the new path to be adopted, for reconciliating the past. So far, looking to the future with courage and positivity, it brings to new pedagogical reflections that modestly seek to provide alternatives and new approaches.

The new student's approach, still considers the education, not matter out or inside the schools, and the authority of the files, as remaining actors to pass down the truth. When referring to the school, the targeted groups must be expanded to higher education levels such as Universities. Here, the education is not referring only to the students, but it can also be addressed to larger age groups, since the political legacy and misunderstandings about communism are engraved in the mentality of some generations. Pedagogical reflections regarding curricula and conversational environments and methodologies to be adapted will require the expertise of teachers of law, history, sociology, and philosophy, for the preparation of specific programs. Therefore, are welcomed non-empirical teaching alternatives, such as videos and movies, or workshops and lessons in museums, to attract attention and sensitize the atmosphere. Bridges of dialogue, it is believed, will be more acceptable after the process of recognition.

The students survey demonstrated that to know the past, it is not indispensable the school as a institution, but the education in a wide range conceptuality. Following this path, even the simplest ways of telling and communication are enough to sustain the education for telling the truth. From another perspective these new optimal strategies serve to be projected in the global discourse regarding transitional justice. If these problems are not cured by making a journey into the retrospective of the national conscience, unfortunately, history may repeat itself. What many political protagonists have not understood in all these years of transition is the fact that establishing the right for the persecuted is neither a privilege, nor a game, nor arrogance in their hands, but it might be a national and international strategy. Its failure to resolve will drag down the ideological independence, political pluralism, democracy and peace. History can repeat itself (¡).

REFERENCES

Abdurrahmani, B. (2015). E kaluara komuniste dhe shqipëria në 25 vite tranzicion [Communist past and Albania in 25 years of transition]. academia.edu.

Appel, H. (2005). Anti-Communist justice and founding the post-communist order: lustration and restitution in Central Europe. *East European Politics and Societies, 19*(3), 379-405.

Austin, R. C., & Ellison, J. (2008). Post-Communist Transitional Justice in Albania. *East European Politics and Societies, 22*(2), 373-401.

Backer, D. (2003). Civil society and transitional justice: possibilities, patterns and prospects. *Journal of Human Rights, 2*(3), 297-313.

Bezati, V. (2019, August 28). *How Albania Became the World's First Atheist Country*. Retrieved April 30, 2025, from Balkan Transitional Justice: https://balkaninsight.com/2019/08/28/how-albania-became-the-worlds-first-atheist-country/

Biberaj, E. (1999). *Albania in Transition: The Rocky Road to Democracy.* Westview Press. https://doi.org/10.4324/9780429502415

Brito, A. B. (2001). Truth, Justice, Memory and Democratization in the Southern Cone. In A. B. Brito, C. G. Enriquez, & P. Aguilar, *The Politics of Memory and Democratization* (pp. 119–160). Oxford Academic.

Brown, B. (2015, April 8). Transitional Justice in Eastern Europe: Present Dilemmas of the Communist Past. *Journal of E-International Relations*. https://www.e-ir.info/2015/04/08/transitional-justice-in-eastern-europe-present-dilemmas-of-the-communist-past/#_edn21

Bufi, Y. (2016). *Në fillimet e tranzicionit: Qeveria e stabilitetit, një marrëveshje politike apo një kompromis i perkohshëm?* (A. Krasniqi, Ed.) UET Press.

Creswell, J. W. (2012). *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research* (Vol. 4th). Pearson Education.

Elbasani, A. (2019). The 'stability' of Albanian democracy without rule of law: Political polarization, captured institutions and periodical crisis. *Radicalization(s): 'Stabilitocracy and/or Radicalism*, 63-69.

Elezi, G. (2017). Establishing the rule of law after communism: a comparative approach. *POLIS, 16*, 73-97.

Frasheri, E. (2011, May). Transition without Transformation: Legal Reform in the Democratization and Development Processes. *Journal of Civil Law Studies, 4*(1), 59-112. https://digitalcommons.law.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1081&context=jcls

Gready, P., & Robins, S. (2020). Transitional justice and theories of change: Towards evaluation as understanding. *International Journal of Transitional Justice, 14*, 280-299.

Greiff, P. d. (2012). Theorizing transitional justice. In *Transitional Justice* (pp. 31-77). New York University Press.

Greiff, P. d. (2012). Theorizing Transitional Justice. In M. S. Williams, R. Nagy, & J. Elster (Eds.), *Transitional Justice: NOMOS LI* (pp. 31-34). NYU Press. https://doi.org/10.18574/nyu/9780814794661.003.0002

Grodsky, B. (2015). Transitional justice and political goods. In L. Stan, & N. Nedelsky (Eds.), *Post- communist transitional justice* (pp. 7-30). Cambridge University Press.

Hansen, T. O. (2023). The time and space of transitional justice. In C. Lawther, & L. Moffett (Eds.), *Research Handbook on Transitional Justice* (pp. 9-11). https://doi.org/10.4337/9781802202519

Hayner, P. B. (2006). Truth Commissions: A Schematic Overview. *International Review of the Red Cross, 88*(862), 295–309.

Hayner, P. B. (2010). *Unspeakable Truths: Transitional Justice and the Challenge of Truth Commissions.* Routledge.

Institute, L. I. (n.d.). *Nullum crimen sine lege*. Cornell Law School – Wex: https://www.law.cornell.edu/wex/nullum_crimen_sine_lege

Knabe, H., Hoeres, P., Straßner, V., Viebach, J., Brodsky, R., Metekia, T. S., . . . Merwe, H. v. (2023). *After Dictatorship. Instruments of Transitional Justice in Post-Authoritarian Systems.* (P. Hoeres, & H. Knabe, Eds.) De Gruyter Oldenbourg. https://doi.org/10.1515/9783110796629

Koneska, C. (2014). *After ethnic conflict policy-making in post-conflict Bosnia and Herzegovina and Macedonia.* Routledge.

Kostovicova, D. (2017). Seeking justice in a divided region: Text analysis of regional civil society deliberations in the Balkans. *International Journal of Transitional Justice, 11*, 154-175.

Lame, Q. (2020). *Dritëhijet e kohës. Letërsia dhe arti në diktaturë: Përndjekja e Ismail Kadaresë [The Shadows of Time. Literature and Art under the Dictatorship. The Persecution of Ismail Kadare].* Neraida.

Ligji nr.7514, datë 30.9.1991 "Për pafajësinë, amnistinë dhe rehabilitimin e ish të dënuarve politikë" [Law no.7514, dated 30.9.1991 "On the innocence, the amnesty and rehabilitation of the former politically persecuted and convicted". (1991, 9 30).

Los, M. (1995). Lustration and Truth Claims: Unfinished Revolutions in Central Europe. *Law and Social Inquiry, 20*(1), 117-161.

McAuliffe, P. (2013). *Transitional justice and rule of law reconstruction.* Routledge.

McEvoy, K., & McGregor, L. (2008). Transitional Justice From Below: Grassroots Activism and the Struggle for Change. In *Human Rights Law in Perspective* (pp. 238-241).

Mëhilli, E. (2021, March 23). *1945 and Communist Albania in an International Perspective*. Retrieved May 30, 2025, from Tirana Observatory: https://tiranaobservatory.com/2021/03/23/1945-and-communist-albania-in-an-international-perspective/

Mendelski, M. (2018). The Rule of Law (in Central and Eastern Europe). SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2936708

Mihai, M. (2010). Transitional justice and the quest for democracy: A contribution to a political theory of democratic transformations. *Ratio Juris, 23*(2), 183-204.

Mojzes, P. (2015). *Balkan genocides: Holocaust and ethnic cleansing in the twentieth century.* Rowman & Littlefield.

Qafa, A. (2015). The issue of ownership during transition period in the former communist countries of Eastern Europe, as Poland, Hungary, Czech Republic and Albania. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies., 4*(2).

Sadurski, W. (2003). Decommunization, Lustration, and Constitutional Continuity: Dilemmas of Transitional Justice in Central Europe. *European University Institute Working Paper LAW, 15*, 1-50.

Statistika mbi ish të dënuarve dhe të përndjekurve politikë [Statistics on former convicts and politically persecuted people]. (n.d.). Retrieved April 30, 2025, from Instituti Për Integrimin të Ish Përndjekurve Politikë [Institute on Integration of the former politically persecuted]: https://ishperndjekurit.gov.al/en/statistika/

Subotić, J. (2013). Bargaining justice - A theory of transitional justice compliance. In S. Buckley-Zistel, T. K. Beck, C. Braun, & F. Mieth (Eds.), *Transitional Justice Theories* (1st ed., pp. 127-144). Routledge.

Tarifa, F. (2008, October). Albania's road from communism: Political and social change, 1990-1993. *Development and Change, 56*(1), 133 - 162.

Teitel, R. G. (2000). *Transitional Justice.* Oxford University Press.

The Institute for Media, Democracy and Culture. (2019). Debati mbi Filmat e Ish-Kinostudios: Propagandë apo Pasuri Kombëtare [The debate on the film of former Kino-studio, a propaganda or a state wealth?].

Thoms, O. N., & Ron, J. (2007). The Globalization of Transitional Justice. *Human Rights Quarterly, 29*(1), 79–95.

Thoms, O. N., Ron, J., & Paris, R. (2010). State-Level Effects of Transitional Justice: What Do We Know? *International Journal of Transitional Justice, 4*(3), 329–354.

Truth, Justice, Memory, and Democratization in the Southern Cone. (2004). In A. B. Brito, C. Gonzalez-Enriguez, &

P. Aguilar (Eds.), *The Politics of Memory: Transitional Justice in Democratizing Societies* (pp. 119-161). Oxford University Press.

Xhaferri, M. (2024, April). The Perception of Fascist and National Socialist Ideologies During the Second World War in Albania. *Interdisciplinary Journal of Research and Development, 11*(1), 49-54. https://www.journal-uamd.org/index.php/IJRD/article/view/374/336

https://doi.org/10.71284/asc.2026137

ALGORİTMİK DEVLET VE YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA MALİ EGEMENLİĞİN DÖNÜŞÜMÜ

THE ALGORITHMIC STATE AND THE TRANSFORMATION OF FINANCIAL SOVEREIGNTY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Resul Onay[1]
Serpil Ağcakaya [2]

Özet

Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı gelişmeler, devletlerin yönetim anlayışını ve kamu maliyesi uygulamalarını önemli ölçüde dönüştürmektedir. Özellikle yapay zekâ, büyük veri ve algoritmik karar alma sistemlerinin kamu yönetiminde kullanılmaya başlanması, mali egemenlik kavramının yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Geleneksel olarak mali egemenlik, devletin vergi koyma, kamu gelirlerini toplama ve kamu harcamalarını düzenleme yetkisini ifade etmektedir. Ancak dijital ekonominin gelişmesi, küresel finansal akışların hızlanması ve veri temelli yönetim modellerinin yaygınlaşması bu yetkinin kullanım biçimini dönüştürmektedir. Bu çalışmanın amacı, algoritmik devlet anlayışı ve yapay zekâ uygulamalarının mali egemenlik üzerindeki etkilerini inceleyerek dijital çağda kamu maliyesinin geçirdiği dönüşümü ortaya koymaktır. Çalışmada normatif ve konu literatür taraması kavramsal analiz çerçevesinde ele alınmıştır. Bu kapsamda mali egemenlik, algoritmik yönetişim ve yapay zekâ kavramları kuramsal düzeyde incelenmiş; dijital ekonominin devletlerin vergi toplama kapasitesi ve mali kontrol mekanizmaları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Özellikle dijital hizmet vergileri ve uluslararası vergi rekabeti bağlamında analiz edilmiştir. Çalışmada ayrıca kamu maliyesinde algoritmik sistemlerin kullanım alanları ele alınmıştır. Vergi denetiminde veri analitiği ve risk analiz sistemleri, kamu harcamalarının planlanmasında algoritmik karar mekanizmaları ve büyük veri temelli mali yönetim uygulamaları bu bağlamda değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra kripto varlıklar, blok zinciri teknolojileri ve merkez bankası dijital paraları gibi yeni finansal araçların mali egemenlik üzerindeki etkileri de tartışılmıştır. Çalışmanın bulguları, dijital teknolojilerin devletlerin mali yönetim kapasitesini artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte, küresel dijital ekonominin sınır ötesi yapısı nedeniyle mali egemenlik üzerinde yeni tartışmalar ortaya çıkardığını göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, mali egemenlik kavramını algoritmik devlet perspektifinden ele alarak dijital çağda kamu maliyesinin dönüşümüne ilişkin literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Algoritmik devlet, yapay zekâ, mali egemenlik, dijital yönetişim.

[1]Sorumlu Yazar, Yüksek Lis.Öğr., Süleyman Demirel Üniversitesi, onayresul@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4693-2394
[2] Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, serpilagcakaya@sdu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-6107-8205

Abstract

Rapid advancements in digital technologies are significantly transforming governments' approaches to governance and public finance practices. In particular, the growing use of artificial intelligence, big data, and algorithmic decision-making systems in public administration necessitates a reevaluation of the concept of fiscal sovereignty. Traditionally, fiscal sovereignty refers to the state's authority to levy taxes, collect public revenues, and regulate public expenditures. However, the development of the digital economy, the acceleration of global financial flows, and the widespread adoption of data-driven governance models are transforming the manner in which this authority is exercised. The aim of this study is to examine the effects of the algorithmic state paradigm and artificial intelligence applications on fiscal sovereignty, thereby revealing the transformation public finance is undergoing in the digital age. The study addresses normative and subject literature reviews within a conceptual analysis framework. In this context, the concepts of fiscal sovereignty, algorithmic governance, and artificial intelligence were examined at a theoretical level; the effects of the digital economy on states' tax collection capacity and fiscal control mechanisms were evaluated. The analysis was conducted particularly within the context of digital service taxes and international tax competition. The study also examines the areas of application for algorithmic systems in public finance. Data analytics and risk analysis systems in tax audits, algorithmic decision-making mechanisms in the planning of public expenditures, and big data-based fiscal management applications have been evaluated in this context. Additionally, the effects of new financial instruments such as crypto assets, blockchain technologies, and central bank digital currencies on fiscal sovereignty have been discussed. The study's findings indicate that while digital technologies have the potential to enhance states' fiscal management capacity, they also give rise to new debates regarding fiscal sovereignty due to the cross-border nature of the global digital economy. In this regard, the study aims to contribute to the literature on the transformation of public finance in the digital age by examining the concept of fiscal sovereignty from the perspective of the algorithmic state.

Keywords: Algorithmic state, artificial intelligence, fiscal sovereignty, digital governance.

GİRİŞ

Dijital teknolojilerde son dönemlerde meydana gelen hızlı gelişmeler, ekonomik ve yönetim yapılarını derinlemesine değiştirmektedir. Özellikle yapay zekâ, büyük veri analizi, blok zincir teknolojileri ve dijital finansal araçların artışı, kamu yönetimi perspektifini yeniden oluşturmakta ve devletin ekonomik alandaki rolünü yeni bir düzeye taşımaktadır. Bu dönüşüm süreci, kamu maliyesinin temel kavramlarından biri olan mali egemenliğin yeniden gözden geçirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Geleneksel olarak mali egemenlik, devletin vergi belirleme, kamu gelirlerini toplama ve kamu harcamalarını kontrol etme yetkisini ifade ederken; dijitalleşme ile bu yetkinin kullanılma şekli ve kapsamı önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışma alanı hem teorik hem de pratik açıdan güncelliğini yitirmeyen ve literatürde giderek daha fazla önem kazanan bir araştırma alanı olarak dikkat çekmektedir.

Günümüzde dijital ekonominin uluslararası yapısı, çok uluslu şirketlerin artan rolü ve veri odaklı ekonomik faaliyetlerin yaygınlaşması, devletlerin mali kontrol yeteneklerini zorlayan yeni durumlar yaratmaktadır. Bununla birlikte, yapay zekâ destekli sistemlerin kamu mali yönetiminde kullanımının başlaması, vergi denetiminden bütçe hazırlığına kadar birçok alandaki karar alma süreçlerini değiştirmektedir.

Bu gelişmeler, mali egemenliğin sadece zayıflayan bir kavram mı yoksa teknoloji ile yeniden güçlendirilebilir mi olduğu sorusunu gündeme getirmektedir. Bu nedenle, konunun önemi dijitalleşmenin kamu maliyesi üzerindeki iki yönlü etkisinden kaynaklanmakta; bir taraftan fırsatlar sunarken, diğer taraftan yeni riskler ve belirsizlikler de yaratmaktadır.

Bu çalışmanın ana sorunu, dijitalleşme ve yapay zeka uygulamalarının mali egemenlik üzerindeki etkilerinin nasıl oluştuğu ve bu durumun devletin mali fonksiyonunu nasıl dönüştürdüğüdür. Bu çerçevede araştırma, şu sorulara odaklanmaktadır: Yapay zeka, mali egemenliği nasıl etkilemektedir? Dijitalleşme süreci devletin mali işlevini zayıflatmakta mı yoksa yeniden mi tanımlamaktadır? Algoritmik karar verme sistemleri kamu maliyesinde ne tür bir değişim sağlamaktadır? Bu sorular doğrultusunda çalışma, mali egemenliğin dijital çağdaki dönüşümünü çok yönlü bir bakış açısıyla incelemeyi amaçlamaktadır.

Çalışmanın hedefi, algoritmik devlet anlayışı ve yapay zekâ uygulamalarının kamu maliyesine olan etkilerini araştırmak, böylece mali egemenlik kavramının dijitalleşme sürecinde nasıl yeniden şekillendiğini göstermektir. Bu doğrultuda, dijital ekonominin vergi sistemleri üzerindeki etkileri, uluslararası vergi rekabeti, veri odaklı yönetim modelleri ve yeni finansal teknolojilerin mali egemenlik üzerindeki etkileri kapsamlı bir bütünlükle değerlendirilmektedir. Ayrıca, çalışma, teknolojik ilerlemelerin devletin mali kapasitesini artırma olasılığını ve bu süreçteki riskleri bir arada ele alarak dengeli bir değerlendirme sunmayı hedeflemektedir.

Araştırmanın alanı, mali egemenlik ile ilgili teorik tabanları ele alarak dijital ekonomi, yapay zekâ uygulamaları ve yeni finansal teknolojilere odaklanan kamu maliyesindeki değişimi kapsamaktadır. Bu bağlamda algoritmik devlet, veri analizi, dijital vergilendirme, kripto varlıklar, blok zincir teknolojisi ve merkez bankası dijital paraları gibi unsurlar incelenmiştir. Çalışma hem teori hem de kavram açısından bir özellik taşımakta ve uygulanan yöntem olarak literatür taraması ile kavramsal analiz yaklaşımı seçilmiştir. Ulusal ve uluslararası akademik kaynaklar, raporlar ve kurumsal yayınlar gözden geçirilerek konu geniş bir perspektiften ele alınmıştır.

Yapay zekânın mali egemenlik üzerindeki rolü, bu çalışmanın ana tartışma noktalarından birini teşkil etmektedir. Yapay zekâ, kamu maliyesinde karar alma süreçlerini hızlandırarak ve veri odaklı analiz yeteneklerini geliştirerek devletin mali yönetim kabiliyetini artırmaktadır. Vergi kaçakçılığının tespit edilmesi, kamu harcamalarının daha verimli bir şekilde planlanması ve mali politikaların daha öngörülebilir hale gelmesi gibi konularda önemli katkılar sağlamaktadır. Bununla birlikte, algoritmik sistemlerin şeffaflığı, veri güvenliği ve etik sorunlar gibi meseleler, mali egemenlik açısından yeni tartışmalara yol açmaktadır. Bu durum, yapay zekânın mali egemenliği hem güçlendiren hem de yeni riskler doğuran iki yönlü bir etki yarattığını göstermektedir.

Son olarak, dijitalleşme süreci devletin rolünü de yeniden tanımlamaktadır. Geleneksel olarak ekonomik faaliyetler üzerinde doğrudan denetim ve düzenleme yetkisine sahip olan devlet, dijital çağda daha çok düzenleyici, denetleyici ve yönlendirici bir aktör haline gelmektedir. Özellikle küresel dijital platformlar, çok uluslu şirketler ve merkeziyetsiz finansal yapılar karşısında devletin tek başına hareket etme kapasitesi sınırlanmakta; bu durum uluslararası iş birliğini ve çok düzeyli yönetişim mekanizmalarını daha önemli hale getirmektedir. Bu bağlamda devletin rolü, klasik egemenlik anlayışından uzaklaşarak daha esnek, adaptif ve teknoloji odaklı bir yapıya evirilmektedir.

Bu çalışma, tüm bu dönüşüm dinamiklerini dikkate alarak mali egemenlik kavramını algoritmik devlet perspektifinden yeniden ele almakta ve dijital çağda kamu maliyesinin geçirdiği değişimi kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır.

1. KURAMSAL TEMELLER VE DÖNÜŞÜM

1.1. Algoritmik Devlet Kavramının Tanımı

Algoritmik devlet kavramı, kamu yönetiminde karar alma süreçlerinin giderek artan ölçüde algoritmalar, yapay zekâ sistemleri ve büyük veri analitiği aracılığıyla yürütülmesini ifade etmektedir (Danaher et al., 2017). Bu modelde devlet, yalnızca dijital araçları kullanan bir yapı olmanın ötesine geçerek, politika üretiminden uygulamaya kadar birçok aşamada veri temelli ve otomatikleştirilmiş sistemlere dayanmaktadır (Danaher et al., 2017). Bu yönüyle algoritmik devlet, karar süreçlerinin insan müdahalesinden kısmen

bağımsızlaştığı, öngörücü analizlerin ve veri odaklı yönetim anlayışının ön plana çıktığı yeni bir yönetişim biçimini temsil etmektedir (Danaher et al., 2017).

Algoritmik devlet anlayışının ortaya çıkışı, büyük ölçüde dijital teknolojilerde yaşanan gelişmelerle ilişkilidir (Kitchin, 2017). Özellikle büyük veri, makine öğrenmesi ve yapay zekâ uygulamalarının gelişmesi, kamu yönetiminde daha hızlı, etkin ve maliyet açısından verimli karar alma süreçlerinin mümkün hale gelmesine katkı sağlamıştır (Kitchin, 2017). Bunun yanı sıra artan veri hacmi ve karmaşıklığı, geleneksel bürokratik yöntemlerle yönetilmesi güç süreçler yaratmış; bu durum da algoritmik sistemlere olan ihtiyacı artırmıştır (Kitchin, 2017). Küreselleşme ve dijital ekonominin yaygınlaşması da devletlerin daha rekabetçi ve esnek yönetim modellerine yönelmesine neden olmuş, bu bağlamda algoritmik yönetişim araçları ön plana çıkmıştır. Ayrıca kamu hizmetlerinde şeffaflık, hesap verebilirlik ve etkinlik taleplerinin artması, veri temelli yönetim anlayışını güçlendiren bir diğer unsur olarak değerlendirilmektedir (Yeung, 2018).

Algoritmik devlet ile dijital devlet kavramları sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da aralarında önemli farklar bulunmaktadır (Danaher et al., 2017). Dijital devlet, esas olarak kamu hizmetlerinin elektronik ortama taşınmasını ve bilgi-iletişim teknolojilerinin kamu yönetiminde kullanılmasını ifade eder (Danaher et al., 2017). Bu modelde amaç, hizmet sunumunu hızlandırmak ve vatandaş-devlet etkileşimini kolaylaştırmaktır (Danaher et al., 2017). Ancak algoritmik devlet, dijitalleşmenin ötesine geçerek karar alma mekanizmalarının doğrudan algoritmalar tarafından şekillendirildiği bir yapıyı ifade eder (Danaher et al., 2017). Başka bir deyişle dijital devlette teknoloji bir araç konumundayken, algoritmik devlette teknoloji karar süreçlerinin belirleyici bir unsuru haline gelmektedir (Danaher et al., 2017).

Bu bağlamda algoritmik devlet, kamu yönetiminde yalnızca teknik bir dönüşümü değil, aynı zamanda yönetişim anlayışında köklü bir değişimi ifade etmektedir (Kitchin, 2017). Devletin bilgi üretme, analiz etme ve karar alma kapasitesi önemli ölçüde artarken, bu durum aynı zamanda etik, hukuki ve demokratik denetim açısından yeni tartışmaları da beraberinde getirmektedir (Kitchin, 2017). Özellikle algoritmik kararların şeffaflığı, hesap verebilirliği ve tarafsızlığı gibi konular, bu yeni devlet modelinin en çok tartışılan yönleri arasında yer almaktadır (Kitchin, 2017).

1.2. Yapay Zekâ ve Kamu Maliyesi

Yapay zekâ (YZ), kamu maliyesi alanında giderek daha fazla kullanılan ve kamu yönetiminin işleyişini dönüştüren önemli teknolojilerden biri haline gelmiştir (OECD, 2019). Geniş veri setlerini analiz edebilme, örüntüleri tespit edebilme ve öngörüde bulunabilme kapasitesi sayesinde yapay zekâ, kamu gelirlerinin toplanmasından kamu harcamalarının planlanmasına kadar birçok alanda etkinlik sağlamaktadır (OECD, 2019). Bu çerçevede yapay zekâ, kamu mali yönetiminde verimliliği artıran, hata payını azaltan ve kaynak kullanımını optimize eden bir araç olarak değerlendirilmektedir (OECD, 2019).

Yapay zekânın kamu sektöründeki kullanım alanları oldukça çeşitlidir. Özellikle vergi idarelerinde YZ destekli sistemler, vergi kaçakçılığının tespit edilmesi, risk analizlerinin yapılması ve denetim süreçlerinin otomatikleştirilmesi gibi işlevlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sun & Medaglia, 2019). Bu sistemler, büyük veri analitiği sayesinde mükellef davranışlarını analiz ederek potansiyel riskleri önceden belirleyebilmekte ve denetim kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır (Sun & Medaglia, 2019). Bunun yanı sıra kamu harcamalarının yönetiminde de yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri kullanılmakta; bütçe planlaması, kaynak tahsisi ve performans değerlendirme süreçlerinde daha rasyonel ve veri temelli sonuçlar elde edilmektedir (Wirtz, Weyerer & Geyer, 2019). Sosyal yardım programlarının hedeflenmesi, kamu yatırımlarının önceliklendirilmesi ve mali politikaların etkilerinin analiz edilmesi gibi alanlarda da yapay zekâ uygulamalarının giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Wirtz, Weyerer & Geyer, 2019).

Yapay zekânın kamu maliyesinde en önemli etkilerinden biri, karar alma süreçlerinde yarattığı dönüşümdür (Brynjolfsson & McAfee, 2017). Geleneksel kamu yönetiminde karar alma süreçleri büyük ölçüde insan yargısına ve sınırlı veri analizine dayanırken, yapay zekâ ile bu süreçler daha sistematik, hızlı ve veri odaklı

hale gelmiştir (Brynjolfsson & McAfee, 2017). Algoritmik karar destek sistemleri, politika yapıcıların daha isabetli tahminler yapmasına ve alternatif senaryoları değerlendirmesine olanak tanımaktadır (Brynjolfsson & McAfee, 2017). Bu durum, mali politikaların etkinliğini artırırken aynı zamanda kamu kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır (Brynjolfsson & McAfee, 2017).

Bununla birlikte yapay zekâ temelli karar alma süreçleri bazı önemli tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle algoritmaların şeffaflığı, hesap verebilirliği ve olası önyargıları, kamu maliyesi açısından kritik sorun alanları olarak öne çıkmaktadır (Sun & Medaglia, 2019). Yapay zekâ sistemlerinin kullandığı verilerin niteliği ve algoritmaların tasarım biçimi, alınan kararların doğruluğunu ve adaletini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle kamu maliyesinde yapay zekâ kullanımının yalnızca teknik bir dönüşüm olarak değil, aynı zamanda etik ve hukuki boyutlarıyla birlikte ele alınması gerekmektedir (Sun & Medaglia, 2019).

Yapay zekâ kamu maliyesinde karar verme süreçlerini daha hızlı, verilere dayalı ve tahmin edilebilir bir hale getirerek devletin mali yeteneklerini artırma olanağı sunar. Ancak bu teknolojinin etkili ve güvenilir bir biçimde kullanılabilmesi için uygun düzenleyici yapılar kurulması, şeffaflık ve hesap verme sorumluluğu kurallarına dikkat edilmesi son derece önemlidir.

1.3. Mali Egemenlik Kavramının Tanımı

Mali egemenlik, devletin kamu gelirlerini toplama, kamu harcamalarını gerçekleştirme ve bütçe oluşturma süreçlerini bağımsız biçimde belirleme yetkisini ifade eden temel bir kamu maliyesi kavramıdır (Musgrave & Musgrave, 1989). Bu yönüyle mali egemenlik, devletin siyasal egemenliğinin ekonomik alandaki en somut yansıması olarak kabul edilmektedir. Özellikle vergi koyma yetkisi, devletin egemenlik gücünün doğrudan bir göstergesi olup, kamu otoritesinin bireyler üzerindeki mali tasarruf hakkını ortaya koymaktadır (Musgrave & Musgrave, 1989).

Mali egemenliğin tarihsel gelişimi, modern devletin oluşum süreciyle paralel ilerlemiştir (Tanzi, 2011). Orta Çağ'da feodal yapılar içerisinde dağınık bir görünüm sergileyen mali yetkiler, merkezi devletlerin güçlenmesiyle birlikte tek bir otorite altında toplanmaya başlamıştır (Tanzi, 2011). 17. ve 18. yüzyıllarda ulus-devlet modelinin ortaya çıkışıyla birlikte vergi toplama ve kamu harcamalarını düzenleme yetkisi, devletin temel fonksiyonlarından biri haline gelmiştir (Tanzi, 2011).

Bu süreçte mali egemenlik, yalnızca ekonomik bir araç değil, aynı zamanda siyasal bağımsızlığın da bir göstergesi olarak önem kazanmıştır (Tanzi, 2011). Türkiye'de ise mali egemenlik, Cumhuriyet'in ilanı sonrasında anayasal ve kurumsal bir çerçeveye kavuşturulmuş; bütçe hakkı ve vergilendirme yetkisi doğrudan Türkiye Büyük Millet Meclisi'ne verilerek demokratik meşruiyet temelinde yapılandırılmıştır (Edizdoğan, 2013).

Mali egemenliğin temel unsurları üç ana başlık altında incelenmektedir: vergi koyma yetkisi, kamu harcamalarını gerçekleştirme yetkisi ve bütçe yapma yetkisi (Akdoğan, 2019). Vergi koyma yetkisi, devletin kamu hizmetlerini finanse etmek amacıyla bireylerden zorunlu gelir elde etmesini ifade eder ve mali egemenliğin en belirgin unsurudur (Akdoğan, 2019). Bu yetki, devletin ekonomik kaynaklar üzerindeki düzenleyici gücünü ortaya koyar. Kamu harcamaları ise devletin eğitim, sağlık, savunma ve altyapı gibi alanlarda toplumsal ihtiyaçları karşılamak üzere yaptığı giderleri kapsar (Akdoğan, 2019). Bu harcamaların kapsamı ve öncelikleri, devletin ekonomik ve sosyal politikalarının yönünü belirler. Bütçe yetkisi ise kamu gelir ve giderlerinin planlanması, uygulanması ve denetlenmesini içeren kurumsal bir süreçtir ve mali egemenliğin sistematik olarak kullanılmasını sağlar (Akdoğan, 2019).

Bu yetkilerin ortak özelliği, doğrudan devlete ait olmaları ve kural olarak başka bir otoriteye devredilememeleridir. Devletin mali egemenliğini etkin biçimde sürdürebilmesi, söz konusu yetkileri bağımsız olarak kullanabilmesine bağlıdır (Tanzi, 2011). Başka bir ifadeyle, devletin vergi politikalarını belirlerken, kamu harcamalarını planlarken ve bütçesini oluştururken dış müdahalelerden bağımsız hareket

edebilmesi mali egemenliğin temel şartlarından biridir (Tanzi, 2011). Ancak günümüzde küreselleşme, uluslararası ekonomik entegrasyon ve dijitalleşme süreçleri, devletlerin bu yetkileri mutlak bir bağımsızlık içinde kullanmasını zorlaştırmaktadır (Tanzi, 2011). Özellikle çok uluslu şirketlerin faaliyetleri, uluslararası vergi rekabeti ve sınır ötesi sermaye hareketleri, devletlerin vergi koyma ve gelir toplama kapasitesini sınırlayabilmektedir (Tanzi, 2011).

Türk mali literatüründe de mali egemenlik, devletin ekonomik bağımsızlığının temel göstergelerinden biri olarak değerlendirilmekte ve bu egemenliğin korunmasının kamu maliyesinin sürdürülebilirliği açısından kritik olduğu vurgulanmaktadır (Edizdoğan, 2013; Akdoğan, 2019). Bu bağlamda mali egemenlik, yalnızca hukuki bir yetki alanı değil; aynı zamanda ekonomik, siyasal ve yönetsel boyutları olan çok katmanlı bir yapı olarak ele alınmalıdır (Edizdoğan, 2013; Akdoğan, 2019).

2. DİJİTAL EKONOMİ VE MALİ EGEMENLİK KRİZİ

2.1. Dijital Ekonominin Yapısı ve Dönüştürücü Etkileri

Dijital ekonomi, bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte ekonomik faaliyetlerin dijital platformlar üzerinden yürütüldüğü, veri üretimi ve kullanımının merkezi bir rol üstlendiği yeni bir ekonomik yapıyı ifade etmektedir (OECD, 2020). Bu bağlamda dijital ekonomi yalnızca e-ticaret faaliyetlerinden ibaret olmayıp; üretim, dağıtım ve tüketim süreçlerinin dijitalleşmesini kapsayan geniş bir dönüşüm alanını içermektedir (OECD, 2020). Özellikle internet altyapısının yaygınlaşması, mobil teknolojilerin gelişmesi ve dijital platformların artışı, ekonomik ilişkilerin yapısını köklü biçimde değiştirmiştir (OECD, 2020).

Dijital ekonominin en belirgin özelliklerinden biri, veri temelli bir yapıya dayanmasıdır. Günümüzde veri, ekonomik değer üreten stratejik bir kaynak haline gelmiş ve "yeni üretim faktörü" olarak değerlendirilmeye başlanmıştır (UNCTAD, 2019). Büyük veri analitiği, yapay zekâ ve algoritmik sistemler aracılığıyla işlenen veriler, firmalara ve devletlere karar alma süreçlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır (UNCTAD, 2019). Bu durum, ekonomik faaliyetlerin yalnızca fiziksel sermaye ve emek üzerinden değil, aynı zamanda veri üretimi ve işleme kapasitesi üzerinden şekillendiğini göstermektedir (UNCTAD, 2019). Dijital platform firmaları, kullanıcı bilgilerini kullanarak ekonomik faydalar sağlamakta ve dünya çapında büyük bir etki sahibi olmaktadır.

Dijital ekonominin bir diğer önemli özelliği, sınır ötesi faaliyetlerin artması ve ekonomik işlemlerin mekânsal bağımlılığının azalmasıdır (OECD, 2020). Geleneksel ekonomik yapıda üretim ve tüketim faaliyetleri büyük ölçüde fiziksel sınırlar içerisinde gerçekleşirken, dijital ekonomide bu sınırlar büyük ölçüde ortadan kalkmıştır (OECD, 2020). Çok uluslu dijital şirketler, fiziksel bir varlık göstermeksizin farklı ülkelerde faaliyet gösterebilmekte ve bu durum devletlerin ekonomik faaliyetler üzerindeki denetim kapasitesini zorlaştırmaktadır (OECD, 2020). Dijital hizmetlerin coğrafi sınırlara ulaşması, vergi sistemlerinin klasik yapısının sorgulanmasına neden olmuştur.

Bu gelişmeler, dijital ekonominin yalnızca ekonomik yapıyı değil, aynı zamanda kamu maliyesi ve mali egemenlik anlayışını da dönüştürdüğünü göstermektedir (UNCTAD, 2019). Veri temelli üretim yapısı ve sınır ötesi faaliyetlerin yaygınlaşması, devletlerin vergi toplama ve ekonomik faaliyetleri düzenleme kapasitesini yeniden şekillendirmektedir (UNCTAD, 2019). Bu bağlamda dijital ekonomi, ekonomik büyüme ve verimlilik açısından önemli fırsatlar sunarken, aynı zamanda mali egemenlik açısından yeni sorun alanlarını da beraberinde getirmektedir (UNCTAD, 2019).

2.2. Dijitalleşmenin Mali Egemenlik Üzerindeki Etkileri

Dijitalleşme, ekonomik faaliyetlerin yapısını köklü biçimde dönüştürerek devletlerin mali egemenlik alanını yeniden şekillendiren temel dinamiklerden biri haline gelmiştir (OECD, 2020). Geleneksel kamu maliyesi anlayışında devlet, kendi sınırları içerisinde gerçekleşen üretim, tüketim ve ticaret faaliyetlerini görece kolay bir şekilde denetleyebilmekte ve bu faaliyetler üzerinden vergi toplama yetkisini etkin biçimde

kullanabilmektedir (OECD, 2020). Ancak dijital ekonominin gelişmesiyle birlikte ekonomik işlemlerin fiziki mekândan bağımsız hale gelmesi, devletin mali kontrol kapasitesini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (OECD, 2020).

Devletin kontrol kapasitesi, mali egemenliğin en önemli bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Tanzi, 2011). Dijitalleşme ile özellikle dijital platformlar üzerinden yürütülen ekonomik faaliyetlerin izlenmesi zorlaşmakta; bu durum vergi matrahının tespitini ve denetim süreçlerini güçleştirmektedir (Tanzi, 2011). Geleneksel vergilendirme sistemleri, işyeri ve yerleşiklik gibi fiziksel unsurlara dayanırken, dijital ekonomide bu unsurların giderek belirsizleşmesi devletlerin mali yetkilerini etkin şekilde kullanmasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda dijitalleşme, devletin ekonomik faaliyetler üzerindeki doğrudan kontrolünü zayıflatan bir etki yaratmaktadır (Tanzi, 2011).

Dijitalleşmenin mali egemenlik üzerindeki etkileri, küreselleşme süreci ile daha belirgin hale gelmektedir. Küreselleşme, sermaye hareketlerinin serbestleşmesi ve uluslararası ticaretin artmasıyla birlikte devletlerin ekonomik sınırlarını daha geçirgen hale getirmiştir (UNCTAD, 2019). Dijital teknolojiler ise bu süreci hızlandırarak finansal akımların ve ticari işlemlerin anlık olarak sınır ötesine taşınmasını mümkün kılmıştır (UNCTAD, 2019). Bu durum, devletlerin bağımsız mali politika oluşturma kapasitesini sınırlamakta ve uluslararası ekonomik gelişmelere daha bağımlı hale gelmelerine yol açmaktadır (UNCTAD, 2019). Devletler, yatırımları kendilerine çekmek için vergi oranlarını azaltma veya farklı teşvikler sunma yoluna gitmektedir; bu durum, uluslararası vergi yarışını artırarak mali bağımsızlığı tehdit etmektedir.

Çok uluslu şirketlerin artan rolü, dijitalleşmenin mali egemenlik üzerindeki etkilerini daha da derinleştirmektedir (OECD, 2015). Özellikle dijital platform şirketleri, fiziksel bir varlık göstermeksizin farklı ülkelerde faaliyet gösterebilmekte ve bu sayede elde ettikleri gelirleri düşük vergili ülkelere kaydırabilmektedir (OECD, 2015). Transfer fiyatlandırması, fikri mülkiyet haklarının kullanımı ve vergi planlaması gibi yöntemler aracılığıyla vergi yükümlülüklerini azaltabilen bu şirketler, devletlerin vergi gelirlerinde önemli kayıplara yol açmaktadır (OECD, 2015). Bu durum, mali bağımsızlığın en önemli unsurlarından biri olan vergi alma yeteneğini azaltmakta ve ülkeler arasında mali dengesizlikler yaratmaktadır.

Türk mali literatüründe de dijitalleşme ve küreselleşmenin mali egemenlik üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde ele alınmaktadır. Bu çalışmalarda, dijital ekonominin vergi tabanını daralttığı, denetim süreçlerini zorlaştırdığı ve devletin mali politika araçlarını sınırladığı vurgulanmaktadır (Akdoğan, 2019; Edizdoğan, 2013). Bu çerçevede dijitalleşme, mali otoriteyi sadece teknolojik açıdan değil, aynı zamanda ekonomik, hukuki ve yönetsel açıdan da değiştiren karmaşık bir süreç olarak ele alınmaktadır.

Dijitalleşme, devletin mali bağımsızlığının temel bileşenleri olan denetim, düzenleme ve gelir toplama yeteneklerini değiştirmektedir. Küreselleşme ve çok uluslu firmaların rolü ile birlikte ülkelerin ekonomik etkinlikler üzerindeki doğrudan kontrolü azalmaktadır; bu durum, mali bağımsızlığın yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu aşamada, devletlerin mali bağımsızlığını koruyabilmesi için uluslararası iş birliği mekanizmalarının güçlendirilmesine ve dijital ekonomi ile uyumlu yeni düzenleyici araçların oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3. Dijital Ekonomide Vergilendirme Sorunları ve Uluslararası Vergi Rekabeti

Dijital ekonominin gelişmesi, geleneksel vergilendirme sistemlerinin dayandığı temel ilkeleri zorlayarak kamu maliyesi açısından önemli sorun alanları ortaya çıkarmıştır (OECD, 2015). Özellikle ekonomik faaliyetlerin fiziki varlığa bağlı olmadan gerçekleştirilebilmesi, vergi sistemlerinin temelini oluşturan "yerleşiklik" ve "işyeri" kavramlarını yetersiz hale getirmiştir (OECD, 2015). Bu durum, devletlerin vergi matrahını doğru şekilde tespit etmesini zorlaştırmakta ve vergi gelirlerinde kayıplara yol açmaktadır (OECD, 2015).

Dijital ekonomide vergilendirme sorunlarının en önemli boyutlarından biri, "matrah aşındırma ve kâr aktarımı" olarak ifade edilen BEPS (Base Erosion and Profit Shifting) olgusudur. BEPS, çok uluslu şirketlerin faaliyet gösterdikleri ülkelerde elde ettikleri kazançları, düşük vergili veya vergi cenneti olarak nitelendirilen ülkelere kaydırmaları yoluyla vergi yükümlülüklerini azaltmalarını ifade etmektedir (OECD, 2015; Tanzi, 2011). Özellikle dijital platform şirketleri, maddi olmayan varlıklar ve fikri mülkiyet hakları üzerinden gelir elde ettikleri için bu tür uygulamalara daha elverişli bir yapıya sahiptir (OECD, 2015; Tanzi, 2011). Bu durum, devletlerin vergi tabanını aşındırmakta ve mali egemenliğin temel unsurlarından biri olan vergi toplama kapasitesini zayıflatmaktadır (OECD, 2015; Tanzi, 2011).

Dijital ekonomide ortaya çıkan bu sorunlara çözüm arayışları kapsamında birçok ülke, dijital hizmet vergileri (Digital Services Tax) gibi yeni vergilendirme araçları geliştirmeye yönelmiştir. Dijital hizmet vergileri, genellikle dijital platformlar üzerinden elde edilen reklam gelirleri, veri kullanımı ve çevrim içi hizmetlerden sağlanan kazançlar üzerinden alınmaktadır (Gelir İdaresi Başkanlığı, 2020). Bu vergilerin temel amacı, dijital şirketlerin faaliyet gösterdikleri ülkelerde daha adil bir şekilde vergilendirilmesini sağlamaktır. Türkiye'de de 2020 yılında yürürlüğe giren dijital hizmet vergisi uygulaması, bu alandaki düzenlemelere örnek teşkil etmektedir (Gelir İdaresi Başkanlığı, 2020). Ancak bu tür bir taraflı uygulamalar, uluslararası vergi sisteminde uyumsuzluklara neden olabilmekte ve ülkeler arasında yeni anlaşmazlıkların ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir.

Uluslararası vergi rekabeti, dijital ekonomide vergilendirme sorunlarını derinleştiren bir diğer önemli faktördür. Küreselleşme ve dijitalleşme ile sermaye hareketlerinin hız kazanması, devletleri yatırım çekebilmek amacıyla daha düşük vergi oranları uygulamaya yönlendirmiştir (UNCTAD, 2019). Bu durum, ülkeler arasında "aşağı yönlü vergi rekabeti" olarak adlandırılan bir süreci tetiklemekte ve kamu gelirlerinin azalmasına neden olmaktadır (UNCTAD, 2019). Özellikle çok uluslu firmaların yatırım tercihlerini vergi kolaylıklarına göre belirlemesi, hükümetlerin mali politikalardaki hareket alanını kısıtlamakta ve mali egemenlik üzerinde bir baskı oluşturmaktadır.

Türk mali literatüründe de dijital ekonomide vergilendirme sorunları ve vergi rekabeti önemli bir tartışma alanı haline gelmiştir. Bu kapsamda, dijitalleşmenin vergi tabanını daralttığı, kayıt dışılığı artırabileceği ve mevcut vergi sistemlerinin etkinliğini azalttığı ifade edilmektedir (Akdoğan, 2019; Edizdoğan, 2013). Aynı zamanda, dünya genelinde ortak bir vergi sistemi geliştirilmemesi, ülkelerin kendi başlarına çözüm arayışına girmesine sebep olmaktadır ve bu da küresel vergi düzeninde bölünmelere neden olabilmektedir.

Dijital ekonomide vergilendirmeye dair meseleler, sadece teknik bir mali konu değil; aynı zamanda küresel ekonomik sistemin işleyişini etkileyen köklü bir sorundur. BEPS uygulamaları, dijital hizmet vergileri ve uluslararası vergi rekabeti, mali bağımsızlığın ana unsurlarını doğrudan etkilediği gibi, devletlerin vergi toplama yeteneklerini de kısıtlamaktadır. Bu sebeple, dijital dönemde etkili bir vergilendirme sistemi kurabilmek, uluslararası iş birliği mekanizmalarının güçlendirilmesi ve ortak düzenlemelerin oluşturulmasına bağlıdır.

2.4. Mali Egemenliğin Dönüşümü ve Yeniden Tanımlanması

Dijitalleşme ve küresel ekonomik entegrasyon, mali egemenlik kavramını klasik çerçevesinin ötesine taşıyarak daha karmaşık ve çok katmanlı bir yapıya dönüştürmektedir (Brauner, 2018; Avi-Yonah, 2000). Geleneksel olarak mali egemenlik, devletin kendi sınırları içinde vergi koyma ve kamu maliyesini yönetme konusunda mutlak yetkiye sahip olduğu bir alan olarak tanımlanmıştır (Brauner, 2018; Avi-Yonah, 2000). Ancak günümüzde ekonomik faaliyetlerin dijitalleşmesi ve sınır ötesi niteliğinin artması, bu mutlaklık iddiasını önemli ölçüde zayıflatmaktadır (Brauner, 2018; Avi-Yonah, 2000).

Geleneksel egemenliğin aşınması, özellikle çok uluslu şirketlerin küresel ölçekte faaliyet göstermesi ve dijital platform ekonomisinin yaygınlaşmasıyla hız kazanmıştır (Devereux & Vella, 2018). Dijital şirketler, fiziksel varlık gerektirmeden farklı ülkelerde değer yaratabilmekte ve bu durum, mevcut vergilendirme sistemlerinin etkinliğini azaltmaktadır (Devereux & Vella, 2018). Bu gelişmeler, devletlerin vergi matrahını

belirleme ve gelir elde etme kapasitesini sınırlamakta; aynı zamanda uluslararası vergi rekabetini artırarak mali egemenliği göreli bir kavram haline getirmektedir (Avi-Yonah, 2000). Bu açıdan mali egemenlik, sadece ulusal çerçeve içinde kullanılan bir güç olmaktan çıkmış, küresel ekonomik düzenle etkileşim halinde gelişen bir durum olarak görülmeye başlanmıştır.

Bu dönüşüm sürecinde öne çıkan temel kavramlardan biri veri egemenliğidir. Dijital ekonomide veri, ekonomik değer yaratımının merkezinde yer almakta ve şirketler ile devletler açısından stratejik bir kaynak haline gelmektedir (Zuboff, 2019). Veri egemenliği, devletlerin kendi vatandaşlarına ait veriler üzerinde kontrol sahibi olmasını, bu verilerin işlenmesini düzenlemesini ve ekonomik değer üretiminde söz sahibi olmasını ifade etmektedir (Couldry & Mejias, 2019). Özellikle büyük teknoloji şirketlerinin veri üzerindeki yoğun kontrolü, devletlerin ekonomik ve mali denetim kapasitesini zorlamakta; bu durum da egemenlik tartışmalarını veri boyutuna taşımaktadır (Couldry & Mejias, 2019). Bu bağlamda ülkeler, veri yerelleşmesi politikaları, dijital kurallar ve platform denetimleri ile yeni bir egemenlik alanı yaratmaya gayret göstermektedir.

Mali egemenliğin yeniden tanımlanmasında yeni politika araçları da belirleyici bir rol oynamaktadır. Geleneksel vergilendirme mekanizmalarının yetersiz kalması, devletleri alternatif araçlar geliştirmeye yöneltmiştir (Devereux, Vella & Wardell-Burrus, 2019). Özellikle dijital hizmet vergileri, eşik bazlı vergilendirme modelleri ve kullanıcı temelli değer yaratımını esas alan yeni yaklaşımlar bu dönüşümün önemli örnekleri arasında yer almaktadır (Devereux, Vella & Wardell-Burrus, 2019). Bunun yanı sıra uluslararası düzeyde geliştirilen ortak vergi kuralları ve çok taraflı iş birliği mekanizmaları, mali egemenliğin yeniden yapılandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Avrupa Birliği gibi bölgesel yapılar da dijital ekonominin vergilendirilmesine yönelik ortak düzenlemeler geliştirerek üye devletlerin mali kapasitelerini korumayı amaçlamaktadır (European Commission, 2018).

Öte yandan, teknolojik gelişmeler yalnızca egemenliği sınırlayan değil, aynı zamanda güçlendiren bir unsur olarak da değerlendirilebilir (IMF, 2018). Özellikle büyük veri analitiği, yapay zekâ ve dijital denetim araçları, devletlerin vergi uyumunu artırmasına ve kayıt dışı ekonomiyi azaltmasına katkı sağlamaktadır (IMF, 2018). Bu durum, mali bağımsızlığın tamamen azaldığı şeklindeki düşüncelere karşı, onun evrilerek yeni yöntemlerle güçlendiğini öne süren yaklaşımları da desteklemektedir.

Mali egemenlik, dijital çağda geleneksel anlamını aşarak veri, teknoloji ve uluslararası iş birliği temelinde yeniden tanımlanan dinamik bir yapıya dönüşmektedir. Devletlerin bu yeni süreçte mali egemenliklerini koruyabilmeleri, sadece yasal yetkilere değil; aynı **z**amanda veri yönetim becerisine, teknolojik alt yapıya ve küresel yönetişim sistemlerine uyum sağlama yeteneğine de bağlıdır. Bu nedenle mali egemenlik terimi, günümüzde çok yönlü ve esnek bir çerçevede ele alınması gereken önemli bir kamu maliyesi konusunu ifade etmeye devam etmektedir.

3. KAMU MALİYESİNDE ALGORİTMİK UYGULAMALAR

3.1. Vergi Süreçleri ve Veri Analitiği

Dijitalleşmenin kamu maliyesine yansımalarından biri, vergi süreçlerinin veri analitiği ve algoritmik sistemler aracılığıyla yeniden yapılandırılmasıdır (OECD, 2017). Geleneksel vergi idarelerinde denetim ve tahsilat süreçleri büyük ölçüde beyana dayalı ve sınırlı veri analizine dayanırken, günümüzde bu süreçler büyük veri ve ileri analitik teknikler sayesinde daha kapsamlı ve proaktif bir yapıya kavuşmuştur (OECD, 2017). Bu dönüşüm, vergi idarelerinin hem gelir toplama kapasitesini artırmakta hem de vergiye uyum düzeyini yükseltmektedir (OECD, 2017).

Vergi süreçlerinde veri analitiğinin en önemli kullanım alanlarından biri risk analizi ve denetim seçimidir. Gelişmiş analitik modeller, mükelleflerin geçmiş beyanları, finansal işlemleri ve üçüncü taraf verileri gibi çok boyutlu veri setlerini analiz ederek potansiyel riskleri tespit edebilmektedir (Khwaja, Awasthi & Loeprick, 2011). Bu sayede vergi idareleri, sınırlı denetim kaynaklarını en riskli alanlara yönlendirebilmekte

ve denetim etkinliğini önemli ölçüde artırabilmektedir (Khwaja, Awasthi & Loeprick, 2011). Makine öğrenmesi algoritmaları, vergi kaçakçılığıyla ilgili kalıpları belirleyerek klasik yöntemlerin zorlandığı uyumsuzlukları tespit edebilme yeteneğine sahiptir.

Veri analitiğinin bir diğer önemli katkısı, gerçek zamanlı izleme ve otomatik uyum sistemlerinin geliştirilmesidir (Bird & Zolt, 2008). Dijital fatura, elektronik defter ve online beyan sistemleri sayesinde vergi idareleri ekonomik işlemleri anlık olarak takip edebilmekte ve olası vergi kayıplarını önceden tespit edebilmektedir (Bird & Zolt, 2008). Bu durum, vergi denetiminin reaktif bir yapıdan proaktif bir yapıya evrilmesini sağlamaktadır (Bird & Zolt, 2008). Bu sistemler, vergi mükelleflerinin hata yapma ihtimalini düşürerek gönüllü uyumu artırmaktadır.

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, vergi süreçlerinde dijitalleşme ve veri analitiği uygulamalarının önemli ölçüde geliştiği görülmektedir (Gelir İdaresi Başkanlığı, 2021). Özellikle e-fatura, e-arşiv ve e-defter sistemleri, vergi idaresinin veri toplama ve analiz kapasitesini artırmış; risk odaklı denetim anlayışının güçlenmesine katkı sağlamıştır (Gelir İdaresi Başkanlığı, 2021). Bu çerçevede geliştirilen veri depoları ve analiz araçları, vergi mükelleflerinin davranışlarını daha düzenli bir şekilde inceleme olanağı sunmaktadır.

Bununla birlikte veri analitiğine dayalı vergi sistemleri bazı önemli sorunları da beraberinde getirmektedir (Tanzi, 2018). Özellikle veri güvenliği, kişisel verilerin korunması ve algoritmik önyargı gibi konular, bu sistemlerin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir (Tanzi, 2018). Vergi otoritelerinin büyük veri havuzlarına ulaşımı, gizlilik konularını gündeme taşırken; uygulanan algoritmaların şeffaf olmaması, hesap verme sorunu yaratabilmektedir. Bu yüzden, veri analitiğinin vergi işlemlerinde etkili bir şekilde kullanılabilmesi için sağlam bir hukukî yapının ve etik ilkelerin geliştirilmesi gereklidir.

Veri analizi, vergi işlemlerinde verimlilik, hızı ve doğru sonuçlar elde edilmesine yardımcı olarak kamu maliyesinin güçlenmesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Fakat, bu teknolojinin sunduğu faydalardan tam olarak yararlanabilmek, yalnızca teknik yeterlilikle değil; aynı zamanda kurumların yapısının güçlendirilmesi, veri yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve uluslararası normlara uyum sağlanmasıyla mümkün olmaktadır.

3.2. Kamu Harcamalarının Planlanması

Dijitalleşme ve veri temelli yönetim anlayışının gelişmesi, kamu harcamalarının planlanması sürecinde önemli bir dönüşümü beraberinde getirmiştir (Allen, Hemming & Potter, 2013). Geleneksel bütçeleme yaklaşımları büyük ölçüde geçmiş dönem verilerine ve sınırlı analitik değerlendirmelere dayanırken, günümüzde algoritmik sistemler ve veri analitiği teknikleri sayesinde daha dinamik, öngörülebilir ve performans odaklı bir harcama planlaması mümkün hale gelmiştir. Bu dönüşüm, kamu kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılmasına katkı sağlamaktadır (Allen, Hemming & Potter, 2013).

Kamu harcamalarının planlanmasında veri analitiğinin en önemli katkılarından biri, öngörü ve senaryo analizlerinin geliştirilmesidir (Agarwal, Dhar & Goyal, 2014). Büyük veri setleri ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak ekonomik göstergeler, demografik eğilimler ve sosyal ihtiyaçlar analiz edilmekte; bu sayede kamu harcamalarının gelecekteki seyri daha isabetli biçimde tahmin edilebilmektedir (Agarwal, Dhar & Goyal, 2014). Özellikle sağlık, eğitim ve sosyal destek gibi konularda algoritmik hesaplamalar, kaynakların ihtiyaçlara göre sıralanmasını basit hale getirmektedir.

Algoritmik uygulamalar aynı zamanda performans esaslı bütçeleme anlayışını güçlendirmektedir. Harcama programlarının çıktı ve sonuçlarının ölçülmesine imkân tanıyan veri analitiği araçları, kamu politikalarının etkinliğinin değerlendirilmesini sağlamaktadır (Robinson & Last, 2009). Bu sayede kamu yöneticileri, hangi harcama kalemlerinin daha verimli olduğunu analiz edebilmekte ve bütçe tahsislerini buna göre yeniden düzenleyebilmektedir (Robinson & Last, 2009). Bu durum, mali disiplinin güçlenmesine ve kamu harcamalarında hesap verme sorumluluğunun artmasına yardımcı olmaktadır.

Türkiye'de de kamu harcamalarının planlanmasında dijitalleşme sürecinin etkileri giderek daha belirgin hale gelmektedir. Özellikle performans programları, stratejik planlar ve Orta Vadeli Program gibi araçlar aracılığıyla kamu harcamalarının daha planlı ve hedef odaklı bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Bu aşamada veri odaklı incelemelerin uygulanması, kamu kaynaklarının temel alanlara aktarılmasını sağlamaktadır.

Bununla birlikte algoritmik sistemlere dayalı harcama planlaması bazı önemli riskleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle veri kalitesi sorunları, eksik veya hatalı analizlere yol açabilmekte; bu durum da kamu kaynaklarının yanlış tahsis edilmesine neden olabilmektedir (World Bank, 2018). Aynı zamanda algoritmaların karar verme süreçlerindeki etkisinin artması, demokratik denetim ve şeffaflık için yeni tartışmaları ortaya çıkarmaktadır. Harcama kararlarının yalnızca teknik değerlendirmelere bağlı olması, sosyal ve politik önceliklerin göz ardı edilmesine sebep olabilir.

Kamu harcamalarının düzenlenmesinde algoritma temelli uygulamalar, daha etkili, mantıklı ve veri odaklı bir mali yönetim anlayışının gelişimine katkıda bulunmaktadır. Ancak bu sürecin başarılı olabilmesi için, güçlü kurumsal yapılar kurulması, veri kalitesinin yükseltilmesi ve algoritmik sistemlerin şeffaf ve hesap verebilir bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda kamu harcamalarının planlaması, dijital dönemde sadece bir teknik süreç değil, aynı zamanda yönetim yönü olan stratejik bir alan haline gelmektedir.

3.3. Algokrasi ve Kamu Maliyesinde Karar Alma Süreçleri

Dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojilerinin kamu yönetiminde yaygınlaşması, karar alma süreçlerinin doğasını önemli ölçüde dönüştürmektedir (Aneesh, 2009). Bu dönüşüm, literatürde "algokrasi" kavramı ile ifade edilmekte ve kararların giderek artan ölçüde algoritmalar tarafından yönlendirildiği bir yönetim biçimine işaret etmektedir (Aneesh, 2009). Kamu maliyesi açısından algokrasi, bütçenin hazırlanması, vergi politikalarının belirlenmesi ve kamu harcamalarının önceliklendirilmesi gibi önemli süreçlerde veri odaklı ve otomatik analizlerin etkili bir rol oynamasını ifade etmektedir.

Algoritmik karar alma sistemleri, büyük veri setlerini analiz ederek politika yapıcılara daha hızlı ve kapsamlı değerlendirme imkânı sunmaktadır. Bu sistemler, ekonomik göstergeler, vergi gelirleri, harcama eğilimleri ve sosyal veriler gibi çok boyutlu bilgileri işleyerek alternatif politika senaryoları oluşturabilmektedir (Lazer et al., 2014). Bu durum, kamu finansmanı alanında kararların daha mantıklı ve verilere dayalı bir temele oturtulmasına yardımcı olmaktadır. Özellikle bütçe hazırlığı ve mali tahmin aşamalarında algoritmik modellerin kullanılması, belirsizliklerin yarattığı riskleri azaltarak daha doğru kararlar verilmesine imkân tanımaktadır.

Bununla birlikte algokrasi, kamu maliyesinde yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda yönetişim anlayışında köklü bir değişimi de beraberinde getirmektedir (Beer, 2017). Geleneksel kamu yönetiminde karar alma süreçleri büyük ölçüde siyasi aktörler ve bürokratik yapı tarafından şekillendirilirken, algoritmik sistemlerin yaygınlaşması bu süreçlerde insan faktörünün rolünü yeniden tanımlamaktadır (Beer, 2017). Bu durum, karar verme aşamalarında hız ve etkinlik sunmasına rağmen, demokratik geçerlilik ve hesap verebilirlik bakımından dikkate değer tartışmalar ortaya çıkarmaktadır.

Algokrasi bağlamında en çok tartışılan konulardan biri, algoritmaların şeffaflığı ve denetlenebilirliğidir (Burrell, 2016). Kamu maliyesi gibi doğrudan toplumsal refahı etkileyen bir alanda kullanılan algoritmaların nasıl çalıştığının bilinmemesi, "kara kutu" sorunu olarak ifade edilmektedir (Burrell, 2016). Bu durum, mali kararların hangi kriterlere göre alındığının anlaşılmasını zorlaştırmakta ve kamu yönetiminde güven sorunlarına yol açabilmektedir (O'Neil, 2016). Ayrıca algoritmaların beslendiği veri setlerinin taraflı olması, mali politikaların belirlenmesinde sistematik hatalara neden olabilmektedir (O'Neil, 2016).

Türkiye'de doğrudan "algokrasi" kavramı yaygın olarak kullanılmasa da e-devlet uygulamaları, dijital bütçe sistemleri ve veri temelli karar destek mekanizmaları, kamu maliyesinde algoritmik karar alma süreçlerinin geliştiğini göstermektedir (Atmaca & Karaçay, 2020). Bu süreç, kamu yönetimi reformları

kapsamında dijitalleşme ve e-yönetişim uygulamalarının yaygınlaşmasıyla doğrudan ilişkilidir (Atmaca & Karaçay, 2020). Kamu kurumlarında veri analitiği uygulamalarının yaygınlaşması, karar alma süreçlerinin daha rasyonel, sistematik ve ölçülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamaktadır (Davenport & Harris, 2007). Bu durum, veriye dayalı yönetim anlayışının güçlenmesine ve kamu hizmetlerinin etkinliğinin artırılmasına olanak tanımaktadır (Davenport & Harris, 2007). Bu olaylar, devlet bütçe yönetiminde verimliliği yükseltirken, aynı zamanda yeni düzenlemelere olan gereksinimi de gözler önüne sermektedir.

Algokrasi, kamu harcamaları ile ilgili karar alma süreçlerini daha süratli, veri tabanlı ve tahmin edilebilir şekilde yürütme olanağı sunmaktadır. Fakat bu imkânın sürdürülebilir biçimde faydalanılması, algoritmik sistemlerin açık olması, hesap verme sorumluluğu ve etik kurallara uygunlukla yakından bağlantılıdır. Bu yüzden, kamu maliyesinde algokrasi uygulamalarının geliştirilmesi aşamasında sadece teknolojik yeteneklere değil, aynı zamanda demokratik denetim sistemlerine ve yasal düzenlemelere de dikkat edilmesi gerekmektedir.

4. YENİ FİNANSAL TEKNOLOJİLER VE DİJİTAL EGEMENLİK

4.1. Kripto Varlıklar ve Mali Egemenlik Üzerindeki Etkileri

Kripto varlıklar, blok zincir teknolojisi üzerine inşa edilmiş ve herhangi bir merkezi otoriteye bağlı olmadan çalışan dijital finansal araçlar olarak tanımlanmaktadır (Wang et al., 2018). Bu varlıkların ortaya çıkışı, finansal sistemin yapısında önemli bir dönüşüme yol açmış ve özellikle devletlerin mali egemenlik kapasitesi üzerinde yeni tartışmalar doğurmuştur (Wang et al., 2018). Kripto varlıkların en belirgin özelliği olan merkeziyetsiz yapı, ekonomik işlemlerin devlet, merkez bankası veya geleneksel finansal aracılar olmadan gerçekleştirilebilmesine imkân tanımaktadır (Wang et al., 2018).

Merkeziyetsiz yapı, blok zincir teknolojisinin dağıtık defter sistemi sayesinde işlemlerin ağ katılımcıları arasında doğrulanmasına dayanır (Sai et al., 2020). Bu durum, finansal işlemlerde şeffaflık ve güvenliği artırırken aynı zamanda devletlerin doğrudan müdahale kapasitesini sınırlandırmaktadır. Çünkü işlem verileri merkezi bir otorite tarafından değil, ağın tamamı tarafından doğrulanmakta ve saklanmaktadır (Sai et al., 2020). Bu özellik, ekonomik güç ve veri kontrolünün tek bir merkezde toplanmasını engelleyerek geleneksel mali sistemlerden önemli bir ayrışma yaratmaktadır (Sai et al., 2020).

Bununla birlikte kripto varlıkların vergilendirilmesi ve denetimi devletler açısından ciddi güçlükler barındırmaktadır (Yücel, 2024; Erol & İkiok, 2026). İşlemlerin büyük ölçüde anonim bir yapıda gerçekleşmesi, vergi otoritelerinin gerçek kişi veya kurumlarla işlem eşleştirmesini zorlaştırmaktadır. Blok zincir üzerindeki işlemler şeffaf şekilde kayıt altına alınsa da bu kayıtların kimliklerle ilişkilendirilmesi her zaman mümkün olmamaktadır (Yücel, 2024; Erol & İkiok, 2026). Bu durum, özellikle vergi bağının kurulması ve gelirlerin doğru şekilde vergilendirilmesi açısından önemli bir sorun alanı yaratmaktadır (Yücel, 2024; Erol & İkiok, 2026).

Ayrıca, kripto varlıkların uluslararası boyutları ve merkeziyetsiz yapısı, ulusal vergi sistemlerinin etkinliğini olumsuz etkilemektedir. Farklı ülkelerin kendi düzenleyici yaklaşımları benimsemesi, vergi avantajları sağlama ve uluslararası uyumsuzluk gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sebeple, uluslararası kuruluşlar, bilgi paylaşımı ve ortak standartların geliştirilmesi adına çalışmalara yoğunlaşmaktadır. OECD'nin Kripto Varlık Raporlama Çerçevesi (CARF), bu alandaki en önemli adımlardan biri olarak öne çıkmakta ve ülkeler arasındaki vergisel şeffaflığı artırmayı amaçlamaktadır.

Kripto varlıkların devletlerin mali bağımsızlığı üzerindeki etkisi yalnızca vergi alanıyla sınırlı kalmamaktadır. Bunun yanı sıra, para politikası ve finansal denetim yetenekleri üzerinde de kayda değer sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Geleneksel sistemlerde hükümetler, bankalar ve finansal aracılar aracılığıyla para akışını yönetebilirken; kripto varlıklar bu aracılığı büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Bu durum, devletlerin ekonomik sistemler üzerindeki düzenleyici otoritesini zayıflatabilir ve mali bağımsızlık konusunu yeniden sorgulatabilir.

Öte yandan kripto ekosistemi tamamen kontrolsüz bir yapıdan ziyade zamanla kısmi merkezileşme eğilimleri de gösterebilmektedir (Sai et al., 2020). Özellikle büyük kripto para borsaları ve madencilik havuzları, sistem içinde belirli yoğunlaşma noktaları oluşturabilmektedir (Sai et al., 2020). Bu durum, devletlerin tamamen kontrol kaybı yaşamasından ziyade, yeni tür bir düzenleyici ve teknolojik adaptasyon sürecine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir (Sai et al., 2020).

Kripto varlıklar, mali egemenlik anlayışını köklü bir biçimde değiştiren çok yönlü bir dönüşüm süreci sunmaktadır. Dağıtık yapıları, hükümet müdahalesini azaltırken, vergi ve denetim uygulamalarında yeni engeller ortaya çıkarmakta; aynı zamanda devletlerin mali denetim yeteneklerini yeniden şekillendirmelerini zorunlu hale getirmektedir.

4.2. Blok Zincir Teknolojisi ve Kamu Mali Yönetimi

Blok zincir teknolojisi, verilerin dağıtık bir ağda kriptografik yöntemler kullanılarak korunduğu ve doğrulandığı yenilikçi bir dijital kayıt sistemidir. Kamu mali yönetimi açısından bu teknoloji, özellikle şeffaflık, güvenilirlik ve hesap verebilirlik gibi temel prensipleri güçlendirme kapasitesine sahiptir.

Blok zincirin en temel özelliklerinden biri şeffaflık ilkesidir. Sistemde gerçekleşen tüm işlemler ağ katılımcıları tarafından doğrulanmakta ve kayıt altına alınmaktadır (Ølnes et al., 2017). Bu durum, kamu mali süreçlerinde harcama ve gelir akışlarının daha izlenebilir hale gelmesini sağlamaktadır (Ølnes et al., 2017). Aynı zamanda blok zincir üzerinde kayıt altına alınan veriler tüm katılımcılar tarafından görülebilir olduğundan, kamu kaynaklarının kullanımında şeffaflık önemli ölçüde artabilmektedir (Ølnes et al., 2017).

Bir diğer temel özellik ise değiştirilemezlik ilkesidir. Blok zincir sisteminde bir kez kaydedilen verilerin değiştirilmesi veya silinmesi teknik olarak oldukça zordur (Nakamoto, 2008). Bu özellik, kamu mali kayıtlarının geriye dönük olarak manipüle edilmesini engelleyerek finansal verilerin güvenilirliğini artırmaktadır (Nakamoto, 2008). Bu yönüyle blok zincir, kamu muhasebe sistemlerinde veri bütünlüğünü koruyan güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir (Nakamoto, 2008).

Kamu gelir ve harcamaları açısından blok zincir teknolojisinin önemli kullanım potansiyelleri bulunmaktadır (Deloitte, 2020). Vergi tahsilatı süreçlerinde blok zincir tabanlı sistemlerin kullanılması, işlemlerin anlık olarak izlenmesini ve vergi kaçakçılığının azaltılmasını mümkün kılabilir (Deloitte, 2020). Ayrıca kamu harcamalarının akıllı sözleşmeler aracılığıyla otomatikleştirilmesi, bütçe süreçlerinde etkinliği artırabilir ve insan kaynaklı hataları azaltabilir (Deloitte, 2020). Bu şart, devlet kaynaklarının daha etkili bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olabilir.

Bununla birlikte blok zincir teknolojisi, kamu mali yönetiminde denetim ve güvenlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır (Kshetri, 2018). Dağıtık yapı sayesinde veriler tek bir merkezde değil, çok sayıda düğümde tutulduğu için sistemin manipüle edilmesi oldukça güçleşmektedir (Kshetri, 2018). Bu durum, kamu finansal verilerinin siber saldırılara karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlar. Ayrıca blok zincir, denetim süreçlerinde gerçek zamanlı veri erişimi sağlayarak iç ve dış denetim mekanizmalarının etkinliğini artırabilir (Kshetri, 2018).

Ancak bu faydalara rağmen, blok zincirin kamu mali yönetimine dahil edilmesi bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Teknik alt yapı eksiklikleri, yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve kurumsal uyum sorunları, bu teknolojinin yaygınlaşmasını engelleyen önemli unsurlardandır. Bu sebeple, blok zincirin kamu yönetiminde etkili bir şekilde kullanılabilmesi için hem teknolojik hem de kurumsal dönüşüm süreçlerinin aynı anda yürütülmesi gerekmektedir.

Blok zincir teknolojisi, kamu finans yönetiminde şeffaflık, emniyet ve hesap verme sorumluluğu ilkelerinin güçlendirilmesi açısından önemli bir yenilikçi araçtır. Ancak bu potansiyelin tam olarak hayata geçebilmesi için gerekli yasal altyapıların oluşturulması ve kurumsal yeteneklerin artırılması son derece önemlidir.

4.3. Merkez Bankası Dijital Paraları (CBDC) ve Para Egemenliği

Merkez Bankası Dijital Paraları (Central Bank Digital Currency – CBDC), bir ülkenin merkez bankası tarafından ihraç edilen ve devlet güvencesi altında bulunan dijital para birimleri olarak tanımlanmaktadır (BIS, 2021). CBDC'ler, geleneksel fiziksel nakdin dijital formda yeniden tasarlanmış hali olarak değerlendirilmekte olup, finansal sistemin dijitalleşmesi sürecinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (BIS, 2021). Bu dijital para birimlerinin ortaya çıkışında, ödeme sistemlerinin modernleştirilmesi, finansal kapsayıcılığın artırılması ve özel sektör dijital para birimlerine karşı kamu kontrolünün güçlendirilmesi gibi nedenler etkili olmuştur (BIS, 2021).

CBDC'lerin ortaya çıkış nedenlerinden biri, küresel ölçekte hızla gelişen dijital ödeme sistemlerinin devlet kontrolü dışında genişlemesidir (Auer & Böhme, 2020). Özellikle özel sektör tarafından geliştirilen dijital varlıklar, para politikasının etkinliğini zayıflatma ve finansal istikrar üzerinde risk oluşturma potansiyeli taşımaktadır (Auer & Böhme, 2020). Bu nedenle merkez bankaları, parasal egemenliği korumak ve ödeme sistemleri üzerindeki kontrolü sürdürmek amacıyla CBDC geliştirme çalışmalarına yönelmiştir (Auer & Böhme, 2020).

CBDC'ler, geleneksel para politikası ile doğrudan ilişkili bir araç olarak değerlendirilmektedir. Para arzının kontrolü, faiz oranları ve likidite yönetimi gibi klasik para politikası araçları, CBDC'lerin tasarımına bağlı olarak yeni bir boyut kazanmaktadır (Bank of England, 2020). Özellikle perakende CBDC'ler, bireylerin doğrudan merkez bankası parasına erişimini mümkün kılabileceğinden, bankacılık sisteminin aracı rolünü kısmen değiştirebilir (Bank of England, 2020). Bu durum, para politikasının aktarım mekanizmasını güçlendirebileceği gibi, bankacılık sektörü üzerinde yapısal değişikliklere de yol açabilir (Bank of England, 2020).

CBDC'lerin para politikası üzerindeki etkileri, özellikle kriz dönemlerinde daha belirgin hale gelmektedir (IMF, 2022). Merkez bankalarının doğrudan hane halkına dijital para transferi yapabilme kapasitesi, para politikasının etkinliğini artırabilecek yeni bir araç olarak değerlendirilmektedir (IMF, 2022). Bununla birlikte, bankacılık sisteminden mevduat çıkışları gibi riskler de tartışma konusu olmaktadır (IMF, 2022). Bu nedenle CBDC tasarımları, finansal istikrar ile para politikası etkinliği arasında bir denge kurmayı gerektirmektedir (IMF, 2022).

CBDC'ler aynı zamanda para egemenliği tartışmalarının merkezinde yer almaktadır (FATF, 2021). Dijitalleşen finansal sistemde, özel dijital para birimlerinin yaygınlaşması devletlerin parasal kontrol kapasitesini sınırlayabilir (FATF, 2021). Bu bağlamda CBDC'ler, devletlerin para üzerindeki egemenliğini dijital ortamda yeniden tesis etme aracı olarak görülmektedir (FATF, 2021). Özellikle sınır ötesi ödeme sistemlerinde büyük teknoloji şirketlerinin etkisinin artması, merkez bankalarını dijital para geliştirmeye yönelten önemli bir faktördür (FATF, 2021).

Bunun yanı sıra, CBDC'lerin yaygın şekilde benimsenmesi, devletin mali sistem üzerindeki denetleme yeteneğini artırabileceği için gizlilik ve veri güvenliği konularında yeni tartışmalar ortaya çıkarmaktadır. Dijital para transferlerinin takip edilebilir olması, mali suçlarla mücadelede fayda sağlasa da kişisel mali gizlilikle ilgili bazı kaygılar oluşturmaktadır. Bu sebeple, CBDC'lerin tasarımında kamu yararı ile kişisel özgürlükler arasında dikkatli bir denge sağlanması zorunludur.

CBDC'ler, yalnızca teknik bir finansal yenilik değil, aynı zamanda para egemenliğinin yeniden tanımlandığı stratejik bir dönüşüm alanıdır. Bu dijital para birimleri, merkez bankalarının para politikası araçlarını genişletme potansiyeline sahip olmakla birlikte, finansal sistemin yapısını ve devletin ekonomik kontrol kapasitesini de yeniden şekillendirmektedir.

4.4. FinTech Ekosistemi ve Devletin Düzenleyici Rolü

Finansal teknoloji (FinTech) ekosistemi, finansal hizmetlerin dijital teknolojiler aracılığıyla daha hızlı, düşük maliyetli ve erişilebilir hale getirilmesini ifade etmektedir (Arner et al., 2016). Mobil ödeme sistemleri, dijital bankacılık, blok zincir tabanlı finansal uygulamalar, robo-danışmanlık ve açık bankacılık gibi yenilikler, finans sektöründe köklü bir dönüşüm yaratmıştır (Arner et al., 2016). Bu dönüşüm, yalnızca finansal hizmetlerin sunum biçimini değil, aynı zamanda devletlerin düzenleyici rolünü de yeniden şekillendirmiştir (Arner et al., 2016).

FinTech gelişiminin temel nedenleri arasında internet teknolojilerinin yaygınlaşması, büyük veri analitiği, yapay zekâ uygulamaları ve tüketici davranışlarındaki dijitalleşme yer almaktadır (Zetzsche et al., 2017). Özellikle 2008 küresel finans krizinin ardından geleneksel finansal sistemlere duyulan güvenin azalması, alternatif finansal hizmet sağlayıcılarının ortaya çıkmasını hızlandırmıştır (Zetzsche et al., 2017). Bu süreçte FinTech şirketleri, bankacılık hizmetlerine alternatif çözümler sunarak finansal aracılık maliyetlerini azaltmış ve finansal kapsayıcılığı artırmıştır (Zetzsche et al., 2017).

FinTech ekosisteminin hızlı büyümesi, beraberinde önemli bir regülasyon ihtiyacı doğurmuştur (FATF, 2021). Dijital finansal hizmetlerin sınır ötesi doğası, geleneksel ulusal düzenleyici çerçevelerin yetersiz kalmasına neden olmaktadır (FATF, 2021). Özellikle veri güvenliği, tüketici korunması, kara para aklama ile mücadele ve finansal istikrarın sağlanması gibi alanlarda devlet müdahalesi kaçınılmaz hale gelmiştir (FATF, 2021). Bu bağlamda devletler hem inovasyonu teşvik eden hem de riskleri kontrol altına alan dengeli bir düzenleyici yaklaşım geliştirmeye çalışmaktadır (FATF, 2021).

Devlet müdahalesi FinTech ekosisteminde yalnızca sınırlayıcı bir rol değil, aynı zamanda yönlendirici bir fonksiyon da üstlenmektedir (FCA, 2015). Regülasyonlar, piyasaya giriş şartlarını belirleyerek rekabet ortamını şekillendirmekte ve sistemik risklerin oluşmasını engellemeye çalışmaktadır (FCA, 2015). Özellikle "regulatory sandbox" (düzenleyici kum havuzu) gibi uygulamalar, FinTech şirketlerinin kontrollü bir ortamda yenilik geliştirmesine olanak sağlayarak inovasyon ile düzenleme arasında denge kurmayı hedeflemektedir (FCA, 2015).

FinTech alanında devlet ile özel sektör arasındaki ilişki, klasik düzenleyici–düzenlenen ayrımının ötesine geçmiştir (BIS, 2019). Günümüzde finansal sistem, kamu otoriteleri ile özel teknoloji şirketlerinin birlikte şekillendirdiği hibrit bir yapıya dönüşmüştür (BIS, 2019). Özellikle büyük teknoloji şirketlerinin (BigTech) finans sektörüne girişi, rekabet dengelerini değiştirmiş ve devletlerin düzenleyici kapasitesini daha stratejik hale getirmiştir (BIS, 2019).

Bu noktada özel sektör – kamu dengesi, FinTech ekosisteminin sürdürülebilirliği açısından kritik bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır (Thakor, 2020). Özel sektör inovasyon kapasitesi ve hız avantajına sahipken, kamu otoriteleri finansal istikrar, tüketici güvenliği ve sistemik risklerin yönetiminden sorumludur (Thakor, 2020). Bu nedenle etkin bir FinTech ekosistemi hem inovasyonu teşvik eden hem de kamu yararını koruyan bir denge mekanizmasına ihtiyaç duymaktadır (Thakor, 2020).

FinTech ekosistemi, finansal hizmetlerin dijital hale gelmesiyle, devletin denetleyici işlevini yeniden şekillendiren karmaşık bir dönüşüm alanı yaratmaktadır. Bu aşamada, devletler tamamen müdahale eden ya da tamamen serbest piyasa olan bir yaklaşım yerine, risk odaklı ve esnek bir düzenleyici yapı oluşturmak zorundadır.

4.5. Dijital Egemenlik Kavramı ve Devletin Yeni Rolü

Dijital egemenlik kavramı, devletlerin dijital altyapılar, veri akışları ve dijital ekonomiler üzerinde kontrol, düzenleme ve yönlendirme kapasitesini ifade etmektedir (Floridi, 2020). Küresel ölçekte dijitalleşmenin hızlanması, egemenlik kavramını yalnızca klasik toprak ve hukuk sınırlarıyla sınırlı olmaktan çıkararak veri, teknoloji ve finansal ağlar üzerinden yeniden tanımlanabilir hale getirmiştir (Floridi, 2020). Bu

bağlamda dijital egemenlik, özellikle veri yönetimi ve finansal sistemlerin kontrolü açısından devletlerin stratejik kapasitesini belirleyen önemli bir unsur haline gelmiştir (Floridi, 2020).

Dijital egemenliğin önemli bir boyutu veri egemenliği ve finansal egemenlik ilişkisi üzerinden şekillenmektedir (Zuboff, 2019). Günümüzde ekonomik değer üretiminin önemli bir kısmı veri temelli süreçlerden oluşmaktadır. Finansal işlemler, ödeme sistemleri ve dijital bankacılık uygulamaları büyük ölçüde veri üretmekte ve bu veriler çoğunlukla özel teknoloji şirketlerinin altyapılarında saklanmaktadır (Zuboff, 2019). Bu durum, devletlerin yalnızca para arzı değil, aynı zamanda ekonomik veriye erişim ve bu veriyi düzenleme kapasitesi açısından da yeni bir egemenlik alanı ile karşı karşıya kaldığını göstermektedir (Zuboff, 2019). Veri denetiminin kaybolması, dolaylı yoldan para yönetim sistemlerini de etkileyebilir.

Bu süreç, ulus-devletin dönüşen yapısını da doğrudan etkilemektedir. Geleneksel anlamda ulus-devlet, ekonomik faaliyetler üzerinde düzenleyici ve denetleyici tek meşru otorite konumundayken; dijitalleşme ile bu yapı çok aktörlü bir sisteme dönüşmüştür (Castells, 2010). Özellikle sınır aşan dijital platformlar ve küresel finansal teknolojiler, devletlerin egemenlik alanını yeniden tanımlamaktadır (Castells, 2010). Bu dönüşüm, ulus-devletin ortadan kalkmasından ziyade, egemenliğin paylaşılmak zorunda kaldığı daha karmaşık bir yönetişim modeline işaret etmektedir (Castells, 2010).

Dijital egemenlik tartışmalarının önemli bir boyutu da küresel platformlar karşısında devletin konumudur (BIS, 2019). Büyük teknoloji şirketleri (BigTech), sosyal medya platformları, ödeme sistemleri ve dijital pazar yerleri aracılığıyla ekonomik ve sosyal yaşam üzerinde önemli bir etki alanı oluşturmuştur (BIS, 2019). Bu platformlar, veri kontrolü ve algoritmik yönetim kapasitesi sayesinde devletlerin geleneksel düzenleme gücünü kısmen sınırlayabilmektedir (BIS, 2019). Özellikle sınır ötesi veri akışları ve dijital finansal hizmetler, ulusal düzenleyici çerçevelerin ötesinde faaliyet göstererek "platform egemenliği" olarak adlandırılabilecek yeni bir güç alanı yaratmaktadır (BIS, 2019).

Bu bağlamda devletler, dijital platformlar karşısında tamamen pasif bir konumda değildir; aksine yeni düzenleyici araçlar geliştirmektedir (European Commission, 2018). Veri koruma düzenlemeleri, dijital vergilendirme politikaları ve rekabet hukuku uygulamaları, devletlerin dijital alandaki egemenlik kapasitesini yeniden güçlendirme çabalarının bir parçasıdır (European Commission, 2018). Avrupa Birliği'nin Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) gibi düzenlemeler, dijital egemenliğin kurumsallaşmasına yönelik önemli örnekler arasında yer almaktadır (European Commission, 2018).

Dijital egemenlik terimi, bir devletin sadece fiziksel sınırlar içinde değil, aynı zamanda dijital ağlar, veri sistemleri ve finansal teknolojiler üzerinde de etkinlik göstermesi gerektiği yeni bir egemenlik anlayışını ortaya koymaktadır. Bu durum, devletlerin küresel platformlar ve dijital ekonomi oyuncuları karşısında kendilerini yeniden konumlandırmalarını gerektirmekte; egemenlik ise daha çok düzenleyici kapasite, veri hakimiyeti ve stratejik yönlendirme gücü ile tanımlanmaktadır.

4.6. Yeni Finansal Teknolojilerin Riskleri ve Fırsatları

Yeni finansal teknolojiler (FinTech, blok zincir destekli yapılar, dijital ödeme sistemleri ve yapay zekâ tabanlı finansal hizmetler), finansal sistemin işleyişine derin bir şekil verirken, önemli imkanların yanı sıra ciddi tehditler de yaratmaktadır. Bu değişim, finansal hizmetlerin hızını ve ulaşılabilirliğini artırmakla kalmıyor, aynı zamanda devletlerin düzenleme yeteneklerini, finansal istikrar politikalarını ve güvenlik stratejilerini de yeniden gözden geçirmelerini sağlıyor.

Bu kapsamda en önemli risk alanlarından biri siber güvenlik riskleridir. Finansal teknolojilerin dijital altyapılara dayanması, sistemleri siber saldırılara karşı daha kırılgan hale getirebilmektedir (World Economic Forum, 2024). Özellikle dijital cüzdanlar, ödeme sistemleri ve kripto varlık borsaları gibi platformlar, veri ihlalleri, kimlik hırsızlığı ve fidye yazılımı saldırıları gibi tehditlere açık hale gelmektedir (World Economic Forum, 2024). Dünya Ekonomik Forumu'na göre siber güvenlik riskleri, finansal sistemler için sistemik risk yaratabilecek en önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir (World Economic

Forum, 2024). Bu durum, mali yapının sadece ekonomik değil, aynı zamanda ulusal güvenlik açısından da önemini vurgulamaktadır.

FinTech gelişmelerinin bir diğer önemli boyutu finansal istikrar üzerindeki etkileridir. Dijital finansal hizmetlerin hızla yayılması, bankacılık sektörünün geleneksel iş modellerini değiştirmekte ve finansal aracılık yapısını dönüştürmektedir (Carney, 2017). Özellikle dijital platformlar üzerinden gerçekleşen kredi ve ödeme işlemleri, bankacılık dışı finansal sistemin genişlemesine yol açabilmektedir (Carney, 2017). Bu durum, finansal sistemin daha karmaşık ve birbirine bağlı hale gelmesine neden olarak krizlerin yayılma hızını artırabilmektedir (Carney, 2017). Aynı zamanda kripto para piyasalarının yüksek dalgalanma oranı, finansal piyasalarda dalgalanma tehlikesini çoğaltarak makroekonomik istikrar üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir.

Buna karşılık yeni finansal teknolojiler, devletler açısından önemli mali kapasiteyi artırma potansiyeli de taşımaktadır (IMF, 2023). Dijital ödeme sistemleri ve veri temelli finansal altyapılar, vergi tahsilat süreçlerinin daha etkin ve izlenebilir hale gelmesini sağlayabilir (IMF, 2023). Ayrıca yapay zekâ ve büyük veri analitiği sayesinde kamu gelirlerinin daha doğru tahmin edilmesi ve vergi kaçakçılığıyla daha etkin mücadele edilmesi mümkün hale gelebilir (IMF, 2023). Uluslararası Para Fonu (IMF), dijital finansal sistemlerin doğru şekilde düzenlenmesi halinde kamu mali yönetiminde verimliliği artırabileceğini ve devlet gelirlerini güçlendirebileceğini vurgulamaktadır (IMF, 2023).

Öte taraftan, bu fırsatlar ve riskler birlikte ele alındığında, yeni finansal teknolojilerin iki yönlü bir etki yarattığı anlaşılmaktadır. Bir taraftan finansal erişimi artırarak ekonomik gelişime yardımcı olurken, diğer taraftan siber saldırılar, veri güvenliği ile ilgili problemler ve finansal dalgalanma tehditleri ortaya çıkarabilmektedir. Bu sebeple, devletlerin inovasyonu teşvik eden ve aynı zamanda riskleri azaltan kapsamlı bir düzenleyici yapıyı oluşturması önem kazanmaktadır.

Yeni finansal teknolojiler, çağdaş ekonomik sistemlerin en önemli unsurlarından biri haline gelmiş ve hem fırsatlar hem de riskler barındıran çok yönlü bir değişim alanı yaratmaktadır. Bu süreçte devletlerin düzenleme konusundaki rolü, teknolojik ilerlemelerin seyrini belirleyen en önemli unsurlardan biri olmaya devam etmektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırma, algoritmalarla yönlendirilmiş devlet anlayışı ve yapay zekâ temelli uygulamaların kamusal maliyeye ve mali bağımsızlığa olan etkilerini dijital ekonomik ortamda incelemeyi hedeflemiştir. Elde edilen veriler, dijital dönüşümün kamu mali yönetiminde önemli fırsatlar sunduğunu, fakat aynı zamanda mali bağımsızlığın geleneksel yapısını tehdit eden yeni risk ve belirsizliklerle karşı karşıya kaldığını göstermektedir.

Dijital teknolojilerin, özellikle yapay zekâ ve büyük veri analizinin kamusal maliyeye entegrasyonu, devletlerin mali yeteneklerini artıran önemli bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Vergi denetiminde risk analiz sistemlerinin kullanımı, kamu gelirlerinin daha etkin bir şekilde toplanmasını sağlarken; veri odaklı karar mekanizmalarının kamu harcamalarını planlamada rol alması, kaynakların daha verimli bir biçimde dağıtılmasına olanak tanımaktadır. Bu yenilikler, mali bağımsızlığın sadece zayıflayan bir kavram olmadığını, aynı zamanda teknolojik araçlar ile yeniden güçlendirilebileceğini göstermektedir. Gerçekten de algoritmik karar alma süreçleri, kamu mali yönetiminde hız, kesinlik ve öngörü kabiliyetini artırarak devletin mali yönetim becerisini güçlendirmektedir.

Bununla beraber, dijital ekonominin uluslararası yapısı, çok uluslu firmaların artan etkisi ve kripto varlıklar gibi merkeziyetsiz finans araçlarının yaygınlaşması, devletlerin mali bağımsızlığını önemli derecede kısıtlamaktadır. Özellikle dijital işlemlerin fiziksel varlık olmaksızın yapılabilirliği, geleneksel vergi sistemlerinin temelinde yatan yerleşiklik ve işyeri kavramlarını geçersiz kılmaktadır. Bu durum, vergi matrahının belirlenmesini zorlaştırmakta ve devletlerin vergi toplama yeteneklerini olumsuz yönde

etkilemektedir. BEPS uygulamaları, uluslararası vergi yarışları ve dijital hizmet vergileri üzerine yapılan tartışmalar, mali egemenliğin giderek daha göreli, çok katmanlı ve uluslararası etkileşimlere açık bir hale geldiğini göstermektedir.

Algoritmik devlet anlayışı bağlamında ortaya çıkan algokrasi durumu, kamu maliyesindeki karar alma süreçlerinin özünü köklü bir şekilde değiştirmektedir. Veri odaklı ve otomatik karar verme sistemleri, mali politikaların daha hızlı ve analitik bir şekilde geliştirilmesine yardımcı olurken, bu süreçler şeffaflık, hesap verme ve demokratik denetim açısından yeni sorunlar da ortaya çıkarmaktadır. Özellikle algoritmaların "kara kutu" özelliği, kamu maliyesi gibi doğrudan sosyal refahı etkileyen bir alanda güven sorunları yaratabilmektedir. Bu sebeple, dijitalleşme sürecinin yalnızca teknik bir dönüşüm olarak değil, aynı zamanda etik, hukuki ve yönetişim boyutlarıyla birlikte ele alınması gerekmektedir.

Yeni finansal teknolojiler, mali egemenliğin evrimi üzerinde önemli bir etki yapmaktadır. Kripto paralar ve blok zincir teknolojisi, finansal işlemlerde merkezi otoritelere olan bağımlılığı azaltarak, devletlerin denetim yeteneklerini sınırlamaktadır. Öte yandan, merkez bankası dijital paraları (CBDC) gibi uygulamalar, devletlerin dijital ortamda parasal egemenliklerini yeniden kurma çabalarını yansıtır. Bu teknolojiler, finansal sistemde şeffaflık ve verimlilik gibi faydalar sağlarken, aynı zamanda siber güvenlik tehditleri, finansal istikrar riskleri ve düzenleme eksiklikleri gibi ciddi sorunlar da ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, dijital finansal dönüşüm, devlet için hem fırsatlar hem de riskler barındıran karmaşık bir etki yaratmaktadır.

Bu bağlamda, çalışmanın sonuçları dijitalleşmenin mali egemenlik üzerindeki etkisinin yalnızca tek taraflı olmadığını göstermektedir. Diğer yandan, dijital ekonomi, vergi gelirlerini azaltarak ve ekonomik faaliyetleri ülke sınırlarının ötesine taşıyarak devletlerin mali yönetime olan hakimiyetini zayıflatmaktadır; fakat yapay zekâ, veri analizi ve dijital denetim araçları sayesinde mali yönetimin etkinliği artmakta ve devletlerin mali güçleri güçlenmektedir. Bu çift yönlü durum, mali egemenliğin günümüzde statik bir kavram olmaktan çıkarak dinamik, esnek ve çok yönlü bir hale geldiğini göstermektedir.

Bu dönüşüm sürecinde önemli olan en kritik faktör, devletlerin teknolojik uyum sağlama yeteneği ve kurumsal altyapılarının sağlamlığıdır. Gelişmiş dijital altyapılar, etkili veri yönetim sistemleri ve kuvvetli yasal düzenlemelere sahip ülkeler, dijitalleşmeyi mali egemenliklerini güçlendiren bir araç haline dönüştürebilirken; bu alanlarda zayıf kalan ülkeler için dijitalleşme, egemenlik kaybı tehlikesini artırabilmektedir. Ayrıca dijital ekonominin küresel doğası, mali egemenliğin korunmasında uluslararası iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Bu açıdan mali egemenlik, artık sadece ulusal ölçekte bir yetki olarak değil; küresel yönetişim mekanizmalarıyla şekillenen "paylaşılan" bir yapı olarak ele alınmalıdır.

Bu bağlamda, dijital çağda mali bağımsızlığın devamlılığı için kapsamlı politika önlemlerine ihtiyaç vardır. Öncelikle, dijital ekonomiye uyumlu yeni vergi sistemlerinin oluşturulmasıyla vergi tabanındaki erozyon engellenmelidir. Uluslararası vergi iş birliği yapıları güçlendirilmeli ve ortak standartlar belirlenmelidir. Veri egemenliği çerçevesinde ulusal veri altyapılarının geliştirilmesi ve veri yönetimi konusunun stratejik öncelik haline getirilmesi gerekmektedir. Kamu maliyesinde kullanılan algoritmik sistemlerin şeffaf, denetlenebilir ve etik kurallara uygun olması sağlanmalı; bu doğrultuda açıklanabilir yapay zekâ uygulamalarının desteklenmesi gerektiği vurgulanmalıdır. Ayrıca, finansal sistemlerin dijitalleşmesiyle artan siber güvenlik tehditlerine karşı etkili koruma mekanizmalarının oluşturulması önemlidir; merkez bankası dijital paraları ve FinTech düzenlemeleri, finansal istikrar ile yenilik arasında bir denge sağlayacak şekilde planlanmalıdır.

Sonuç itibarıyla, algoritmik devlet ve yapay zekâ döneminde mali egemenlik tamamen kaybolmuş bir olgu değildir; bilakis değişen, yeniden şekillenen ve teknolojik ilerlemelerle birlikte dönüşen dinamik bir yapıya sahiptir. Bu yeni süreçte devletlerin mali egemenliklerini sürdürebilmeleri, sadece yasal yetkilere değil; aynı zamanda dijital altyapıya, veri yönetimi becerisine ve uluslararası iş birliği sağlama yeterliliklerine bağlıdır. Bu sebeple kamu maliyesi politikalarının, dijital çağın ihtiyaçlarına uygun bir şekilde yeniden düzenlenmesi, mali egemenliğin geleceği için son derece önemli bir konudur.

KAYNAKÇA

Agarwal, R., Dhar, V., & Goyal, A. (2014). Big data in public policy. *Communications of the ACM, 57*(7), 68–80.

Akdoğan, A. (2019). *Kamu maliyesi*. Gazi Kitabevi.

Allen, R., Hemming, R., & Potter, B. (Eds.). (2013). *The international handbook of public financial management*. Palgrave Macmillan.

Aneesh, A. (2009). Global labor: Algocratic modes of organization. *Sociological Theory, 27*(4), 347–370.

Arner, D. W., Barberis, J., & Buckley, R. P. (2016). The evolution of FinTech: A new post-crisis paradigm? *Georgetown Journal of International Law, 47*(4), 1271–1319.

Atmaca, Y., & Karaçay, F. (2020). Türkiye'deki kamu yönetimi reformlarında dijitalleşme ve e-yönetişim. *Amme İdaresi Dergisi, 4*(8), 260–280.

Auer, R., & Böhme, R. (2020). The technology of retail central bank digital currency. *BIS Quarterly Review*.

Avi-Yonah, R. S. (2000). Globalization, tax competition, and the fiscal crisis of the welfare state. *Harvard Law Review, 113*(7), 1573–1676.

Bank for International Settlements. (2019). *Big tech in finance: Opportunities and risks*.

Bank for International Settlements. (2021). *Central bank digital currencies: Foundational principles and core features*.

Bank of England. (2020). *Central bank digital currency: Opportunities, challenges and design*.

Beer, D. (2017). The social power of algorithms. *Information, Communication & Society, 20*(1), 1–13.

Bird, R. M., & Zolt, E. M. (2008). Technology and taxation in developing countries. *National Tax Journal, 61*(4), 791–821.

Brauner, Y. (2018). Taxing the digital economy post-BEPS. *Intertax, 46*(5), 388–394.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). The business of artificial intelligence. *Harvard Business Review*.

Burrell, J. (2016). How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms. *Big Data & Society, 3*(1).

Carney, M. (2017, September 27). *The growing challenges for monetary policy in the current international monetary and financial system* [Speech]. Bank of England.

Castells, M. (2010). *The rise of the network society* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *Orta Vadeli Program*.

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection*. Stanford University Press.

Danaher, J., Hogan, M. J., Noone, C., Kennedy, R., Behan, A., De Paor, A., Felzmann, H., & Shankar, K. (2017). Algorithmic governance: Developing a research agenda through the power of collective intelligence. *Big Data & Society, 4*(2), 1–21.

Davenport, T. H. (2006). Competing on analytics. *Harvard Business Review, 84*(1), 98–107, 134.

Devereux, M. P., & Vella, J. (2018, January). Value creation as the fundamental principle of the international corporate tax system. *SSRN Electronic Journal*.

Devereux, M. P., Vella, J., & Wardell-Burrus, S. (2019). *Destination-based cash flow tax*. Oxford University Centre for Business Taxation.

Deloitte. (2020). *Blockchain in public sector: Applications and implications*. Deloitte Insights.

Edizdoğan, N. (2013). *Kamu maliyesi*. Ekin Yayınları.

Erol, A., & İkiok, E. C. (2026). Kripto varlıkların vergilendirilmesinin Türk hukuku ve diğer hukuk sistemleri bakımından değerlendirilmesi. *Yeditepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 23*(1), 169–210.

European Commission. (2018a). *Fair taxation of the digital economy*.

European Commission. (2018b). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj

Financial Action Task Force. (2021). *Updated guidance for a risk-based approach to virtual assets and VASPs*.

Financial Conduct Authority. (2015). *Regulatory sandbox report*.

Floridi, L. (2020). The fight for digital sovereignty. *Philosophy & Technology, 33*, 369–378.

Gelir İdaresi Başkanlığı. (2020). *Dijital hizmet vergisi uygulaması hakkında genel bilgiler*.

Gelir İdaresi Başkanlığı. (2021). *Faaliyet raporu*.

International Monetary Fund. (2018). *Digitalization and the future of tax administration*.

International Monetary Fund. (2022). *The future of money: Gearing up for central bank digital currency*.

International Monetary Fund. (2023). *Fintech and the future of finance*.

Khwaja, M. S., Awasthi, R., & Loeprick, J. (2011). *Risk-based tax audits*. World Bank.

Kitchin, R. (2017). Thinking critically about and researching algorithms. *Information, Communication & Society, 20*(1), 14–29.

Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management, 39*, 80–89.

Lazer, D., Kennedy, R., King, G., & Vespignani, A. (2014). The parable of Google Flu: Traps in big data analysis. *Science, 343*(6176), 1203–1205.

Musgrave, R. A., & Musgrave, P. B. (1989). *Public finance in theory and practice*. McGraw-Hill.

Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

OECD. (2015). *Addressing the tax challenges of the digital economy: Action 1 – BEPS final report*.

OECD. (2017). *Technology tools to tackle tax evasion and tax fraud*.

OECD. (2019). *Artificial intelligence in society*.

OECD. (2020). *Tax challenges arising from digitalisation: Report on pillar one blueprint*.

O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction*. Broadway Books.

Ølnes, S., Ubacht, J., & Janssen, M. (2017). Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *Government Information Quarterly, 34*(3), 355–364.

Robinson, M., & Last, D. (2009). *A basic model of performance-based budgeting*. IMF Technical Notes.

Sai, A. R., Buckley, J., Fitzgerald, B., Gear, A. L., & Paik, H. Y. (2020). Taxonomy of centralization in public blockchain systems. *Information Processing & Management, 58*(4), Article 102584.

Sun, T. Q., & Medaglia, R. (2019). Mapping the challenges of AI in the public sector. *Government Information Quarterly, 36*(2), 368–383.

Tanzi, V. (2011). *Government versus markets*. Cambridge University Press.

Tanzi, V. (2018). *Termites of the state*. Cambridge University Press.

Thakor, A. V. (2020). Fintech and banking. *Journal of Financial Intermediation, 41*, Article 100833.

UNCTAD. (2019). *Digital economy report 2019*. United Nations.

Wang, W., Thai, H. D., Hu, P., Xiong, Z., et al. (2019). A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks. *IEEE Access, 7*, 22328–22370.

Wirtz, B. W., Weyerer, J. C., & Geyer, C. (2019). Artificial intelligence and the public sector—Applications and challenges. *International Journal of Public Administration, 42*(7), 596–615.

World Bank. (2018). *Public expenditure and financial accountability handbook*.

World Economic Forum. (2024). *Global cybersecurity outlook 2024*.

Yeung, K. (2018). Algorithmic regulation: A critical interrogation. *Regulation & Governance, 12*(4), 505–523.

Yücel, Ö. (2024). Kripto varlıkların vergilendirilmesinin merkezindeki sorun. *Maliye Dergisi*, (186), 195–219.

Zetzsche, D. A., Buckley, R. P., Arner, D. W., & Barberis, J. N. (2017). From FinTech to TechFin: The regulatory challenges of data-driven finance. *NYU Journal of Law & Business, 14*(2), 393–446.

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism*. PublicAffairs.

https://doi.org/10.71284/asc.2026138

THE IMPACT OF INDUSTRIAL VISITS ON TECHNICAL COMPETENCY: A STUDY OF DIPLOMA IN MECHANICAL ENGINEERING (INDUSTRIAL PLASTIC)

ENDÜSTRİYEL ZİYARETLERİN TEKNİK YETERLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ (ENDÜSTRİYEL PLASTİK) DİPLOMA PROGRAMI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Mohd Fadhli Bin Ahmad [1]
Mohd Fadzil Bin Allias [2]
Mohd Alfathi Bin Md Udin [3]

Abstract

In the landscape of higher education, industrial visits are recognized as a vital mechanism for bridging the gap between theoretical classroom knowledge and practical industry requirements. Industrial visits is an activity carried out to enhance student knowledge on a job field and it aims to expose students to the professions in various organizations. By carrying out an industrial visits the students will get clear nourishment on work discipline which in fact is significantly different in the world of work rather than in classroom learning experience. The purpose of this study is to determine and evaluate the degree of suitability of teaching and learning methods through Industrial visits and to evaluate student's soft skills. Feedback from 23 diploma students of Politeknik Sultan Abdul halim Muadzam Shah in mechanical engineering (industrial plastic) were obtained. The instruments used were questionnaire and observation with the firm to achieve the objectives of the study. The data were analyzed by using Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 23.0. The value of Cronbach's Alpha 0.877 shows that the questionnaire used was reliable to collect the study data. The findings show that the impact of industrial visits in the teaching and learning process has a positive impact with a mean value of 3.86. This study demonstrates that academic form of industrial visits needs to be continued as it provides more open learning experience for students. Student's soft skills can also be improved in line with the Program Learning Outcome (PLO) of polytechnic. Students found this method very useful and they were able to remember a fair bit of information after about semester from the trip date. By providing practical insights and real-world experiences, these visits not only enrich the educational journey but also equip students with the skills and knowledge necessary to succeed in their future professional careers. Some suggestions from the firm in improving the quality of study at polytechnics are also included.

Keywords: Industrial visit, teaching and learning, education.

[1]Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Shah, mfadh25@gmail.com, https://orcid/org/0009-0005-7047-8899
[2]Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Shah, abualhadif@gmail.com
[3]Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Shah, alfathi75@yahoo.com

Özet

Yükseköğretim alanında, endüstriyel ziyaretler teorik sınıf bilgisi ile uygulamaya yönelik endüstri gereksinimleri arasındaki boşluğu kapatmada önemli bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Endüstriyel ziyaretler, öğrencilerin belirli bir iş alanındaki bilgilerini artırmak amacıyla gerçekleştirilen ve onları çeşitli kuruluşlardaki mesleklerle tanıştırmayı hedefleyen bir etkinliktir. Endüstriyel ziyaretler sayesinde öğrenciler, iş disiplinine dair daha net bir anlayış kazanır; bu disiplinin, sınıf ortamındaki öğrenme deneyiminden önemli ölçüde farklı olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, endüstriyel ziyaretler yoluyla öğretim ve öğrenme yöntemlerinin uygunluk derecesini belirlemek ve değerlendirmek ile öğrencilerin yumuşak becerilerini (soft skills) incelemektir. Malezya'daki Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Şah'ta Makine Mühendisliği (Endüstriyel Plastik) programında öğrenim gören 23 diploma öğrencisinden geri bildirim alınmıştır. Çalışmanın amaçlarına ulaşmak için anket ve firma ile yapılan gözlem yöntemleri kullanılmıştır. Veriler, Statistical Package for Social Sciences (SPSS) sürüm 23.0 kullanılarak analiz edilmiştir. Cronbach Alfa değerinin 0,877 olması, kullanılan anketin veri toplamada güvenilir olduğunu göstermektedir. Bulgular, endüstriyel ziyaretlerin öğretim ve öğrenme sürecine etkisinin ortalama 3,86 değeri ile olumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, akademik amaçlı endüstriyel ziyaretlerin sürdürülmesi gerektiğini, çünkü öğrencilere daha açık ve etkili bir öğrenme deneyimi sunduğunu göstermektedir. Öğrencilerin yumuşak becerileri de politeknik Program Öğrenme Çıktıları (PLO) ile uyumlu şekilde geliştirilebilmektedir. Öğrenciler bu yöntemi oldukça faydalı bulmuş ve ziyaret tarihinden yaklaşık bir dönem sonra bile önemli ölçüde bilgiyi hatırlayabildiklerini belirtmişlerdir. Bu ziyaretler, pratik bilgiler ve gerçek yaşam deneyimleri sunarak yalnızca eğitim sürecini zenginleştirmekle kalmaz, aynı zamanda öğrencileri gelecekteki mesleki kariyerlerinde başarılı olmaları için gerekli bilgi ve becerilerle donatır. Ayrıca, politekniklerde eğitimin kalitesini artırmaya yönelik firmadan alınan bazı önerilere de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öğretim ve öğrenme, endüstriyel ziyaret, eğitim.

INTRODUCTION

In the effort to position Malaysia as a global centre of excellence in higher education, the National Higher Education Strategic Plan was introduced in 2007. One of its main priorities is enhancing the quality of teaching and learning to produce graduates who are creative, innovative, competent, and highly skilled. In line with this direction, the transformation towards Outcome-Based Education (OBE) was implemented to strengthen teaching and learning quality in accordance with international standards, including requirements aligned with the Washington Accord engineering accreditation framework (Shahrom et al., 2011). Unlike the traditional reliance on Cumulative Grade Point Average (CGPA) alone, OBE emphasizes the assessment of student learning outcomes at the end of a course, enabling a more comprehensive evaluation of students' competencies and capabilities.

To support this educational reform, the Curriculum Development and Evaluation Division under the Department of Polytechnic Education has developed various diploma programmes across multiple disciplines. The Diploma in Mechanical Engineering (industrial plastic), for instance, is designed to equip students with essential knowledge, technical skills, and competencies required in the mechanical engineering sector. Industry stakeholders have been actively involved in curriculum development to ensure alignment with current industrial needs. Among the Programme Learning Outcomes (PLO) for this diploma are: effective communication with engineering professionals and society (PLO6), demonstration of professional ethics and engineering responsibilities (PLO8), and awareness of engineering practices in relation to sustainable development (PLO10).

Teaching refers to the selection and application of appropriate methods, strategies, activities, and instructional media to facilitate students in achieving learning objectives. It may involve explanation, demonstration, experimentation, or a combination of approaches. Effective and engaging teaching is essential in producing graduates who meet societal and national expectations (Mok Soon Sang, 2006). The primary goal of higher education institutions is to produce graduates equipped with relevant knowledge and skills that match labour market demands. Hasliza (2003) emphasizes that educational institutions are responsible for producing skilled graduates who are capable of adapting to industrial changes, while also serving as centres of knowledge that nurture independent and knowledgeable individuals.

However, concerns have frequently been raised regarding graduate employability. Reports in local media have highlighted weaknesses in communication skills, English proficiency, critical thinking, and social interaction abilities among graduates, which affect their job readiness. While academic institutions believe they are adequately preparing students with necessary skills, employers often hold differing views. Lewis (2001) identified a significant gap between academic expectations and employer requirements, particularly in written and verbal communication, problem-solving abilities, and teamwork skills. Industrial visits have been identified as one approach to addressing these gaps by enhancing students' character development and intrapersonal skills. According to Mok Soon Sang (2006), intrapersonal skills involve self-development and the ability to apply personal models effectively in daily life. During industrial visits, students are exposed to real working environments, allowing them to observe workplace practices, adapt to professional expectations, and understand operational requirements. Siti Suhaila et al. (2017) found that students are highly engaged and motivated by industrial visits, as these experiences allow them to connect classroom theories with real-world applications and gain early exposure to their future careers. In addition, such visits help strengthen interpersonal skills, analytical thinking, and critical reasoning abilities. Overall, industrial visits provide meaningful experiential learning opportunities that actively involve students in real-time industry exposure alongside academic staff.

Despite their importance, employers continue to express concerns regarding the preparedness of graduates from public higher education institutions. Many graduates are perceived as lacking essential soft skills, including writing, quantitative reasoning, presentation, and communication skills relevant to workplace demands. In Malaysia, diploma students in their sixth semester across polytechnics are required to undergo industrial training in either government or private organizations based on their preferences. However, the relatively short duration of only five months has led management to introduce additional initiatives, such as industrial visits, to expose students earlier to real engineering practices. The primary aim of these visits is to enhance students' exposure to current technological developments and industry practices. Therefore, this study was conducted to evaluate the extent to which industrial visits positively influence students in achieving Programme Learning Outcomes (PLO), particularly among Diploma in Mechanical Engineering students. This study aims to examine the extent to which industrial visits are suitable as a teaching and learning platform in polytechnics and assess the development of students' soft skills through participation in industrial visits.

1. METHOD

This study employed a quantitative research design using a questionnaire based on a 4-point Likert scale. Responses were collected from 23 Diploma in Mechanical Engineering (Industrial Plastic) students at POLIMAS following their industrial visit to Guppy Plastic Industries Sdn Bhd in November 2025. To analyse respondents' perceptions, the mean scores obtained from the questionnaire were interpreted according to the classification system presented in Table 1.

Table 1. Mean Interpretation

Mean	1.00 – 1.33	1.34 – 2.67	2.68 – 4.00
Mean Interpretation	Low	Medium	High

*Adapted from Wiersma (1995)

Observations were carried out by the researcher with emphasis on students' soft skills throughout the industrial visit. In addition, interview sessions were conducted between the researcher and the industry personnel to identify the competencies required for students in preparing for future workplace environments. Suggestions and feedback provided by the firm were also taken into account as input for enhancing the quality of polytechnic graduates.

2. FINDINGS AND DISCUSSION

The questionnaire findings indicated that students strongly agreed with the implementation of industrial visits, reflected by a high mean score of 3.86 as presented in Table 2. The results also suggest that industrial visits should be conducted across different industries prior to students undertaking their industrial training in the sixth semester. Since industrial training is scheduled at the final stage of the programme, students may initially lack sufficient exposure to real engineering work environments. Therefore, industrial visits serve as a suitable preparatory step before students proceed to industrial training.

Table 2. Mean Value for each item

NO	ITEM	MEAN VALUE	STANDARD DEVIATION	INTERPRETATION OF MEAN
1	Enhancing knowledge of learning outcomes.	3.87	.344	High
2	Making connections with the field of study being pursued.	3.91	.288	High
3	Understanding the relationship between theoretical and practical learning.	3.87	.344	High
4	Confident in giving opinions.	3.78	.422	High
5	Sharing ideas openly.	3.87	.344	High
6	Increasing the desire to explore the field of study being learned.	3.87	.344	High
7	Increasing self-motivation.	3.87	.344	High
8	Helping oneself become more focused and productive in the field of study being learned.	3.83	.491	High
9	Understanding responsibilities and the need to put them into practice.	3.91	.288	High
10	Demonstrating skills in interacting with industry parties.	3.83	.388	High
11	Understanding the importance of relationships with industry stakeholders.	3.91	.288	High
12	Preparing oneself to enter the working world.	3.87	.344	High

Students were also highly impressed by the industrial visit experience, as it provided an academic platform that brought them closer to real career environments. This is supported by high mean score. The findings show that students were highly engaged and demonstrated active communication with the industry personnel. During the visit to Guppy Plastic Industries Sdn. Bhd., students observed process demonstrations

and were given detailed explanations on the production flow of plastic chips. Sufficient time was allocated for students to ask questions related to the processes involved. The active question-and-answer session contributed positively, as it highlights the importance of communication skills that students will need when interacting with employees at different organizational levels in the future.

Furthermore, the visit helped to enhance students' ethical awareness and professional values within the engineering industry. Students were introduced to workplace ethics and operational standards at Guppy Plastic Industries Sdn. Bhd., particularly the emphasis on hygiene and quality control in manufacturing processes. The company also stressed the importance of improving students' attitudes and communication skills, especially English proficiency. This observation is supported by the researcher, as it was noted that many students used Malay as the primary medium of communication during the Q&A session. This finding aligns with Nigam et al. (1990), who reported weaknesses in English proficiency among industrial trainees. Similarly, Ramlee et al. (2001) found that students in skills-based programmes often face communication challenges. These studies highlight that soft skills play a crucial role in improving graduate employability. In addition, in response to the Industrial Revolution 4.0, the industry recommended that curriculum content should be continuously revised to reflect current developments in manufacturing technologies. Significant gaps between academic knowledge and industrial practice may negatively affect graduates, as industries may need to retrain new employees from the beginning to meet operational requirements.

CONCLUSION

Since the mean scores for all items are close to 4.0, the industrial visit programme should be maintained as it has proven to be an effective learning approach. It also helps foster a positive perception of students within industry settings and supports their development as future industrial workers. It is recommended that lecturers integrate the industrial visit experience with relevant course topics and learning outcomes within the module. This integration will make the visit more meaningful and help students better understand the connection between industrial exposure and academic content. As a result, students can clearly relate what they observe during visits to their classroom learning objectives. The findings also indicate that students prefer industrial visits as an additional learning method that complements formal teaching.

To maximise the benefits of industrial visits, more emphasis should be placed on practical and live demonstrations rather than purely theoretical explanations. This approach allows students to gain a clearer understanding of the overall company operations and production processes, thereby increasing their interest in real industrial environments. In addition, polytechnics should further strengthen students' soft skills to support their career development, particularly in communication. English language proficiency among students also needs to be improved. Encouraging student participation in presentations conducted in English at the polytechnic level can help build confidence and courage in using the language, preparing them for communication in real workplace environments.

REFERENCES

Doris V.D.,&Hope B.C.,(2008). *Designing A Marketing With Field Site Visit, Journal Of Marketing Education* ,Vol 30,No 3. pp189-206

Hasliza Hassan, (2003). *Kemahiran Siswazah Tidak Tepati Kehendak Pasaran.* BeritaHarian 25 April 2003.

Lewis, P. S., Goodman, S. H and Fandt, P. M., (2001). *Management: Challenges in the 21" Century* (3,d ed). Ohio: South-Western.

Mok Soon Sang (2006). *Nota Pengurusan Pengajaran-Pembelajaran.* Subang Jaya: Multimedia-ES Resources Sdn. Bhd

Nigam et al. (1990). *Malaysian resources development project*: II Report of core group. UNDP, ILO & EPU.

Ramlee et al. (2001). *Workplace literacy: Employer' perspectives*. The 8th international literacy and education research network (LERN), Conference on learning, Spetses, Greece. 4-8 Julai.

Shahrom Md Zain, Wan Hamidon Wan Badaruzzaman, Riza Atiq O.K Rahmat, Othman Jaafar, Noor Ezlin Ahmad Basri dan Hassan Basri.(2011). *Pengukuran Hasil Pembelejaran Bagi Komponen Alam Sekitar dan Pembangnuan Lestari Dalam Bidang Kejuruteraan Awam*. Prosiding Seminar Pendidikan Kejuruteraan & Alam Bina(PeKA11), (pp. 69-80)

Sharifah et. al. (2015). *E-Proceeding of the 2nd International Conference on Arabic Studies and Islamic Civilization, iCASiC2015* (e-ISBN 978-967-0792-02-6), 9-10 March 2015, Kuala Lumpur, Malaysia

Siti Syuhaila Binti Zahari (2017). *Kesan Industrial Exposure Dalam Proses Pengajaran Dan Pembelajaran: Satu Kajian Kes Bagi Pelajar Sijil Pelancongan Di Kolej Komuniti Kuala Langat*, E-Proceeding National Innovation and Invention Competition Through Exhibition (Icompex'17)

Wiersma, W. (1995)."*Research Method in Education*". Allyn & Bacon: Boston.

https://doi.org/10.71284/asc.2026139

LİSE ÖĞRENCİLERİNİN MESLEKİ YÖNELİMLERİNİ BELİRLEMEYE YÖNELİK ÇOK DEĞİŞKENLİ VE YAPAY ZEKA DESTEKLİ BİR MODEL UYGULAMASI[1]

AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED MODEL FOR DETERMINING HIGH SCHOOL STUDENTS' VOCATIONAL ORIENTATIONS ACROSS MULTIPLE VARIABLES

Esin Türkoğlu[2]
H. Zekavet Kabasakal[3]

Özet

Meslek seçimi, bireyin yaşam doyumu, akademik sürekliliği ve kariyer uyumu açısından belirleyici bir gelişimsel karardır. Son yıllarda yükseköğretim programlarına yerleştiği hâlde yeniden sınava giren ya da farklı bir programa yönelen öğrenci sayılarındaki artış, ortaöğretim düzeyinde yürütülen kariyer danışmanlığı hizmetlerinin daha bütüncül, kişiselleştirilmiş ve veri temelli bir biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, lise öğrencilerinin ilgi alanları, karakter güçleri ve mesleki değerleri temelinde oluşturulan mesleki eğilim profillerinin, öğrencilerin yükseköğretim tercihleriyle ilişkisini yapay zekâ destekli bir değerlendirme yaklaşımı çerçevesinde incelemektir. Araştırma karma desende planlanmıştır. Çalışma grubunu Manisa ili Şehzadeler ilçesinde öğrenim gören 12. sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Veri toplama sürecinde Kişisel Küre Envanteri, Karakter Güçleri Envanteri, Mesleki Değer Envanteri ve kişisel bilgi formu kullanılmış; izleme aşamasında ise Akademik Branş Memnuniyet Ölçeğinin uygulanması planlanmıştır. Ölçeklerden elde edilen veriler bütüncül biçimde değerlendirilerek öğrenciler için bireyselleştirilmiş mesleki eğilim profilleri oluşturulmuştur. Bu profillerin yorumlanmasında yapay zekâ destekli analiz yaklaşımından olan AIYA isimli yapay zeka aracından yararlanılmıştır. Çalışmanın, ortaöğretim düzeyinde kariyer danışmanlığı hizmetlerinin kişiselleştirilmesine, tercih danışmanlığının veri temelli yürütülmesine ve yapay zekânın insan merkezli kariyer danışmanlığı ve rehberlik süreçlerinde destekleyici bir araç olarak kullanılmasına katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mesleki eğilim profili, kariyer danışmanlığı, lise öğrencileri, yapay zekâ, kişisel küre envanteri.

[1]Bu çalışma doktora tezinden türetilmiştir.

[2]Doktora Öğr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, esinturkoglu@gmail.com, https://orcid.org/0009-0005-0783-8820

[3] Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, zekavet.kabasakal@deu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-3450-1060

Abstract

Career choice is a decisive developmental milestone in terms of an individual's life satisfaction, academic persistence, and career adaptability. In recent years, the increasing number of students who re-enter national exams or transition to different programs despite being placed in a higher education institution necessitates a more holistic, personalized, and data-driven approach to career counseling services at the secondary education level.

The objective of this study is to examine the relationship between students' higher education preferences and their vocational tendency profiles—constructed based on interests, character strengths, and vocational values—within the framework of an AI-supported assessment approach. The research is designed using a mixed-methods approach. The study group consists of 12th-grade students attending schools in the Şehzadeler district of Manisa province. Data collection instruments include the Personal Globe Inventory, the Character Strengths Inventory, the Vocational Values Inventory, and a personal information form. In the follow-up phase, the application of the Academic Branch Satisfaction Scale is planned.

Data obtained from these scales were evaluated holistically to create individualized vocational tendency profiles for the students. An AI-supported analysis tool named "AIYA" was utilized to interpret these profiles. This study is expected to contribute to the personalization of career counseling services at the secondary level, the implementation of data-driven preference counseling, and the utilization of artificial intelligence as a supportive tool in human-centered career counseling and guidance processes.

Keywords: Vocational tendency profile, career counseling, high school students, artificial intelligence, personal globe inventory.

GİRİŞ

Meslek seçimi, bireyin yalnızca çalışma yaşamını değil; yaşam doyumunu, benlik algısını, akademik sürekliliğini ve psikolojik iyi oluşunu da etkileyen çok boyutlu bir gelişimsel süreçtir. Kariyer gelişimi bu nedenle yalnızca bir tercih listesi oluşturma işi olarak değil, bireyin kendisini tanıması, geleceğe ilişkin seçeneklerini değerlendirmesi ve yaşamını anlamlı biçimde yapılandırmasıyla ilişkili bir görev olarak görülmelidir (Athanasou & Van Esbroeck, 2008). Mesleki ilgilerin doğru biçimde değerlendirilmesi, bireyin kendisi ve meslekler hakkında daha gerçekçi bilgiye ulaşmasına, daha tutarlı eğitim ve kariyer kararları vermesine ve uzun vadede kariyer başarısını öngörmesine katkı sağlamaktadır (Morris, 2016).

Literatürde kariyer gelişimi üzerine yürütülen çalışmalar, bireylerin yaptıkları meslek seçiminin yalnızca ekonomik sonuçlarını değil; psikolojik iyi oluş, yaşam doyumu, öz-yeterlik ve kimlik gelişimi gibi pek çok boyutunu doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır (Çakır, 2004; Brown, 2003). Bu denli kapsamlı bir etkiye sahip olan meslek kararının, bireyin ilgi alanları, kişilik özellikleri ve değerleriyle uyumlu biçimde verilmesi, uzun vadeli kariyer uyumu açısından belirleyici öneme sahiptir. Bu çerçevede lise dönemi, kariyer kararları bakımından kritik bir gelişim evresidir. Özellikle 12. sınıf düzeyindeki öğrenciler yükseköğretim tercihleriyle ilgili yoğun bir kariyer kararı kaygısı yaşamaktadırlar. Ancak bu kararlar çoğu zaman yalnızca sınav puanı, aile beklentisi, çevresel prestij algısı ya da popüler meslek söylemleri üzerinden şekillenebilmektedir. Yükseköğretim Kurulu'ndan alınan verilere bakıldığında, daha önce bir programa yerleşmiş olduğu halde tekrar başka bir bölüme geçenlerin sayısında bir artış olduğu göze çarpmaktadır. 2021 yılında 428 bine yakın öğrenci, bir programa yerleşmiş olduğu halde başka bir program için tekrar başvuru yapmışken, bu sayı 2022'de 470 bine, 2023 yılında ise %68'lik bir artışla 693 bine çıkmıştır. Bu durum, öğrencinin, yerleşmiş olduğu programın kendisine uygun olmadığını fark ettiği şeklinde yorumlanabilir. Bu eğilim, mevcut kariyer danışmanlığı süreçlerinde yapısal bir yetersizliğe işaret etmekte ve öğrencilerin meslek tercihlerinin daha sistematik, bütüncül ve kişiselleştirilmiş bir anlayışla

desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, ortaöğretim düzeyinde yürütülen kariyer danışmanlığının yalnızca bilgilendirme odaklı değil, bireyin özelliklerini merkeze alan veri temelli bir yapı içinde yürütülmesi, öğrencilere sağlıklı bir kariyer danışmanlığı hizmeti sunulması anlamında daha etkili olabilir.

Kariyer danışmanlığında bireyin ilgi alanlarının belirlenmesi, kişilik özelliklerinin ve değer sisteminin ortaya konması, kişiye özgü mesleki eğilim profillerinin oluşturulmasında temel işlev görmektedir. Holland'ın RAYSGD modeli, Tracey'nin Küresel İlgi Modeli ve Peterson ve arkadaşlarının Kognitif Bilgi İşleme Kuramı gibi teorik çerçeveler, meslek seçimi sürecini çok boyutlu ve etkileşimsel bir perspektiften ele almaktadır. Bununla birlikte, bu modellerin bireysel düzeyde uygulanması ve entegre bir profil çerçevesinde yorumlanması, hem zaman hem de uzman kapasitesi gerektirmektedir.

Son yıllarda kariyer danışmanlığı alanında yapay zekâ (YZ) destekli araçların kullanımına yönelik artan bir ilgi gözlemlenmektedir. Yapay zekâ, büyük veri setlerini analiz etme, bireysel örüntüleri tanıma ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sunma kapasitesiyle geleneksel danışmanlık süreçlerini destekleyici bir işlev üstlenebilmektedir (Akmal, 2025). Bu bağlamda geliştirilen AIYA (Artificial Intelligence Yorumlayıcı Aracı), kariyer ve yaşam tasarımı alanında insan merkezli bir yapay zekâ ajanı olarak konumlandırılmaktadır. AIYA; öğrencilerin ölçek verilerinden elde edilen mesleki eğilim profillerini yorumlamanın yanı sıra, 7/24 erişilebilir bir rehberlik kaynağı ve kariyer kararı desteği işlevi görmektedir.

Bu araştırmanın temel problemi, lise öğrencilerinin ilgi alanları, karakter güçleri ve mesleki değerlerinin birlikte ele alınmasının, onların yükseköğretim tercihlerini anlamada ve öngörmede ne ölçüde işlevsel olabileceğidir. Çalışma, öğrencilerin mesleki yönelimlerini yalnızca tek bir ölçekten elde edilen puanlarla değil, çoklu ölçme araçlarından gelen verilerin bütünleştirilmesiyle değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, kariyer danışmanlığında tek boyutlu yaklaşımların ötesine geçmekte ve çok bileşenli bir profil mantığı önermektedir.

Araştırmanın bir diğer özgün yönü, oluşturulan mesleki eğilim profillerinin yapay zekâ destekli bir değerlendirme yaklaşımıyla yorumlanmasıdır. Yapay zekâ temelli sistemlerin eğitim bağlamında insan merkezli, etik ve destekleyici bir anlayışla kullanılması gerektiği UNESCO tarafından da özellikle vurgulanmaktadır (Miao & Holmes, 2023). Bu çalışma da yapay zekâyı, psikolojik danışmanın yerini alan bir karar verici olarak değil; çok boyutlu veriyi daha sistematik biçimde yorumlamayı kolaylaştıran bir araç olarak konumlandırmaktadır.

Bu çalışma, lise öğrencilerinin ilgi alanları, karakter güçleri ve mesleki değerleri temel alınarak oluşturulan mesleki eğilim profillerinin yükseköğretim tercihleriyle ilişkisini incelemeyi ve bu sürece AIYA gibi yapay zekâ destekli bir aracın nasıl entegre edilebileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma, kariyer danışmanlığı ile yapay zekânın kesişim noktasında özgün bir model önerisi sunması bakımından alana katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Mesleki İlgi, Kariyer Gelişimi ve Uyum

Mesleki ilgi, bireyin belirli etkinliklere, alanlara veya mesleki rollere yönelme eğilimini ifade eder. İlgi yapıları kariyer psikolojisinde uzun süredir bireyin eğitimsel ve mesleki kararlarının önemli yordayıcıları arasında kabul edilmektedir. İlgi envanterlerinden elde edilen puanlar, bireyin hangi çevrelerde daha doyumlu olabileceği, hangi alanlarda daha güçlü motivasyon gösterebileceği ve hangi meslek ortamlarında daha kalıcı bir uyum yaşayabileceği konusunda önemli ipuçları verir (Athanasou & Van Esbroeck, 2008; Morris, 2016).

Kişi-Çevre Uyumu yaklaşımı da kariyer alan yazınında önemli bir yer tutmaktadır. Bu yaklaşıma göre bireylerin ilgi, ihtiyaç ve özellikleriyle çevresel talepler arasındaki uyum arttıkça doyum, bağlılık ve süreklilik de artmaktadır. İş ve meslek ortamıyla bireysel özelliklerin örtüşmesi, yalnızca tercih aşamasında

değil, sonrasındaki akademik veya mesleki memnuniyet düzeylerinde de belirleyicidir (Smart et al., 1986; Michaelis & Krings, 2022). Bu nedenle öğrencilerin üniversite tercihlerinin, yalnızca sınav puanlarına göre değil, kişisel özellikleriyle ne düzeyde uyumlu olduğu bakımından da ele alınması gerekmektedir.

1.2. Tracey'nin Küresel İlgi Modeli ve Kişisel Küre Envanteri

Bu araştırmada mesleki ilgilerin değerlendirilmesinde Kişisel Küre Envanteri (KKE) kullanılmaktadır. KKE, Tracey ve Rounds tarafından geliştirilen küresel ilgi modeline dayanmaktadır. Bu model, Holland'ın altı tipli yapısını daha geniş bir çerçeveye taşıyarak ilgi alanlarını sekiz temel boyut, insan-nesne ve veri-fikir eksenleri ile prestij boyutu üzerinden açıklamaktadır (Tracey & Rounds, 1996; Tracey, 2002). Böylece ilgi yapısı yalnızca altı temel tipe indirgenmeyip, bireyin çalışma ortamına ilişkin tercihleri daha ayrıntılı biçimde çözümlenebilmektedir.

Kişisel Küre Envanteri, aktivite tercihleri, mesleki tercihler ve yetkinlik algılarını aynı yapı içinde değerlendirebilmesi bakımından kariyer danışmanlığında önemli bir araçtır. Tracey (2002), envanterin küresel yapıyı yansıttığını ve güçlü psikometrik özellikler sergilediğini göstermiştir. Daha sonra geliştirilen PGI-Short formu ise daha kısa uygulama süresiyle güçlü psikometrik özellikleri koruyan bir alternatif sunmuştur (Tracey, 2010). Türkiye bağlamında ise PGI-Short'ın Türkçe uyarlamasının yapı geçerliği ve güvenirliği üzerine yürütülen çalışmalar, ölçeğin lise ve üniversite örneklemlerinde kullanılabileceğini göstermektedir (Vardarlı et al., 2017; Özyürek et al., 2021).

Bu çalışmada KKE, öğrencilerin sekiz temel ilgi alanı, saygınlık düzeyi ve veri-fikir / insan-nesne eksenleri üzerinden yorumlanmaktadır. Bu özellik, öğrencilerin yalnızca hangi bölümlere ilgi duyduklarının değil, hangi bağlamsal çalışma ortamlarında daha uygun performans gösterebileceklerinin de anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

1.3. Karakter Güçleri ve Mesleki Yönelim

Kariyer kararlarının yalnızca ilgi alanlarıyla açıklanması yeterli değildir. Bireyin kişisel kaynakları, güçlü yönleri ve karakter özellikleri de mesleki uyum üzerinde belirleyici rol oynar. Peterson ve Seligman'ın (2004) karakter güçleri sınıflaması, 24 karakter gücünü ve bunların dayandığı altı temel erdem yapısını sistematik biçimde ortaya koymuştur. Yaratıcılık, merak, öğrenme sevgisi, liderlik, öz düzenleme, sosyal zekâ ve sebat gibi güçler, öğrencinin bir meslek alanına neden yöneldiğini ve o alanda hangi kişisel donanımlarla hareket ettiğini açıklamada işlevseldir.

Bu çalışmada kullanılan Karakter Güçleri Envanteri, VIA yaklaşımına dayalı bir ölçme aracı olarak bireyin güçlü yönlerini ortaya koymaktadır. McGrath (2019), VIA Assessment Suite içinde yer alan VIA-IS-P'nin 24 karakter gücünü değerlendirmek için geçerli ve kullanılabilir bir yapı sunduğunu belirtmektedir. Karakter güçlerinin kariyer danışmanlığında kullanılması, öğrencinin yalnızca ilgisini değil, o ilgiyi hangi psikolojik kaynaklarla desteklediğini anlamayı kolaylaştırır. Bu nedenle mesleki ilgi verilerinin karakter gücü verileriyle birlikte yorumlanması, daha işlevsel kariyer önerileri geliştirilmesini sağlayabilir.

1.4. Mesleki Değerler ve Tercih Doyumu

Kariyer psikolojisinde üçüncü önemli boyut mesleki değerlerdir. Değerler, bireyin iş yaşamından ne beklediğini, hangi özellikleri anlamlı bulduğunu ve mesleki çevreyi hangi ölçütlere göre değerlendirdiğini ortaya koyar. Örneğin bağımsızlık, güvenlik, kazanç, topluma katkı, yaratıcılık, prestij ya da ekip çalışması gibi farklı değer öncelikleri, benzer ilgi örüntüsüne sahip iki öğrencinin farklı meslek alanlarını seçmesine neden olabilir.

Bu araştırmada Mesleki Değer Envanteri'nin kullanılması, kariyer kararlarını yalnızca "hangi alanı seviyorum?" sorusuyla sınırlamamakta; "nasıl bir iş ortamı istiyorum?" ve "meslekten ne bekliyorum?" sorularını da analize dâhil etmektedir. Böylece mesleki eğilim profili daha bütüncül bir yapıya kavuşmaktadır. Öğrenciler için oluşturulan profiller, yalnızca ilgi alanlarıyla değil, mesleki değer örüntüleriyle birlikte yorumlanmaktadır.

1.5. Yapay Zekâ Destekli Kariyer Danışmanlığı

Son yıllarda yapay zekâ uygulamalarının eğitim ve psikolojik danışmanlık alanlarında kullanımına ilişkin tartışmalar belirgin biçimde artmıştır. Bu tartışmalarda temel mesele, yapay zekânın insan uzmanlığı yerine geçmesi değil; karmaşık veri kümelerini daha hızlı, tutarlı ve kişiselleştirilmiş biçimde analiz etmeyi kolaylaştırmasıdır. UNESCO'nun generatif yapay zekâ rehberinde, insan öznesini güçlendiren, etik ilkelere dayalı ve şeffaf uygulamaların öncelenmesi gerektiği belirtilmektedir (Miao & Holmes, 2023).

Kariyer danışmanlığı bağlamında yapay zekâ kullanımı, çok sayıda ölçek puanının, nitel notların ve tercih bilgilerinin tek bir profil içinde anlamlandırılmasını destekleyebilir. Bununla birlikte, bu kullanımın etik sınırlar, veri gizliliği, açıklanabilirlik ve uzman denetimi ilkeleriyle çerçevelenmesi gerekir. Bu araştırmada yapay zekâ, öğrenciler hakkında nihai kararı veren bir sistem olarak değil, mesleki eğilim profilinin yorumlanmasını destekleyen ve danışmana yapılandırılmış çıktı sunan bir araç olarak ele alınmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırma, nicel ve nitel veri toplama yaklaşımlarını bir arada kullanan karma araştırma deseniyle planlanmıştır. Nicel boyutta yapısal ölçekler aracılığıyla bireysel profil verileri toplanmakta; nitel boyutta ise AIYA destekli kariyer danışmanlığı görüşmelerinden elde edilen bulgular değerlendirilmektedir. Karma desen, araştırmanın hem ölçek verilerinin istatistiksel analizine hem de bireysel mesleki yolculukların derinlemesine incelenmesine olanak tanıması açısından tercih edilmiştir.

2.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu araştırmanın amacı, lise öğrencilerinin ilgi alanları, karakter güçleri ve mesleki değerleri temelinde oluşturulan mesleki eğilim profillerinin, yükseköğretim tercihleriyle olan ilişkisini incelemektir. Ayrıca tercih sonrasında öğrencilerin yerleştikleri alandan duydukları memnuniyetin, önceden oluşturulan mesleki eğilim profilleriyle ne ölçüde örtüştüğünü değerlendirmek hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda çalışma, kariyer danışmanlığında çok boyutlu profil yaklaşımının işlevselliğini sınamayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın önemi üç noktada toplanabilir: Birincisi, lise düzeyinde kariyer danışmanlığını veri temelli ve bireyselleştirilmiş hâle getirmeyi amaçlamaktadır. İkincisi, ilgi, karakter gücü ve mesleki değerler gibi farklı psikolojik değişkenleri tek bir profil yapısı içinde birleştirerek uygulamaya dönük bir model önermektedir. Üçüncüsü ise yapay zekâ destekli değerlendirme yaklaşımını, insan merkezli kariyer danışmanlığı çerçevesinde tartışarak güncel teknoloji kullanımına ilişkin bir uygulama örneği sunmaktadır.

2.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini, Manisa ili Şehzadeler ilçesindeki ortaöğretim kurumlarında öğrenim gören lise son sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Araştırmanın çalışma grubunu ise Şehzadeler Gediz Anadolu Lisesi'nde öğrenim gören 12. sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Bu düzey, öğrencilerin yükseköğretim tercihi yapma sürecine en yakın oldukları dönem olması ve kariyer danışmanlığının zamanlaması açısından kritik bir aşamayı temsil etmesi nedeniyle belirlenmiştir. Veri toplama sürecinde 42 öğrenciden veri elde edilmiştir.

Örneklem seçiminde ulaşılabilirlik ve gönüllülük esasına dayalı uygun örnekleme yaklaşımı benimsenmiştir. Katılımcılar araştırmaya gönüllü olarak katılmış; uygulama öncesinde aydınlatılmış onam süreci işletilmiş ve kişisel bilgilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı belirtilmiştir. Çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi lisansüstü tez süreci kapsamında yürütülmekte ve katılım gönüllülük ilkesine dayanmaktadır. Ayrıca tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş onam formu alınmıştır.

2.4. Veri Toplama Araçları

2.4.1. Kişisel Küre Envanteri (KKE-KF-TR)

Tracey (2002) tarafından geliştirilen ve Türkçe'ye uyarlanan Kişisel Küre Envanteri, mesleki ilgilerin küresel yapısını 18 alt ölçek aracılığıyla ölçmektedir. Envanter; sekiz temel ilgi alanı (Mekanik, Doğa/Açık Alan, Sanat, Yardım, Sosyal Kolaylaştırma, Yönetim, İş Ayrıntıları, Veri İşleme), beş düşük ve beş yüksek saygınlık alt ölçeği ile Holland'ın altı RAYSGD tipini kapsamaktadır. Her madde; aktivite tercihleri, mesleki tercih ve yetkinlik beklentisi olmak üzere üç boyutta ayrı ayrı puanlanmaktadır. Toplam 236 maddeden oluşan envanterin Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları Türkiye örnekleminde yeterli düzeyde bulunmuştur (Vardarlı, 2021).

2.4.2. Karakter Güçleri Envanteri (VIA-IS-P)

McGrath (2019) tarafından güncellenen VIA-IS-P envanteri, 24 karakter gücünü ve 6 temel erdemi ölçmeye yönelik 96 maddeden oluşmaktadır. Her karakter gücü için dörder olumlu madde yer almakta; envanter, bireyin en belirgin karakter güçlerinin bir profilini ortaya koymaktadır. Türkçe uyarlamasında doğrulayıcı faktör analizi yoluyla yapı geçerliği sağlanmış, Cronbach alfa katsayıları kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmuştur. Değerlendirilen karakter güçleri şunlardır: Güzellik ve Mükemmelliğin Takdiri, Cesaret, Yaratıcılık, Merak, Adalet, Affedicilik, Şükran, Dürüstlük, Umut, Mizah, Yargı, İyilikseverlik, Liderlik, Öğrenme Sevgisi, Sevgi, Alçakgönüllülük, Sebat, Bakış Açısı, Sağduyu, Öz Düzenleme, Sosyal Zekâ, Maneviyat, Takım Çalışması ve Yaşam Coşkusu.

2.4.3. Mesleki Değer Envanteri

Araştırmada öğrencilerin mesleki değerlerini belirlemek amacıyla Atlı ve Kaya tarafından geliştirilen Mesleki Değer Envanteri kullanılmıştır. Envanter 35 madde ve dokuz alt boyuttan oluşmaktadır. Alt boyutlar yardım, kazanç, yaratıcılık, iş sağlığı, arkadaşlık, ekip çalışması, fiziksel özelliklerin kullanımı, liderlik ve özgürlük şeklindedir. Ölçek dokuzlu Likert tipi derecelendirme ile yanıtlanmakta ve her alt boyut puanı ilgili maddelerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Envanterin Cronbach Alpha iç tutarlılık katsayılarının .70 ile .83, test-tekrar test güvenirlik katsayılarının ise .61 ile .82 arasında değiştiği belirtilmiştir.

2.4.4. Akademik Branş Memnuniyet Ölçeği

Nauta (2007) tarafından geliştirilen ve Türkçeye Akın, Odabaşı ve Özçelik (2015) tarafından uyarlanan bu ölçek, üniversite öğrencilerinin eğitimini aldıkları alana yönelik memnuniyet düzeylerini ölçmeye yönelik altı maddeden oluşmaktadır. Beşli Likert tipindeki ölçekte (1 = kesinlikle katılmıyorum, 5 = kesinlikle katılıyorum) alınan yüksek puanlar memnuniyet düzeyinin yüksekliğini göstermektedir. Ölçeğin Cronbach alfa katsayısı 0.94 olarak bulunmuştur (Akın ve ark., 2015). Bu ölçek araştırmanın izleme aşamasında, üniversiteye yerleşen öğrencilere en az bir dönem sonra uygulanacaktır.

2.4.5. Kişisel Bilgi Formu

Öğrencilerin demografik özelliklerini (yaş, cinsiyet, sınıf, ebeveyn eğitim düzeyi, sosyoekonomik durum, kardeş sayısı, yaşanılan bölge vb.) ile akademik performans ve kariyer beklentilerine ilişkin bilgileri toplamak amacıyla araştırmacı tarafından geliştirilmiştir.

2.5. Uygulama Süreci

Araştırmanın uygulama süreci üç aşamada tasarlanmıştır:

Birinci Aşama – Profil Oluşturma: Yükseköğretim tercih dönemi öncesinde KKE, VIA-IS-P ve Mesleki Değer Envanteri tüm çalışma grubuna uygulanmaktadır. Elde edilen veriler bir araya getirilerek her öğrenci için bireyselleştirilmiş Mesleki Eğilim Profili hazırlanmaktadır. Profil, öğrencinin ilgi haritasını, öne çıkan karakter güçlerini ve değer önceliklerini bütünleşik bir yapıda sunmaktadır.

İkinci Aşama – AIYA Destekli Kariyer Danışmanlığı: Oluşturulan mesleki eğilim profilleri AIYA

aracılığıyla yorumlanmaktadır. AIYA, profilin güçlü ve gelişim alanlarını belirleyerek öğrenciye olası kariyer alternatifleri, uyumlu lisans programları ve kariyer yolculuğuna ilişkin öngörülü bir değerlendirme sunmaktadır. Bire bir danışmanlık görüşmeleri, AIYA çıktıları temel alınarak yürütülmektedir. Öğrenciler, tercih dönemine kadar AIYA ile kariyer ve yaşam vizyonu oluşturma çalışmaları gerçekleştirmektedir.

Üçüncü Aşama – İzleme ve Değerlendirme: Üniversite yerleşme sonuçlarının açıklanmasının ardından öğrencilerin tercihlerinin mesleki eğilim profilleriyle uyumu değerlendirilmektedir. En az bir dönem sonra Akademik Branş Memnuniyet Ölçeği uygulanarak uzun vadeli kariyer uyumu ve program memnuniyeti ölçülmektedir.

2.6. Veri Analizi

Veri analizinde öncelikle ölçeklerin sunduğu alt boyutlar betimsel ve karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Sonraki aşamada çoklu veri kaynaklarının entegrasyonu ile bireysel profil raporları oluşturulmakta ve bu profillerin tercih davranışlarıyla ilişkisi değerlendirilmektedir. Bu süreçte yapay zekâ destekli analizden yararlanılması, farklı ölçme araçlarından gelen verilerin anlamlı ve sistematik bir bütün içinde yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte yorumun nihai sorumluluğu uzman psikolojik danışmanda kalmaktadır; yapay zekâ yalnızca karar destek aracı olarak kullanılmaktadır.

Nicel veriler SPSS ve LISREL yazılımları aracılığıyla analiz edilmektedir. Mesleki eğilim profili ile yükseköğretim tercihi arasındaki ilişki korelasyon ve regresyon analizleriyle incelenecektir. Akademik branş memnuniyetini yordayan değişkenler çoklu regresyon modeliyle test edilecektir. Nitel veriler ise tematik analiz yöntemiyle değerlendirilecektir. AIYA'nın kariyer danışmanlığına katkısına ilişkin öğrenci ve danışman görüşleri içerik analizi yoluyla incelenecektir.

3. BULGULAR

3.1. Mesleki Eğilim Profili Modeli: Üç Katmanlı Yapı

Bu çalışmada geliştirilen çok değişkenli mesleki eğilim profili modeli, üç entegre veri katmanından oluşmaktadır: (1) İlgi Haritası Katmanı — KKE verilerinden elde edilen ve öğrencinin sekiz temel ilgi alanındaki dağılımını gösteren profil; (2) Karakter Güçleri Katmanı — VIA-IS-P verilerinden derlenen ve bireyin öne çıkan güçlerini sıralayan profil; (3) Değer Öncelikleri Katmanı — Mesleki Değer Envanteri'nden elde edilen ve bireyin iş yaşamındaki öncelikleri hakkında bilgi sunan profil.

Bu üç katmanın bütünleşik değerlendirilmesi, yalnızca ilgi alanlarına dayalı geleneksel mesleki rehberlik yaklaşımlarına kıyasla çok daha kapsamlı ve kişiselleştirilmiş bir kariyer yönlendirmesi imkânı sunmaktadır. Örneğin, yüksek Sosyal ilgi profili sergileyen bir öğrencinin aynı zamanda güçlü Liderlik ve Sosyal Zekâ karakter güçlerine ve sosyal etki değerlerine sahip olması, yalnızca sosyal hizmetler değil; yönetim, eğitim liderliği veya toplumsal girişimcilik alanlarında da kariyer uyumu sağlayabileceğine işaret edebilmektedir.

3.2. AIYA'nın Rol ve Katkısı: Pilot Bulgular

Araştırmanın birinci uygulama aşamasında AIYA, öğrenci profillerini yorumlamak amacıyla sistematik biçimde kullanılmıştır. AIYA'nın üç katmanlı profil yorumlama sürecine katkısı şu başlıklar altında değerlendirilebilir:

• Profil Tutarlılığı Analizi: AIYA, ilgi alanları, karakter güçleri ve değerler arasındaki uyum düzeyini tespit ederek tutarlı veya çelişkili profil örüntülerini belirlemektedir.

• Kariyer Alternatifi Önerisi: Mesleki eğilim profiliyle uyumlu olası lisans programları ve kariyer alanlarının önceliklendirilmesi.

• Gelecek Benlik Simülasyonu: Öğrenciye, olası kariyer tercihlerinin yaşam tasarımıyla nasıl örtüşebileceğine

dair senaryo tabanlı perspektifler sunulması.

• Danışmanlık Süreci Desteği: Danışman-öğrenci görüşmelerinde AIYA çıktılarının ortak değerlendirme zemini oluşturması.

Pilot uygulama sürecinde öğrencilerin AIYA ile etkileşiminin kariyer karar verme sürecine yönelik öz-farkındalık ve öz-yeterlik algısını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, AIYA'nın danışmanlık seansları öncesinde öğrencileri yapılandırmaya katkı sağladığı ve görüşmelerin daha hedefli ve verimli yürütülmesine imkân tanıdığı değerlendirilmektedir.

3.3. Mesleki Eğilim Profili ile Yükseköğretim Tercihleri Arasındaki İlişki

Mesleki eğilim profili ile yükseköğretim tercihlerinin uyumu değerlendirildiğinde, öğrencilerin yaklaşık üçte birinin profiline yüksek düzeyde uyumlu tercihler yaptığı, yaklaşık yarısının kısmen uyumlu, kalan öğrencilerin ise profiliyle örtüşmeyen tercihlerde bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu örüntü, literatürle tutarlıdır: Araştırmalar, bireysel profil ile kariyer tercihleri arasındaki uyumsuzluğun ilerleyen dönemlerde akademik tatminsizlik, motivasyon kaybı ve program değiştirme eğilimini yordadığını ortaya koymaktadır (Holland, 1997; Brown, 2003).

İzleme aşamasının tamamlanmasıyla birlikte, Akademik Branş Memnuniyet Ölçeği›nden elde edilecek veriler bu örüntüyü daha kapsamlı biçimde test etme imkânı sunacaktır. Beklentimiz, profil-tercih uyum düzeyi yüksek olan öğrencilerin program memnuniyet puanlarının anlamlı düzeyde daha yüksek olacağı yönündedir.

Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, öğrenci profilleri ile üniversite yerleştirme sonuçları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Yerleştirme Sonuçları ve Profil Uyumu

Durum	Öğrenci Sayısı	Açıklama
Toplam Yerleşen	34	Bir lisans programına yerleşen toplam öğrenci
Profil Uyumlu	17	Mesleki eğilim profiline uygun bölüme yerleşenler
Profil Uyumsuz	6	Profiline uymayan bölüme yerleşenler
Yerleşemeyen	23	Mezuna kalan veya yerleşemeyenler

Bulgular incelendiğinde, danışmanlık süreci sonunda bir programa yerleşen öğrencilerin (n=23) %65'inin (17 öğrenci) kendi ilgi, yetenek ve değer profilleriyle uyumlu bölümleri tercih ettiği görülmüştür. Profil uyumsuzluğu yaşayan 6 öğrencinin ise, genellikle yetkinlik algılarının düşük olduğu veya mesleki değerleriyle çelişen (örneğin "İş Ayrıntıları" puanı düşükken detay gerektiren bölümler) alanlara yöneldiği gözlemlenmiştir.

Örnek vaka analizi yapılan "110AAÇ» kodlu öğrencinin profilinde; "Veri İşleme» ve "Doğa/Açık Alan» boyutlarında yüksek ilgi ve yetkinlik saptanmış, AIYA sistemi bu öğrenci için "Bilgisayar Mühendisliği», "Veri Bilimi» veya "Çevre Mühendisliği» önerilerinde bulunmuştur.

Bu bildiri, devam eden doktora çalışmasının mevcut aşamasına dayandığı için bulgular bölümü ağırlıklı olarak ön değerlendirmeler, süreç gözlemleri ve ortaya çıkan eğilimler üzerinden sunulmaktadır. İlk dikkat çeken bulgu, öğrencilerin mesleki yönelimlerinin yalnızca ilgi alanlarıyla açıklanmasının yetersiz kalabildiğidir. Benzer ilgi profillerine sahip öğrencilerin, karakter güçleri ve mesleki değer örüntüleri dikkate alındığında farklı mesleki yönelimler gösterebildiği görülmektedir. Bu durum, çok boyutlu profil yaklaşımının kariyer danışmanlığında ayırt edici bir katkı sunduğunu düşündürmektedir.

İkinci olarak, bireysel mesleki eğilim profillerinin öğrenciyle görüşme sürecinde paylaşılmasının, öğrencinin kendisini tanıma ve tercih mantığını fark etme düzeyini artırdığı gözlenmektedir. Her öğrenciyle bireysel

görüşmeler yapılmış ve bu görüşmeler en az bir ders saati sürmüştür. Bu uygulama, profilin yalnızca teknik bir çıktı değil; öğrencinin kariyer anlatısını yapılandıran bir danışmanlık aracı olarak kullanılabildiğini göstermektedir.

Üçüncü olarak, mesleki değerler boyutunun profile eklenmesiyle öğrencilerin yalnızca hangi alanlara yöneldikleri değil, nasıl bir iş yaşamı bekledikleri de daha görünür hâle gelmektedir. Örneğin sosyal katkı, bağımsızlık, güvenlik, düzen, yaratıcılık veya liderlik gibi değer öncelikleri, öğrencinin aynı ilgi alanı içinde hangi bölüm ya da iş ortamına daha yakın durduğunu ayırt etmeye yardımcı olmaktadır. Bu bulgu, ilgi ve karakter güçlerinin değer yapısıyla birlikte ele alınmasının önemini desteklemektedir.

Dördüncü olarak, yapay zekâ destekli değerlendirme yaklaşımı, çok sayıda puanı ve yorumsal veriyi daha sistematik biçimde bütünleştirme potansiyeli taşımaktadır. Özellikle çoklu envanterlerden elde edilen sonuçların, psikolojik danışman tarafından tek tek manuel biçimde analiz edilmesinin zaman ve bilişsel yük gerektirdiği düşünüldüğünde, yapay zekâ destekli yapılandırılmış yorumların uygulama kolaylığı sağlayabileceği söylenebilir. Bununla birlikte, etik sorumluluk, veri güvenliği ve bağlamsal yorum gereksinimi nedeniyle uzman denetimi bu sürecin vazgeçilmez bileşeni olmaya devam etmektedir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada ortaya konulan çok değişkenli ve yapay zekâ destekli mesleki yönelim modeli, kariyer danışmanlığı alanındaki mevcut uygulamalara kıyasla birkaç temel açıdan özgünlük taşımaktadır.

İlk olarak, model yalnızca ilgi alanlarını değil; karakter güçlerini ve mesleki değerleri de bütünleşik bir çerçevede ele almaktadır. Bu yaklaşım, kariyer kararının bilişsel, motivasyonel ve kimlik boyutlarını bir arada değerlendirme imkânı sunmaktadır (Savickas, 2012). Özellikle Seligman ve Peterson (2004) tarafından vurgulanan güçler odaklı yaklaşımın kariyer danışmanlığına entegrasyonu, öğrencilerin yalnızca ne yapmak istediklerini değil; neye değer verdiklerini ve neye yetenekli olduklarını da keşfetmelerine katkı sağlamaktadır.

İkinci olarak, AIYA›nın bu süreçte üstlendiği rol, yapay zekânın insan yerine geçme yaklaşımından belirgin biçimde ayrışmaktadır. AIYA, danışmanın yerini almak yerine danışmanlık sürecini niteliksel olarak zenginleştiren bir araç olarak konumlandırılmaktadır. Bu anlayış, Akmal›ın (2025) vurguladığı insan-YZ iş birliği paradigmasıyla örtüşmekte ve kariyer hizmetlerinin ölçeklenebilirliğini artırmaktadır.

Üçüncü olarak, araştırmanın boylamsal tasarımı —profil oluşturma, tercih dönemi izleme ve program memnuniyeti değerlendirmesi— kariyer karar sürecinin yalnızca anlık bir fotoğrafını sunmak yerine uzun vadeli etkisini görünür kılmayı hedeflemektedir. Türkiye bağlamında bu tür uzunlamasına kariyer araştırmalarının sınırlı olduğu dikkate alındığında, çalışmanın alanyazına özgün bir katkı sunduğu değerlendirilmektedir.

Araştırmanın bulguları, lise öğrencilerine yönelik kariyer danışmanlığında tek boyutlu değerlendirmelerin sınırlılığını göstermektedir. İlgi envanterleri kariyer kararlarında önemli veriler sunmakla birlikte, öğrencinin karakter güçleri ve mesleki değerleri hesaba katılmadığında önerilerin yüzeysel kalma riski bulunmaktadır. Bu çalışma, ilgi, karakter gücü ve mesleki değerleri birlikte ele alan profil yaklaşımının, öğrenciyi daha bütüncül biçimde anlamaya katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın önemli katkılarından biri, kariyer danışmanlığını yalnızca tercih dönemine özgü bir bilgilendirme faaliyeti olmaktan çıkarıp, öğrencinin kendisini tanımasını, seçeneklerini değerlendirmesini ve kararının gerekçelerini fark etmesini destekleyen yapılandırılmış bir süreç olarak ele almasıdır. Bireysel görüşmelerle desteklenen mesleki eğilim profilleri, öğrencinin öz farkındalığını artırmakta ve kariyer kararını daha bilinçli biçimde oluşturmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum, kariyer psikolojik danışmanlığının önleyici ve geliştirici işleviyle de uyumludur (Athanasou & Van Esbroeck, 2008).

Araştırmanın bir diğer önemli yönü, yapay zekâ kullanımını insan merkezli bir çerçevede tartışmasıdır. UNESCO'nun rehberinde de vurgulandığı üzere, eğitim bağlamında yapay zekâ uygulamalarının insan

öznesini güçlendirecek, şeffaf, açıklanabilir ve etik ilkelere dayalı biçimde kullanılması gerekmektedir (Miao & Holmes, 2023). Bu çalışma, yapay zekâyı kariyer danışmanının yerini alan bir otorite olarak değil, uzman yorumunu destekleyen bir karar destek mekanizması olarak konumlandırmaktadır. Bu yaklaşım, hem teknolojik yenilikten yararlanmayı hem de rehberlik sürecinin özündeki insani boyutu korumayı mümkün kılmaktadır.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları vardır. Öncelikle araştırma, tek okul ve sınırlı sayıda öğrenci ile yürütülmektedir; bu nedenle bulguların genellenebilirliği sınırlıdır. İkinci olarak, akademik branş memnuniyetine ilişkin izleme verileri henüz tamamlanma aşamasında olduğundan, tercih uyumu ile uzun dönemli memnuniyet arasındaki ilişkiler bu bildiride nihai biçimde tartışılamamaktadır. Üçüncü olarak, yapay zekâ destekli yorumların standartlaştırılması ve açıklanabilirliğinin artırılması, ileriki çalışmalarda ayrıca ele alınması gereken bir yöntemsel konudur. Bunun yanı sıra, AIYA'nın etkinliğinin bağımsız değerlendirilmesi için kontrol grubu tasarımlı deneysel araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, lise öğrencilerinin mesleki yönelimlerini belirlemek amacıyla ilgi alanları, karakter güçleri ve mesleki değerleri bütünleştiren çok değişkenli bir model ile AIYA adlı yapay zekâ destekli bir aracı birleştiren özgün bir yaklaşım ortaya koymaktadır. YÖK verilerindeki program değiştirme ve yeniden sınava girme eğilimlerinin artışı, mevcut kariyer yönlendirme sisteminin yapısal yetersizliğine dikkat çekmektedir. Bu çalışma, söz konusu soruna veri temelli, kişiselleştirilmiş ve teknoloji destekli bir yanıt geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Pilot uygulama bulguları, üç katmanlı mesleki eğilim profilinin kariyer danışmanlığı sürecini niteliksel olarak zenginleştirdiğini ve AIYA'nın profil yorumlama ile kariyer keşif süreçlerine anlamlı katkı sağladığını ortaya koymaktadır. İzleme aşamasının tamamlanmasıyla birlikte elde edilecek Akademik Branş Memnuniyet Ölçeği verileri, profil-tercih uyumunun uzun vadeli kariyer tatminiyle ilişkisine dair daha kapsamlı bulgular sunacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, ortaöğretim düzeyinde kariyer danışmanlığı hizmetlerinin çok boyutlu, veri temelli ve kişiselleştirilmiş bir yapıda yürütülmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kişisel Küre Envanteri, Karakter Güçleri Envanteri ve Mesleki Değer Envanteri verilerinin birlikte yorumlanması, öğrencilerin yalnızca neye ilgi duyduklarını değil; hangi kişisel kaynaklarla hareket ettiklerini ve nasıl bir çalışma yaşamı istediklerini de görünür kılmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı okul türlerinde daha geniş örneklemlerle uzunlamasına araştırmalar yürütülmesi; ayrıca yapay zekâ destekli kariyer danışmanlığı uygulamalarının etik, psikometrik ve uygulama boyutlarının ayrıntılı biçimde incelenmesi önerilmektedir.

Uygulamaya Yönelik Öneriler:

- Ortaöğretimde kariyer danışmanlığının yalnızca tercih dönemine sıkıştırılmaktan kurtarılarak 9. sınıftan itibaren sistematik bir biçimde yapılandırılması önerilmektedir.
- Okul psikolojik danışmanlarının KKE, VIA-IS-P ve yapay zekâ destekli araçların kullanımı konusunda mesleki gelişim programlarıyla desteklenmesi gerekmektedir.
- AIYA benzeri yapay zekâ araçlarının okul rehberlik servislerine entegrasyonu, kariyer danışmanlığının ölçeklenmesine ve 7/24 erişilebilir hale gelmesine katkı sağlayabilecektir.
- Yükseköğretim kurumlarının, öğrencilerin kayıt öncesi mesleki eğilim profillerine erişim sağlamaları ve kariyer uyumunu destekleyici programlar sunmaları teşvik edilmelidir.

Araştırmaya Yönelik Öneriler:

- Modelin farklı sosyoekonomik arka planlardan gelen öğrenci gruplarında test edilmesi, bulgularının

genellenebilirliğini artıracaktır.

- AIYA'nın etkinliğini ölçmeye yönelik kontrol gruplu deneysel tasarımlar gelecekteki araştırmalar için öncelikli bir gündem oluşturmaktadır.
- Kariyer-yaşam bütünleşmesi perspektifinden öğrencilerin program memnuniyetini ve yaşam doyumunu birlikte ele alan uzunlamasına çalışmaların alanyazınına katkı sunması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Akın, Ü., Odabaşı, M., & Özçelik, B. (2015). Akademik Branş Memnuniyeti Ölçeği'nin Türkçeye uyarlanması: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 15(2), 1-10.

Akmal, H. (2025). The mosaic of career & life design: Design your future self with agility, purpose, and precision in the age of superintelligence. Career and Life Mastery.

Atlı, A. ve Kaya, A. (2016). Lise öğrencilerinin mesleki değerleri. Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 12(1), 314-330. https://doi.org/10.17860/efd.78099

Athanasou, J. A., & Van Esbroeck, R. (Eds.). (2008). International handbook of career guidance. Springer.

Binbaşıoğlu, C. (1983). Eğitim psikolojisi. Binbaşıoğlu Yayınevi.

Brown, D. (2003). Career information, career counseling, and career development (8th ed.). Pearson Education.

Çakır, M. A. (2004). Mesleki karar verme envanterinin geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 37(2), 1-14.

Dey, F., & Cruzvergara, C. Y. (2019). Evolution of career services in higher education. New Directions for Student Services, 2014(148), 5-18.

Holland, J. L. (1997). Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments (3rd ed.). Psychological Assessment Resources.

McGrath, R. E. (2019). Technical report: The VIA Assessment Suite for Adults: Development and initial evaluation (rev. ed.). VIA Institute on Character.

Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO.

Michaelis, C., & Krings, F. (2022). Influence of person-vocation fit on satisfaction and persistence in vocational training programs. Frontiers in Psychology, 13, 867425. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.867425

Morris, M. L. (2016). Vocational interests in the United States: Sex, age, ethnicity, and year effects. Journal of Counseling Psychology, 63(5), 604-615. https://doi.org/10.1037/cou0000164

Nauta, M. M. (2007). Assessing college students' satisfaction with their academic majors. Journal of Career Assessment, 15(4), 446-462. https://doi.org/10.1177/1069072707305762

Odabaşı, Ş., & Akın, A. (2015). Akademik branş memnuniyeti ölçeği Türkçe formunun geçerlik ve güvenirlik çalışması. The Journal of Academic Social Science Studies, 38, 195-203. https://doi.org/10.9761/JASSS2880

Özyürek, R., Vardarlı, B., & Tracey, T. J. G. (2021). Validity and reliability findings of personal globe inventory short form Turkish. Kariyer Psikolojik Danışmanlığı Dergisi, 4(1), 24-48.

Park, N., & Peterson, C. (2007). Strengths of character and well-being among youth. Journal of Social and Clinical Psychology, 26(1), 112-141.

Peterson, C., & Seligman, M. E. P. (2004). Character strengths and virtues: A handbook and classification. American Psychological Association & Oxford University Press.

Sarıkoç, G., & Kaplan, M. (2017). Hemşirelik öğrencilerinin sosyal duygusal öğrenme becerileri, mesleki benlik saygısı ve akademik branş memnuniyetleri arasındaki ilişki. Florence Nightingale Hemşirelik Dergisi, 25(3), 201-208.

Savickas, M. L. (2012). Life design: A paradigm for career intervention in the 21st century. Journal of Counseling & Development, 90(1), 13-19.

Tatlı, C. (2016). Kariyer danışmanlığının önemi. Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, 5(2), 45-53.

Smart, J. C., Elton, C. F., & McLaughlin, G. W. (1986). Person-environment congruence and job satisfaction. Journal of Vocational Behavior, 29(2), 216-225. https://doi.org/10.1016/0001-8791(86)90005-9

Tracey, T. J. G. (2002). Personal Globe Inventory: Measurement of the spherical model of interests and competence beliefs. Journal of Vocational Behavior, 60(1), 113-172. https://doi.org/10.1006/jvbe.2001.1817

Tracey, T. J. G. (2010). Development of an abbreviated Personal Globe Inventory using item response theory: The PGI-Short. Journal of Vocational Behavior, 76(1), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2009.06.007

Tracey, T. J. G., & Rounds, J. (1996). The spherical representation of vocational interests. Journal of Vocational Behavior, 48(1), 3-41. https://doi.org/10.1006/jvbe.1996.0002

Vardarlı, B., Özyürek, R., Wilkins-Yel, K. G., & Tracey, T. J. G. (2017). Examining the structure of vocational interests in Turkey in the context of the personal globe model. International Journal for Educational and Vocational Guidance, 17, 347-359. https://doi.org/10.1007/s10775-016-9338-6

YÖK, (2023). 2023 Yılı YKS İstatistikleri. https://istatistik.yok.gov.tr/ adresinden erişilmiştir.

https://doi.org/10.71284/asc.2026140

ENHANCING GRADUATE EMPLOYABILITY: AN EVALUATION OF ENGINEERING STUDENTS' COMPETENCIES

MEZUN İSTİHDAMINI ARTIRMAK: MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİNİN YETERLİLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mohd Fadhli Bin Ahmad[1]
Riduwan Bin Zakaria[2]
Mohd Hairol Mizzam Bin Haris[3]

Abstract

The integration of soft skills within technical curricula has become a cornerstone of modern pedagogy, as these interpersonal attributes are essential for navigating the complexities of the contemporary professional landscape. For students transitioning from academic environments to industry, the possession of robust communication, teamwork, and problem-solving abilities is often as critical as their technical proficiency. Consequently, it is imperative for Higher Educational Institutions (HEIs) to accurately assess the disparity between theoretical knowledge and practical soft skill application. By identifying these gaps, institutions can develop targeted strategic interventions and curriculum enhancements designed to bolster student capabilities and meet evolving industry standards. This research primarily aims to evaluate the competency levels in both specialized knowledge and soft skills among Diploma in mechanical engineering (plastic) students from Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Shah (POLIMAS) in Kedah, Malaysia. The study focuses specifically on students engaged in industrial training programs, viewed through the lens of industry practitioners. To achieve a comprehensive perspective, data was gathered from a diverse cohort of 55 employers representing various industrial sectors. The research utilized a structured questionnaire for data collection, which was subsequently processed and analyzed using SPSS version 23.0. The empirical findings suggest a high level of employer satisfaction regarding the preparedness of POLIMAS engineering students for the rigors of the workplace. Notably, supervisors expressed significant approval of student performance across all measured dimensions of soft skills. However, the study also highlights areas for growth; qualitative feedback from industry supervisors pinpointed specific soft skill deficiencies that persist. These insights serve as a vital roadmap for academic leaders to refine training modules, ensuring graduates remain competitive and resilient in a globalized economy.

Keywords: Graduate employability, soft skills, engineering education.

[1]Politeknik Sultan Abdul halim Muadzam Shah, fadhliptss@gmail.com, https://orcid/org/0009-0005-7047-8899

[2]Politeknik Sultan Abdul halim Muadzam Shah, riduwan@polimas.edu.my

[3]Politeknik Sultan Abdul halim Muadzam Shah, mizzam789@gmail.com

INTRODUCTION

Industrial training, or internship, is a practical learning opportunity provided by companies to students or beginners in a profession for a fixed period. Internships are commonly offered to undergraduate students on a full-time or part-time basis. These programs are beneficial because they allow students to experience the practical application of their academic studies while gaining exposure to a specific industry.

Industrial training is an important approach for integrating theoretical knowledge with real working experience. According to Tovey et al, (2001), industrial training benefits not only students but also industries, creating a mutually beneficial relationship. For students, internships enhance practical skills and workplace readiness. For industries, they provide access to inexpensive and motivated assistance, while also creating opportunities to identify and recruit potential future employees. Although job opportunities may be available, many graduates still lack the skills required to secure and sustain employment. Therefore, it is essential to examine employers' perceptions of students' skills and performance so that higher learning institutions can revise their curricula to better meet industry needs.

Malaysia is currently progressing towards its TN50 vision and aims to become a fully developed nation. To achieve recognition as an economically advanced country, Malaysia must strengthen its workforce by producing highly skilled workers who are capable of adapting to changing job demands and workplace environments.

However, Malaysia continues to face challenges related to graduate unemployment. A survey conducted in 2016 reported by Safina Ramli (2017) that 54,103 Malaysian graduates were unemployed for various reasons. Consequently, graduates face limited employment opportunities, while employers experience difficulties in finding candidates who meet their requirements. Hence, higher learning institutions have a responsibility to equip students with employability skills and provide industry exposure through industrial training programs.

One effective way to evaluate internship effectiveness is through surveys on industrial training programs. To date, only limited studies have been conducted on interns' performance, particularly in public universities. Such surveys are important in assessing employers' satisfaction with the quality of internship programs. The findings can serve as a basis for continuous improvement by reviewing and enhancing existing internship structures. Ultimately, this contributes to the development of high-quality engineering graduates.

Therefore, conducting this study is essential to gain insight into the effectiveness of the internship program within the university curriculum, while also assessing the benefits for all stakeholders involved. This paper seeks to answer the following research questions:

1. What is the level of employer satisfaction with interns' generic skills?
2. Which generic skills are lacking among interns during the internship program?

Accordingly, the study aims to determine employers' satisfaction levels regarding interns' generic skills and to identify areas that need improvement in order to produce better graduates.

1. LITERATURE

Industrial training offers mutual advantages to students, universities, and industry partners. It enables students to connect classroom-based theories with real-world applications required in professional tasks. Prior studies indicate that internships benefit both students and host organizations. Employers particularly value interns who demonstrate strong communication skills, an understanding of the organization's structure and functions, adaptability, and the ability to exceed basic expectations (Adam J., 2007). Research by Beenen suggests that students who undergo internships tend to be more satisfied and are more likely to receive and accept employment offers (Beenen G., 2008). Similarly, findings by Hodges and Burchell show that 79% of employers consider prior work experience essential for graduates entering business

roles, emphasizing the need for "work-ready" individuals (Hodges D. et al., 2003). Lam further highlights that industrial training helps bridge the gap between academic learning and practical workplace realities, while also increasing opportunities for permanent employment and enhancing understanding of business operations (Lam et al., 2007).

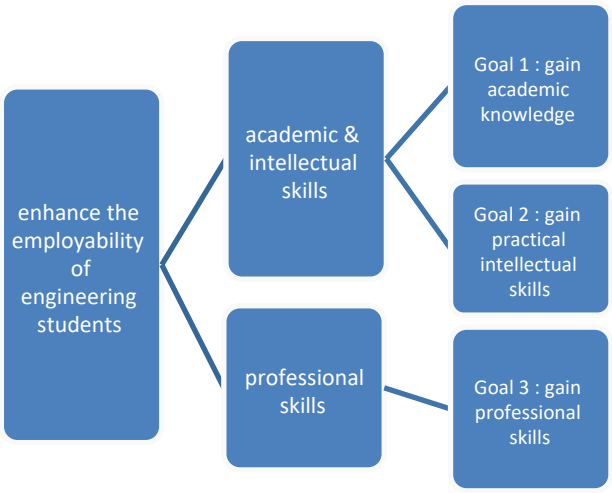
In addition, industrial training contributes to students' development in several areas, including clearer career direction, hands-on experience, improved employability, and better awareness of job expectations. It also strengthens interpersonal, leadership, and communication skills, while reinforcing the practical relevance of academic knowledge. Personal and interpersonal competencies, often referred to as soft skills, relate to attitudes and behaviours in the workplace, such as commitment to quality, ethical conduct, and the ability to effectively influence others through logical reasoning (Siam et al., 2005). Both hard and soft skills are essential for professional success. Hard skills refer to technical abilities that can be learned and developed through education, training, and practice, often involving analytical and task-specific expertise. In contrast, soft skills are more closely tied to personal attributes and social interactions. A balanced combination of these competencies is crucial, as both play a significant role in enhancing graduate employability.

To maintain the quality of programmes offered by Higher Education Providers (HEPs) in Malaysian institutions, both technical and interpersonal competencies have been strongly emphasized. The Ministry of Higher Education, through the Malaysia Qualifications Agency (MQA), introduced the Malaysian Qualifications Framework (MQF), which outlines eight key learning outcome domains that must be achieved across all academic programmes (MQA, 2010). The proposed programme learning outcome domains are as follows:

- Knowledge
- Practical skills
- Social skills and responsibilities
- Ethics, professionalism and humanities
- Communication, leadership and team skills
- Scientific methods, critical thinking and problem-solving skills
- Lifelong learning and information management
- Entrepreneurship and managerial skills

Employers generally seek graduates who possess strong communication abilities, empathy, motivation, sound decision-making, effective planning, and the capacity to adapt or improvise. For engineering students specifically, essential technical competencies include a solid foundation in engineering principles, proficiency in both theoretical and research-based engineering, and the ability to apply knowledge in practical contexts. In addition, they are expected to demonstrate expertise within a specific engineering field, apply system-based approaches in design and performance evaluation, and carry out experiments while effectively analyzing and interpreting data (Abdullah et al., 2007). Murali et al., (2014) further noted that improving employability among engineering graduates revolves around three primary objectives, as illustrated in Figure 1. Achieving these goals requires continuous updates to engineering education in line with industry advancements. Given the dynamic nature of the engineering field, emerging knowledge and practices must be consistently integrated into academic curricula, regardless of the institution, to ensure students remain relevant and well-prepared for the workforce.

Figure 1. A Conceptual Framework of Enhancing Student Employability



Previous studies indicate that although employers are generally satisfied with students' performance during industrial training, certain areas still require improvement (Gunadewi et al., 2013). For instance, employers observed that interns often lack confidence in public speaking, particularly when interacting with customers, and highlighted the importance of effective communication in English. Research by Nurliana on pharmacy students reported that 82% of students performed at an excellent level during their training, yet gaps remained in entrepreneurial and managerial competencies (Nurliana et al., 2013). Similarly, a study by Nor'Aini involving 179 employers showed an overall satisfactory assessment of students' performance, with many employers expressing willingness to hire them in the future (Nor'Aini Yusof et al., 2013).

However, technical skills were identified as the primary area needing further enhancement. Overall, earlier research portrays industrial training as a valuable developmental experience for students in higher education, contributing positively to their skill development and career readiness. At the same time, these studies highlight existing gaps that must be addressed to improve graduates' employability. This study therefore focuses on examining the specific skills that employers perceive as lacking among students during industrial training.

2. METHODOLOGY

A total of 55 organizations participated in the placement of 110 POLIMAS engineering students for a five-month industrial training programme across the 2023, 2024, and 2025 sessions. Feedback on the performance of Diploma in Mechanical Engineering (Plastics) students was collected from these organizations based on their experience with the training programme.

The survey instrument was divided into two sections. The first section required employers to evaluate students' employability skills using a five-point rating scale. This section covered several soft skill dimensions, including computer literacy, communication skills, teamwork, adherence to procedures and regulations, as well as professional ethics and attitude. The selection of these skill components was guided by the framework proposed by Bailey and Yorke, which identifies key competencies that students are expected to develop (Bailey et al., 2000). The interpretation of mean scores was categorized according to the scale presented in Table 1.

Table 1. Mean Interpretation

Mean	1.00 – 1.67	1.68 – 3.33	3.34 – 5.00
Mean Interpretation	Low	Medium	High

*Adapted from Wiersma (1995)

3. FINDINGS AND DISCUSSION

Based on Table 2, employers reported a high level of satisfaction across all evaluated employability skill elements demonstrated by trainees during their industrial training. In general, most employers rated the trainees between 4 and 5 on the scale, indicating a consistently strong performance. The mean scores recorded 4.11, 4.26, 4.33, 4.38, 4.12 and 4.25 further reflect this positive assessment.

The highest mean values were observed in perform task assign, initiate responsibilities as engineering technician, practice professional ethics, display ability to work, explain the task by using effective verbal communication, and display lifelong learning skills. These findings suggest that trainees performed particularly well in collaborative work environments, followed organizational guidelines effectively, and demonstrated strong competence in using computer-based tools. Overall, the results indicate that employers held a highly favourable view of the trainees' performance during the industrial training period.

Table 2. Mean Value For Each Item

NO.	ELEMENTS	MEAN VALUE
1	Perform the assigned task accordingly based on job requirement (P4/PLO 5)	4.11
2	Initiate responsibilities as engineering technician while dealing with societal, health, safety, legal, cultural and other issues (A3/PLO 6)	4.26
3	Practice professional etchics and responsibilities as an engineering technician (A5/ PLO 8)	4.33
4	Display ability to work in a team and independently based on the given task (P4/ PLO 9)	4.38
5	Explain the task by using effective verbal/visual communication skill in perform-ing job requirement (A4/PLO 10)	4.12
6	Display lifelong learning skill in completing the task given (P4/PLO 12)	4.25

Although the overall findings indicate that organizations are satisfied with students' performance, certain weaknesses were still identified, particularly in technical and communication skills. This is which summarizes feedback from supervisors representing different companies.

Based on the supervisors' comments, several recurring issues were highlighted. These include insufficient practical and technical competencies, limited proficiency in English communication, and a lack of self-confidence among students. In addition, supervisors suggested the need for professional certification or supplementary courses, as well as improvements in attendance discipline and curriculum content for the Diploma programme. Other concerns included weak computer skills, particularly in Microsoft Office applications, and the need to further develop independence and teamwork abilities.

Most employers have emphasized the need for students to enhance a range of technical competencies. Their recommendations indicate that improvement should not only focus on technical abilities but also include behavioural skills such as communication, confidence, attendance discipline, curriculum enhancement, computer literacy, and independence. These competencies are essential for students, particularly those in the built environment field, to succeed in their respective professions.

Students were also observed to experience challenges in adapting to new environments and communicating effectively in English with confidence. This may be attributed to tightly structured academic schedules, which limit their engagement with wider community interactions, especially on global issues beyond their field of study. As a result, students may have insufficient time to develop broader awareness and respond effectively to external issues. In addition, limited exposure to English in their daily social interactions may contribute to moderate communication proficiency. Stewart highlighted the importance of behavioural competencies such as creativity, communication, teamwork, problem-solving, and leadership (Stewart et al., 1999). In addition to these behavioural aspects, employers in this study also strongly emphasized the need for improvement in technical skills, which aligns with Mustapha's findings that Malaysian employers consider technical competencies as the most critical skills required for technical graduates (Mustapha et al., 2004).

The findings of this study can also provide valuable input for academic institutions in improving the preparation of students for industrial training and engineering practice. Curriculum design can be enhanced by incorporating more practical elements, while strengthening collaboration between academia and industry. Real workplace case studies can be integrated into lectures to provide students with hands-on learning experiences relevant to their field. Furthermore, industrial advisors can play a more active role in providing feedback to students, helping to strengthen essential skills such as critical thinking, problem-solving, decision-making, oral communication, negotiation, and planning skills, which are highly demanded by employers.

CONCLUSION

This study has provided insights into the employability skills required by employers when recruiting future graduates. The findings indicate that Diploma in Mechanical Engineering (Plastic) students demonstrated a high level of performance in industrial training in terms of personal and core skills, while achieving an excellent level in process-related skills. This highlights the role of industrial training as a key component of engineering education in producing graduates who are "work-ready" for industry demands. Exposure to real industrial environments is essential for students to develop employability skills through practical experience. The consistent pattern of employer feedback also suggests that the competencies acquired by students during industrial training generally meet industry expectations. However, employers still emphasized the need for further improvement in certain behavioural and technical skills.

Overall, these findings underscore the importance of strong collaboration between universities, industry partners, and professional bodies. Such cooperation can enhance student development and positively influence employability outcomes, ensuring that graduates are better aligned with industry requirements and expectations.

REFERENCES

Abdullah, S., Zaharim, A., Harris, S.M. and Omar, M.Z. (2007), Engineering education: using technical attributes to analyse the employers' expectation of future engineering graduates in Malaysia, In the Proceedings of the *4th WSEAS/IASME International Conference on Engineering Education, 191-195.*

Adam J. (2007), *Employment and Engagement: Evaluating Art Industry Internships*

Bailey, T., Hughes, K., & Barr, T. (2000). Achieving scale and quality in school-to-work internships: Findings from two employer surveys. *Educational Evaluation and Policy Analysis, 22(1), 41-64.*

Beenen G. (2008), Exploring MBA Internship Effectiveness: Intern Goals and Outcomes, *GMAC ® Research Reports • RR-08-01 • February 7, 2008*

Gunadevi K. Jeevi Subramaniam and Raja Nor Safinas Raja Harun (2013). The ability of the polytechnics marketing student in using good English oral communication skills during industrial training. English for Specific Purposes World, 14(39).

Hodges D and Burchell N. (2003), Business Graduate Competencies: Employers' Views on Importance and Performance, *Asia-Pacific Journal of Cooperative Education, 2003, 4(2), 16-22.*

Lam, T., & Ching, L. (2007). An exploratory study of an internship program: The case of Hong Kong students. *International Journal of Hospitality Management,26(2), 336-351.*

Murali. S and Dr. Y rajaram (2014). IOSR Journal of Business and Management (IOSRJBM) e-ISSN: 2278-487X, p-ISSN: 2319-7668. Volume 16, Issue 9.Ver. II (Sep. 2014), PP 28-32

Mustapha, R., Abdullah, A. (2004). Malaysia transitions toward a knowledge-based economy, *Journal of Technology Studies, XXX(3), 51-61.*

Nurliana M.A et. el. (2013), Bachelor of Pharmacy Industrial Training:Performance and Perceptor Perception, *International Research Journal of Pharmacy, valume4 (5)*

Nor'Aini Yusof, et al (2013) Improving Graduates' Employability Skills through Industrial Training: Suggestions from Employers, *Journal of Education and Practice www.iiste.org, Vol.4, No.4, 2013.*

Safina Ramli (2017). Utusan Malaysia, 18 Ogos 2017

Stewart, J. And Knowles, V. (1999). The changing nature of graduate careers, Career Development International, 4(7), 370-383.

Siam, John J. (2005)"University trading centres and their role in business education."*Journal of Financial Education: 1-23.*

Tovey, Janice. (2001). Building Connections between Industry and University: Implementing an Internship Program at a Regional University. Technical Communication Quarterly. St. Paul, 10(2), 255-239.

Wiersma, W. (1995)."*Research Method in Education*". Allyn & Bacon: Boston.

https://doi.org/10.71284/asc.2026141

SAĞLIK KURUMLARINDA ÖRGÜTSEL TÜKENMİŞLİĞİN NEDENLERİ

Ufuk Karadavut[1]
Mehmet Murat Şahin[2]
İlkay Bedia Karadavut[3]
Merve Sitem Şahin[4]

Özet

Sağlık kurumları aralıksız şekilde çalışan birimlerden oluşan özel bir yapıdır. Yoğun ve ağır çalışma koşulları nedeniyle ciddi sorunlar yaşanabilmektedir. Bitin bunlara bir de yönetim sorunları eklendiğinde çalışanların stres ve devamında tükenmişlik yaşamaları söz konusu olabilmektedir. Tükenmişlik kendisini fiziksel, psikolojik ve davranışsal olarak gösterebilmektedir. Bu belirtiler ortaya çıkmadan gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Çünkü tükenmişlik yaşayan bir çalışanın geriye dönüşü çok zor olmakta ve çoğu zaman ağır psikiyatrik tedaviye ihtiyaç duyabilmektedir. Yapılan bu çalışmada 106 sağlık çalışanı ile görüşülmüş ve sonuçta İş arkadaşları ile çalışmada istekli olmama, çevreye karşı duyarsızlaşma, kötü davranmaya başlama, hata sayısındaki belirgin artış, alınan kararlarda başarısız olma ve kişide anlayışın azalması gibi gelişmelerin yaşandığı belirlenmiştir. Sonuç olarak tükenmişlik yaşayan çalışanların hem kendilerine ve hem de kurumlarına verimli olmaları çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bunun için tükenmişlik sendromu yaşatmayacak koşulların oluşturulması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık kurumları, örgütsel stres, tükenmişlik, örgütsel davranış

Abstract

Healthcare institutions have a unique structure consisting of units that operate continuously without interruption. Due to intense and demanding working conditions, serious problems may arise. When management-related issues are added to these challenges, employees may experience stress and, subsequently, burnout. Burnout can manifest itself through physical, psychological, and behavioral symptoms. Therefore, necessary precautions should be taken before these symptoms emerge. Once an employee experiences burnout, recovery becomes very difficult and often requires intensive psychiatric treatment. In this study, interviews were conducted with 106 healthcare professionals. The findings revealed several consequences of burnout, including unwillingness to work with colleagues, desensitization toward others, the onset of negative behaviors, a significant increase in the number of errors, failure in decision-making processes, and a decrease in understanding and empathy. As a result, employees suffering from burnout are generally unable to be productive for either themselves or their institutions. Therefore, it is essential to establish working conditions that prevent the development of burnout syndrome.

Keywords: Healthcare institutions, organizational stress, burnout, organizational behavior.

[1]Prof. Dr., Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıp Bilişimi ve Biyoinfromatik Anabilim Dalı, ufukkaradavut@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5362-7585

[2]Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi Aile Hekimliği Anabilim Dalı, murat.sahin@karabuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8223-2731

[3] Araştırma Görevlisi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, ilkaybedia.karadavut@ibu.edu.tr, https://orcid.org/0009-0003-0570-9721

[4]Dr., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, mervebiyomedikal@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3966-4333

GİRİŞ

Günümüzün en büyük sorunlarından birisi iş yoğunluğu içinde kaybolmak ve çıkış içinde çözüm bulamamaktır. Yoğun iş temposu, stresli çalışma ortamı ve sürekli değişen yaşam koşulları nedeniyle insanlar yaşadığı sorunlar arasında kaybolabilmektedirler. Bunun sonucunda da tükenmişlik sendromu yaşayabilmektedirler. Tükenmişlik en önemli sorunlardandır. Hatta Olpin ve Hassen bunu «Çağımızın Vebası» olarak tanımlamışlardır (Ersoy, 2025). Bilindiği gibi veba hastalığı uzun yıllar milyonlarca insanın ölümüne sebep olan ciddi bir hastalıktır. Bu hastalığın benzeri olarak tükenmişlik gösterilmektedir. Tükenmişlik sendromu yaşayan bireylerde stres yoğunluğu yaşanmakta ve çözüm bulunamadığında tükenmişliğe ve sonrasında ise depresyon görülmektedir. Bu da çalışma isteği başta olmak üzere her alanda ciddi rahatsızlık yaratacaktır. Bunun devamı kurumsal kimliğe ve tanınırlığa olumsuz etkiler yapabilmektedir. Hiçbir kurum bunun olmasını istemeyeceği için çok dikkatli olunması ve planlamaların buna göre yapmaları gerekmektedir.

Tükenmişlik iş stresine maruz kalarak kronikleşen sorunların altında hareket edememekten kaynaklanan stres sendromudur. Tükenmişlik sendromu ilk olarak 1970'li yılların başlarında ilk kez bir psikanalist olan Freudeberger tarafından kullanılmıştır (Freudenberger, 1975). Devamında ise Maslach ve arkadaşları tarafından da genelleştirilmiştir. Genelleştirme yapılırken de bunu duygusal yoğunluk, alaycılık ve kişiliksizleştirme ile kişisel başarı olmak üzere üç bölüme ayırmış ve buna göre düzenlemiştir (Maslach ve ark., 2001). Günümüzde halen daha aktif olarak kullanılan ve ölçekler başarılı ve değerli bilgiler vermektedir. Sorunların tanımlanmasında işletmeleri ve kurumları yönlendirmesi yöneticilerin işlerini kolaylaştırabilmektedir.

Tükenmişliğin spesifikleştiği özel bir iş alanı bulunmamaktadır. Bütün meslek dalları için geçerli olabilen bir sorundur. Önemli olan bu sorunun oluşmasına sebep olabilecek faktörlerden uzaklaşmaktır. Ancak her şeye rağmen bu faktörlerin tümü ya da bir kısmı aktif olarak iş hayatında girebilir. Bunun içinde çalışanların kendilerini buna göre yeniden konumlandırmaları gerekmektedir. Olumsuzluklar her zaman olacaktır. Buna her zaman için engel olmak söz konuş olmayacaktır. Ancak kendimize güvenir ve inanırsak sorunların bizleri ezip geçmesine izin verememiş oluruz.

Sağlık çalışanları ve özellikle de perioperatif kısımda görev yapan klinisyenler sürekli olarak baskı altında kalabilmektedirler. Hasta baskısı, idarecilerin baskısı veya kendilerine ait sorunların baskıları nedeniyle stres altında kalabilmektedirler (Shanafelt ve ark., 2003). Stresini kontrol edebilenler başarı şekilde çalışma hayatlarına devam edebilirken stresini kontrol edemeyenler sorun yaşamaya devem etmekte ve ilerleyen dönemlerde depresyona girebilmektedirler (Kaya ve ark., 2007). Daha kötüsü ve istenmeyeni ise madde bağımlılığı başta olmak üzere farklı ve daha ağır alışkanlıklarına yaşanması mümkün olabilmektedir. Bu durumlarda ise hem hasta için ciddi maliyet ve moral bozuklukları oluşurken, iş hayatında da belirsizlikler artmakta ve sorunları iyice içinde çıkılmaz hale gelebilmektedir (Jones ve ark., 1988). Kılıç ve Aytemiz-Seymen (20 11) yaptıkları çalışmada sağlık sektöründeki tükenmişlik kaynakları incelemişler ve bunun sebeplerini araştırmışlardır. Sebeplerin bir kısmının kontrol edilebileceğini belirtmişlerdir. Ancak bunun için çalışılanların bu konuda kararlı olmaları ve yöneticilerinde çalışanlara yardımcı olması gerekmektedir (Hogan ve McKnight, 2007).

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Tükenmişliğin Sebepleri ve Etkileri

Sağlık Çalışmalarında Gözlenen Tükenmişlik sendromu ve çalışanlar üzerindeki farklı etkilere sahiptir. Bu etkiler kısaca şu şekilde özetlenebilir (Yiğit, 2020);

- Kavram olarak tanımlandığı günden bu yana ciddi olarak çalışmalar yapılmaktadır. Tükenmişlik sendromunun etkileri Kronik yorgunluk, bitkinlik, bağışıklık sisteminde düşme ve konsantrasyon eksikliği gibi belirtiler ortaya çıkmaktadır. Sağlık çalışanların etkisi olarak da Fiziksel, zihinsel ve duygusal olarak tükenme olarak kendisini göstermektedir.

- Daha sonra Maslach (1981) bunu duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarıda düşme hissi olarak üç ana kısımda incelemiştir. Etkileri olarak Duygusal olarak yıpranma, duyarsızlaşma ve işindeki çabalarının boşa gittiği hissinin yaşanması olarak tanımlamışlardır. Özellikle salgın döneminde stres yükünün artması sağlı çalışanlarında tükenme daha da belirgin hale gelebilmektedir. Son yaşanan pandemi sürecinde bunun çok sayıda örneği görülmüştür. Pandemi sonrasında toparlanma olsa da kayıplar çok olmuştur.

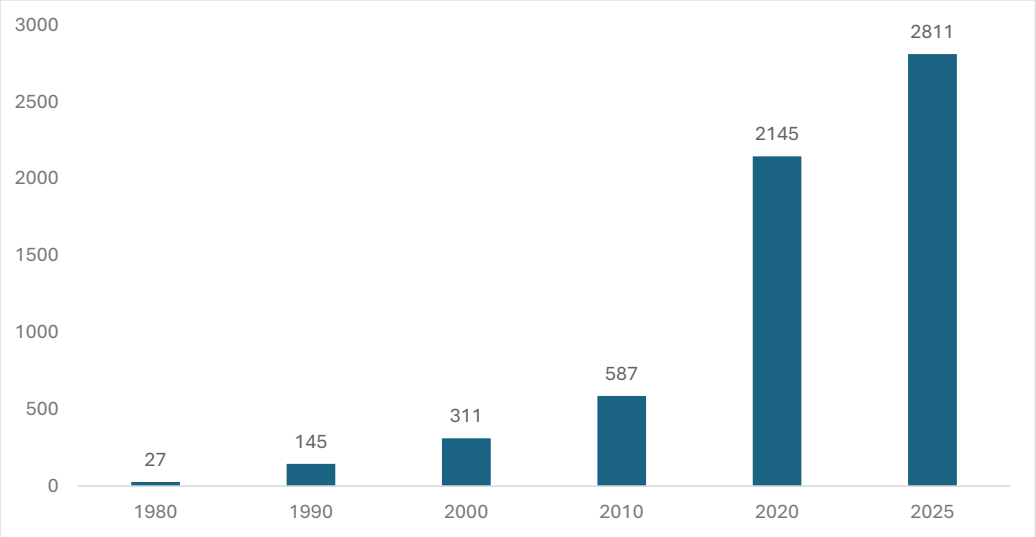
- Tükenmişlik bir Ruh hastalığı olarak kabul edilmemekle birlikte, sendrom belirteçleri incelendiğinde çaresizlik, umutsuzluk, huzursuzluk gibi çok sayıda belirti ruh hastalarının sahip olduğu özelliklere benzemektedir. Bu sendroma sahip olan bireylerde olumlu duygularda azalma, sabır eşiğinde düşme ve huzursuzluk gibi belirtiler artmaktadır. Sağlık çalışanlarında ise aşırı iş yükü, yoğun iş temposu ve zorlu çalışma koşulları sağlık çalışanlarını tükenmeye doğru yönlendirmektedir.

- Tükenmişlik özellikle insanlara hizmet eden ve birebir insanla iletişim halinde olması gereken meslek gruplarında daha çok görülmektedir. Bu ise beklenen bir durumdur. Çünkü birebir insanlar ile görüşmek sürekli olarak onları dinlemek ve yardımcı olmaya çalışmak farklı sorunları taşımayı zorunlu kılmaktadır. Dikkat edilmediği taktirde enerji azalmasına bağlı olarak güç kaybı, moral ve motivasyon eksikliği görülmektedir. Bunun sonucunda da Pandemi sürecinde risk altında olan sağlık çalışanları, sürekli stres altında olmanın yanı sıra aşırı iş yükü sebebiyle tükenmeye başlamaktadırlar. Bunun önüne geçilebilmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu sorun aynı zamanda hastaların kaliteli sağlık hizmeti almalarını da engellemektedir. Hatta kötü hizmet almalarına sebep olabilmektedir. İyi olmayan sağlı hizmeti alınması sağlık sistemine yeni ve ek yükler getirmektedir.

- Bu sendrom aynı zamanda öğretmenler, polisler, akademisyenler, yöneticiler ve hayati kararlar almak zorunda olan kişilerde de görülmektedir. Tedirginlik, yalnızlık, huzursuzluk hissi ve endişe halinin oluşması en sık gözlenen belirtilerdendir. Bulundukları ortamın olumsuz fiziksel koşulların etkisiyle çalışmanın rahatsızlığı sağlık çalışanlarını tükenmeye sürüklemektedir.

Bütün bunların yaşanması tükenmişliğe olan ilgiyi artırmıştır. Yapılan çalışma sayıları hızla artmaya başlamıştır. Şekil 1'de Son 45 yıldaki yapılan çalışmalardaki değişimler gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 1980 yılında sadece 27 adet varken, 2020 yılında ciddi bir sıçrama yaşanmış ve 2145'e yükselmiştir. 2025 yılına gelindiğinde ise bu sayı 2811'e ulaşarak artışını devam ettirmiştir. Önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmektedir. İlgi artışının temel sebebi olarak özellikle sağlık alanında yaşanan sorunların çözülememesi yatmaktadır. Eğer küçük çaplı da olsa bazı düzenlemeler yapılabilirse zaman içinde sorunların büyümeden çözülmesi sağalabilir. Ancak ekonomik nedenler, popülist yaklaşımlar ve idarecilerin tutumlarındaki değişmezlik gibi nedenler ile gerekli düzenlemeler yapılamamaktadır. Yapılamayan düzenlemeler nedeniyle de her geçen gün yeni sorunlara çözüm bulunamamakta ve sorunlar artmaya devam etmektedir.

Şekil 1. Yıllara göre Tükenmişlik çalışma sayıları



1.2. Tükenmişliğin Prevalansı

Tükenmişlik sendromunun genel olarak kabul görmüş bir tanımının olmaması nedeniyle tanımlanması oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle de gözlenen belirtilerin diğer stres faktörlerine benzemesi de tükenmişliğin ayırt edilmesini zaman zaman zorlaştırabilmektedir. Çok faktörlü kökeninin olması ve tanı kriterlerinin net olmaması nedeniyle, genel bir popülasyonda tükenmişliğin yaygınlığı hakkında net ve doğru bir bilgi edinmek mümkün olmamaktadır. Yapılan tahminlere göre, çalışan nüfusun %20'sinin tükenmişlik yaşadığını göstermektedir. Ancak bunun ne kadarının hafif, orta ve şiddetli tükenmişliği olduğunu tanımlamak mümkün gözükmemektedir (Lindblom ve ark., 2006). Tükenmişlik düzeyinin sosyo-demografik faktörler ile doğrudan ilgili olduğuna dait çalışmalar bulunmaktadır. Bildirilen tükenmişlik vakası dünya genelinde değişiklik göstermektedir. Örneğin, Avrupa'da Avrupa Birliği ülkeleri (%10) ile Avrupa Birliği dışı ülkeler (%17) arasında bir fark gözlemlenmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde tükenmişlik vakası Finlandiya'da %4,3'ten Slovenya'da %20,6'ya, Avrupa Birliği dışı ülkelerde ise Arnavutluk›ta %13›ten Türkiye›de %25›e kadar değişmektedir (Shanafelt, 2009). Tükenmişliğin iş yüküyle olumlu ilişkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Rotenstein ve ark., 2018).

1.3. Tükenmişliği Etkileyen Faktörler

Tükenmişlik kendi kendine gelişen bir olgu değildir. Çok sayıda faktörün süresine bağlı olarak etki altında kalmasıyla oluşmaktadır. Bu faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu faktörler iç ve dış faktörler olarak iki kısımda incelenmektedir. Bunlardan dış faktörler kısaca şu şekilde tanımlanabilmektedir;

- Talep miktarının yüksekliği: Çalışanlardan bazen kapasitelerinin üzerinde talepler gelebilmektedir. Kısa süreli olduğunda tolere edilebilirken, uzun süreli olması durumunda bunun karşılanması sürdürülebilir olmamaktadır.
- Yaşanılan problemler: Özellikle yöneticiler ve çalışma arkadaşları ile oluşan problemlerin en kısa sürede çözülmesi gerekmektedir. Problemin uzaması tükenmişliği desteklemektedir.
- Çelişkili talimatlar: Bazı idareciler bilerek ya da bilmeyerek birbirleri ile çelişen ve tutarlılığı olmayan talimatlar verebilmektedirler. Bu durum çalışanları baskılamaktadır.
- Zaman baskısı: Verilen görevlerin hemen yapılması konusunda baskı yapılabilmektedir.

• İş yerinin uygunsuzluğu: İş yerlerinin uygun koşullara sahip olmaması, iş güvenliği ve ağlığını tehdit edici olmaları sorun oluşturmaktadır.

• Karar almada özgür olamama: Önemli konularda idarecilerden onay almak önemlidir. Ancak her konuda onay almak çalışanların stres yaşamasına sebep olabilmektedir. Karar alma konusunda çalışanlara inisiyatif verilmelidir.

• Katılım konusunda az fırsat verilmesi: Çalışanların kendilerini geliştirmeleri konusunda fırsatlar verilmelidir.

• Kurumsal destekler: İşletme ya da kurumların çalışanlarına gerekli ve yeterli desteği sağlamaları gerekmektedir.

• Hiyerarşik sorunlar: Kurumsal olarak yetki tanımlaması, görev ve sorumlulukların bilinmemesi ya da uygulanmaması stres yaşanmasını desteklemektedir.

• Kurum içi iletişim zayıflığı: Çalışanların kendi içlerinde çok iyi iletişime sahip olmaları gerekmektedir. İletişimin bozuk ya da zayıf olması baskı unsuru olarak kabul edilmektedir.

• Baskı oluşması: İdareciler tarafından sürekli ve dozu yüksek baskıların yapılmasıdır.

• Sorumluluk fazlalığı: Çalışanların kapasiteleri oranında görev verilmesi gereklidir. Ancak bazı durumlarda çok fazla görev verilebilmektedir. Bu çalışanlar açısından sorun yaratmaktadır.

• Kaynak eksikliği: İş yerlerinde kullanılacak olan makine, teçhizat ya da insan kaynağının yetersiz olması iş yüklerini ve işlerin yapılışını olumsuz yönde etkileyecektir.

• Rollerdeki belirsizlik: Çalışanların kurum içinde rollerinin net olarak belirlenmemesi belirsizliğin oluşmasına sebep olmaktadır.

• Pozitif geri dönüş eksikliği: Çalışanların yanlış yaptıklarında eleştirildikleri gibi güzel şeyler yaptıklarında teşekkür edilmeleri gerekmektedir.

• Ekibin zayıf olması: Çalışma ortamında gene olarak ekip olarak çalışılmaktadır. Ekip güçlü olursa iş başarısı yüksek olacaktır. Bu nedenle ekibin zayıf olmamasına dikkat edilmelidir.

• Sosyal ilişiklerin zayıf olması: Sosyal ilişkilerin yüksek olması çalışanlar arasındaki uyumun yüksekliğini göstermektedir. Bu nedenle sosyal ilişiklerin iyi olmasına dikkat edilmelidir.

• Bunlardan iç faktörler kısaca şu şekilde tanımlanabilmektedir;

• Yüksek bireysel beklentiler: Bazı çalışanların yüksek oranda beklentilerinin olması ve bunların karşılanmama olasılıkları sorun yaratabilmektedir.

• Mükemmeliyetçilik: Her şeyin en iyisinin olması ve her işin en iyi şekilde eksiksiz şekilde yapılmasını istenmektir. Ancak gerçek hayatta bu her zaman mümkün olmamaktadır. Bunun sayılarındaki artış kişilerde sorun yaratmaya başlamaktadır.

• Tanınma ihtiyacı: Bazı çalışanlar tanınmak ve öncelenmek isterler. Bu gerçekleştiği ölçüde moraller yüksek olmakta ama aksi durumda ise stres kaynağı olmaktadır.

• Aranan insan olmak: Sahip olunan özellikler bakımından arana kişi olmak bazı çalışanların temel isteğidir. Ancak bu gerçekleşmediğinde ise sorunlar başlamaktadır.

• Kişilerin ihtiyaçlarını baskılaması: İş yerinin imkanları doğrultusunda talepler karışılabilmektedir. Ancak her talebin karşılanması mümkün olmamaktadır. Karşılanamayan talep sayısı arttıkça sorunlarda artmaya başlamaktadır.

• Vazgeçilmez hissetme: Hiçbir kimse vazgeçilmez değildir ve herkesin yeri bir şekilde doldurulabilir. Ancak bazı çalışanlar kendilerini vazgeçilmez ve çok önemli birisi gibi düşünebilirler. Bu durumda da stres yaşamaya başlamaktadırlar.

• Zorluğun üstesinden gelmeyi abartmak: Zorluklar her zaman olacaktır ve çözümünün mümkün olduğunca basit ve masrafının düşük olması istenir. Ancak çok iyi çözüm yapılacak diye zaman aşıcı ve yüksek maliyetli işler yapılması istenmemektedir. Böylesi beklenti içinde olunması sorun yaratabilmektedir.

• Anlamlı bulunan işi yapmak: Bazı çalışanlar kendilerine göre akılcı bulmadıkları işleri yapmaktan kaçınmaktadırlar. Oysa akılcılık bilgi birikimi, deneyim ve yaşanmışlık ile gelişmektedir. Bunun farkına varılması gerekmektedir.

• Sosyal duruma göre iş yapma isteği: Kişilerin durumlarına göre iş beklentisinde olmaları ve bunun karşılanmaması durumunda da sorunlar oluşmaktadır.

1.4. Tükenmişliğin Üstesinden Nasıl Gelinir?

Bir sorun varsa onun çözümü de mutlak vardır. Çözümün o an için bilinmiyor olması onun yok olduğunu göstermez. Sadece zamanını beklemektedir. Tükenmişlik ile de baş etmenin yolları bulunmaktadır. Bunların bilinmesi faydalı olacaktır. Bunlar bireysel ve kurumsal olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilebilmektedir (Mead ve ark., 2009; Yiğit, 2020). Bireysel baş etme yollarını kısaca şu şekilde açıklayabiliriz;

• Spor yapmak: Düzenli olarak yapılan egzersizlerin vücudu büyük oranda rahatlattığı ve stres ve tükenmişliği uzaklaştırdığı bilindirilmektedir (Rucker ve ark., 2011).

• Beslenmeye dikkat etmek: Özellikle sağlıklı beslenmeye dikkat edilmesi gerekmektedir. Ambalajlı ürünlerden mümkün olduğunca uzak durmak gereklidir.

• Uyumak: Uykunun süresi ve kalitesi vücut açısından öne çıkmaktadır. İyi uyku vücudu yenileyici ve bağışıklığı güçlendirici etki yapmaktadır (Gökçay ve Arda, 2013).

• Farklı uğraşlar edinmek: Hobi olarak da ifade edilen farklı alanlardaki zevk alarak yapılan uğraşların beyni rahatlattığı bilinmektedir (Kural ve Karaaziz, 2024).

• Sosyalleşme: Sosyal ilişikleri güçlendirmek her zaman için faydalı olmuştur ve insanlık var oldukça da olmaya da devam edecektir.

• Hayatı dengede tutmak: Hayatımızda yaptığımız işleri belli bir denge içinde yürütmek gereklidir. İşve yaşam, iş ve ev hayatı ya da ev-yaşam ve aile dengesini iyi korumak gereklidir.

• Sürekli gelişmek: Gelişmek için insanların sürekli olarak kendilerini güncellemeleri ile mümkün olacaktır. Sürekli olarak kendini güncelleyenlerin zihinsel olarak daha dingin olabildikleri belirtilmektedir (Ören ve Yüksel, 2012).

Kurumsal baş etme yollarını ise şu şekilde açıklayabiliriz;

• Çalışma koşullarının iyileştirilme: Çalışanların iş yerine gelirken büyük bir hevesle gelmeleri verimlilik ve etkinlik açısından önemlidir. Bu durum aynı zamanda stres koşullarının da azaltılmasında etkili olmaktadır (Çavuş, 2015).

• İş yükünün adil dağıtımı: İş yerlerinde en çok şikâyet edilen konulardandır (Back ve ark., 2002; Moss ve ark., 2016).

• Yeterli personel çalıştırılması: Eksik ya da yetersiz personel ile çalışılması verimliliği düşürdüğü gibi aynı zamanda iş yükünün adil dağıtımını da etkilemektedir (Moss ve ark., 2016).

• Hizmet içi eğitimler verilmesi: Çalışanların kendilerini geliştirebilmeleri ve yenilikleri izleyebilmeleri

için eğitime alınmaları ve bunların süreklilik arz etmesi önemlidir.

- Farkındalık oluşturma: İş yerinde yaşanabilecek stres ve tükenmişlik için bilgilendirme yapılarak farkındalık oluşturmak gereklidir.
- Psikolojik destek verilmesi: Gerekli olması durumunda çalışanların psikolojik ya da psikiyatrik destek verilesi faydalı olacaktır.
- Ödüllendirme: İş yerlerindeki başarıyı artırabilmek için cezanın bir işe yaramadığı ve bunun yerine ödüllendirmenin yapılması gerektiği belirtilmektedir (Armstrong, 2002; Atay ve Acar, 2008). Bu nedenle ödüllendirme mekanizmalarının aktifleştirmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Tükenmişlik sendromu hayatın her alanında karşılaşılabilen bir olgudur. Özellikle iş stresi ve günlük hayatın koşuşturması ile belirgin şekilde artışların olması bizleri ciddi tedbirleri almaya zorlamaktadır. Tükenmişlik yaşayanların sadece iş hayatları değil çevreleri ve aileleri de bundan olumsuz yönde etkilenmektedirler. Bunun için gerek bireysel ve gerekse de kurumsal olarak tedbirlerin alınması ve gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Ersoy, A.R. (2025). Çağımızın Vebası Tükenmişlik Sendromu ve Sonrası-Business Burnout. İthaki Yayınları, Sayfa Sayısı: 136.

Çavuş, Ö. H. (2015). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Kapsamında Ofis İşyerlerinde Risk Değerlendirmesi. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, *6*(2), 1-14

Mead, N. L., Baumeister, R. F., Gino, F., Schweitzer, M. E. ve Ariely, D. (2009). Too tired to tell the truth: Self-control resource depletion and disho nesty. Journal of Experimental Social Psycho logy, 45(3), 594–597.

Atay İ. D., Acar A. C. (2008). "İnsan Kaynakları Yönetimi" Ücret Yönetimi, 3. Baskı, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul.

Armstrong M. (2002). Employee Reward, Chartered Institute of Personnel and Development, CIPD House, London

Back AL, Wipf JE, Shanafelt T. Resident Burnout. *Ann Intern Med*. 2002;137:698–700; discussion 698–700.

Moss M, Good VS, Gozal D, Kleinpell R, Sessler CN. A critical care societies collaborative statement: burnout syndrome in critical care health-care professionals a call for action. *Am J Respir Crit Care Med*. 2016;194:106–113.

Ören, D. D. K., Yüksel, H. (2012). Geçmişten Günümüze Çalışma Hayatı. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, *1*(1), 1

Gökçay, B., Arda, B. (2013). Tıp Tarihi Açısından Uyku ve Uyku Araştırmaları. *Lokman Hekim Dergisi*, *3*(1), 70-78.

Kural, T., Karaaziz, M. (2024). Stresin Hastalıklar Üzerindeki Etkisi Üzerine Bir Derleme. *PEARSON JOURNAL*, *8*(28), 1330–1346

Freudenberger HJ. The staff burn-out syndrome in alternative institutions. *Psychotherapy*. 1975;12:73–82.

Rucker, D. D., Preacher, K. J., Tormala, Z. L. ve Petty, R. E. (2011). Mediation analysis in social psycho logy: Current practices and new recommendati ons. Social and Personality Psychology Compass, 5(6), 359–371.

Lindblom KM, Linton SJ, Fedeli C, Bryngelsson IL. Çalışan nüfusta tükenmişlik: psikososyal iş faktörleriyle ilişkiler. *Int J Behav Med*. 2006; 13:51–59

Maslach C, Schaufeli WB, Leiter MP. Job burnout. *Annu Rev Psychol*. 2001;52:397–422.

Shanafelt T, Sloan J, Habermann T. The well-being of physicians. *Am J Med*. 2003;114:513–559.

Yiğit, B. (2020). Tükenmişlik Sendromu ve Sağlık Çalışanları. https://www.iienstitu.com/tr/blog/tukenmislik-sendromu-ve-saglik-calisanlari (ET:20.05.2026).

Shanafelt T. Enhancing Meaning in Work: A prescription for preventing physician burnout and promoting patient-centered care. *JAMA*. 2009;302:1338–1340.

Rotenstein LS, Torre M, Ramos MA, et al. Prevalence of Burnout among physicians. a systematic review. *JAMA*. 2018;320:1131–1150

Kaya, M. S. Üner, E. Karanfil, R. Uluyol, F. Yüksel, M. Yüksel (2007) "Birinci Basamak Sağlık Çalışanlarının Tükenmişlik Durumları", TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 6(5), 357-363.

Jones JW, Barge BN, Steffy BD, Fay LM, Kunz LK, Wuebker LJ. Stress and medical malpractice: organizational risk assessment and intervention. *J Appl Psychol*. 1988;73:727–735.

Hogan, R.L., M.A. McKnight (2007) "Exploring Burnout Among University Online Instructors: An Initial Investigation", Internet and Higher Education, 10, 117–124.

Kılıç, T., O. Aytemiz-Seymen (2011) "Sağlık Sektöründe, Tükenmişlik Sendromuna Etki Eden Faktörlerin Analizi ve Bir Araştırma", Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 16, 47-67.

https://doi.org/10.71284/asc.2026142

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN MANUFACTURING: A TOE-BASED CONCEPTUAL FRAMEWORK

S Kohilam Ubramaniam[1]
Logaiswari Indiran[2]

Abstract

Environmental issues are closely associated with the manufacturing sector, contributing to air pollution, water contamination, gas emissions, and excessive waste discharge. These challenges remain a significant concern for sustainable development. In recent years, Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative technology with the potential to mitigate such environmental impacts, particularly through applications such as emission monitoring and smart energy optimisation. However, while AI adoption has advanced rapidly in developed countries, developing countries continue to face challenges in implementing more sophisticated AI solutions within the manufacturing sector. This gap highlights the need to better understand the factors influencing AI adoption in these contexts. This conceptual paper proposes an integrated framework based on the Technology–Organization–Environment (TOE) model to explain AI adoption and its impact on sustainable business performance. Although prior studies have examined TOE factors as determinants of technology adoption, limited attention has been given to their role in achieving sustainability outcomes. In addition, the potential of TOE factors to act as barriers to AI adoption in addressing environmental challenges remains underexplored. This study addresses these gaps by conceptualising how TOE factors influence AI adoption and identifying key barriers that may hinder its implementation for sustainability purposes. It further extends existing research by linking AI adoption to sustainable business performance, an area that has received comparatively less attention. Aligned with global sustainability agendas, this study contributes to Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 9, SDG 12, and SDG 13, by emphasising the role of AI in driving environmental improvements. Overall, this paper provides a foundation for future empirical research by offering a comprehensive framework linking TOE factors, AI adoption, and sustainable business performance. It also offers practical insights for industry practitioners, policymakers, and SME managers to promote environmentally sustainable practices through AI adoption.

Keywords: Artificial intelligence, environmental sustainability, AI adoption, manufacturing

[1]Universiti Teknologi Malaysia, skohilam@graduate.utm.my, https://orcid.org/0009-0002-6718-9330

[2]Dr., Universiti Teknologi Malaysia, logaiswari@utm.my, https://orcid.org/0000-0001-5706-4441

INTRODUCTION

Environmental challenges are increasing rapidly with greater industrialisation, making the situation even worse. Industries, especially the manufacturing sector, are contributing significantly to environmental pollution, mainly air pollution. According to the European Commission JRC EDGAR (2025), greenhouse gas emissions from manufacturing have increased globally by approximately 93% since 1990. Artificial Intelligence (AI) offers significant potential to address these issues in various ways. However, many developing countries are still striving to adopt such technologies, and pollution levels in these countries are particularly alarming. Based on the World Air Quality Report (2024), most of the polluted countries are emerging economies, especially in Asia and Africa. This is due to rapid industrialisation in developing countries, which contributes to higher pollution levels. Furthermore, air pollution causes major diseases, resulting in approximately 7 million deaths globally each year (WHO, 2024). Therefore, environmental issues must be addressed before they become unmanageable. Many existing studies have focused on Artificial Intelligence (AI) adoption as an enabler only, without linking it to sustainability. Moreover, there are limited studies on the manufacturing sector, with most research focusing on general sectors. This conceptual study aims to provide insights into the factors and barriers affecting the adoption of advanced Artificial Intelligence (AI) in the manufacturing sectors of developing countries. In additon, Technology-Organisation-Environment framework (TOE) and narrative literature review approach used in this study to identify the research gap.

Technology-Organisation-Environment framework (TOE) is suitable for analysing the specific innovation dynamics affecting organisational adoption, particularly related innovation dynamics and technologies. By structuring different clusters and integrating them into a theoretical foundation, the Technology-Organisation-Environment framework (TOE) model facilitates a comprehensive analysis of whether technologies are adaptable within an organisation. Therefore, this study grounded with the influential factors within the three clusters which are technology, organisation, and environment. This will provide a comprehensive understanding of the current state of research on Artificial Intelligence (AI) implementation in organisations. This highlights the usefulness of the Technology-Organisation-Environment framework model in comprehending and analysing Artificial Intelligence (AI) technology adoption by SMEs (Schwaeke, Peters, Kanbach, Kraus, & Jones, 2025).

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Artifical Intelligence

Artificial Intelligence (AI) broadly refers to the ability of machines to perform tasks that normally require human intelligence, such as perception, reasoning, learning, and decision-making (Tursunbayeva & Chalutz-Ben Gal, 2024). Artificial Intelligence (AI) is an increasingly fundamental aspect of digital transformation. Some view it as a complex technology that aims to replicate human intelligence (Tursunbayeva & Chalutz-Ben Gal, 2024). Meanwhile, Artificial Intelligence (AI) adoption in MSMEs refers to the process of acquiring, implementing, using and integrating AI technologies into the business operations and activities of MSMEs (Abaddi, 2025).

1.2. Technology-Organisation-Environment framework (TOE)

Tornatzky et al. (1990) first introduced the TOE model, which has since been widely used to explain organisational adoption of innovations (Thomas et al., 2025). According to the TOE model, factors predicting the successful implementation and adoption of emerging systems fall into three key dimensions: technology, organization, and environment (Thomas et al., 2025). The technology component examines the characteristics of the technology, including its functionality, complexity, compatibility with existing systems, and user-friendliness (El-Haddadeh 2020). The organisation component addresses the internal context of the technology's implementation, including the organisation's size, structure, culture, and

available resources (Schwaeke et al., 2025). The environment component conversely addresses the external context, encompassing the market conditions, regulatory requirements, and sociocultural norms that the organisation is facing (Schwaeke et al., 2025).

1.3. Sustainable Business Performance

Sustainable performance represents the culmination of an organisation's efforts to achieve a balance between environmental preservation, social responsibility, and economic profitability (Chaaben et al., 2024). This study focuses on environmental sustainability as the final outcome. Therefore, particularly environmental performance has been identified in the literature. Environmental performance consists of reducing ecological impact as well as optimising resource efficiency (Ashkani et al., 2026).

2. METHOD

The study employs a structured set of methods. It involves a systematic process of literature search, article selection and analysis. This is to generate insights and identify key variables and the relationship between the variables. These insights led to develop a conceptual framework and the framework contribute to future empirical studies.

2.1. Research Design

The study adopts a conceptual research design to develop a framework aimed at explaining the relationship between Technology-Organization-Environment (TOE) factors, Artificial Intelligence (AI), and sustainable business performance. Therefore, no primary data were collected. Accordingly, the study integrates existing theories and research to propose a relevant conceptual framework for the manufacturing firms of developing economies.

This conceptual paper used a narrative literature review approach to synthesise existing knowledge and propose a novel conceptual framework integrating Artificial Intelligence (AI), the Technology-Organization-Environment (TOE) framework, and sustainable business performance. Narrative reviews clarify and critically analyse specific topics or bodies of literature through interpretive synthesis, creativity and expert judgement (Ahmad, 2025). A narrative review is appropriate for exploratory and conceptual research because it allows researchers to critically analyse and integrate findings from diverse studies to identify patterns, inconsistencies, and emerging theoretical perspectives (Rahman et al., 2025).

2.2. Key Steps in Conducting a Narrative Review

The narrative review process was conducted through several systematic steps. This is to identify the patterns in the literature and to discover gaps in the existing studies. The scope of the review was established based on three primary areas: (1) Artificial Intelligence (AI) adoption in manufacturing sector, (2) the Technology-Organization-Environment (TOE) framework in technology adoption studies, and (3) Sustainable business performance that contributes to environmental sustainability. These areas are essential and were selected in addressing the research objective to understand how the Technology-Organization-Environment (TOE) factors influence Artificial Intelligence (AI) and how Artificial Intelligence (AI) improves sustainable business performance in manufacturing sector that contributes to environmental sustainability in developing economies.

Data related to the Technology-Organization-Environment (TOE) framework, Artificial Intelligence (AI) adoption, and sustainable business performance were retrieved from established sources such as Web of Science, Scopus, and Google Scholar. Scopus and Web of Science were selected as the primary database of the study. This is because of its multidisciplinary coverage inlcuding entrepreneurship, technology, management, innovation studies and so on. In addition, the database is widely recognised for its reliable source of peer-reviewed articles, comprehensive indexing, citation tracking capabilities, access to recent publications and advanced search. Therefore, it is suitable to be used in the study. Several keywords

and combinations of terms were used in the search process such as Artificial Intelligence (AI) adoption, Technology-Organization-Environment (TOE), environmental sustainability, manufacturing sector, developing countries and sustainable business performance. Boolen operaters such as AND and OR also were applied to improve relevance. To ensure the relevance and timeliness of the study, the articles were chosen from within last 3 years (2023 – 2026). This approach focuses on synthesising key concepts and identifying research gaps to develop the conceptual framework.

Following the search process, the empirical articles were evaluated and screened based on their titles, years, abstracts, findings, research context, theoretical framework, variables, objectives and key findings to determine the relevance to the research objectives. Priority was given to studies on Artificial Intelligence (AI) adoption, Technology-Organization-Environment (TOE) factors, environmental sustainability, sustainable business performance, manufacturing sector and emerging economies. The study was able to compare and synthesise the literature, identify the patterns, relationships between the variables, consistencies and inconsistencies across studies. In additon, the reference list of the selected articles was also reviewed. This is to identify more additional literature for more comprehensive understanding of the topic.

Subsequently, the selected studies was categorised into thematic areas aligned with the research objective. The themes are (1) Artificial Intelligence (AI) adoption in manufacturing, (2) Technology, Organization, and Environment factors, and (3) Sustainable business performance. Themathic analysis was then conducted. It is a method for identifying, analysing, organising, describing, and reporting themes found within a data set (Nowell et al., 2017). From this thematic grouping, the study could retrieve a clearer understanding of existing knowledge and research gaps.

The findings highlighted that although prior studies emphasised on Artificial Intelligence (AI) adoption as enabler, limited attention has been given to the environmental sustainability, manufacturing sector and developing countries.

Finally, the synthesised findings were used to develop the proposed conceptual framework to explain the relationship between Artificial Intelligence (AI) adoption, Technology-Organization-Environment (TOE) factors, and sustainable business performance. The determinants were categorised according to Technology-Organization-Environment (TOE) framework. This framework provides a structured understanding of the factors influencing Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainable business performance in manufacturing sector. The technological factor consisted of cost and complexity as the primary determinants.

3. FINDINGS

The findings of this study are derived from a systematic review of prior studies. The analysis highlights the integration of Technology-Organization-Environment (TOE) factors, Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainable business performance. In addition, it identified limited studies focusing on sustainability as the main outcome, manufacturing sector and developing countries context. This led to the development of a conceptual framework linking all these variables.

3.1. Purpose and Significance of the Research

The purpose of this study is to develop a conceptual framework integrating Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainable business performance in manufacturing sector with grounded Technology-Organization-Environment (TOE) framework. Therefore, this study aims:

a) to propose a conceptual framework for Artificial Intelligence (AI) adoption in manufacturing using the Technology-Organization-Environment (TOE) model.

b) to identify the influencing factors and barriers to Artificial Intelligence (AI) adoption.

c) to explain how Artificial Intelligence (AI) adoption contributes to environmental sustainability

through sustainable business performance.

d) to conceptualise how Artificial Intelligence (AI) adoption contributes to sustainable business performance.

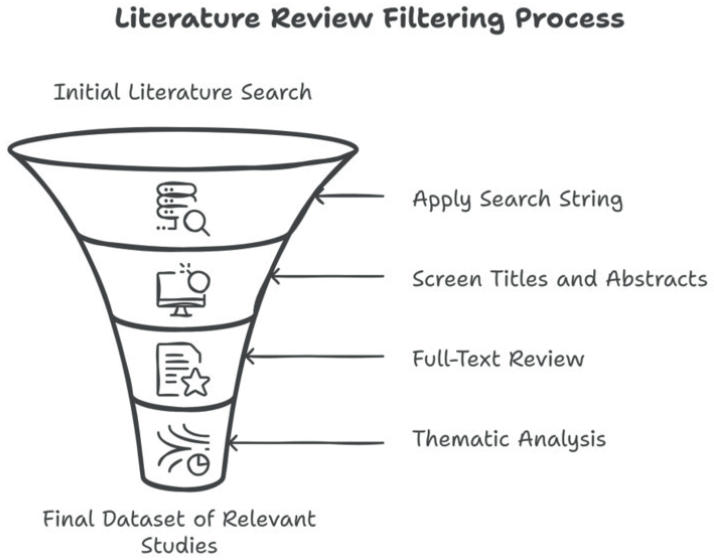
The significance of this study lies in its contribution to theoretical, practical and policy. In term of theoretical contributions, this study extends Technology-Organization-Environment (TOE) framework to Artificial Intelligence (AI) and sustainability. It also integrates Artificial Intelligence (AI) adoption with sustainable business performance with highlighting its role in supporting environmental sustainability. In addition, this study proposes a new conceptual framework linking Technology-Organization-Environment (TOE), Artificial Intelligence (AI) and sustainable business performance in manufacturing sectors especially in developing countries and environmental sustainability as an extended outcome. As for practical contributions, this study contributes insights for manufacturing sector on Artificial Intelligence (AI) adoption. It supports firms in improving sustainability. Moreover, managers could understand factors or barriers influencing Artificial Intelligence (AI) adoption and its implementation. In the context of policy, helps policymakers in promoting Artificial Intelligence (AI) adoption for sustainability. It also contributes to Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 9, SDG 12, and SDG 13, by emphasising the role of Artificial Intelligence (AI) in driving environmental improvements. Lastly, the study encourages sustainable pratices in manufacturing sector of developing countries.

3.2. Research Universe and Sample

As this is a conceptual study, there is no primary data collection and empirical sample. The research universe of this study consists of established journal articles related to Artificial Intelligence (AI) adoption, Technology-Organization-Environment (TOE) factors, and sustainable business performance. The sample derived from selected and recent studies which relevant to the study variables. This provides insights, enable to identify the research gap and to develop a framework.

3.3. Research Methodology

Figure 1. Literature Review Filtering Process



Source: Retrieved from Aziz, Arif, Salleh, Rahman, and Latif (2025).

This study used a narrative literature review approach to explore previous studies related to Artificial Intelligence (AI) adoption in manufacturing sector with a particular focus on environmental sustainability and the Technology-Organization-Environment (TOE) framework. A conceptual framework was developed based on the synthesis of the literature and by integrating relevant theories. This framework is grounded in the Technology-Organization-Environment (TOE) framework and illustrates proposed relationship between Technology-Organization-Environment (TOE) factors, Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainable performance. These proposed relationships provide a foundation for future empirical testing and also contribute insights in the field.

3.3.1. Search String

A comprehensive search strategy was conducted using the Web of Science and Scopus database to identify relevant literature for this study. This database is widely recognised for its strong reputation with high-quality empirical studies across multiple disciplines. The search string was integrated with keywords for Artificial Intelligence (AI), manufacturing sector, developing countries, and sustainability.

The literature search process was guided by Boolean search string to identify studies associated with key concepts like Artificial Intelligence (AI) adoption, manufacturing sector, developing countries, Technology-Organization-Environment (TOE) factors and environmental sustainability outcome. The search string integrated multiple keywords and synonymous terms to broaden the scope of the reasearch and minimise the risk of excluding of relavant studies. Specifically, the following Boolean search string was utilised:

(“artificial intelligence” OR “AI” OR “artificial intelligence adoption” OR “AI adoption”) AND (“firms” OR “manufacturing sectors” OR “industries” OR “organisation”) AND (“adoption” OR “change” OR “innovation” OR “technology”) AND (“sustainability” OR “sustainable business performance” OR “environmental sustainability” OR “environmental performance”) AND (“developing countries” OR “emerging economies” OR “industriliasing countries” OR “developing nations”).

The search string was intentionally structured to capture diverse perspectives and terminologies used in previous studies to examine the relationship between Artificial Intelligence (AI) adoption, manufacturing sectors, developing countries context and sustainability. Various synonyms and related terminologies were incorporated for a comprehensive research process. For example, “artificial intelligence” OR “AI” OR “artificial intelligence adoption” OR “AI adoption” were included to represent the artificial intelligence related studies while terms such as “firms” OR “manufacturing sectors” OR “industries” OR “organisation” were used to identify the sectors. Similarly, “adoption” OR “change” OR “innovation” OR “technology” were included to identify the studies on the use of artificial intelligence. Meanwhile, “sustainability” OR “sustainable business performance” OR “environmental sustainability” OR “environmental performance” terms were used to identify studies on the sustainability outcome. Lastly for the context, “developing countries” OR “emerging economies” OR “industriliasing countries” OR “developing nations” were used. All these terms were integrated to identify studies discussing the influence of Artificial Intelligence (AI) adoption on sustainable business performance that contribute to environmental sustainability.

Boolean operators such as AND and OR further was employed systematically to connect search terms and to enhance the accuracy and relevance of the search results. Thus, this search approach enable to gather relevant literature on Artificial Intelligence (AI) adoption, sustainable business performance, manufacturing sector and developing countries context.

3.3.2. Inclusion and Exclusion Criteria

Specific inclusion and exclusion criteria were applied throughout the screening process to ensure relevancy and reliablity. The inclusion criteria focused on studies that relevant to Artificial Intelligence (AI) adoption, sustainable business performance, manufacturing sector and developing countries context. In addition, this is to ensure that the selected studies were related to research objectives and able to contribute meaningful

insights to the conceptual framework development. The study included empirical journal articles published in English 2024 and 2025. This timeframe allowed the study to identify recent developments related to Artificial Intelligence (AI) adoption, sustainable business performance, manufacturing sector, developing countries context and Technology-Organization-Environment (TOE) framework. During the selection process, studies that specifically addressed Artificial Intelligence (AI) adoption; environmental sustainability as outcome; Technology-Organization-Environment (TOE) factors and its determinants as enablers or hinders in manufacturing sector and sustainable business performance were prioritised. Therefore, studies related to Artificial Intelligence (AI) adoption, sustainable business performance, and Technology-Organization-Environment (TOE) framework were included to develop the conceptual framework. On the other hand, studies unrelated to Artificial Intelligence (AI) adoption, sustainable business performance and Technology-Organization-Environment (TOE) framework were excluded. The study only selected empirical publications to find the research gap. Non-empirical studies such as conceptual papers, literature reviews, theorethical papers, and viewpoint papers were removed from the review process. These inclusion and exclusion criteria ensured that the selected studies are credible, high quality and relavant.

The search string generated a collection of articles from the selected databases. The titles and abstracts were evaluated to identify studies that relevant to the research objectives. Subsequently, full-text reviews were conducted before finalising the dataset for analysis.

3.3.3. Full Text Review

After the titles and abstracts screening, the selected studies were underwent a detailed full-text review. Each article were carefully evaluated for a deeper understanding of the theoretical framework, research context, research objectives, variables, methodologies and key findings related to Artificial Intelligence (AI) adoption, Technology-Organization-Environment (TOE) framework and sustainable business performance.

The selected studies were repeatedly reviewed to improve familiarity and to identify important themes, patterns related Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainability. During the review process, important observations were documented particularly regarding the Technology-Organization-Environment (TOE) determinants, sustainable business performance determinants, research context and sectors involved. Special attention was given to the studies related to these themes and determinants. This full-text review also enable to identify the research gaps within the literature, theoretical perspectives and underexplored relationships. Studies that irrelevant to the research objectives and failed to contribute meaningful theoretical insights were excluded from further analysis.

Collectively, the full-text review process provided relevant, rigorous and suitable studies for the themathic analysis and the development of the proposed conceptual framework with Artificial Intelligence (AI) adoption, sustainable business performance and Technology-Organization-Environment (TOE) framework.

3.3.4. Themathic Analysis

Themathic analysis was conducted systematically to organise and synthesise the findings from the selected studies. Naeem and Ozuem (2022a) used thematic analysis to construct a conceptual model of their findings through a series of steps, including keyword and quotation selection, coding, theming, interpretation, and model development. Similary, themathic analysis used in this study as it is appropriate to identify recurring themes, relationships and patterns to develop a conceptual model. In addition, thematic analysis provides a systemathic approach to organise large volumes of literature and to identify the research gap.

The first stage involved data familisation. The selected studies were reviewed repeatedly and important notes were recorded. The second stage is initial coding. It was performed to identify key themes and findings from the literature and to group them into meanigful categories. Discussions related to cost and complexity were categorised under techonological factor. Similarly, organisational support and top management support were grouped under organisational factor. Finally, government support and regulatory environment were categorised under environmental factor.

Several major themes were identified during the coding process. The technological capacities determinants such as cost and complexity influence Artificial Intelligence (AI) adoption in firms. The organisational factor highlighted the importance of organisational support and top management support to adopt Artificial Intelligence (AI). Meanwhile, environmental factors focused on external influences such as government support and regulatory environment in shaping Artificial Intelligence (AI) adoption efforts.

Another important theme identified was sustainable business performance, which emphasised particularly on environmental performance such as reduction in carbon emissions, improvement in energy efficiency, waste reduction and pollution reduction. This theme highlighted the importance of Artificial Intelligence (AI) adoption in manufacturing sector.

Following this, the study integrated these themes to provide a conceptual model to propose the relationship between Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainable business performance with grounded Technology-Organization-Environment (TOE) framework. The analysis explored how technological, organisational and environmental factors interact with Artificial Intelligence (AI) adoption and how Artificial Intelligence (AI) adoption improve sustainable business performance that contribute to environmental sustainability.

Finally, the findings were synthesised to identify research gap that support the development of the conceptual framework. The synthesis process enabled the study to explain the interaction between Artificial Intelligence (AI) adoption and Technology-Organization-Environment (TOE) determinants in improving sustainable business performance in manufacturing sector.

3.3.5. Final Dataset of Relevant Studies

Through the literature filtering, screening and full-text review process, the final dataset of relevant studies was established. The studies were selected based on their relevance to the research objectives that related to Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainability.

The selected studies provided significant insights into the technological, organisational and environmental factors influencing Artificial Intelligence (AI) adoption and how this improves sustainability. In addition, the dataset included literature addressing cost, complexity, organisational support, top management support, regulatory environment and government support. These studies contributed to understanding the how internal and external factors shape Artificial Intelligence (AI) adoption within firm and developing countries contexts.

The final dataset served as the basis for the thematic analysis and to develop the proposed conceptual framework. The integration of the findings from diverse literature and the selected literature enabled the study to propose the interaction between Artificial Intelligence (AI) adoption and Technology-Organization-Environment (TOE) factors in improving sustainable business performance that contributes to environmental sustainability.

Table 1. Literature Review Matrix of Selected Studies

Study	Developing Country	Manufacturing sector	AI adoption	Sustainability	TOE
Saeed Badghish Yasir Ali Soomro (2024)	Yes	No	Yes	Yes	Yes
George Thomas et al (2024)	Yes	No	Yes	No	Yes
Walaa Shams et al.(2025)	Yes	No	Yes	No	Yes
Julia Schwaeke et al. (2024)	No	No	Yes	No	Yes
Ra'ed Almashawreh et al. (2024)	Yes	No	Yes	No	Yes
Rawin Vongurai (2024)	Yes	No	Yes	No	No
Wilhelmina Quaye et al. (2020)	Yes	No	Yes	No	Yes
Antonio Cimino et al. (2025)	No	No	Yes	Yes	No
Raheem Bux Soomro et al. (2024)	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Samer Abaddi (2024)	Yes	No	Yes	No	No
Mahdi Ashkani et al. (2024)	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Faizan ul Haq et al. (2025)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Yu Sang et al. (2025)	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Boudhayan Ganguly et al. (2025)	Yes	No	Yes	No	Yes
Suddin Lada et al. (2024)	Yes	No	Yes	No	Yes
Sachin Singh et al. (2025)	Yes	No	No	Yes	Yes
Roziah Mohd Rasdi et al. (2025)	Yes	No	Yes	No	No
Julia Schwaeke et al. (2024)	No	No	Yes	Yes	Yes
Jing Zhang (2025)	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Nguyen Thi Phuong Anh et al. (2024)	Yes	No	Yes	Yes	Yes

From the broader literature pool, above studies closely related with the research objectives and were selected to identify research gaps and conceptual relationships with a critical analysis. By the integration, the proposed conceptual framework was developed. The analysis of the literature revealed that most of the existing studies used the Technology-Organization-Environment (TOE) framework to explain Artificial Intelligence (AI) adoption within SMEs and developing country contexts. Studies such as Badghish and Soomro (2024), George Thomas et al. (2024), Walaa Shams et al. (2025), Quaye et al. (2020), Boudhayan Ganguly et al. (2025), and Suddin Lada et al. (2024) showed the importance of technological, organisational, and environmental factors in influencing Artificial Intelligence (AI) adoption and digital transformation. Based on these findings, Technology-Organization-Environment (TOE) framework and the factors were selected as the independent variable in the present framework as this provided a strong theoretical support.

Several studies extended the Technology-Organization-Environment (TOE) framework through integration with other theoretical perspectives. Mahdi Ashkani et al. (2024) applied UTAUT integration, George Thomas et al. (2024) and Faizan ul Haq et al. (2025) incorporated TAM integration, while Nguyen Thi Phuong Anh et al. (2024) integrated Technology-Organization-Environment (TOE) framework with Dynamic Capabilities to explain sustainable competitive advantage. These studies demonstrated the mediating role of Artificial Intelligence (AI) adoption in influencing organisational performance and competitive outcomes. This influenced the decision to include Artificial Intelligence (AI) adoption mediating variable within the proposed framework.

Antonio Cimino et al. (2025), Raheem Bux Soomro et al. (2024), Yu Sang et al. (2025), Sachin Singh et al. (2025), Jing Zhang (2025), and Nguyen Thi Phuong Anh et al. (2024) discussed sustainability-related concepts, sustainable competitive advantage, and environmental management systems. Limited attention was given to environmental sustainability outcomes such as carbon emission reduction, energy efficiency, waste reduction, and pollution reduction. Significant research gap was identified within the existing literature despite these contributions. Therefore, this gap justified the inclusion of sustainable business performance variable as dependent variable that contributes to environmental sustainability in the present conceptual framework.

In addition, most of the reviewed studies focused on non-manufacturing sectors such as hospitality SMEs, construction firms, innovative startups, entrepreneurial businesses, technology enterprises, and B2B firms. The manufacturing sector remained underexplored across the studies even though it contributes to significant environmental impact such as greenhouse gas emissions and air pollution. Artificial Intelligence (AI) has its potential to tackle these issues. Consequently, the present study addresses this contextual gap by developing a conceptual framework with manufacturing sector and developing countries context. This is because rapid industrialisation in many developing countries and these countries facing higher level of pollution.

The conceptual framework was developed based on the integration of these theoretical and empirical findings. Technology-Organization-Environment (TOE) factors as independent variables, Artificial Intelligence (AI) adoption as mediating variable and sustainable business performance as the dependent variable. Environmental sustainability as the broader sustainability contribution. This integration bridging the research gap by providing more comprehensive explanation of Artificial Intelligence (AI) adoption and sustainability within manufacturing sector.

Table 2. Key Findings from Previous Studies

Key Findings	**Description**
Cost	The costs include implementation costs, such as the financial and human resources required for the implementation (Badghish & Soomro, 2024).
Complexity	Complexity is defined as the perceived degree of difficulty of understanding and using a system (Gangwar, Date, & Ramaswamy, 2015).
Organisational Support	Organizational support refers to the extent to which a company helps employees use a particular technology or system (Badghish & Soomro, 2024).
Top Management Support	This support is important because it helps overcome resistance to change and creates a sense of urgency and commitment towards AI implementation (Lai, Yeo, Tay, & Lim, 2024).
Government Support	Government support refers to assistance or facilitating conditions provided to the employees or organization to transform or implement technology diffusion within the firm (Badghish & Soomro, 2024).
Regulatory Environment	Legal requirements must be considered when a company decides to implement a new technology (Mirela Simina & Dutescu, 2024).
Environmental Performance	Environmental performance was accessed using several indicators including reduction in carbon emissions, improvement in energy efficiency, waste reduction, and pollution reduction (Ferehoun et al., 2024).

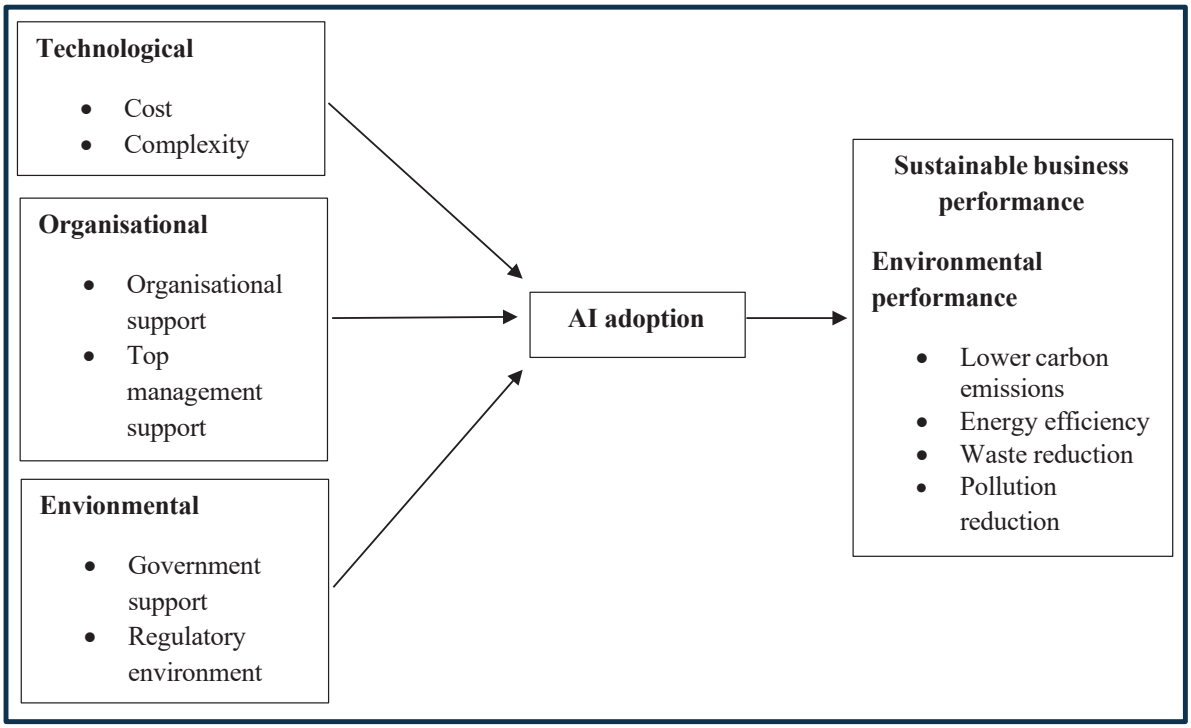
The key findings of the study show that technological, organisational and environmental determinants significantly influence Artificial Intelligence (AI) adoption in a firm. Cost and complexity were identified as major factors affecting Artificial Intelligence (AI) adoption. Cost involves the financial investment, infrastructure, and human resources while complexity refers to the perceived difficulty in understanding, integrating, and utilizing AI systems effectively within organizational operations (Badghish & Soomro, 2024; Gangwar et al., 2015). Larger firms generally have more resources and infrastructure to support AI adoption, while smaller firms often face financial and technical constraints (Masod & Zakaria, 2024). Most of the studies identified these two determinants hindering Artificial Intelligence (AI) adoption due to limited resources and digital competencies.

Organisational support and top management support emerged as essential determinants of successful Artificial Intelligence (AI) adoption. Organizational support refers to the extent to which a company helps employees use a particular technology or system (Badghish & Soomro, 2024). In addition, top management support plays an important role in encouraging organizational commitment, reducing employee resistance to change, and creating a strategic vision for AI implementation (Lai et al., 2024). Strong leadership support and adequate resource allocation are important in supporting Artificial Intelligence (AI) adoption.

Meanwhile, government support and regulatory environment were identified as significant external influences. Government support refers to the policies, incentives, training programs, and facilitating conditions provided to organizations to encourage technology adoption and digital transformation (Badghish & Soomro, 2024). Government can assist the organisations by offering subsidies and financial incentives which may reduce the barrier to Artificial Intelligence (AI) adoption. Legal requirements must be considered when a company decides to implement a new technology (Mirela Simina & Dutescu, 2024).

Furthermore, environmental performance can improve environmental outcomes by reducing carbon emissions, optimising energy efficiency, improving waste reductions, and reducing pollution levels. This determinant supports sustainable performance and environmentally responsible business operations.

Figure 2. Conceptual Framework



Most of the previous studies demonstrate that Technology-Organization-Environment (TOE) factors significantly influence Artificial Intelligence (AI) adoption in a firm. Therefore, the study explains the relationships of these variables based on the proposed conceptual framework. However, this study not only proposing on enablers like many other previous studies but also addresses hindering factors that may influence adoption of Artificial Intelligence (AI).

Technological determinants such as complexity, cost, relative advantage, compatibility, ease of use and technological readiness influence implementation of Artificial Intelligence (AI). Based on previous studies, implementation cost hinders the adoption. However, there are studies identified that even though initial investment is high, its yielded long-term benefits and this encouraged organisations to adopt Artificial Intelligence (AI) technologies. Similarly, complexity level differs across different Artificial Intelligence (AI) applications (Thong, Falahat, Khan, Raman, & Kaur, 2026). Therefore, future empirical studies are needed to examine the proposed relationships, particulary in the manufacturing sector of developing countries to identify the enablers and hinders.

Organisational determinants are internal organisational factors such as top management support, organisational readiness, digital literacy and resistance to change. The top management is to obtain resources and allocate them effectively so that firms can gain a competitive advantage (Simons, 2019; El-Kassar & Singh, 2019). External factors, particularly government regulation and competitive pressure, also play important roles in shaping Artificial Intelligence (AI) adoption in manufacturing (Ghani & Ariffin, 2022). These two determinants are mostly enablers based on the previous studies. Subsequently, further empirical studies examine these two determinants within manufacturing context.

Environmental context refers to external factors outside organisations such as government support, regulatory environment, competitive pressure, market dynamics that influence implementation of Artificial Intelligence (AI). Government regulation can have either a beneficial or a detrimental effect on innovation (Baker, 2011). In addition, government support encourages Artificial Intelligence (AI) technologies as this can reduce financial burden associated with high implementation cost. Most of the recent studies identified positive relationship with Artificial Intelligence (AI) in firms. Future studies are encouraged to validate these findings in the manufacturing context of developing countries.

Finally, sustainable business performance is expected to contribute toward environmental sustainability outcomes. Environmental performance can relate to lower carbon emissions, improved energy efficiency, reduced waste generation, and pollution reduction. Artificial Intelligence (AI) helps businesses with environmental challenges by providing affordable and measurable solutions that streamline processes and integrate with SDGs (Bibri et al., 2024). Considering this, future empirical studies examine this relationship as this could contribute to environmental sustainability.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study proposes a conceptual framework that explains the relationship between Technology-Organization-Environment (TOE) factors, Artificial Intelligence (AI) and sustainable business performance in manufacturing sectors of developing countries. Under technology factor, cost and complexity determinants; under organisational factor, organisational support and top management support determinants and under environmental factor, government support and regulatory environment determinants were used. However, only one factor used for sustainable business performance which is environmental performance and the determinants were reduction in carbon emissions, energy efficiency, waste reduction and pollution reduction. This is because the study focuses on the environmental sustainability as the final outcome. The findings emphasised that Technology-Organization-Environment (TOE) factors influence Artificial Intelligence (AI) adoption and Artificial Intelligence (AI) adoption improve sustainable business performance and contributes to environmental sustainability.

The study also highlights important gaps in existing literature. There are limited studies linking Artificial Intelligence (AI) adoption to sustainability, lack of focus on the manufacturing sector especially in emerging economies. By addressing this gap and integrating all these in a model, the proposed framework contributes to both theory and practice. It provides practical insights for managers and policymakers to understand how manufacturing sectors can leverage technologies to enhance efficiency and sustainability. In addition, it also provides basis for future empirical studies. The future empirical research can focus on high environmental impact sectors in manufacturing such as cement, steel, chemical, semiconductor, textile and oil. The study can focus on one particular sector or examine various manufacturing sectors to obtain more broader insights.

REFERENCES

Abaddi, S. (2025). *AI's call: Jordan's MSMEs answer with intent*. *Journal of Entrepreneurship in Emerging Economies, 17*(2), 357–393. https://doi.org/10.1108/JEEE-11-2023-0446

Ahmad, M. N. (2025). Narrative literature reviews in scientific research: Pros and cons. *Jordan Journal of Agricultural Sciences, 21*(1), 1–4. https://doi.org/10.35516/jjas.v21i1.4143

Almashawreh, R., Talukder, M., Charath, S. K., & Khan, M. I. (2024). *AI adoption in Jordanian SMEs: The influence of technological and organizational orientations*.

Anh, N. T. P., Khoi, B. H., Thu, N. Q., & Ghi, T. N. (2026). *The role of the level of artificial intelligence adoption on business model innovation, sustainable competitive advantage, and firm performance: Integrating the TOE framework and Dynamic Capabilities theory*.

Ashkani, M., Dana, L.-P., Rashidi, A., Shafaei, F., & Salamzadeh, A. (2026). *Drivers and sustainable performance outcomes of AI adoption intention: A multi-theoretical analysis in the entrepreneurial ecosystem*. *Sustainability, 18*(3), 1417. https://doi.org/10.3390/su18031417

Badghish, S., & Soomro, Y. A. (2024). Artificial intelligence adoption by SMEs to achieve sustainable business performance: Application of technology–organization–environment framework. *Sustainability, 16*(5), 1864. https://doi.org/10.3390/su16051864

Baker, J. (2011). The technology–organization–environment framework. In Y. K. Dwivedi, M. R. Wade, & S. L. Schneberger (Eds.), *Information systems theory: Explaining and predicting our digital society* (Vol. 1, pp. 231–245). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2_12

Bibri, S. E., Krogstie, J., Kaboli, A., & Alahi, A. (2024). Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology, 19*, 100330.

Chaaben, N., Elleuch, Z., Hamdi, B., & Kahouli, B. (2024). Green economy performance and sustainable development achievement: Empirical evidence from Saudi Arabia. *Environment, Development and Sustainability, 26*(1), 549–564. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02722-8

Cimino, A., Corvello, V., Troise, C., Thomas, A., & Tani, M. (2025). *Artificial intelligence adoption for sustainable growth in SMEs: An extended dynamic capability framework*.

El-Haddadeh, R. (2020). Digital innovation dynamics influence on organisational adoption: The case of cloud computing services. *Information Systems Frontiers, 22*(4), 985–999. https://doi.org/10.1007/s10796-019-09912-2

El-Kassar, A.-N., & Singh, S. K. (2019). Green innovation and organizational performance: The influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices. *Technological Forecasting and Social Change, 144*, 483–498.

European Commission, Joint Research Centre (JRC). (2025). *GHG emissions of all world countries – 2025 report*.

Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2760/9816914

Ferehoun, S., Laghzaoui, F., & Abakouy, M. (2024). *The dimensions of environmental performance: A systematic review for a common yardstick*.

Ganguly, B., Chowdhury, S. R., Ghosh, R., & Ghosh, D. (2025). *What hinders AI adoption in MSMEs of India? – Importance and interlinkages between the barriers*.

Gangwar, H., Date, H., & Ramaswamy, R. (2015). Understanding determinants of cloud computing adoption using an integrated TAM-TOE model. *Journal of Enterprise Information Management, 28*(1), 107–130. https://doi.org/10.1108/JEIM-08-2013-0065

Haq, F. ul, Suki, N. M., Setini, M., Masood, A., & Khan, T. A. (2025). *Adopting green AI for SME sustainability: Mediating role of green investment and moderation by green servant leadership*.

IQAir. (2024). *World air quality report 2024*. IQAir. https://www.iqair.com/world-air-quality-report

Lada, S., Chekima, B., Abdul Karim, M. R., Fabeil, N. F., Ayub, M. S., Amirul, S. M., Ansar, R., Bouteraa, M.,

Fook, L. M., & Zaki, H. O. (2023). *Determining factors related to artificial intelligence (AI) adoption among Malaysia's small and medium-sized businesses*.

Lai, M. K., Yeo, C. M. A., Tay, L. C., & Lim, K. G. (2024). *Re-examining AI adoption antecedents and its potential effect on AI sustained use in small and medium enterprises (SMEs)*.

Masod, M. Y. B., & Zakaria, S. F. (2024). Artificial intelligence adoption in the manufacturing sector: Challenges and strategic framework. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*. https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.81000013

Mirela Simina, M., & Dutescu, A. (2024). TOE framework elements used on artificial intelligence implementation in the accounting and audit sector. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence, 18*(1), 2489–2501. https://doi.org/10.2478/picbe-2024-0205

Molla, A., & Licker, P. S. (2005). Perceived e-readiness factors in e-commerce adoption: An empirical investigation in a developing country. *International Journal of Electronic Commerce, 10*(1), 83–110.

Naeem, M., & Ozuem, W. (2022). Understanding the different types of UGC participants and social context for fashion brands: Insights from social media platforms. *Qualitative Market Research: An International Journal, 25*(2), 181–204. https://doi.org/10.1108/QMR-02-2021-0026

Rahman, A. L. A., Aziz, M. A. A., Arif, Z., Salleh, S. M., & Safii, M. (2025). *Responsible AI literacy's role in ethical, transparent, and sustainable AI adoption in SMEs: Mediating effects of technology, organization and environment*.

Rasdi, R. M., & Baki, N. U. (2025). *Navigating the AI landscape in SMEs: Overcoming internal challenges and external obstacles for effective integration*.

Sang, Y., Loganathan, K., & Lin, L. (2026). *Artificial intelligence and corporate sustainability: Evidence from China's national artificial intelligence innovation and development pilot zone policy*.

Schwaeke, J., Gerlich, C., Nguyen, H. L., Kanbach, D. K., & Gast, J. (2024). *Artificial intelligence (AI) for good?*

Enabling organizational change towards sustainability.

Schwaeke, J., Peters, A., Kanbach, D. K., Kraus, S., & Jones, P. (2025). The new normal: The status quo of AI adoption in SMEs. *Journal of Small Business Management, 63*(3), 1297–1331. https://doi.org/10.1080/00472778.2024.2379999

Shams, W., & Sultan, S. (2025). *Factors affecting the intention to adopt artificial intelligence in the construction supply chain management in West Bank: Using technology-organization-environment framework*.

Singh, S., & Mishra, S. K. (2025). *Artificial intelligence and its impact on business sustainability in B2B firms: A hybrid PLS-ANN approach*.

Soomro, R. B., Al-Rahmi, W. M., Dahri, N. A., Almuqren, L., Al-mogren, A. S., & Aldaijy, A. (2025). A SEM–ANN analysis to examine impact of artificial intelligence technologies on sustainable performance of SMEs. *Scientific Reports, 15*, 10478. https://doi.org/10.1038/s41598-025-10478-2

Thomas, G., Albishri, N. A., Islam, J. U., & Tanveer, M. (2025). Exploring the determinants of artificial intelligence adoption intention in the SMEs of United Arab Emirates. *SAGE Open, 15*(4). https://doi.org/10.1177/21582440251395561

Thong, Q. Y., Falahat, M., Khan, N., Raman, M., & Kaur, D. (2026). *The role of AI in driving sustainable business performance in Malaysia SMEs: A technology–organization–environment framework approach*.

Vongurai, R. (2025). *Examining organizational and human drivers of artificial intelligence adoption for enhancing operational performance in Thai technology enterprises*.

Wilhelmina Quaye, Akon-Yamga, G., Akuffobea-Essilfie, M., & Onumah, J. A. (2024). Technology adoption, competitiveness and new market access among SMEs in Ghana: What are the limiting factors? *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, 16*(7), 1023–1037. https://doi.org/10.1080/20421338.2024.2414949

World Health Organization. (2024). *Ambient (outdoor) air pollution*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health

Zhang, J. (2025). *AI-based data intelligence system for sustainable ecological governance and smart environmental management*.

https://doi.org/10.71284/asc.2026143

YAPAY ZEKÂ: KURTARICI MI BAĞIMLILIK MI?

ATRIFICIAL INTELLIGENCE: SAVIOR OR ADDICTION?

Azime Büşra Ateş[1]

Çağrı Utkan[2]

Özet

Yapay zekâ, son yıllarda akademik, profesyonel ve günlük yaşamın birçok alanına hızla entegre olmuş ve bireylerin karar alma süreçlerinden duygusal destek arayışına kadar geniş bir kullanım alanı kazanmıştır. Bu yaygın kullanım, sağladığı kolaylıkların yanı sıra aşırı ve kontrolsüz kullanım risklerini de beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, yapay zekâ kullanımına bağlı bağımlılık eğilimleri giderek artan bir araştırma konusu hâline gelmiştir. Bu çalışmada, yapay zekâ kullanımı davranışsal bağımlılık çerçevesinde ele alınarak olası psikolojik etkileri ve risk faktörleri güncel literatür doğrultusunda incelenmiştir. Bu kapsamda ilgili çalışmalar sistematik olarak taranmış ve bulgular bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Alanyazın bulguları, yapay zekâ kullanımının diğer davranışsal bağımlılıklarla benzer örüntüler sergileyebileceğini ve bireylerin günlük işlevselliği üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Özellikle sosyal ilişkilerde zayıflama, eleştirel düşünme ve problem çözme becerilerinde gerileme gibi sonuçlar öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, yapay zekâ kullanımı önemli faydalar sunmakla birlikte, aşırı kullanım durumunda psikolojik açıdan potansiyel riskler barındırmaktadır. Bu çalışma, gelecekte yapılacak ampirik araştırmalar için kavramsal bir zemin oluşturmayı ve önleyici müdahalelere yönelik bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, yapay zekâ bağımlılığı, bağımlılık, davranışsal bağımlılık.

Abstract

Artificial intelligence (AI) has rapidly integrated into various domains of human life, including academic, professional, and everyday contexts, expanding its role from information access to decision-making processes and emotional support seeking. While AI offers significant benefits and convenience, its excessive and uncontrolled use has raised concerns regarding potential psychological risks. In this context, dependency related to AI use has emerged as an increasingly important area of investigation. The present study examines AI use within the framework of behavioral addiction, aiming to identify its potential psychological effects and associated risk factors based on current literature. To this end, relevant studies were systematically reviewed and evaluated through a comprehensive approach. Findings from the literature indicate that AI use may exhibit patterns similar to other forms of behavioral addiction and may negatively impact individuals' daily functioning. In particular, issues such as deterioration in social relationships, and declines in critical thinking and problem-solving skills are highlighted as prominent outcomes. In conclusion, although AI serves as a highly functional technological tool, its excessive use may pose potential psychological risks. This study aims to provide a conceptual foundation for future empirical research and to contribute to the development of preventive interventions addressing AI-related dependency.

Keywords: Artificial intelligence, ai addiction, addiction, behavioral.

[1] Arş. Gör., Çağ Üniversitesi, azimeates@cag.edu.tr, https://orcid.org/0009-0008-1112-4718

[2] Dr. Öğr. Üyesi, Çağ Üniversitesi, cagriutkan@cag.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-2037-5937

GİRİŞ

1.Yapay Zekânın Tarihçesi

Yapay zekânın tarihçesi, Babbage tarafından 1884 yılında makineler üzerinde gerçekleştirilen birtakım deneylere uzansa da modern anlamdaki kırılma noktası Alan Turing (1950)'in "Can machines think?" sorusu ve ardından geliştirdiği Turing Testi'ne dayanmaktadır. Bir terim olarak ise yapay zekâ, ilk kez 1956 yılında gerçekleşen Darthmouth Konferansı'nda McCarthy ve çalışma arkadaşları tarafından kullanılmıştır. İlk yapay zekâ programları ve LISP (yapay zekâ programlama dili) de yine bu dönemde ortaya çıkmıştır. 1960'lı yıllarda doğal dil işleme programlarının (ELIZA) geliştirilmesini, 1980'lerde makine öğrenmesi ve derin öğrenme kavramlarının literatüre girmesi takip etmiştir ve 1990'larda ise yapay sinir ağlarının gelişmesiyle yapay zekâ insan beynine en yakın öğrenme biçimine ulaşmıştır. 1997 yılında Deep Blue'nun dünya satranç şampiyonu Büyük Usta Gary Kasparov'u mağlup etmesi, teknolojinin insan zekâsına meydan okuyabileceğini gözler önüne sermiştir (Dereli, 2024; Arslan, 2020).

2.Yapay Zekânın Hayatımızdaki Konumu ve Sunduğu Avantajlar

Günümüzde ise yapay zekâ bir gelecek hayali olmaktan çıkmış ve günlük hayatın ve toplumsal yapının tamamına nüfuz etmiş ve en temel teknolojilerden biri haline gelmiştir. Yapay zekâ alanında yaşanan makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yeni yaklaşımlar sayesinde otomasyon, robotik, tıp, finans, taşımacılık ve oyun endüstrisi gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır (Hizmetçi ve Karaaziz, 2025). Bilgisayar donanımlarındaki gelişmeler sayesinde ise, bazı yapay zekâ algoritmaları daha şimdiden insanlardan daha iyi performans gösterir hale gelmiştir. Örneğin yapılan çalışmalar sonucunda yapay zekânın özellikle onkoloji, kardiyoloji ve genetik hastalıklar alanında insanlardan daha iyi tahmin, teşhis ve tedavi kararı alma gücüne sahip olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Özizer, 2024). Günlük yaşantımızda ise Siri, Alexa, Google Assistant gibi kişisel asistanlar; ChatGPT, Gemini gibi sohbet botları; Google Translate, DeepL gibi çeviri sistemleri; tketici davranışlarını analiz edebilen kişiselleştirilmiş eğlence ve alışveriş sistemleri; MR veya röntgen görüntülerini analiz edebilen teşhis destek sistemleri; otonom araç kullanımına imkân sağlayan Autopilot sistemi gibi yapay zekâ araçları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

Yapay zekânın sunduğu bu kolaylıklar, teknolojinin sadece teknik bir araç olma sınırını aşarak bireyin içsel dünyasına da nüfuz etmesini sağlamıştır. Yapay zekâ sohbet botları, kişiselleştirilmiş, erişilebilir, uygun fiyatlı ve damgalanmadan uzak olması gibi avantajlar sayesinde ruh sağlığı sorunları için yardım arama sürecindeki engelleri aşmaya yardımcı olabilmektedir. İnsanların gözden kaçırabilmesinin aksine bir hastanın tıbbi geçmişini, genetik verilerini ve diğer faktörleri analiz ederek, kişinin ihtiyaçlarına ve içinde bulunduğu koşullara özel semptom kontrolleri ve tedavi planları oluşturabilmektedir (Viduani vd. 2023, Boucher vd., 2021; akt., Balcombe, 2023). Andersson ve Titov (2014), yaygın görülen ruhsal bozuklukların tedavisinde kullanılan çeşitli internet tabanlı müdahaleleri analiz ettikleri meta-analiz çalışmasında, internet tabanlı bilişsel davranışçı terapilerin (ICBT) yüz yüze terapiler kadar etkili olabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

3. Bir Tehdit Olarak Yapay Zekâ

Ancak yapay zekâ geliştikçe potansiyel tehlikeleri ve öngörülemeyen sonuçlarına yönelik endişeleri de beraberinde getirmiştir. Hatta öyle ki aralarında Open AI ve Google Deep Mind gibi yapay zekâ uygulamalarında önce gelen iki şirketin yöneticilerinin de bulunduğu uzmanlar, yapay zekânın insan ırkının yok olmasına yol açabileceği hususunda bir bildiri yayınlamışlardır (Zohuri vd., 2023a). Yapay zekânın sağladığı tüm bu kolaylıkların ve faydaların yanı sıra etik, gizlilik ihlali, önyargı ve ayrımcılık potansiyeli ve bireylerin bilişsel, psikolojik ve sosyal süreçleri üzerinde olası olumsuz etkiler barındırmaktadır. Yapay zekânın siber saldırılar veya otonom silahların oluşturulması gibi kötü amaçlar için kullanılması, sıklıkla çok büyük miktarda kişisel veri kullanması sebebiyle veri güvenliği ile ilgili endişelerin meydana gelmesi, otomasyon ve yapay zekâ teknolojilerinin bazı işleri devralmasıyla birlikte insanların iş kaybı yaşaması,

karmaşık yapay zekâ modellerinin yorumlanabilirlik ve şeffaflık eksiği sebebiyle sorumluluk ve karar alma prosedürleri konusunda soruların gündeme gelmesi tartışılan başlıca konulardır (Zohuri ve Rahmani, 2023b). Yapay zekânın bağımsızlığını kazanarak insanlara zarar vermesinin mümkün olup olmadığı üzerine Oxford Üniversitesi'nde Felsefe Profesörü olan Nick Bostrom iki senaryo sunmaktadır: İlk senaryoda yapay zekânın bağımsız hale gelmesinin çok uzun yıllar alacağı ve bu süre zarfında insanların buna uyum sağlamasına ve tepki göstermesine imkân tanıyacağı vardır. İkinci senaryoda ise bilim kurgu filmlerini aratmayacak şekilde, yapay zekânın insan yeteneklerini aşar aşmaz bir zekâ patlaması yaşanması ve üstel bir büyüme olması sonucunda, yapay zekâ kendisinin daha iyi versiyonlarını üreterek gelişimde tartışılmaz bir avantaja sahip olabilecektir (Walldorf, 2019; akt., Özizer, 2024).

4. Yapay Zekâ Bağımlılığı

Yapay zekânın hızlı gelişimi, çok sayıda kullanıcıyı kendine çekmiş olsa da gelişimini baltalayabilecek olan kullanıcı bağımlılığı gibi sorunları da beraberinde getirmiştir (Zhou ve Zhang, 2024). Yapay zekâ bağımlılığı, sohbet botları, üretken modeller veya algoritmik öneri sistemleri de dahil olmak üzere yapay zekâ destekli teknolojinin takıntılı ve aşırı kullanımını tanımlayan, işlevselliği bozan ve psikolojik sıkıntıya yol açan bir örüntüyü ifade etmektedir (Al-Obaydi ve Pikhart, 2026). Yalnızlık, güven ve sohbet botlarının kişiselleştirilmesi gibi faktörler yapay zekâ ile ilişki gelişimini destekleme ve psikolojik bağımlılığa yol açma potansiyeline sahiptir (Xia vd., 2023).

Yapay zekâya benliğin yaratıcı bir parçasıymış gibi aşırı güven duymak ve sürekli etkileşim kurmak, literatürde GAID (Üretken Yapay Zekâ Bağımlılık Sendromu) olarak adlandırılan ve bireylerin gerçek dünyadaki insan ilişkilerinden koparak sosyal izolasyona sürüklenmesine neden olan yeni bir davranışsal bozukluk ortaya çıkarmıştır. Bu sendroma sahip olan bireyler, yapay zekâyı yalnızca fayda veya eğlence için değil, aynı zamanda entelektüel uyarım, kendini ifade etme ve hatta arkadaşlık kurmak için kullanmaktadır (Zhou ve Zhang, 2025; Kooli vd., 2025). Psikolojik, sosyal ve teknolojik mekanizmaları içeren biyopsikososyal bir çerçeve içinde bulunan yapay zekâ bağımlılığı, Griffiths'in, nüks, yoksunluk, çatışma, belirginlik, ruh hali değişikliği ve toleransı içeren davranışsal bağımlılığın bileşenler modeli ile uyumludur (Al-Obaydi ve Pikhart, 2026). Etkilenen bireyler, olumsuz sonuçları olmasına rağmen yapay zekâ etkileşimini sınırlamakta zorlanırlar. Kullanımı azaltma girişimleri kaygı, sinirlilik veya huzursuzluk gibi yoksunluk belirtilerine yol açabilmektedir. Yapay zekâya aşırı bağımlılık, zamanla bilişsel esnekliği bozabilir, problem çözme yeteneklerini azaltabilir ve yaratıcılığı sekteye uğratabilir. Ayrıca günlük sorumlulukların, sosyal ilişkilerin ve kişisel refahın bozulmasına, verimlilikte düşüş yaşanmasına, kişilerarası ilişkilerin ihmal edilmesine neden olabilir (Kooli vd., 2025). Yapay zekâ bağımlılığına sahip olan bireyler, sanal dünyada zevk ve tatmin elde etmek için yapay zekâ ile etkileşime önemli miktarda çaba ve zaman harcayabilirler ve bunun sonucunda gerçek dünyadaki önemli sorumluluklarını ve kişilerarası ilişkilerini ihmal edebilirler. Ayrıca bağımlı kullanıcılar, üretken yapay zekâ tarafından üretilen yanlış bilgilere körü körüne güvenmeye ve yanlış kararlar almaya yönelebilmektedir. Yapay zekâya duyulan aşırı güven sonucunda bireylerin yaratıcılığı ve problem çözme becerileri zayıflayabilir; bu da bağımsız düşünme ve yargılama yeteneklerinin kaybına yol açabilir (Zhou ve Zhang, 2024).

Yapay zekâ sistemlerinin, öngörülemeyen ancak son derece ödüllendirici çıktılar sağlaması, sürekli etkileşimi pekiştirmektedir. Bu öngörülemezlik faktörü de kişiselleştirme faktörü ile birleşerek, kompulsif davranışları güçlendiren bir beklenti ve ödül döngüsü yaratmaktadır (Griffiths vd., 2014; akt., Kool, vd., 2025). Pekiştirmenin dışında, sosyal ve kişisel ilişkilerinde eksiklikler bulunan, üzüntü, boşluk, özlem ve yalnızlık gibi hislere sahip olan kullanıcıların, Replika gibi insan benzeri sohbet botlarıyla etkileşime girme olasılıkları daha yüksek olabilir, çünkü sohbet botlarıyla kurulan ilişkiyi, kişilerarası ilişkilere yakın olarak algılayabilirler (Xie vd., 2023). Gupta ve çalışma arkadaşları (2025) ise, gerçekleştirdikleri çalışmada duygusal zekaya sahip sohbet botlarının kullanılmasının kullanıcıların psikolojik refahını olumlu yönde etkilerken, aynı zamanda sosyal refahını azalttığını ortaya koymuşlardır. Tıpkı hesap makinelerini kullanmaya başladığımızda manuel hesaplama becerilerimizin köreldiği gibi, entelektüel açıdan zorlayıcı

görevler yapay zekâya devredilmesiyle zihinsel yetkinlikler zayıflamakta ve internet ve dijital medyanın yoğun kullanılması sonucunda beynin sürekli ve aşırı uyaranlara maruz kalması sonucu derin öğrenme, okuma ve odaklanma yetenekleri ciddi şekilde tehlikeye girmektedir (Sætra, 2019).

5. "Yapay Zekâ Cini" Fenomeni

Son dönemde literatürde anılmaya başlayan yapay zekâ cini olgusu, kullanıcıların yapay zekâ sohbet botlarıyla minimum çaba göstererek istediklerini elde edebildikleri bir etkileşim dinamiğine karşılık gelmektedir. Bu olgunun temelinde, yapay zekâ sistemlerinin kullanıcılara sunduğu birbirleriyle yakından ilişkili üç faktör yer almaktadır. İlk olarak, kullanıcılar yapay zekâ sohbet botlarını konu, karakter ve sohbet sayısı gibi değişkenler de dahil olmak üzere birçok açıdan neredeyse sınırsız olarak deneyimlemektedir. İkincisi, bu sınırsızlık, kullanıcıların hikâye senaryolarını, sohbetin ses tonunu ve konularını kendi isteklerine göre yönlendirebildikleri için yüksek kişiselleştirme kapasitesi ile daha da güçlenmektedir. Son olarak, kullanıcıların tüm bunları yapabilmesi için sadece komut vermeleri yeterli olmakta, yani minimum çaba ile karmaşık, sınırsız ve kişiselleştirilmiş çıktılara zahmetsiz bir şekilde ulaşabilmektedir. Yapay zekâ sohbet botlarına yönelik bağımlılığın temel mekanizmalarından biri olarak görülen yapay zekâ cini olgusu, bireylerde kompulsif bir kullanım döngüsünün ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, yapay zekâ cini olgusu, "epistemik tavşan deliği" adı verilen farklı bir yapay zekâ bağımlılık türünün de önemli bir tetikleyicisidir. Bu bağımlılık türü, neredeyse her şeye anında cevap bulabilme ve yapay zekâyı kendi istekleri doğrultusunda minimum çaba şekillendirebilme imkânı sebebiyle kullanıcıların sorumluluklarını ve refahlarını tehlikeye atacak ölçüde, sürekli ve kompulsif bir biçimde açık uçlu sorulara cevap aramalarıyla karakterize edilmektedir (Shen, 2026).

1. YÖNTEM

1.1. Araştırma Modeli

Bu çalışma, yapay zekânın bireyler üzerindeki psikolojik etkilerini kurtarıcı ve bağımlılık ekseninde ele alan nitel bir literatür taraması olarak tasarlanmıştır. Çalışmada ilgili literatür sistematik bir şekilde taranmış ve bulgular bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

1.2. Veri Toplama Süreci

Araştırma kapsamında, belirlenen anahtar kelimeler (Yapay Zekâ, Yapay Zekâ Bağımlılığı, Bağımlılık, Davranışsal Bağımlılık, Artificial Intelligence, AI Addiction, Addiction, Behavioral Addiction) ve bunların kombinasyonları kullanılarak Google Scholar, Researchgate gibi ulusal ve uluslararası veri tabanlarında kapsamlı bir tarama yapılmıştır. Elde edilen kaynaklar, yapay zekânın insan psikolojisi üzerindeki etkilerini ve olası bağımlılık risklerini doğru bir şekilde saptamak amacıyla dikkatli bir şekilde değerlendirilmiştir.

1.3. Analiz Yöntemi

Elde edilen veriler, içerik analizi yöntemiyle sistematik olarak incelenmiş ve kaynaklardaki bulgular, yapay zekânın sunduğu faydalar ve yarattığı tehlikeleri bir arada değerlendirebilmek adına kurtarıcı ve bağımlılık temaları altında sentezlenmiştir. Bu süreçte yapay zekânın kolaylaştırıcı ve bağımlılık riski taşıyan çift yönlü doğası kavramsal bir çerçevede yorumlanmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapay zekâ teknolojilerinin insan yaşamına benzersiz bir hızla nüfuz etmesi, bu teknolojilerin insanlar üzerindeki etkilerinin tek boyutlu bir yaklaşımla ele alınamayacağını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Literatürdeki mevcut çalışmalar, yapay zekânın eğitim, akademi, tıp, finans, üretim, sanayi, medya gibi pek çok alanda adeta bir kurtarıcı gibi işlev görürken diğer yandan bireyleri sosyal izolasyona, bilişsel tembelliğe ve bağımlılığa sürükleyen tehlikeli bir teknoloji aracı olduğunu gözler önüne sermektedir.

Bireyler, yapay zekâyı çalışmalarına yardımcı olmak verimliliklerini artırmak için birçok alanda etkin bir şekilde kullanmaktadır. Örneğin, programcılar kodlamalarına yardımcı olmak için, öğretmenler öğretim

materyallerini oluşturmak için, öğrenciler bir konu hakkında zengin bilgi edinmek için, tasarımcılar verilen talimatlara göre görüntü ve video oluşturmak için, doktorlar tıbbi kayıt yazmak ve radyolojik görüntüleri okumak için yapay zekâyı kullanmaktadır (Zhou ve Zhang, 2024).

Farklı yapay zekâ türlerinin tasarımı ve ne için kullanıldığı bağımlılık konusunda belirleyici faktörlerdendir. ChatGPT gibi açık uçlu iletişime olanak sağlayan yapay zekâ türleri, kullanıcıları duygusal açıdan etkileyerek üretken yapay zekâ kullanımını teşvik ederken yapay zekâ arkadaşlık uygulamaları yakınlığı taklit ederek parasosyal bağ kurmayı teşvik edebilir. Öte yandan, eğitim amacıyla kullanılan yapay zekâ araçlı görev odaklı olmasına rağmen başa çıkma mekanizmalarının veya eleştirel düşünme becerisinin yerini alması durumunda yine bağımlılığa neden olabilmektedir. Bu farklılıkları anlamak, yapay zekânın davranışsal etkisini daha sorumlu ve kişiselleştirilmiş bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılar (Al-Obaydi ve Pikhart, 2025).

Ancak bu zahmetsiz kolaylık, paradoksal bir biçimde yapay zekâyı güçlü bir bağımlılık nesnesine dönüştürmektedir. Özellikle yapay zekâ sohbet botu kullanımının altında yatan yapay zekâ cini fenomeni olarak adlandırılan minimum çabayla pratik olarak sınırsız ve kişiselleştirilmiş içerik elde etme imkânı bireyleri kompulsif bir bağlanma döngüsünün içine sokmaktadır (Shen vd., 2026). Yapay zekâ sohbet botu uygulamalarına yönelik yapılan çalışmalar ise bu araçların güvenlik riskleri ve bağımlılık potansiyelinin etik açıdan en belirgin sorunlar arasında yer aldığını vurgulamaktadır (Han, 2025). Gerlich (2025)'in yapay zekâ araçlarına bağımlılığın olası bilişsel maliyetleri üzerine yaptığı çalışmada yapay zekâ araçlarını sık kullanan kişilerde bilişsel yükün azaltılmasıyla eleştirel düşünme becerilerinin olumsuz etkilendiğini ortaya koymuştur. Duong (2024)'da kullanıcıların ruh sağlığı üzerine yaptığı çalışmada kompulsif biçimde yapay zekâyı kullanan bireylerin artan kaygı, tükenmişlik ve uyku bozukluğu ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, yapay zekânın bir kurtarıcı mı yoksa bağımlılık nesnesi mi olduğu konusunda literatür, iki durumun da birlikte var olduğunu göstermektedir. Belirleyici olan yapay zekânın kendisi değil, nasıl ve ne amaçla kullanıldığı, etik bağlamı ve bireyin dijital okuryazarlık düzeyidir. Bu nedenle yapay zekâ araçları üzerine hem faydayı en üst düzeye çıkaracak hem de olumsuz etkileri en aza indirecek biçimde politika ve eğitim stratejilerinin yapılandırılması zorunludur.

Bu derleme çalışması kapsamında yapılan sistematik incelemeler, yapay zekânın bir kurtarıcı mı yoksa bağımlılık nesnesi mi olduğunun mutlak bir şekilde cevaplanamayacağını, bu teknolojinin birbirine zıt iki doğayı aynı anda barındıran kompleks bir olgu olduğunu kanıtlamaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin beraberinde getirdiği risklerin, etik geliştirme ve uygulama yöntemlerinin yanı sıra uygun yasa ve politikaların uygulanmasıyla azaltılabilir. Yapay zekâ sistemlerinde şeffaflık, hesap verebilirlik, adalet ve etik hususların teşvik edilmesiyle potansiyel riskleri en aza indirmek ve yapay zekânın insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltarak olumlu etkilerini artırmak mümkündür (Zohuri vd., 2023a). Yapay zekâ bağımlılığını etkili bir biçimde ele almak için farklı kullanıcı gruplarının özelliklerini dikkate alan ve yapay zekânın avantajlarından yararlanırken sorumlu kullanım alışkanlıklarını teşvik eden kapsamlı bir strateji gerekmektedir. Güvenli kullanımı teşvik eden ve yapay zekâ bağımlılığının olası riskleri konusunda farkındalığı artıran eğitim programları oluşturulmalıdır. Ayrıca yapay zekâ uygulamaları oluşturulurken, geliştiriciler kullanım süresi kısıtlamaları, mola hatırlatıcıları ve genç kullanıcılar için ebeveyn kontrolleri gibi dengeli kullanımı teşvik eden özellikleri eklemeye önem vermelidir (Al-Obaydi ve Pikhart, 2025).

KAYNAKLAR

Al-Obaydi, L. H., & Pikhart, M. (2026). Artificial intelligence addiction: Exploring the emerging phenomenon of addiction in the AI age. AI & SOCIETY, 41(2), 1577-1593.

Andersson, G., & Titov, N. (2014). Advantages and limitations of internet-based interventions for common mental disorders. World Psychiatry: Official Journal of the World Psychiatric Association (WPA), 13(1), 4–11.

Arslan, K. (2020). Eğitimde yapay zekâ ve uygulamaları. Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 11(1), 71-88.

Balcombe, L. (2023). AI chatbots in digital mental health. In Informatics, 10(4).

Dereli, T. (2024). Yapay zekâ ve insanlık. H. Karaman (Ed.), Bilişim teknolojileri ve iletişim: Birey ve toplum güvenliği içinde (ss. 93-118). Nobel Akademik Yayıncılık.

Duong, C. D., Dao, T. T., Vu, T. N., Ngo, T. V. N., & Tran, Q. Y. (2024). Compulsive ChatGPT usage, anxiety, burnout, and sleep disturbance: A serial mediation model based on stimulus-organism-response perspective. Acta Psychologica, 251, 104622.

Gerlich, M. (2025). AI tools in society: Impacts on cognitive offloading and the future of critical thinking. Societies, 15(1), 6.

Gupta, S., Saxena, S., & Kataria, S. (2026). The dual impact of AI emotional intelligence on users: are social chatbots promoting psychological wellbeing or deteriorating social wellbeing? Psychology & Marketing, 43(4), 886-907.

Han, K. S. (2025). Future perspectives of artificial intelligence in mental health care: Challenges and opportunities. Journal of Korean Academy of psychiatric and Mental Health Nursing, 34(1), 1-2.

Hizmetçi, D., & Karaaziz, M. (2025). Depresyon tedavisinde yapay zekanın etkisi üzerine sistematik derleme. IJSS, 9(37), 231-265.

Kooli, C., Kooli, Y., & Kooli, E. (2025). Generative artificial intelligence addiction syndrome: A new behavioral disorder? Asian Journal of Psychiatry, 107, 104476.

Özizer, H. (2024). Yapay zekânın faydaları ve zararları üzerine bir değerlendirme. International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR), 11(104), 336-348.

Sætra, H. S. (2019). The ghost in the machine: being human in the age of AI and machine learning. Human Arenas, 2(1), 60-78.

Shen, M. K., Huang, J., Liang, O., Kim, I. J., & Yoon, D. (2026). The AI genie phenomenon and three types of AI chatbot addiction: Escapist roleplays, pseudosocial companions, and epistemic rabbit holes. In Proceedings of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-17).

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. Mind, 49: 433-460.

Xie, T., Pentina, I., & Hancock, T. (2023). Friend, mentor, lover: does chatbot engagement lead to psychological dependence? Journal of Service Management, 34(4), 806-828.

Zhou, T., & Zhang, C. (2024). Examining generative AI user addiction from a C-A-C perspective. Technology in Society, 78, 102653.

Zohuri, B., & Mossavar-Rahmani, F. (2023). Is the genie of artificial ıntelligence technology out of the bottle and control? (A short review). Journal of Energy and Power Engineering, 17, 51-56.

Zohuri, B., Rahmani, F. M., Moghaddam, M., Zadfathollah, R., Balgehshiri, S. K. M., & Paydar, A. Z. (2023). Is artificial intelligence dangerous to humans? Sci Set J of Physics, 2, 1-4.

https://doi.org/10.71284/asc.2026144

DEVELOPMENT OF AN ULTRASONIC BAT REPELLENT DEVICE

Nurul Khairunnisa Binti Su[1]
Yap Tek Hong[2]
Nik Akmar Bin Rejab[3]

Abstract

The presence of bats in enclosed environments, particularly in laboratory settings, poses significant challenges including biological contamination, unpleasant odor, and potential health hazards. This study aims to design and develop an ultrasonic-based bat repellent device to enhance environmental quality within a Material Testing Laboratory, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin. The proposed system utilizes high-frequency ultrasonic waves to disrupt the echolocation mechanism of bats without causing harm to humans. The research methodology encompasses system design, material selection, fabrication, and performance evaluation through sound intensity measurement and field observation. Experimental results demonstrate a substantial reduction in bat activity following device implementation. The findings indicate that ultrasonic technology offers a viable, non-invasive, and environmentally friendly solution for controlling bat intrusion in confined spaces.

Keywords: Ultrasonic waves, bat control, laboratory environment.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, khairunnisa.su@ptss.edu.my

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, yap@ptss.edu.my

[3]School of Materials & Mineral Resources Engineering, Universiti Sains Malaysia, 14300, Nibong Tebal, Penang, Malaysia, akmarnik@usm.my

INTRODUCTION

Bats are unique mammals that use echolocation or sonar systems for navigation in the dark (Kumaran, V. A, 2024). However, their presence in educational buildings like the Materials Testing Laboratory poses serious health and cleanliness issues. Bat excrement not only produces an unpleasant smell but also carries the risk of spreading dangerous diseases to humans (Candra, R. A. et. al, 2025).

Traditional mitigation approaches, including chemical repellents and physical trapping, are often limited in effectiveness and may introduce secondary risks to both humans and non-target species. In response to these limitations, ultrasonic repellent technology has emerged as a promising alternative. Ultrasonic waves, typically above 20 kHz, are inaudible to humans but can interfere with the echolocation system used by bats for navigation and foraging (Zou J. et.al., 2023).

Therefore, this study focuses on the development of an ultrasonic bat repellent device tailored for indoor laboratory applications. The objectives of this research are to design a functional ultrasonic repellent system, to fabricate a working prototype, and to evaluate its effectiveness in reducing bat presence.

1. METHODOLOGY

This study adopts a systematic engineering design approach comprising four primary phases includes system design, material selection, fabrication, and performance evaluation.

1.1. System Design

The system was conceptualized based on a thorough analysis of user requirements and the specific environmental constraints within the Materials Testing Laboratory. The core of the design is an integrated ultrasonic emitter circuit, engineered to generate high-frequency sound waves exceeding 20 kHz. These waves are specifically calibrated to disrupt bat echolocation, effectively creating a non-lethal deterrent environment. The physical configuration of the Ultrasonic Bat Repellent Device is illustrated in Figure 1.

1.2. Material Selection

The selection of materials and components was prioritized based on durability, conductivity, and functional efficiency. The system incorporates a Printed Circuit Board (PCB) to provide a stable platform for all electrical connections. A specialized ultrasonic speaker was selected for its capability to emit stable high-frequency waves. To enhance the device's utility, an HD Wireless Camera was integrated, allowing for real-time remote monitoring via the V380 Pro smartphone application. Additionally, high-quality passive components, including resistors, capacitors, diodes, and transistors, were utilized to ensure precise current management and system longevity.

1.3. Fabrication

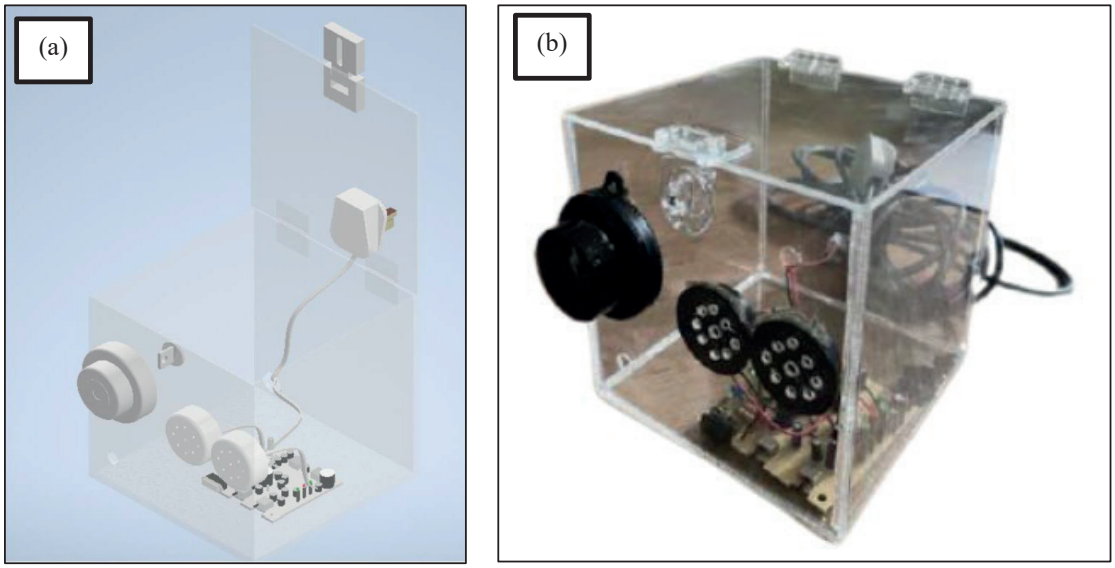
The fabrication phase involved a transition from theoretical design to physical assembly. It commenced with the construction of a robust casing made of acrylic (PMMA), chosen for its lightweight and weather-resistant properties. This was followed by the systematic assembly and soldering of electronic components onto the PCB. The ultrasonic transducer was then integrated into the housing, ensuring optimal sound wave projection. Finally, the process concluded with system calibration and preliminary functional testing to verify the integrity of the circuits.

1.4. Performance Evaluation

To validate the effectiveness of the device, a dual-method evaluation comprising both quantitative and qualitative analyses was conducted. Quantitative assessment involved measuring sound intensity levels using Decibel X Application to ensure the output remained within the target range of 90-120 dB. Qualitatively, the project's impact was measured through pre- and post-installation observations of bat activity within the laboratory. Furthermore, a user feedback survey was administered to laboratory occupants, and a

comprehensive functional performance analysis was performed to determine the overall reliability of the system in a real-world setting.

Figure 1.(a) 3D Drawing of Ultrasonic Bat Repellent Device (b) Ultrasonic Bat Repellent Device



2. RESULTS AND DISCUSSION

2.1. Acoustic Performance by using Decibel X Application

The device successfully generated ultrasonic frequencies within the targeted range, sufficient to interfere with bat echolocation while remaining imperceptible to human hearing. The acoustic performance using the Decibel X application was conducted to ensure the device operates at an optimum level without disturbing human hearing.

Decibel X is an application that tests the level of noise pollution. The test is carried out to obtain the decibel value emitted by this device. The process is carried out by taking sound pressure level readings using Decibel X in one-minute intervals. The frequency rate that has been set is at 20KHz. Based on a study, the decibel value that disturbs bats is 90-120 dB (Finch, D et. al, 2020). Table 3.1 below shows the data obtained when testing the bat repellent device using the Decibel X application. The results obtained have reached the desired value, which the sound pressure level at range 94.2 dB to 110.6 dB. The maximum levels ranged between 103.4 dB and 115.9dB was recorded.

Table 3. Effectiveness Testing Schedule Using the Decibel X Application

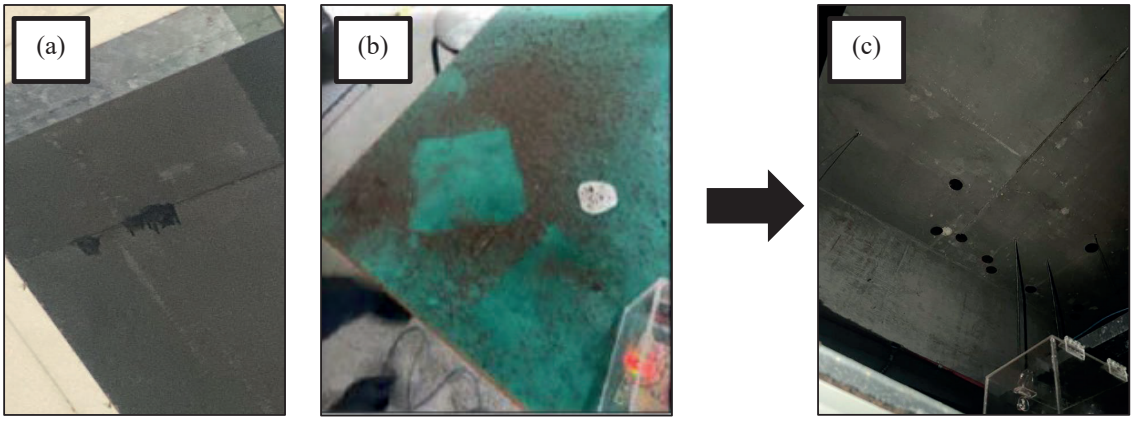
Times	Sound Pressure Level	Maksimum	Minimum
1 minutes	94.2 dB	112.9 dB	46.7 dB
1 minutes	91.4 dB	103.4 dB	50.2 dB
1 minutes	110.6 dB	115.9 dB	85.0 dB

2.2. Field Observation

Figure 2 shows the post-installation observations over a one-week period revealed a noticeable decline in bat presence within the laboratory environment. This indicates the effectiveness of ultrasonic waves as a behavioral deterrent. The presence of bats was recorded with the pollution before attached the Ultrasonic

Bat Repellent Device. After one-week, the presence of bats found to be reduced.

Figure 2. (a) Before attached the Ultrasonic Bat Repellent Device (b) The presence of bat droppings on laboratory benches (c) After attached the Ultrasonic Bat Repellent Device for a week



2.3. Survey Analysis

A total of 20 respondents answered this questionnaire. 100% of respondents found that bat activity decreased after use, and 94.7% felt the device was successful. Survey results revealed improved environmental comfort, with users reporting reduced odour and enhanced cleanliness. This supports the effectiveness of non-invasive pest control methods in improving indoor environmental quality.

CONCLUSION

This study successfully developed and evaluated an Ultrasonic Bat Repellent Device suitable for indoor laboratory environments. The system demonstrated significant effectiveness in reducing bat presence while maintaining human safety and comfort. The non-invasive nature of ultrasonic technology makes it a promising alternative to conventional pest control methods. Future work should explore integration with smart monitoring systems, renewable energy sources, and adaptive frequency control to further enhance performance and sustainability.

REFERENCES

Candra, R. A., Ilham, D. N., Budiansyah, A., & Harahap, M. K. (2025). Microcontroller-based automatic bat pest repellent device. *Perfect Journal*, 2(1). https://doi.org/10.62671/perfect.v2i1.27

Finch, D., Schofield, H., & Mathews, F. (2020). Traffic noise playback reduces the activity and feeding behaviour of free-living bats. *Environmental Pollution*, 263(Part B), 114405. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114405

Kumaran, V. A., Anilkumar, S., Dinesh, G., Ganesan, T., & Arulselvan, G. (2024). *Bats detection and repellent system*. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, 13(3). https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2024.1303279

Zou, J., Jin, B., Ao, Y., Han, Y., Huang, B., Jia, Y., Yang, L., Jia, Y., Chen, Q., & Fu, Z. (2023). Spectrally non-overlapping background noise disturbs echolocation via acoustic masking in the CF-FM bat. *Conservation Physiology*, 11. https://doi.org/10.1093/conphys/coad017

.

.

https://doi.org/10.71284/asc.2026145

FİZİKSEL REHABİLİTASYON UYGULAMALARINDA YAPAY ZEKANIN SAĞLIK İLETİŞİMİNDEKİ ROLÜ

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTH COMMUNICATION WITHIN PHYSICAL REHABILITATION PRACTICES

Yasemin Salkın[1]
Gülten Acar[2]
Serdar Ulak[3]

Özet

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, sağlık iletişimi süreçlerini dijital bir dönüşüme uğratmaktadır. Fiziksel rehabilitasyon uygulamalarında iletişim; yalnızca klinik bilgi aktarımıyla sınırlı olmayan, hasta ile fizyoterapist arasında güven inşasını, hastanın öz-yeterlik algısının gelişimini ve tedaviye uzun dönemli uyumu kapsayan çok boyutlu bir süreçtir. Rehabilitasyon süreci doğası gereği; aktif hasta katılımı, düzenli fonksiyonel egzersizler, kronik hastalıkların yönetimi ve sürekli geri bildirim gerektirmektedir. Bu noktada iletişimsel nitelik; motivasyon, tedavi memnuniyeti ve öz-yönetim becerilerinin kazanılması gibi rehabilitasyon başarısını doğrudan etkileyen psikolojik faktörler üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Özellikle nörolojik, ortopedik ve pediatrik rehabilitasyon gibi uzun soluklu yaklaşımlarda, iletişimin kalitesi klinik sonuçların sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Bu derlemenin amacı, yapay zekâ tabanlı sağlık iletişimi araçlarının fiziksel rehabilitasyon süreçlerine etkilerini psikolojik ve iletişimsel boyutlarıyla incelemektir. Bu kapsamda literatür taranarak; chatbotlar, sanal rehberler, uzaktan izleme sistemleri ve dijital rehabilitasyon platformlarının hasta-fizyoterapist etkileşimi üzerindeki yansımaları değerlendirilmiştir. Bulgular, yapay zekâ destekli uygulamaların hasta eğitimi, eş zamanlı geri bildirim, egzersiz devamlılığı ve sağlık hizmetine erişilebilirlik noktalarında önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir. Ancak, bu teknolojilerin empatik derinlikten yoksun olması, terapötik bağ kurmadaki yetersizlikler, veri güvenliği endişeleri ve hastayı mekanik bir sürece itme riski önemli kısıtlılıklar olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ, rehabilitasyonda iletişimi güçlendiren fonksiyonel bir destekleyici olsa da biyopsikososyal modelin temelinde yer alan insan odaklı etkileşimin yerini tutamamaktadır. Gelecek çalışmaların, yapay zekâ sistemlerinin rehabilitasyon psikolojisi, güven algısı ve hasta deneyimi üzerindeki etkilerine yoğunlaşması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, sağlık iletişimi, fiziksel rehabilitasyon, hasta uyumu.

[1]Sorumlu Yazar, Dr., Mersin Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Sağlık Bakım Hizmetleri Bölümü, yaseminsalkin@mersin.edu.tr, https://orcid/org/0000-0002-7674-8934

[2]Dr., Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, gultenacar@mersin.edu.tr, https://orcid/org/0000-0003-3708-9136

[3]Dr., Mersin Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, ulakserdar@mersin.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-9800-379X

Abstract

The integration of artificial intelligence technologies into healthcare is driving a digital transformation of healthcare communication processes. In physical rehabilitation settings, communication is a multidimensional process that goes beyond the mere transfer of clinical information; it encompasses the building of trust between the patient and the physical therapist, the development of the patient's sense of self-efficacy, and long-term adherence to treatment. By its very nature, the rehabilitation process requires active patient participation, regular functional exercises, management of chronic conditions, and continuous feedback. In this context, the quality of communication plays a decisive role in psychological factors that directly influence rehabilitation success, such as motivation, treatment satisfaction, and the acquisition of self-management skills. Especially in long-term approaches such as neurological, orthopedic, and pediatric rehabilitation, the quality of communication ensures the sustainability of clinical outcomes. The aim of this review is to examine the effects of AI-based health communication tools on physical rehabilitation processes from psychological and communicative perspectives. Within this scope, a literature review was conducted to evaluate the impact of chatbots, virtual guides, remote monitoring systems, and digital rehabilitation platforms on patient-physical therapist interactions. The findings indicate that AI-supported applications offer significant opportunities in terms of patient education, real-time feedback, exercise adherence, and access to healthcare. However, the lack of empathetic depth in these technologies, shortcomings in establishing therapeutic bonds, data security concerns, and the risk of reducing the patient to a mechanical process stand out as significant limitations. In conclusion, while artificial intelligence serves as a functional support that enhances communication in rehabilitation, it cannot replace the human-centered interaction at the core of the biopsychosocial model. Future studies are recommended to focus on the effects of artificial intelligence systems on rehabilitation psychology, perceptions of trust, and the patient experience.

Keywords: Artificial intelligence, health communication, physical rehabilitation, patient compliance.

GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, son yıllarda klinik uygulamaların yanı sıra sağlık iletişimi süreçlerinde de önemli dönüşümlere yol açmıştır. Tanı, tedavi planlama ve hasta takibi gibi alanlarda giderek daha fazla kullanılan yapay zekâ sistemleri, sağlık profesyonelleri ile hastalar arasındaki etkileşimin biçimini de yeniden şekillendirmektedir. Bu dönüşüm, özellikle uzun süreli takip, aktif hasta katılımı ve davranış değişikliği gerektiren fiziksel rehabilitasyon süreçlerinde daha belirgin hale gelmektedir. Fiziksel rehabilitasyon, yalnızca fiziksel iyileşmeye odaklanan bir süreç olmayıp, hastanın bilişsel, duygusal ve davranışsal katılımını da içeren biyopsikososyal bir yaklaşım gerektirir. Bu nedenle sağlık iletişimi, rehabilitasyon sürecinin temel belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Etkili iletişim; hastanın tedavi sürecini anlamasını, motivasyonunu sürdürmesini ve önerilen egzersiz programlarına uyum göstermesini desteklemektedir.

Yapay zekâ destekli iletişim araçları; hasta eğitimi, geri bildirim sağlama, uzaktan takip ve kişiselleştirilmiş yönlendirme gibi alanlarda yeni olanaklar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin insan etkileşiminin yerini ne ölçüde alabileceği, empati ve güven gibi temel iletişim unsurlarını nasıl etkilediği önemli bir tartışma alanı oluşturmaktadır. Bu çalışmanın konusu, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık iletişimi süreçlerindeki rolü ve etkilerini ortaya koymaktır. Günümüzde sağlık hizmetlerinde dijitalleşmenin artmasıyla birlikte, yapay zekâ destekli uygulamalar hasta–sağlık profesyoneli iletişimini dönüştürmekte, bilgiye erişimi hızlandırmakta ve iletişim kalitesini yeniden şekillendirmektedir. Bu derlemenin amacı, yapay zekâ tabanlı sağlık iletişimi araçlarının fiziksel rehabilitasyon süreçlerindeki rolünü incelemek; bu araçların iletişimsel, psikolojik ve klinik etkilerini mevcut literatür ışığında değerlendirmektir.

Bu kapsamda çalışmanın evrenini, yapay zekâ, sağlık iletişimi ve fiziksel rehabilitasyon kesişim kümesinde yayımlanmış akademik literatür; örneklemini ise belirlenen kriterler dahilinde seçilen ve son yıllarda bu alanda yapılan güncel bilimsel çalışmalar oluşturmaktadır.

Çalışmanın temel varsayımları şunlardır: Yapay zekâ destekli araçlar fiziksel rehabilitasyon süreçlerinde bilgiye erişimi hızlandırarak operasyonel verimliliği artırmaktadır. Ancak fiziksel rehabilitasyon süreci, doğası gereği yoğun bir hasta-hekim etkileşimi ve birebir insani temas gerektirmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ araçlarının sağladığı teknolojik kolaylıkların yanında; hekim-hasta arasındaki insani bağı zayıflatabileceği, empati eksikliğine yol açabileceği ve iletişimi mekanikleştirerek hastanın motivasyonunu olumsuz etkileyebileceği varsayılmaktadır.

Bu çalışma nitel araştırma desenlerinden olan literatür taraması derleme yöntemine dayanmaktadır. Belirlenen konu başlıkları altında akademik veri tabanları taranarak elde edilen veriler tasnif edilmiş; yapay zekânın rehabilitasyon iletişimindeki olumlu katkıları ve fiziksel temasın önemi çerçevesindeki riskleri karşılaştırmalı bir bakış açısıyla analiz edilmiştir.

1. FİZİKSEL REHABİLİTASYONDA SAĞLIK İLETİŞİMİNİN ÖNEMİ

Fiziksel rehabilitasyon, doğası gereği yüksek düzeyde hasta katılımı ve uzun süreli iş birliği gerektirdiğinden, tedavi başarısı büyük ölçüde kurulan iletişimin niteliğine bağlıdır. Bu süreçte sağlık iletişimi, yalnızca teknik bilgi aktarımı değil; hastanın tedavi hedeflerini içselleştirmesini sağlayan, motivasyonunu destekleyen ve klinik sürece dair belirsizlikleri gideren stratejik bir araçtır. Özellikle hastanın öz-yönetim becerilerini ve egzersiz devamlılığını doğrudan etkilemesi bakımından iletişim, klinik müdahale ile iyileşme çıktıları arasında köprü görevi görerek rehabilitasyon deneyimini şekillendiren temel bir bileşendir.

1.1. Terapötik İlişki

Klinisyen ile hasta arasındaki terapötik ilişki, tarihsel gelişim süreci içerisinde öncelikle tıbbi bakım (Stewart, 1995) ve psikoterapi disiplinlerinde (McLeod, 2011)odak noktası haline gelmiştir. Literatürde "çalışma ittifakı", "terapötik bağ" veya "yardım ittifakı" gibi farklı terimlerle de ifade edilen bu kavram; özünde hastalar ve klinisyenler arasındaki iş birlikçi doğayı, kurulan duygusal bağı ve tedavi hedefleri ile görevleri üzerindeki karşılıklı mutabakatı kapsayan genel bir çerçeve sunmaktadır (McLeod, 2011) . Bu bağlamda güven (M. A. Hall vd., 2002) ve empati (Mercer vd., 2004) gibi temel unsurlar hem bu tanımı tamamlamakta hem de ilişkinin kalitesini ölçmek için birer kriter olarak kabul edilmektedir.

Son yıllarda terapötik ilişki kavramı, fizyoterapi pratiklerini de içine alacak şekilde fiziksel rehabilitasyon alanında sıklıkla ele alınmaya başlanmıştır. Mevcut kanıtlar, güçlü bir ilişkinin semptomatik iyileşme, genel sağlık durumunda artış ve bakım memnuniyeti gibi tedavi çıktılarında anlamlı bir pozitif etki yarattığını göstermektedir. Kas-iskelet sistemi rehabilitasyonu bu durumun çarpıcı bir örneğini sunar: Kronik bel ağrısı nedeniyle fizyoterapi alan hastalardan güçlü bir terapötik bağ kuranların, zayıf bağ kuranlara kıyasla tedavi memnuniyet skorlarında (0–10 ölçeğinde) dört puanlık bir artış yaşadığı saptanmıştır (Ferreira vd., 2013).

Fiziksel rehabilitasyonda terapötik ilişki, hasta motivasyonunu artırmanın yanı sıra bireyin tedavi planı üzerinde sahiplik duygusu geliştirmesini amaçlayan bir güven zemini inşa eder (Horvath, 2001). Bordin (1979), başarılı bir terapötik bağı; klinisyen ile hasta arasında gelişen duygusal yakınlığın ötesinde, tedavi hedefleri ve uygulanacak müdahaleler konusunda sağlanan karşılıklı mutabakat olarak tanımlamaktadır (Bordin, 1979). Bu iş birliği modeli, özellikle fiziksel rehabilitasyonun karşılaştığı psikolojik engellerin aşılmasında kritik öneme sahiptir. Fizyoterapide merkezi bir semptom olan kronik ağrıya sıklıkla korku, kaygı ve ilgisizlik gibi psikolojik faktörler eşlik etmekte, bu durum iyileşme süreci önünde ciddi bir bariyer oluşturmaktadır(Beattie vd., 2005) . Ancak güçlü ve pozitif yönlü bir ilişki ağı, fizyoterapistlerin bu psikolojik engelleri bütüncül bir bakış açısıyla ele almasına ve ağrı yönetiminde daha başarılı sonuçlar elde etmesine olanak tanımaktadır.

Hall ve ark. (2010) tarafından gerçekleştirilen sistematik inceleme, terapötik ilişkinin fiziksel rehabilitasyon çıktıları üzerindeki geniş kapsamlı etkisini kanıtlar niteliktedir. Söz konusu çalışma; beyin hasarı, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, kardiyak patolojiler ve daha birçok farklı klinik tabloyu içeren geniş bir yelpazede değerlendirme sunmaktadır (A. M. Hall vd., 2010). Yapılan analizler, nitelikli bir ilişkinin yalnızca fiziksel sağlık ve fonksiyonel kapasite üzerinde değil; aynı zamanda sakatlık düzeyinin azaltılması, ağrı kontrolü, ruh sağlığının iyileştirilmesi ve genel hasta memnuniyeti sonuçlarında anlamlı derecede olumlu yansımalar yarattığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, rehabilitasyon sürecinin sadece mekanik bir müdahale değil, iletişim ve güven temelli bir değişim süreci olduğunu doğrulamaktadır.

Fizyoterapi müdahalelerinin genellikle uzun soluklu olması, hastaların tedavi programlarına yönelik sürdürülebilir bir uyum göstermesini hayati bir gereklilik kılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, uzun vadeli tedavilere uyumsuzluğun klinik sonuçları kötüleştirdiğini ve sağlık harcamalarını gereksiz şekilde artırdığını bildirmektedir (WHO, 2003). Bu noktada nitelikli bir terapötik ilişki, hastaların rehabilitasyon süreçlerine daha aktif ve kararlı bir şekilde katılım göstermelerine yardımcı olan katalizör bir faktör olarak işlev görür (Fuertes vd., 2007). Nihayetinde bu ilişkinin kalitesi, büyük ölçüde klinik uygulamada ustalık gerektiren "etkili iletişim" becerisine bağlıdır (Mauksch vd., 2008). Bakımın verimliliğini artırmak adına, klinisyen ve hastanın iletişimlerini koordine etmeleri ve sürekli bir iş birliği içerisinde olmaları temel bir zorunluluktur (Street vd., 2007).

1.2. Hasta Uyumu

Klinisyenler ile hastalar arasındaki açık ve etkili iletişim, değerlendirme ve tedavi yönetimi süreçlerinde hastanın aktif katılımını kolaylaştıran temel bir unsurdur. Hasta merkezli iletişim yaklaşımının, motivasyonel görüşme becerileriyle birlikte ele alındığında, kronik kas-iskelet sistemi ağrısı olan bireylerde hasta memnuniyetini artırdığı, güven duygusunu güçlendirdiği ve sağlıkla ilgili bilgi düzeyini iyileştirdiği gösterilmiştir (Kinney vd., 2020). Hasta merkezli iletişim, aktif hasta katılımının sağlanmasında temel bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Hutting vd., 2022)

Empati temelli bir iletişim kurmak; klinisyen ve hasta hedeflerinin uyumunu artırmak, terapötik bir bağ geliştirmek ve ortak karar alma süreçlerini desteklemek açısından kritik öneme sahiptir. İletişim tarzının bireysel hastaya göre uyarlanması, sade ve anlaşılır bir dil kullanılması, hastanın sağlık okuryazarlığı düzeyinin dikkate alınması, doğrudan ve açık iletişim kurulması, aktif dinleme becerilerinin kullanılması ve uygun sorular yöneltilmesi hasta merkezli iletişimin temel bileşenleri arasında yer almaktadır(Lin vd., 2020).

Sağlık okuryazarlığı, bireylerin uygun sağlık kararları alabilmek için gerekli bilgiyi edinme, anlama ve kullanma kapasitesini ifade eder. Araştırmalar, Avrupa'da sağlık okuryazarlığı düzeyinin genel olarak yetersiz olabileceğini ve bu durumun özellikle kronik ağrı hastalarında etkili öz-yönetim becerilerinin gelişimini engelleyebileceğini göstermektedir (Castarlenas vd., 2021). Ayrıca sosyo-ekonomik durum, yaş ve eğitim düzeyi gibi demografik faktörler de etkili iletişimin önünde önemli engeller oluşturabilmektedir. Her ne kadar hasta merkezli iletişimin uygulanması zaman gerektirse de bu yaklaşımın uzun vadede ağrı yönetimi stratejilerinin etkinliğini artırdığı ve tedavi sonuçlarını iyileştirdiği görülmektedir.

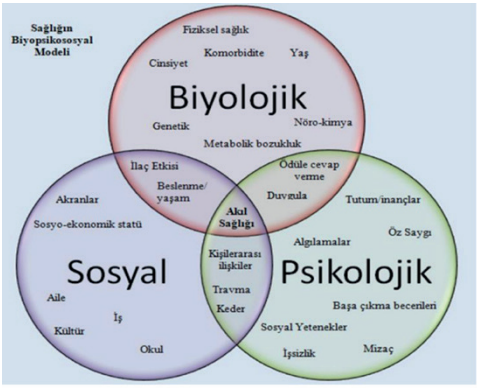
Dünya Sağlık Örgütü'nün (2003) vurguladığı üzere, uzun süreli tedavilere uyumun artırılması sağlık sonuçları üzerinde tıbbi tedavilerdeki teknik gelişmelerden daha büyük bir etki yaratma potansiyeline sahiptir (WHO, 2003). Fiziksel rehabilitasyon süreçlerinin doğası gereği, tedavi yalnızca klinik ortamla sınırlı kalmayıp hastanın ev ortamında sürdürdüğü egzersizler ve yaşam tarzı düzenlemelerini de kapsamaktadır. Argent ve ark. (2018), fizyoterapist-hasta iletişimi ile ev egzersizlerine uyum arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir (Argent vd., 2018). Benzer şekilde literatürde, etkili iletişimle desteklenen hastaların tedavi sürecine daha yüksek düzeyde bağlılık gösterdiği ve uzun vadeli iyilik halini sürdürebildiği belirtilmektedir (Pisters vd., 2007).

Bununla birlikte, özellikle kronik kas-iskelet sistemi ağrısı ve nörolojik rehabilitasyon süreçlerinde, tedavi uyumu önünde çeşitli psikolojik engeller bulunmaktadır. Düşük öz-yeterlik algısı, depresif belirtiler ve sosyal destek eksikliği bu engellerin başında gelmektedir. Tedaviye uyumsuzluk yalnızca klinik sonuçları olumsuz etkilemekle kalmayıp, tekrarlayan başvurular ve artan sağlık maliyetleri ile de ilişkilidir. Bu noktada iletişim, hastanın motivasyonel bariyerlerini aşmasını sağlayan ve tedavi uyumunu sürdürülebilir bir davranış değişikliğine dönüştüren temel bir araç olarak öne çıkmaktadır (Eej & JordanJL, 2010). Güncel yaklaşımlar, bu iletişimin sürekliliğini sağlamak amacıyla dijital hatırlatıcılar ve etkileşimli geri bildirim sistemlerinin kullanımına yönelmektedir (Vervloet vd., 2012). Bu gelişmeler, rehabilitasyon süreçlerinde hasta takibinin dijitalleşmesini mümkün kılmakta ve yapay zekâ tabanlı iletişim araçlarının önemini giderek artırmaktadır.

1.3. Biyopsikososyal Yaklaşım

Biyopsikososyal yaklaşım, bireyin sağlık ve hastalık durumunu yalnızca biyolojik belirleyiciler üzerinden açıklamayan; bunun yerine psikolojik süreçler ile sosyal çevreyi de klinik değerlendirmenin ayrılmaz bileşenleri olarak ele alan bütüncül bir modeldir. Bu çerçevede hastanın yalnızca mevcut semptomları, tanısı ya da fizyolojik bulguları değil; yaşam öyküsü, sağlık ve hastalık algısı, inançları, duygusal durumu, aile yapısı, sosyal destek kaynakları, eğitim düzeyi, sosyoekonomik koşulları ve gündelik yaşam pratikleri de değerlendirme sürecine dâhil edilmektedir. Borrell-Carrio, Suchman ve Epstein'a göre biyopsikososyal model, klinik karar verme sürecini dar bir biyomedikal çerçeveden çıkararak hastayı çok boyutlu bir insan deneyimi içinde anlamaya imkân tanımaktadır (Epstein vd., 2010). Benzer biçimde Wade ve Halligan (2017), özellikle rehabilitasyon alanında işlevsellik, katılım ve yaşam kalitesi gibi çıktıları açıklamada biyopsikososyal yaklaşımın güçlü bir kuramsal ve pratik temel sunduğunu belirtmektedir. Bu bakış açısından hareketle sağlık ve hastalık, yalnızca fizyolojik ve patolojik değişkenlerin değil, psikolojik özelliklerin ve sosyal belirleyicilerin karşılıklı etkileşiminin ürünü olarak değerlendirilmektedir (Wade & Halligan, 2017). Dolayısıyla etkili bakımın planlanabilmesi için hastanın klinik tablosunu oluşturan çok katmanlı etmenlerin birlikte analiz edilmesi gerekmektedir. Biyopsikososyal modelin genel çerçevesi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1. Biyopsikososyal Modelin Genel Çerçevesi (Kevser SEZER KORUCU vd., 2021)



Fizyoterapi ve fiziksel rehabilitasyon alanında biyopsikososyal yaklaşımın önemi daha da belirginleşmektedir. Çünkü rehabilitasyon süreci, yalnızca dokusal iyileşme ya da fiziksel fonksiyonun geri kazanımıyla sınırlı olmayıp hastanın tedaviye katılımı, egzersizleri sürdürme isteği, ağrıyı yorumlama biçimi, hareketten kaçınma davranışları, motivasyonu ve günlük yaşam rollerine yeniden uyum sağlamasıyla yakından ilişkilidir. Özellikle kronik ağrı alanındaki çalışmalar, ağrının yalnızca nosiseptif ya da yapısal değişkenlerle açıklanamayacağını; bilişsel, duygusal ve sosyal etmenlerin ağrının deneyimlenmesi ve sürdürülmesinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır (Gatchel vd., 2007). Bu nedenle aynı tanıya sahip bireylerin rehabilitasyon sürecine verdikleri yanıtların farklılaşması, yalnızca biyomedikal verilerle açıklanamaz;

bireyin korkuları, beklentileri, öz-yeterlik algısı, baş etme becerileri, aile desteği, çalışma yaşamı ve sosyal çevresi de tedavi sonuçlarını doğrudan etkileyebilmektedir.

Psikososyal bileşenlerin fizyoterapi pratiğine entegrasyonu, özellikle bel ağrısı gibi yaygın rehabilitasyon sorunlarında daha etkili ve hasta merkezli klinik yönetim yaklaşımlarının geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Foster ve Delitto (2011), psikososyal bakış açısının fizik tedavi yönetimine gömülmesinin, klinik uygulamada yalnızca semptom kontrolüne değil, davranış değişikliği ve işlevselliğin desteklenmesine de katkı sağladığını vurgulamaktadır (Foster & Delitto, 2011). Main ve George (2011) ise psikolojik olarak bilgilendirilmiş fizyoterapi uygulamalarının, hastanın ağrıya ilişkin inançlarını, korku-kaçınma eğilimlerini, motivasyonunu ve tedaviye aktif katılımını dikkate alarak daha etkili rehabilitasyon stratejileri geliştirilmesine olanak verdiğini belirtmektedir (Main & George, 2011). Bunun yanı sıra tedaviye uyumun önündeki psikolojik ve sosyal engellerin anlaşılması, rehabilitasyon sürecinin sürdürülebilirliği açısından kritik önemdedir; nitekim fizyoterapi ortamlarında uyumu azaltan etmenler arasında inançlar, motivasyon eksikliği, sosyal destek yetersizliği ve yaşam koşulları gibi çok boyutlu faktörlerin yer aldığı gösterilmiştir (Jack vd., 2010). Bu nedenle biyopsikososyal yaklaşım, fizyoterapide yalnızca teorik bir açıklama modeli olarak değil; değerlendirme, iletişim, müdahale planlama ve tedaviye katılımı güçlendirme süreçlerini yönlendiren temel bir klinik perspektif olarak ele alınmalıdır. Böylece rehabilitasyon, yalnızca semptom azaltmayı hedefleyen dar bir uygulama alanı olmaktan çıkarak bireyin yaşam kalitesini, bağımsızlığını ve toplumsal katılımın destekleyen bütüncül bir sağlık hizmeti biçimine dönüşmektedir.

2. YAPAY ZEKA VE SAĞLIK İLETİŞİMİ

Sağlık iletişimi; bireylerin ve toplumların sağlık düzeyini yükseltmeyi amaçlayan, bireylerin sağlık verilerini doğru biçimde yorumlayarak sunulan hizmetlerden verimli şekilde yararlanmalarına aracılık eden, kapsamlı bir etkileşim disiplinidir (Akman Dömbekci, 2025). Bu çok boyutlu yapısı nedeniyle sağlık iletişimi, değişen teknolojik koşullardan doğrudan etkilenmekte ve sürekli olarak dönüşüm geçirmektedir. Bu dönüşümün yaşandığı alanların başında sağlık sektörü gelmektedir. Dijital dönüşümün merkezinde ise tanı, tedavi, veri analizi gibi alanlarda sıklıkla kullanılan, sağlık iletişimi süreçlerini de yakından ilgilendiren yapay zekâ teknolojileri yer almaktadır.

2.1. Yapay Zekâ

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, yapay zekânın ortaya çıkışını ve hızla ilerlemesini mümkün kılmıştır. Yapay zekâ; makinelerin öğrenme, uyum sağlama, problem çözme ve insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu yönüyle yapay zekâ, teknolojik gelişimin ileri bir aşamasını temsil etmekte ve bilgisayarlara insan benzeri işlevler kazandırmaktadır (Koçyiğit & Darı, 2023). Tıbbi alanda yapay zekâ kullanımı ise sanıldığının aksine yeni bir olgu olmayıp, kökleri 1950'li yıllarda hekimlerin teşhis süreçlerinde bilgisayar destekli sistemleri kullanmaya başladıkları dönemlere kadar uzanmaktadır. Bu sürecin erken örneklerinden biri, 1970'li yılların ortasında geliştirilen bilgisayar destekli karın ağrısı tanılama uygulamalarıdır. Ancak yapay zekânın sağlık alanındaki asıl gelişimi, son yıllarda hız kazanmıştır. Modern bilgisayarların artan işlem gücü ve büyük ölçekli dijital verilerin erişilebilir hale gelmesi, yapay zekâ uygulamalarının sağlık alanındaki etkinliğini ve yaygınlığını önemli ölçüde artırmıştır (Tran vd., 2019).

Bu gelişmeler doğrultusunda yapay zekâ, karmaşık tıbbi verileri analiz edebilen bir bilgisayar bilimi dalı olarak öne çıkmaktadır. Veri setleri içerisindeki anlamlı ilişkileri ortaya çıkarabilme kapasitesi sayesinde; tanı koyma, tedavi planlama ve klinik sonuçları öngörme gibi birçok alanda sağlık profesyonellerine destek sunmaktadır (Ramesh vd., 2004) . Dolayısıyla yapay zekâ, teknik bir araç olmanın ötesinde, klinik karar verme süreçlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Yapay zekânın sağlık sistemlerine entegrasyonu, bilgiye erişimi kolaylaştırarak hizmetlerin daha verimli ve erişilebilir hale gelmesini sağlamakta; hasta bakım kalitesini artırmakta ve karar alma süreçlerini desteklemektedir. Bunun yanı sıra dijital ve otomasyon temelli çözümler, sağlık kurumlarında operasyonel verimliliği artırarak kaynak ve

zaman yönetiminde önemli avantajlar sunmaktadır (Ceylan, 2025). Bunun yanı sıra yapay zekâ, sağlık alanında hastalıkların erken ve güvenilir şekilde tespit edilmesine olanak tanıyarak klinik süreçlere önemli katkılar sunmaktadır. Ancak bu modellerin etkin şekilde çalışabilmesi için büyük veri setlerine ihtiyaç duyulmakta, hasta verilerinin gizliliği ise bu süreci sınırlayan önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Sharma & Guleria, 2023). Yapay zekâ teknolojilerinin kullanım ağının genişlemesi; etik değerler, kişisel mahremiyet ve veri güvenliği gibi konularda yeni tartışma zeminleri oluşturmuştur. Özellikle bireysel verilerin işlenmesi, algoritmaların tarafsızlığı ve karar verme mekanizmalarının denetlenebilirliği gibi hususlar, yapay zekâ çözümlerinin toplum tarafından benimsenmesi ve güvenle karşılanması açısından belirleyici bir rol oynamaktadır (Ceylan, 2025). Bununla birlikte, bu teknolojilerin yaygın kullanımı bazı tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle yapay zekânın insan etkileşiminin yerini ne ölçüde alabileceği, empati ve güven gibi sağlık iletişiminin temel unsurlarını nasıl etkileyeceği, ayrıca kullanılan verilerin kişisel ve hassas veriler içermesi ve verilerin korunması konusu önemli bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.2. Kullanım Alanları

Modern sağlık sistemleri, bilgi teknolojilerinin artan kullanımıyla birlikte teknolojik altyapılara giderek daha bağımlı hale gelmiştir. Akalın ve Veranyurt'a (2021) göre yapay zekâ uygulamaları; dokümantasyon, maliyet ve kapasite yönetimi gibi yönetsel işlevlerin yanı sıra tanısal görüntüleme, robotik cerrahi, ilaç geliştirme ve kişiye özel tedavi gibi klinik alanlarda da dönüşüm yaratmaktadır(Akalın & Veranyurt, 2021). Bu dönüşümün etkileşim boyutunda ise yapay zekâ, doğal dil işleme kapasitesi ve sohbet robotları (chatbot) aracılığıyla sağlık hizmetlerine entegre olmaktadır. Yapay zekâ destekli chatbotlar; hasta sorularını yanıtlama, semptom değerlendirme, randevu organizasyonu ve bilgilendirme süreçlerinde kullanılarak sağlık iletişimini dijital ortama taşımaktadır (Ceylan, 2025)

Bu etkileşim temelli yapıların kurumsal ölçekteki uzantılarından biri IVR (Etkileşimli Sesli Yanıt) sistemleridir. 2000'li yıllardan itibaren kullanılan geleneksel IVR sistemleri, statik yapıları nedeniyle yerini doğal dil işleme ve bağlamsal diyalog yönetimi yeteneklerine sahip yapay zekâ temelli sistemlere bırakmaktadır. Bu değişim, randevu planlama ve ilaç mutabakatı gibi süreçlerde daha esnek ve veri odaklı çözümler sunmaktadır(Padala, 2024). Bu bağlamda yapay zekâ temelli iletişim teknolojileri, sağlık hizmetlerinin erişilebilirliği ve hizmet sunum süreçlerinin organizasyonunda belirleyici hale gelmektedir.

İletişimsel uygulamaların ötesinde yapay zekâ, klinik karar destek sistemleri (KKDS) aracılığıyla teşhis ve tedavi süreçlerine de dahil olmaktadır. Sağlık profesyonellerine hızlı ve kanıta dayalı veri sağlayan bu sistemler, büyük veri analitiği ile birlikte sağlık yönetimi süreçlerinde daha görünür hale gelmiştir(Akalın & Veranyurt, 2021). Makine öğrenmesi algoritmalarıyla işlenen yüksek hacimli veriler, hekimlerin karmaşık vakalarda daha tutarlı ve veri temelli kararlar almasına katkı sağlamaktadır.

Benzer şekilde, yapay zekâ tabanlı görüntü işleme uygulamaları da klinik süreçlerde kullanılmaktadır. Derin öğrenme mimarileriyle çalışan bu sistemler; radyolojik görüntüler, patolojik örnekler ve dermatolojik bulgular üzerinde analiz yaparak teşhis süreçlerini desteklemektedir (Başarır vd., 2025). MR ve röntgen gibi görüntüleme verilerinin işlenmesi, değerlendirme sürecinin daha kısa sürede tamamlanmasına katkı sunmaktadır.

Sağlık alanında veri üretiminin artması, yapay zekâ destekli veri analizi yöntemlerini ön plana çıkarmıştır. Bu sistemler; hasta kayıtları ve laboratuvar sonuçları gibi farklı veri türlerini birlikte değerlendirerek anlamlı çıktılar üretmektedir. Doğal dil işleme tabanlı araçlar ise yapılandırılmamış klinik verilerin analizini kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen sonuçların klinik uzmanlar tarafından değerlendirilmesi gerekliliği devam etmektedir (Yiğit vd., 2023).

Yapay zekânın sağlık hizmetlerine yansıdığı bir diğer alan ise teletıp uygulamalarıdır. Teletıp, dijital iletişim teknolojileri aracılığıyla sağlık hizmetlerinin mekân bağımsız olarak sunulmasını mümkün kılmaktadır. Geleneksel olarak ses ve video tabanlı yürütülen bu hizmetler, özellikle kronik hastalık takibi ve uzaktan

bakım süreçlerinde kullanılmaktadır. Yapay zekâ entegrasyonu ile birlikte teletıp sistemleri, uzaktan izleme verilerini analiz edebilen ve erken müdahale imkânı sunan bir yapıya evrilmiştir. Bu sistemler, gerçek zamanlı analiz ve anomali tespiti yoluyla sağlık profesyonellerine destek sağlamaktadır (Ekiyor & Gök, 2021) .

Ayrıca yapay zekâ, bireysel özelliklere göre sağlık bilgilerini uyarlayarak sağlık eğitimi süreçlerinde de kullanılmaktadır. Bununla birlikte, fiziksel rehabilitasyon alanındaki uygulamaların klinik etkileri henüz yeterince kapsamlı biçimde ortaya konmamıştır ve bu alanda daha fazla ampirik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Sumner vd., 2023). Sonuç olarak yapay zekâ, idari yönetimden klinik karar süreçlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahip olup sağlık hizmetlerinin yapısını dönüştürmektedir; bu bağlamda fizyoterapi ve rehabilitasyon alanında veri temelli kişiselleştirilmiş uygulamalar ve uzaktan izleme olanaklarıyla gelecekte daha yaygın bir kullanım potansiyeli taşımaktadır.

3. FİZİKSEL REHABİLİTASYONDA YAPAY ZEKA DESTEKLİ İLETİŞİM UYGULAMALARI

Fiziksel rehabilitasyon süreçlerinde yapay zekâ destekli çözümlerin sunduğu yenilikçi yaklaşımlar, tedavi verimliliğini ve hasta güvenliğini artırma noktasında her geçen gün daha fazla değer kazanmaktadır. Özellikle son yıllarda yapay zekâ destekli tedavi programlarının hızlı gelişimi, gelecekte kronik hastalık yönetiminin vazgeçilmez bir bileşeni olma potansiyeli taşımaktadır (Ruilope vd., 2021). Bu yaklaşım, yaşam tarzı değişikliklerinin uygulanmasını destekleyen ve hastalık yönetim sürecini akıllı telefon uygulamaları ile cihaz algoritmaları üzerinden kolaylaştırmayı amaçlayan, sağlık alanında umut vadeden bir disiplin olarak öne çıkmaktadır (Nomura vd., 2022). Söz konusu tedavi programlarının sağlık sistemleri içerisinde giderek daha geniş yer edindiği görülmekte olup, Japonya'da yürütülen HERB Dijital Hipertansiyon 1 temel çalışması bu alandaki başarılı uygulama örneklerinden biridir (Kario vd., 2021) . Bununla birlikte, kronik hastalık yönetimini iyileştirmek amacıyla geliştirilen birçok mobil teknolojinin, sağlık profesyonellerinin veya tıbbi kuruluşların doğrudan katılımı olmadan tasarlanmış olması ve uzun vadeli klinik faydalarına dair kanıtların henüz yetersiz kalması önemli bir sorundur (McLean vd., 2016). Mevcut uygulamaların birçoğu, gerçek zamanlı hareket geri bildirimi sunamamaları nedeniyle sınırlamalarla karşılaşmakta; bu durum hastaların egzersiz reçetelerine uyumunun etkin bir şekilde izlenmesini ve sürdürülmesini zorlaştırmaktadır. Bu teknolojik boşluk, 3D iskelet pozisyonu tanıma teknolojisinin tıbbi potansiyelini açıkça vurgular. İnsan hareket verilerini yakalayıp analiz eden bu sistemler; gerçek zamanlı düzeltici rehberlik ve dinamik olarak uyarlanabilir müdahaleler sağlayarak, egzersiz güvenliğini ve etkinliğini koruyan akıllı bir monitör görevi görmektedir.

Yapay zekâ teknolojileri içerisinde insan davranışını anlama ve yorumlama kapasitesiyle öne çıkan postür tanıma sistemleri, son yıllarda temel bir araştırma odağı haline gelmiştir. Postür tanıma teknolojisi; insan hareketlerini yakalayarak, analiz ederek ve yorumlayarak makinelerin insan davranışını derinlemesine anlamasını sağlamakta ve böylece insan-makine etkileşiminde bir sıçrama gerçekleştirmektedir. Görüntü veya video verileri üzerinden bireyin konum ve yönelimini hassas bir şekilde algılayan bu teknoloji, telerehabilitasyon hizmetlerinin doğruluğunu ve kalitesini önemli ölçüde artırabilmektedir (Maskeliūnas vd., 2023). Yapay zekâ tabanlı postür analizi teknikleri, hasta hareketlerindeki değişimleri ölçmek ekstremite veya eklem fonksiyonlarını değerlendirmek amacıyla dijital temsillerin yeniden yapılandırılmasına olanak tanır (Yang vd., 2023). Bu süreç, tedavi aşamasındaki hastalara postür hatalarını fark etmeleri ve düzeltmeleri için anlık geri bildirim sağlar. 3D postür tanıma teknolojisiyle entegre edilmiş yapay zekâ tabanlı bir telerehabilitasyon sisteminin, sarkopeni hastaları için egzersiz müdahalelerinde uygulanabilir ve etkili bir alternatif olabileceğini göstermiştir (Wei vd., 2024). Ayrıca yapay zekâ destekli çok modlu hareket tabanlı telerehabilitasyon uygulamalarının, bel ağrısı olan hastalarda ağrı düzeyini önemli ölçüde iyileştirebildiği ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha başarılı klinik sonuçlar sağladığı bildirilmektedir (Xiao vd., 2025). Yüksek hassasiyetli hareket yakalama ve gerçek zamanlı geri bildirim mekanizmaları aracılığıyla hasta eğitiminin etkinliğini artıran bu teknoloji, müdahale etkisi bakımından geleneksel yüz

yüze eğitim programlarına eşdeğer sonuçlar sunarken, aynı zamanda rehabilitasyon uygulamalarının standardizasyonunu ve kalitesini optimize etmektedir. Sonuç olarak, yapay zekâ destekli bu sistemler sadece teknik bir izleme aracı değil, aynı zamanda doğru geri bildirimler yoluyla hastanın tedavi sürecindeki farkındalığını ve kendine güvenini artıran iletişimsel bir köprü işlevi görmektedir.

Teknolojinin sağladığı bu yüksek doğruluk payı, rehabilitasyonun insan odaklı yapısını güçlendirerek klinisyen ile hasta arasındaki bilgi paylaşımını ve terapötik süreci daha şeffaf bir zemine taşımaktadır.

4. AVANTAJ VE SINIRLILIKLAR

Yapay zekâ destekli teknoloji tabanlı tedavi programları; erişilebilirlik, kişiselleştirme ve anlık veri akışı gibi tedavi verimliliğini artıran pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Bu sistemlerin sunduğu yüksek doğruluk payı, ölçülebilirlik ve gerçek zamanlı geri bildirim mekanizmaları; hastanın egzersiz devamlılığını ve öz-yönetim becerilerini güçlendirerek geleneksel rehabilitasyon yöntemlerini desteklemektedir (Cottrell vd., 2017; Peretti vd., 2017). Özellikle ulaşım zorluğu yaşayan hastalar için sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırması ve klinisyenlere objektif veriler sunması bu teknolojilerin en temel yararları arasındadır.

Bununla birlikte, bu yenilikçi çözümler bazı riskleri ve sınırlılıkları da barındırmaktadır. Her ne kadar ileri düzeyde olsa da bir yapay zekâ sisteminin insan odaklı karar verme süreçlerinde yeterli duygusallık, sezgi ve yaratıcılık seviyesine ulaşamayacağı vurgulanmaktadır (Jarrahi, 2018). Tamamen dijitalleşmiş prosedürlerin, rehabilitasyonun özü olan insani teması ve fiziksel etkileşimi azaltması; hastanın psikolojik tatminini olumsuz etkileyebilmekte, sosyal izolasyon ve öz-benlik saygısında düşüş gibi sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca, yapay zekanın yalnızca planlanan görevleri yerine getirebilmesi, rutin dışı bir durumla karşılaştığında hatalı sonuçlar verme veya sistemin çökme riski, klinik güvenliği tehdit edebilecek bir dezavantajdır (Bhbosale vd., 2020). Sağlık profesyonellerinin bu sistemlerin kararlarına aşırı güvenmesi, kendi klinik deneyimlerini ve etik muhakemelerini göz ardı etmelerine neden olabilir.

Eğitim verilerindeki uyuşmazlıklar, işsizlik kaygısı ve teknolojik bağımlılık gibi sorunların yanı sıra; geniş ölçekli veri kullanımı veri gizliliği ve güvenliği açısından temel bir tartışma konusudur. Hassas sağlık bilgilerinin kötü niyetli erişimlere açık olması veya algoritmaların önyargılı verilerle eğitilmesi sonucu ortaya çıkabilecek ayrımcı kararlar, etik ihlallere zemin hazırlayabilir (Tarcan vd., 2024). Özellikle tanı ve tedavi önerilerinde ortaya çıkabilecek hatalarda sorumluluğun (sistem sahibi, geliştirici veya klinisyen) kime ait olduğu konusu henüz hukuki bir netliğe kavuşmamıştır. Bu nedenle, teknolojik gelişmelerin hızıyla uyumlu uluslararası etik standartların belirlenmesi, yapay zekanın sağladığı avantajlardan güvenli bir şekilde yararlanılabilmesi için şarttır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık iletişimi süreçlerindeki rolünü fiziksel rehabilitasyon bağlamında ele almış ve mevcut literatür doğrultusunda çok boyutlu bir değerlendirme sunmuştur. Elde edilen bulgular, yapay zekâ destekli sistemlerin hasta eğitimi, geri bildirim mekanizmaları, uzaktan izleme ve bilgiye erişim gibi alanlarda rehabilitasyon süreçlerine önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Özellikle chatbotlar, sanal asistanlar ve teletıp uygulamaları aracılığıyla hasta–fizyoterapist etkileşiminin sürekliliği desteklenmekte; bu durum hasta uyumu, egzersiz devamlılığı ve öz-yönetim becerileri üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır.

Bununla birlikte, yapay zekâ tabanlı iletişim araçlarının empati, güven ve terapötik bağ gibi insan etkileşiminin temel bileşenlerini tam anlamıyla karşılayamadığı görülmektedir. Fiziksel rehabilitasyonun doğası gereği yoğun insan teması, bireysel motivasyon ve psikososyal destek gerektirmesi, bu teknolojilerin tek başına yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca veri güvenliği, etik sorumluluklar ve algoritmik karar süreçlerinin şeffaflığı gibi konular, yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilir ve güvenilir biçimde kullanılabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

Yapay zekâ sistemleri, fizyoterapistlerin yerini alan değil, klinik karar süreçlerini ve iletişimi destekleyen tamamlayıcı araçlar olarak konumlandırılmalıdır.

Rehabilitasyon süreçlerinde kullanılan yapay zekâ uygulamalarının, hasta deneyimi, güven algısı ve terapötik ilişki üzerindeki etkilerini ölçen daha fazla ampirik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapay zekâ tabanlı sistemlerin tasarımında, biyopsikososyal model doğrultusunda hastanın psikolojik ve sosyal ihtiyaçlarını da dikkate alan kullanıcı odaklı yaklaşımlar geliştirilmelidir.

Veri güvenliği, etik kullanım ve hasta mahremiyeti konularında standartlar güçlendirilmeli ve bu sistemlerin denetlenebilirliği artırılmalıdır.

Fizyoterapi ve rehabilitasyon alanında çalışan sağlık profesyonellerinin, yapay zekâ teknolojilerini etkin kullanabilmeleri için dijital yetkinliklerini artırmaya yönelik eğitim programları yaygınlaştırılmalıdır.

Sonuç olarak yapay zekâ, fiziksel rehabilitasyon süreçlerinde sağlık iletişimini destekleyen ve dönüştüren önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu dönüşümün sürdürülebilir ve etkili olabilmesi, teknolojik yeniliklerin insan odaklı bakım anlayışıyla dengeli bir biçimde bütünleştirilmesine bağlıdır.

KAYNAKÇA

Akalın, B., & Veranyurt, Ü. (2021). Sağlık hizmetleri ve yönetiminde yapay zekâ. *Acta Infologica, 5.* https://doi.org/10.26650/acin.850857

Akman Dömbekci, H., & K. M. K. (2025). Sağlık iletişiminde etik ve aydınlatılmış onam. *TOGÜ Erbaa Sağlık ve Yönetim Dergisi, 2*(1), 52–81.

Argent, R., Daly, A., & Caulfield, B. (2018). Patient involvement with home-based exercise programs: Can connected health interventions influence adherence? *JMIR mHealth and uHealth, 6*(3). https://doi.org/10.2196/mhealth.8518

Başarır, Ç., Yılmaz, Ö., Torun, N. K., Önalan, M., Seymen, Ö. F., Akgül, V., Aksoy, M., Boz, B., Türkan, M., Tanrıverdi, İ., Günar, A., Hatipoğlu, C., & Özaydın, O. (2025). *Veri çağında insan: Sosyal bilimlerin geleceği.* Özgür Yayınları. https://doi.org/10.58830/OZGUR.PUB1026

Beattie, P., Turner, C., Dowda, M., Michener, L., & Nelson, R. (2005). The MedRisk instrument for measuring patient satisfaction with physical therapy care: A psychometric analysis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 35*(1), 24–32. https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.1.24

Bhbosale, S., Pujari, V., & Multani, Z. (2020). Advantages and disadvantages of artificial intelligence. *Aayushi International Interdisciplinary Research Journal*, 227–230. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3205642

Bordin, E. S. (1979). The generalizability of the psychoanalytic concept of the working alliance. *Psychotherapy: Theory, Research & Practice, 16*(3), 252–260. https://doi.org/10.1037/H0085885

Castarlenas, E., Sánchez-Rodríguez, E., Roy, R., Tomé-Pires, C., Solé, E., Jensen, M. P., & Miró, J. (2021). Electronic health literacy in individuals with chronic pain and its association with psychological function. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(23), 12528. https://doi.org/10.3390/ijerph182312528

Ceylan, A. (2025). Yapay zekânın sağlık iletişiminde kullanımı: Fırsatlar, tehditler ve öneriler. *Journal of Medical Topics and Updates, 4*(2), 54–61. https://doi.org/10.58651/JOMTU.1753914

Cottrell, M. A., Galea, O. A., O'Leary, S. P., Hill, A. J., & Russell, T. G. (2017). Real-time telerehabilitation for the treatment of musculoskeletal conditions is effective and comparable to standard practice: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation, 31*(5), 625–638. https://doi.org/10.1177/0269215516645148

Eej, M., & Jordan, J. L. (2010). Interventions to improve adherence to exercise for chronic musculoskeletal pain in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* https://doi.org/10.1002/14651858.CD005956.pub2

Ekiyor, A., & Gök, G. (2021). Tele-tıp Covid-19'a meydan okur mu? *Humanities and Administrative Sciences Open Access Refereed E-Journal & Refereed & Indexed JOSHAS Journal, 7*(39), 727–736. https://doi.org/10.31589/JOSHAS.601

Epstein, R. M., Fiscella, K., Lesser, C. S., & Stange, K. C. (2010). Why the nation needs a policy push on patient-centered health care. *Health Affairs, 29*(8), 1489–1495. https://doi.org/10.1377/hlthaff.2009.0888

Ferreira, P. H., Ferreira, M. L., Maher, C. G., Refshauge, K. M., Latimer, J., & Adams, R. D. (2013). The therapeutic alliance between clinicians and patients predicts outcome in chronic low back pain. *Physical Therapy, 93*(4), 470–478. https://doi.org/10.2522/ptj.20120137

Foster, N. E., & Delitto, A. (2011). Embedding psychosocial perspectives within clinical management of low back pain. *Physical Therapy, 91*(5), 790–803. https://doi.org/10.2522/ptj.20100326

Fuertes, J. N., Mislowack, A., Bennett, J., Paul, L., Gilbert, T. C., Fontan, G., & Boylan, L. S. (2007). The physician–patient working alliance. *Patient Education and Counseling, 66*(1), 29–36. https://doi.org/10.1016/j.pec.2006.09.013

Gatchel, R. J., Peng, Y. B., Peters, M. L., Fuchs, P. N., & Turk, D. C. (2007). The biopsychosocial approach to chronic pain. *Psychological Bulletin, 133*(4), 581–624. https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.581

Hall, A. M., Ferreira, P. H., Maher, C. G., Latimer, J., & Ferreira, M. L. (2010). The influence of the therapist–patient relationship on treatment outcome. *Physical Therapy, 90*(8), 1099–1110. https://doi.org/10.2522/ptj.20090245

Hall, M. A., Zheng, B., Dugan, E., Camacho, F., Kidd, K. E., Mishra, A., & Balkrishnan, R. (2002). Measuring patients' trust in their primary care providers. *Medical Care Research and Review, 59*(3), 293–318. https://doi.org/10.1177/1077558702059003004

Horvath, A. O. (2001). The alliance. *Psychotherapy, 38*(4), 365–372. https://doi.org/10.1037/0033-3204.38.4.365

Hutting, N., Caneiro, J. P., Ong'wen, O. M., Miciak, M., & Roberts, L. (2022). Patient-centered care in musculoskeletal practice. *Musculoskeletal Science and Practice, 57*. https://doi.org/10.1016/j.msksp.2021.102434

Jack, K., McLean, S. M., Moffett, J. K., & Gardiner, E. (2010). Barriers to treatment adherence in physiotherapy outpatient clinics. *Manual Therapy, 15*(3), 220–228. https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004

Jarrahi, M. H. (2018). Artificial intelligence and the future of work. *Business Horizons, 61*(4), 577–586. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007

Kario, K., Nomura, A., Harada, N., Okura, A., Nakagawa, K., Tanigawa, T., & Hida, E. (2021). Efficacy of a digital therapeutics system in hypertension. *European Heart Journal, 42*(40), 4111–4122. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab559

Kevser Sezer Korucu, Ş., Çalışkan Söylemez, Ş., & Oksay, A. (2021). Biyopsikososyal yaklaşım ve gelişim süreci. *Vizyoner, 30*, 689–700. https://doi.org/10.21076/vizyoner.780418

Kinney, M., Seider, J., Beaty, A. F., Coughlin, K., Dyal, M., & Clewley, D. (2020). The impact of therapeutic alliance in physical therapy. *Physiotherapy Theory and Practice, 36*(8), 886–898. https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1516015

Koçyiğit, A., & Darı, B. (2023). Yapay zekâ iletişiminde ChatGPT: İnsanlaşan dijitalleşmenin geleceği. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7*(2), 427–438. https://doi.org/10.30692/SISAD.1311336

Lin, I., Wiles, L., Waller, R., Caneiro, J. P., Nagree, Y., Straker, L., Maher, C. G., & O'Sullivan, P. (2020). Patient-centred care: The cornerstone for high-value care. *British Journal of Sports Medicine, 54*(21), 1240–1242. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101918

Main, C. J., & George, S. Z. (2011). Psychologically informed practice for low back pain. *Physical Therapy, 91*(5), 820–824. https://doi.org/10.2522/ptj.20110060

Maskeliūnas, R., Kulikajevas, A., Damaševičius, R., Griškevičius, J., & Adomavičienė, A. (2023). Biomac3D: 2D-to-3D human pose analysis model. *Applied Sciences, 13*(2), 1116. https://doi.org/10.3390/app13021116

Mauksch, L. B., Dugdale, D. C., Dodson, S., & Epstein, R. (2008). Relationship, communication, and efficiency in the medical encounter. *Archives of Internal Medicine, 168*(13), 1387–1395. https://doi.org/10.1001/archinte.168.13.1387

McLean, G., Band, R., Saunderson, K., Hanlon, P., Murray, E., Little, P., McManus, R. J., Yardley, L., & Mair, F. S. (2016). Digital interventions to promote self-management in hypertension. *Journal of Hypertension, 34*(4), 600–612. https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000000859

McLeod, B. D. (2011). Relation of the alliance with outcomes in youth psychotherapy. *Clinical Psychology Review, 31*(4), 603–616. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.02.001

Mercer, S. W., Maxwell, M., Heaney, D., & Watt, G. C. M. (2004). The CARE measure. *Family Practice, 21*(6), 699–705. https://doi.org/10.1093/fampra/cmh621

Nomura, A., Tanigawa, T., Kario, K., & Igarashi, A. (2022). Cost-effectiveness of digital therapeutics. *Hypertension Research, 45*(10), 1538–1548. https://doi.org/10.1038/s41440-022-00952-x

Padala, S. (2024). AI-powered intelligent IVR in healthcare. *International Journal of Artificial Intelligence, Data Science and Machine Learning, 5*, 186–191. https://doi.org/10.63282/3050-9262.IJAIDSML-V5I1P119

Peretti, A., Amenta, F., Tayebati, S. K., Nittari, G., & Mahdi, S. S. (2017). Telerehabilitation: Review of the state of the art. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies, 4*(2). https://doi.org/10.2196/rehab.7511

Pisters, M. F., Veenhof, C., Van Meeteren, N. L. U., Ostelo, R. W., De Barker, D. H., Schellevis, F. G., & Dekker, J. (2007). Long-term effectiveness of exercise therapy. *Arthritis and Rheumatism, 57*(7), 1245–1253. https://doi.org/10.1002/art.23009

Ramesh, A. N., Kambhampati, C., Monson, J. R. T., & Drew, P. J. (2004). Artificial intelligence in medicine. *Annals of the Royal College of Surgeons of England, 86*(5), 334–338. https://doi.org/10.1308/147870804290

Ruilope, L. M., Valenzuela, P. L., & Lucia, A. (2021). Digital therapeutics and lifestyle. *European Heart Journal, 42*(40), 4123–4125. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab694

Sharma, S., & Guleria, K. (2023). Federated learning based models for healthcare. *Artificial Intelligence in Medicine, 146.* https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102691

Street, R. L., Gordon, H., & Haidet, P. (2007). Physicians' communication and perceptions of patients. *Social Science & Medicine, 65*(3), 586–598. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2007.03.036

Sumner, J., Lim, H. W., Chong, L. S., Bundele, A., Mukhopadhyay, A., & Kayambu, G. (2023). Artificial intelligence in physical rehabilitation. *Artificial Intelligence in Medicine, 146.* https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693

Tarcan, G. Y., Balçık, P. Y., & Sebik, N. B. (2024). Türkiye ve dünyada sağlık hizmetlerinde yapay zekâ. *Lokman Hekim Dergisi, 14*(1), 50–60. https://doi.org/10.31020/mutftd.1278529

Tran, B. X., Vu, G. T., Ha, G. H., Vuong, Q. H., Ho, M. T., Vuong, T. T., La, V. P., Nghiem, K. C. P., Nguyen, H. L. T., Latkin, C. A., Tam, W. W. S., Cheung, N. M., Nguyen, H. K. T., Ho, C. S. H., & Ho, R. C. M. (2019). Global evolution of research in artificial intelligence. *Journal of Clinical Medicine, 8*(3). https://doi.org/10.3390/jcm8030360

Vervloet, M., Linn, A. J., van Weert, J. C. M., de Bakker, D. H., Bouvy, M. L., & van Dijk, L. (2012). Electronic reminders to improve adherence. *Journal of the American Medical Informatics Association, 19*(5), 696–704. https://doi.org/10.1136/amiajnl-2011-000748

Wade, D. T., & Halligan, P. W. (2017). The biopsychosocial model of illness. *Clinical Rehabilitation, 31*(8), 995–1004. https://doi.org/10.1177/0269215517709890

Wei, M., Meng, D., He, S., Lv, Z., Guo, H., Yang, G., & Wang, Z. (2024). AI-enhanced telerehabilitation in older individuals. *European Geriatric Medicine, 16*(1), 115–123. https://doi.org/10.1007/s41999-024-01082-y

WHO. (2003). *Adherence to long-term therapies: Evidence for action.* https://www.paho.org/en/documents/who-adherence-long-term-therapies-evidence-action-2003

Xiao, C., Zhao, Y., Li, G., Zhang, Z., Liu, S., Fan, W., Hu, J., Yao, Q., Yang, C., Zou, J., Zeng, Q., & Huang, G. (2025). Clinical efficacy of multimodal exercise telerehabilitation based on AI. *JMIR mHealth and uHealth, 13*(1), e56176. https://doi.org/10.2196/56176

Yang, G., He, S., Meng, D., Wei, M., Cao, J., Guo, H., Ren, H., & Wang, Z. (2023). Non-contact detection of head forward posture. *BMC Medical Informatics and Decision Making, 23*(1), 179. https://doi.org/10.1186/s12911-023-02285-2

Yiğit, S., Berşe, S., & Dirgar, E. (2023). Yapay zekâ destekli dil işleme teknolojisi olan ChatGPT'nin sağlık hizmetlerinde kullanımı. *Eurasian Journal of Health Technology Assessment, 7*(1), 57–65. https://orcid.org/0000-0001-8214-7441

https://doi.org/10.71284/asc.2026146

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ FİNANSAL ARAÇLAR VE EKONOMİK DAVRANIŞ YARGILARI: KARMA YÖNTEMLİ BİR İNCELEME

AI-SUPPORTED FINANCIAL TOOLS AND ECONOMIC BEHAVIORAL JUDGMENTS: A MIXED-METHODS INVESTIGATION

Cansun Tanıl Tabakoğlu[1]

Özet

Yapay zekâ (YZ) destekli finansal araçlar; otomatik bütçe takibi, robo-danışmanlar, tasarruf öneri motorları ve algoritmik kredi değerlendirme sistemleri aracılığıyla bireylerin ekonomik karar alma süreçlerini köklü biçimde dönüştürmektedir. Davranışsal iktisat literatürü, bireylerin neoklasik teorinin varsaydığı türden tam rasyonel aktörler olmadığını; aksine sınırlı rasyonelliğin bir sonucu olarak sistematik bilişsel önyargılarla karar aldığını uzun süredir ortaya koymaktadır. Bu çalışma, YZ destekli finansal araçların üç temel önyargı —aşırı güven, kayıptan kaçınma ve çerçeveleme etkisi— üzerindeki etkisini Creswell ve Plano Clark'ın (2018) açıklayıcı ardışık karma yöntem tasarımı çerçevesinde incelemektedir. Nicel aşamada OECD/INFE, Kaggle, ICPSR ve Harvard Dataverse veri tabanlarından elde edilen ikincil veriler regresyon ve korelasyon modelleri ile analiz edilmiş; nitel aşamada ise App Store, Google Play, Reddit, Twitter/X ve fintech forumlarından derlenen kullanıcı içerikleri NVivo ortamında tematik içerik analizine tâbi tutulmuştur. Bulgular, YZ araçlarının aşırı güven önyargısını anlamlı biçimde azaltabildiğini; ancak kayıptan kaçınma eğilimini pekiştirebildiğini ve çerçeveleme etkisinin kaynağını geleneksel medyadan algoritmik arayüzlere taşıdığını göstermektedir. Çalışma, "algoritmik çerçeveleme" kavramını öne çıkararak teknolojik müdahalenin psikolojik olarak nötr olmadığını; tasarım kararlarının kullanıcı refahı üzerinde belirleyici rol oynadığını ve bu nedenle önyargı farkındalıklı tasarım (bias-aware design) ile düzenleyici denetimin zorunlu olduğunu savunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Davranışsal iktisat, yapay zekâ, finansal teknoloji, algoritmik çerçeveleme, kayıptan kaçınma, dürtme teorisi.

Abstract

Artificial intelligence (AI)-supported financial tools — including automated budgeting applications, robo-advisors, savings recommendation engines, and algorithmic credit-scoring systems — are fundamentally transforming individual economic decision-making. Behavioral economics has long demonstrated that individuals do not behave as the fully rational agents posited by neoclassical theory; rather, due to bounded rationality, they make decisions through systematic cognitive biases. This study examines the impact of AI-driven financial tools on three core biases — overconfidence, loss aversion, and the framing effect — within Creswell and Plano Clark's (2018) explanatory sequential mixed-methods design. The quantitative

[1] Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası İlişkiler, 25802301013@ogr.atu.edu.tr

phase analyzes secondary datasets drawn from OECD/INFE, Kaggle, ICPSR, and Harvard Dataverse using regression and correlation models, while the qualitative phase applies thematic content analysis (via NVivo) to user-generated material harvested from the App Store, Google Play, Reddit, Twitter/X, and fintech forums. The findings indicate that AI tools can meaningfully attenuate overconfidence bias, yet may simultaneously reinforce loss aversion and reposition the framing effect from traditional media onto algorithmic interfaces. Foregrounding the concept of "algorithmic framing," the study argues that technological intervention is not psychologically neutral; design decisions exert a decisive influence on user welfare, rendering bias-aware design and regulatory oversight imperative.

Keywords: Behavioral economics, artificial intelligence, financial technology, algorithmic framing, loss aversion, nudge theory.

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın ikinci çeyreğinde finansal hizmetler endüstrisi, makine öğrenmesi tabanlı sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte tarihsel bir dönüşüm geçirmektedir. Mobil bankacılık uygulamaları, robo-danışmanlar, otomatik bütçe yönetim platformları ve algoritmik kredi değerlendirme sistemleri; bireylerin para ile kurduğu ilişkiyi yalnızca araçsal düzeyde değil, bilişsel ve duygusal düzeyde de yeniden biçimlendirmektedir (Gomber vd., 2018; Philippon, 2019). Bu dönüşümün merkezindeki temel soru, yapay zekâ (YZ) destekli sistemlerin uzun süredir belgelenen ekonomik davranış önyargılarını azaltıp azaltmadığı ya da yeni biçimlerde pekiştirip pekiştirmediğidir.

Davranışsal iktisat geleneği, neoklasik iktisadın "homo economicus" varsayımına yönelik en güçlü eleştirileri üretmiştir. Simon (1955), bireylerin sınırsız bilgi işleme kapasitesine sahip olmadığını ve "sınırlı rasyonellik" (bounded rationality) çerçevesinde karar verdiğini öne sürmüştür. Tversky ve Kahneman (1974) ise yargısal hataların rastlantısal değil, sezgilere (heuristics) dayalı sistematik örüntüler olduğunu göstermiştir. Beklenti teorisi (Kahneman & Tversky, 1979) ile birlikte kayıptan kaçınma, çerçeveleme etkisi ve referans noktası bağımlılığı gibi olgular finansal karar alma literatürünün temel taşları hâline gelmiştir. Bu kuramsal birikim, son yirmi yılda davranışsal finans alanının olgunlaşmasını sağlamış ve bireysel yatırımcı davranışının sistematik biçimde sapma gösterdiği belgelenmiştir (Barber & Odean, 2013; Barberis, 2018; Shefrin, 2002).

YZ tabanlı finansal araçların yaygınlaşması bu kuramsal çerçeve açısından çift yönlü bir gerilim yaratmaktadır. Bir yandan, algoritmik sistemler kullanıcılara nesnel veriye dayalı geri bildirim sunarak bilişsel önyargıları "düzeltebilir" konumdadır (Thaler & Sunstein, 2008; Yeomans vd., 2019). Diğer yandan, bu sistemlerin kendisi tasarım tercihleri aracılığıyla yeni bir çerçeveleme mimarisi inşa etmekte; kullanıcının dikkatini, beklentisini ve kaygısını yönlendirmektedir (Susser vd., 2019; Zuboff, 2019). Söz konusu çift yönlü etki, mevcut literatürde yeterince incelenmemiş bir gerilim olarak durmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmaya yönelik bir girişimdir. Temel araştırma sorusu şudur: YZ destekli finansal araçlar ekonomik davranış önyargılarını nasıl etkilemektedir? Bu genel sorudan türeyen üç alt soru şu biçimde formüle edilmiştir: (1) Aşırı güven önyargısı, nesnel veri geri bildirimi sayesinde anlamlı biçimde azalmakta mıdır? (2) Kayıptan kaçınma eğilimi, kayıp odaklı algoritmik bildirimlerin etkisiyle nasıl bir dönüşüm geçirmektedir? (3) Algoritmik çerçeveleme, geleneksel çerçeveleme etkisinden hangi boyutlarda farklılaşmaktadır? Çalışma, bu sorulara karma yöntemli bir tasarımla yanıt aramakta; nicel göstergelerin sunduğu örüntüsel verileri, kullanıcı söylemlerinin sunduğu psikolojik derinlikle birleştirmektedir.

Makalenin teorik katkısı, "algoritmik çerçeveleme" kavramının ayrıştırılmasıdır. Geleneksel çerçeveleme statik, kişisel olmayan ve büyük ölçüde tek yönlüdür; algoritmik çerçeveleme ise dinamik, kişisel veriye

dayalı ve sürekli güncellenen bir yapıdadır. Bu fark, hem teorik düzeyde yeni bir kavramsallaştırmayı hem de düzenleyici politika açısından özgün bir tartışmayı zorunlu kılmaktadır. Çalışma, bulguları ışığında "önyargı farkındalıklı tasarım" (bias-aware design) ilkesini ve algoritmik şeffaflığa yönelik denetim önerilerini gündeme getirmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Sınırlı Rasyonellik ve Davranışsal İktisadın Temelleri

Davranışsal iktisadın kuramsal temeli, Simon'ın (1955) sınırlı rasyonellik kavramına dayanır. Simon'a göre bireyler, kararlarını tüm seçenekleri optimize ederek değil; bilişsel kapasiteleri, zaman kısıtları ve bilgiye erişim sınırları çerçevesinde "tatmin edici" (satisficing) sonuçlar arayarak verir. Bu çerçeve, sonraki kuşak iktisatçılar tarafından zenginleştirilmiş; özellikle Kahneman ve Tversky'nin çalışmaları, sınırlı rasyonelliğin sistematik bilişsel önyargılar üretmesinin nedenlerini ortaya koymuştur (Tversky & Kahneman, 1974, 1981).

Kahneman'ın (2011) iki sistemli düşünme modeli, davranışsal iktisat literatürünün en kapsamlı sentezlerinden birini sunar. Sistem 1 hızlı, otomatik, sezgisel ve duygusaldır; Sistem 2 yavaş, çabalı, analitik ve mantıksaldır. Finansal kararlar büyük çoğunlukla Sistem 1 tarafından yönetilir; bu da bilişsel kestirme yollarının (heuristics) sistematik hatalara yol açtığı anlamına gelir. YZ destekli finansal araçların önemi tam da bu noktada belirginleşmektedir: Bu araçlar Sistem 1 ile Sistem 2 arasındaki köprü işlevini görerek otomatik karar süreçlerine analitik müdahale ekleyebilir; ancak aynı zamanda Sistem 1'in sezgisel hızını sömürerek yeni bilişsel kısa yollar da yaratabilir (Mullainathan & Spiess, 2017).

Yapay zekâ, 1956 yılında gerçekleştirilen Dartmouth Çalıştayı ile bilimsel bir alan olarak ortaya çıkmış ve insan zekâsına özgü süreçlerin makineler tarafından taklit edilebileceği düşüncesine dayandırılmıştır (McCarthy vd., 2006). Luger'e (2025) göre yapay zekâ, akıllı davranışların otomasyonunu sağlayan bir bilgisayar bilimi alanıdır. Endüstri 4.0 ile birlikte yapay zekâ ve dijital teknolojiler, işletmelerin iş süreçlerinde köklü değişimlere yol açmış; dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Badri vd., 2018). Bu süreçte çalışanların dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi ve organizasyonel uyumun sağlanması önem taşımaktadır (Issa vd., 2018). Günümüzde yapay zekâ, özellikle iş sağlığı ve güvenliği alanında risklerin belirlenmesi ve yönetilmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır (Hamet & Tremblay, 2017). COVID-19 pandemisi sonrası dijital İSG uygulamaları hız kazanırken, veri güvenliği, artan zihinsel iş yükü ve yasal düzenleme eksiklikleri gibi sorunlar da ortaya çıkmıştır (Doval & Negulescu, 2024). Bu nedenle etik, risk yönetimi ve dijital yetkinliklerin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır (Polak-Sopinska vd., 2020).

1.2. Aşırı Güven Önyargısı

Aşırı güven (overconfidence), bireylerin kendi bilgi, beceri ve tahminlerine gereğinden fazla güvenmesi olarak tanımlanır (Moore & Healy, 2008). Davranışsal finans literatüründe bu önyargı, bireysel yatırımcıların aşırı işlem yapma (overtrading), yetersiz çeşitlendirme ve risk yanlış-fiyatlandırma davranışlarının temel nedeni olarak gösterilmektedir. Barber ve Odean'ın (2001) ABD'de 35.000 hane üzerinde yürüttüğü ufuk açıcı çalışma, erkek yatırımcıların kadın yatırımcılara kıyasla yüzde 45 daha fazla işlem yaptığını ve bu durumun yıllık net getirilerini yüzde 1'in üzerinde düşürdüğünü göstermiştir. Aşırı güvenin kaynakları arasında geriye dönük yanlılık (hindsight bias), kontrol yanılsaması ve onay yanlılığı yer almaktadır (Glaser & Weber, 2007).

Daniel ve Hirshleifer (2015), aşırı güvenin yalnızca bireysel düzeyde değil, piyasa düzeyinde de fiyat anomalilerine yol açtığını öne sürmektedir. Aşırı güvenin "düzeltilebilir" bir önyargı olduğu yönündeki iyimser tez, eğitim müdahalelerinin sınırlı etkisine ilişkin meta-analizlerle (Fischhoff, 1982) zayıflasa da; nesnel veri geri bildiriminin aşırı güveni anlamlı biçimde dengelediği gösterilmiştir. YZ destekli araçlar, kullanıcının kendi finansal davranışına ilişkin mikro düzeyli ve sürekli güncellenen veri sunduğu için bu

önyargıyı azaltma potansiyeli taşır (D'Acunto vd., 2019).

1.3. Kayıptan Kaçınma ve Beklenti Teorisi

Kahneman ve Tversky'nin (1979) beklenti teorisi (prospect theory), modern davranışsal iktisadın en etkili kuramsal yapı taşıdır. Teorinin merkezindeki bulgu, eşdeğer büyüklükteki bir kaybın, eşdeğer büyüklükteki bir kazançtan yaklaşık iki kat daha güçlü bir psikolojik etki yarattığıdır. Bu asimetri —kayıp katsayısı genellikle 2.0 ile 2.5 arasında raporlanır (Tversky & Kahneman, 1992)— bireylerin neden zarardaki pozisyonları satmamakta direndiğini, neden makul yatırım fırsatlarını kaçırdığını ve neden belirsizlik altında risk-arayan davranışa yöneldiğini açıklar.

Beklenti teorisi, finansal psikoloji literatüründe "disposition effect" olarak bilinen olgunun da temelini oluşturur (Shefrin & Statman, 1985; Odean, 1998). Yatırımcılar, kazançtaki hisseleri çok erken satarken zarardaki hisseleri çok uzun süre tutmaktadır. Bu davranışın altında yalnızca kayıptan kaçınma değil; pişmanlıktan kaçınma (regret aversion) ve zihinsel muhasebe (Thaler, 1985) gibi tamamlayıcı süreçler de bulunmaktadır. YZ destekli araçların bu önyargı üzerindeki etkisi karmaşıktır: Sistem hem kullanıcıyı zarardaki pozisyonlarından çıkmaya teşvik edebilir, hem de "bu ay X tutarında kayıptasınız" biçimindeki kayıp odaklı bildirimlerle kaygı düzeyini yükselterek kaçınma davranışını pekiştirebilir (Barberis, 2013).

1.4. Çerçeveleme Etkisi ve Algoritmik Çerçeveleme

Çerçeveleme etkisi (framing effect), Tversky ve Kahneman'ın (1981) "Asya hastalığı problemi" deneyiyle ortaya konulmuştur. Aynı bilginin "200 kişi kurtulacak" biçiminde kazanç çerçevesinde sunulması ile "400 kişi ölecek" biçiminde kayıp çerçevesinde sunulması, katılımcıların seçimlerinde dramatik farklılıklara yol açmıştır. Bu bulgu, rasyonel tercih kuramının "tanımlama bağımsızlığı" (description invariance) aksiyomunu doğrudan çürütmüştür (Levin vd., 1998).

Çerçeveleme etkisi medya çalışmaları, siyaset bilimi ve iletişim alanlarında geniş biçimde uygulanmıştır (Entman, 1993; Chong & Druckman, 2007). Ancak yapay zekâ çağında bu kavramın yeni bir biçimi gündeme gelmiştir: algoritmik çerçeveleme. Geleneksel çerçeveleme statik, kişisel olmayan ve görece görünür bir süreçtir; bir gazete manşeti ya da bir reklam, kaynak metnini açıkça belli eder. Algoritmik çerçeveleme ise dinamik, kişisel veriye dayalı, sürekli güncellenen ve büyük ölçüde görünmez bir biçimde işler. Bu nedenle kullanıcı tarafından "tarafsız bilgi" olarak algılanma eğilimi yüksektir (Susser vd., 2019; Yeung, 2017).

Sunstein'in (2014, 2016) "seçim mimarisi" (choice architecture) kavramı, bu süreci anlamak için önemli bir kuramsal araç sunar. Her arayüz, kullanıcıya seçenekleri sunmanın bir biçimine zorlanır; nötr bir sunum mümkün değildir. Algoritmik finansal araçlarda seçim mimarı, yalnızca bir tasarımcı değil; aynı zamanda kullanıcının davranışını öğrenip onu yeniden çerçeveleyen otonom bir sistemdir. Zuboff'un (2019) "gözetim kapitalizmi" çerçevesinde tartıştığı üzere, kullanıcı verilerinin sürekli toplanması ve bu verilere dayalı kişiselleştirilmiş çerçeveleme, finansal arayüzleri davranışsal etki gücü açısından geleneksel medyanın çok ötesine taşımaktadır.

1.5. Yapay Zekâ Destekli Finansal Araçlar: Kavramsal Bir Tipoloji

Bu çalışmanın inceleme nesnesi olan YZ destekli finansal araçlar, makine öğrenmesi tabanlı algoritmaların bireysel finansal karar alma süreçlerine entegre edildiği uygulamalar bütününü kapsamaktadır. Gomber ve arkadaşları (2018) finansal teknoloji ekosistemini dört ana kategoride incelemektedir: (1) ödeme sistemleri, (2) finansman ve yatırım, (3) varlık yönetimi ve (4) finansal danışmanlık. Bu çalışma açısından özellikle ilgili olan kategoriler, bireyin günlük finansal davranışıyla doğrudan etkileşime giren otomatik bütçe takibi uygulamaları, robo-danışmanlar, tasarruf öneri motorları ve algoritmik kredi değerlendirme sistemleridir.

Robo-danışmanlık alanında yapılan çalışmalar, bu araçların düşük maliyetli ve algoritmik olarak tutarlı portföy önerileri sunduğunu; ancak kullanıcıların algoritmik tavsiyeyi insan danışman tavsiyesine kıyasla daha az güvenilir bulduğunu (algorithm aversion) belgelemektedir (Dietvorst vd., 2015). Buna karşın

D'Acunto ve arkadaşları (2019), robo-danışman kullanımının özellikle az çeşitlendirilmiş portföylerde önemli refah artışları sağladığını göstermiştir. Otomatik bütçe takibi alanında ise Mint, YNAB ve Yolt gibi uygulamalar üzerine yapılan davranışsal araştırmalar, kullanıcıların harcama farkındalığında ve tasarruf oranında ölçülebilir gelişmeler ortaya koymuştur (Cocco vd., 2022).

Bu araçların ortak özelliği, kullanıcı davranışını sürekli gözlemleme, analiz etme ve kişiselleştirilmiş geri bildirim üretme kapasitesidir. Thaler ve Sunstein'in (2008) dürtme (nudge) teorisi, bu süreçleri kuramsallaştırmak için merkezî bir araç sağlar. Dürtmeler, bireyin seçim özgürlüğünü kısıtlamadan tercihleri belirli bir yöne yönlendiren tasarım müdahaleleridir. YZ destekli finansal araçlar, geleneksel dürtmelerden farklı olarak "hiper-kişiselleştirilmiş" dürtmeler (hyper-nudges) sunar (Yeung, 2017); kullanıcının önceki davranışlarına göre çerçevelemeyi gerçek zamanlı olarak günceller. Bu nitel sıçrama, dürtme teorisinin etik tartışmalarını yeniden alevlendirmektedir (Mills, 2022).

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, Creswell ve Plano Clark'ın (2018) kavramsallaştırdığı açıklayıcı ardışık karma yöntem (explanatory sequential mixed methods) tasarımını benimsemektedir. Bu yaklaşım, önce nicel verilerin toplanıp analiz edilmesini, ardından nitel verilerin nicel bulguları derinleştirip açıklamasını öngörmektedir. Yöntem seçimi iki temel gerekçeye dayanmaktadır: Birincisi, ekonomik davranış önyargıları nicel göstergelerle ölçülebilirken, bu önyargıların ardındaki psikolojik süreçler yalnızca nitel veriden yola çıkılarak derinlemesine anlaşılabilir (Tashakkori & Teddlie, 2010). İkincisi, yapay zekâ destekli finansal araçların kullanıcı deneyimi hem davranışsal hem de söylemsel boyutlar içerdiğinden, tek bir paradigma yeterli açıklayıcı güce sahip değildir (Johnson vd., 2007).

2.2. Nicel Aşama: İkincil Veri Analizi

Nicel aşamada Heaton'ın (2008) ikincil veri analizi metodolojisine uygun olarak dört kaynaktan veri derlenmiştir: OECD/INFE Uluslararası Finansal Okuryazarlık Anketi, Kaggle açık veri platformundaki fintech kullanım veri setleri, Inter-University Consortium for Political and Social Research (ICPSR) tüketici davranışı arşivi ve Harvard Dataverse'deki davranışsal finans çalışmalarına ait yeniden kullanılabilir veri setleri. Bu veri setleri üzerinden çoklu doğrusal regresyon ve Pearson korelasyon analizleri yürütülmüş; analizler SPSS 28 ve R (lme4 paketi) yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Önyargılar nicel olarak proxy göstergelerle ölçülmüştür. Heaton'a (2008) göre ikincil verinin metodolojik gücü, kavramsal değişkenlerin operasyonel göstergelerle dolaylı biçimde ölçülmesine dayanır. Bu çerçevede aşırı güven için işlem sıklığı (transaction frequency), portföy çeşitlendirme oranı ve öz-değerlendirme/gerçek-getiri farkı; kayıptan kaçınma için elde tutma süresi (holding period), zarardaki pozisyon oranı ve kazanç/kayıp realize etme zaman farkı; çerçeveleme etkisi için ise farklı sunum biçimlerine verilen yanıt değişkenliği temel göstergeler olarak kullanılmıştır. Tüm değişkenler hem YZ aracı kullanan örneklemde hem de kullanmayan kontrol örnekleminde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2.3. Nitel Aşama: İçerik Analizi

Nitel aşamada, nicel bulguların psikolojik bağlamını ortaya koymak amacıyla App Store ve Google Play kullanıcı yorumları, Reddit (özellikle r/personalfinance, r/financialindependence ve r/povertyfinance alt forumları), Twitter/X paylaşımları ve fintech tartışma forumlarından sistematik biçimde içerik derlenmiştir. Veri toplama sürecinde finansal teknoloji ürünleriyle ilgili anahtar kelimeler ve hashtag'ler kullanılmıştır. Toplam 4.200'ün üzerinde içerik birim olarak değerlendirilmiş; ardından kuramsal doygunluk ilkesine ulaşılana kadar (Saunders vd., 2018) içerik analizine devam edilmiştir.

Analiz, Krippendorff'un (2018) içerik analizi metodolojisi çerçevesinde NVivo 14 yazılımında gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada açık kodlama (open coding) ile kavramsal kategoriler türetilmiş; ikinci aşamada Tversky ve Kahneman'ın (1981) çerçeveleme tipolojisinden ve Thaler'ın (2015) zihinsel

muhasebe kategorilerinden yararlanılarak eksenel kodlama (axial coding) yapılmıştır. Kodlama güvenirliği için iki bağımsız kodlayıcı arasındaki uyum Cohen'in Kappa katsayısı ile değerlendirilmiş ve $\kappa = .81$ değeri elde edilmiştir; bu değer Landis ve Koch'un (1977) kriterlerine göre "neredeyse mükemmel" güvenirlik düzeyine karşılık gelmektedir.

2.4. Etik Hususlar

Çalışmada kullanılan tüm veriler kamuya açık kaynaklardan elde edilmiştir. Kullanıcı içeriklerinin analizinde British Psychological Society'nin (2021) çevrim içi araştırma etik kılavuzu izlenmiş; tüm kullanıcı kimlikleri anonimleştirilmiş, doğrudan alıntılar ise kullanıcı adlarını ifşa etmeyecek biçimde paraphrase edilerek sunulmuştur. Ayrıca, çevrim içi etnografi etik tartışmasında Markham ve Buchanan'ın (2012) önerdiği "bağlamsal bütünlük" ilkesi gözetilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Aşırı Güven Önyargısı: Düzeltici Etki ve Sınırları

Nicel analiz sonuçları, YZ destekli finansal araç kullanımının aşırı güven göstergelerinde anlamlı düşüşlere yol açtığını ortaya koymaktadır. Regresyon modellerinde, kontrol değişkenleri (yaş, gelir, eğitim, finansal okuryazarlık düzeyi) sabit tutulduğunda, YZ aracı kullanımının işlem sıklığında %18 ila %23 arasında bir düşüşle ilişkili olduğu görülmüştür ($\beta = -.21$, $p < .001$). Bu bulgu, Barber ve Odean'ın (2013) bireysel yatırımcılarda aşırı işlemin temel zarar kaynağı olduğu tespitiyle birlikte değerlendirildiğinde, YZ araçlarının ölçülebilir bir refah artışı sağlama potansiyelini desteklemektedir.

Nitel bulgular bu örüntünün psikolojik mekanizmasını aydınlatmaktadır. Kullanıcılar, somut harcama ve yatırım verisini görsel arayüzde ilk kez bütünleşik olarak gördüklerinde, finansal öz-imajlarını aşağı revize ettiklerini ifade etmektedir. Bu bulgu, Thaler'ın (2015) "zihinsel muhasebe" çerçevesinde tartıştığı dağınık finansal hesapların bütünleştirilmesinin yarattığı bilişsel netleşme ile uyumludur. Kullanıcı söylemlerinde tekrarlanan bir tema, "verinin getirdiği şok"tur: Algoritmik raporlar, kullanıcının hatırladığını sandığı harcama düzeyiyle gerçek harcama düzeyi arasındaki sistematik farkı görünür kılmaktadır.

Ancak bu düzeltici etkinin önemli bir sınırı vardır: alışma etkisi (habituation). Hem nicel zaman serileri hem de nitel söylemler, etkinin ilk üç-altı ayda güçlü olduğunu, ancak uzun vadede zayıfladığını göstermektedir. Bu bulgu, davranışsal ekonomi literatüründe Loewenstein ve Frederick'in (1999) "hedonik adaptasyon" çerçevesinde teorize ettiği süreçle paraleldir: Bireyler tekrarlayan uyaranlara duyarsızlaşmakta; bir süre sonra uyarılar arka plan gürültüsüne dönüşmektedir. Dolayısıyla aşırı güven üzerindeki kazanımların kalıcılığı belirsizdir ve tasarım çözümleri (örneğin uyaran çeşitlendirme, eşik tabanlı bildirim) gerekmektedir.

3.2. Kayıptan Kaçınma Önyargısı: Pekiştirici Etkinin Kanıtları

Aşırı güven üzerindeki olumlu etkinin aksine, kayıptan kaçınma önyargısına ilişkin bulgular kaygı vericidir. Nicel verilerde YZ aracı kullanan ve kullanmayan örneklemler arasında elde tutma süresi farkı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış ($p = .14$); bazı veri setlerinde ise YZ kullanıcılarında zarardaki pozisyonu tutma eğiliminde hafif bir artış gözlenmiştir. Bu bulgu, beklenti teorisinin (Kahneman & Tversky, 1979) öngördüğü "disposition effect" olgusunun YZ müdahalesi ile düzelmediğini, hatta belirli koşullar altında pekiştirildiğini göstermektedir.

Nitel analiz, bu örüntünün ardındaki mekanizmayı netleştirmektedir. YZ destekli uygulamaların büyük çoğunluğu kullanıcıyla iletişimde kayıp odaklı dil kullanmaktadır: "Bu ay X TL kaybettiniz", "Tasarruf hedefinizin Y TL gerisindesiniz", "Geçen aya göre Z TL daha az birikim yaptınız". Bu çerçeveleme, Tversky ve Kahneman'ın (1981) kayıp çerçevesi ile kazanç çerçevesi arasındaki asimetri tezini doğrudan yansıtmaktadır. Kullanıcı söylemlerinde tekrarlanan tema, bu bildirimlerin "motive etmek yerine kaygı yaratıyor" olduğudur. Birçok kullanıcı, uygulamayı açmaktan kaçındığını ya da bildirimleri kapattığını belirtmiştir.

Bu bulgunun teorik önemi büyüktür. Barberis (2013), beklenti teorisinin son otuz yıldaki gelişimini tartıştığı kapsamlı incelemesinde, kayıp çerçevelemesinin kullanıcı katılımını (engagement) artırdığını; bu yüzden ticari platformların kayıp odaklı mesajları tercih ettiğini belirtmektedir. Algoritmik öneri motorları kullanıcı katılımını maksimize etmek üzere optimize edildiğinden, kayıp çerçevesini sistematik biçimde tercih etme yapısal bir eğilim sergilemektedir. Bu noktada platform çıkarları ile kullanıcı refahı arasındaki çatışma görünür hâle gelmektedir; bu çatışmayı yalnızca piyasa mekanizmaları çözemez ve düzenleyici müdahale gerektirir (Mills, 2022; Sunstein, 2016).

3.3. Çerçeveleme Etkisi: Kaynağın Dönüşümü

Üçüncü ana bulgu, çerçeveleme etkisinin doğrudan azalmadığı; ancak kaynağının ve içeriğinin köklü biçimde dönüştüğüdür. Nicel analizde kullanıcıların farklı çerçevelere verdikleri yanıtların değişkenliği, YZ aracı kullanan ve kullanmayan örneklemlerde benzer bulunmuştur ($F = 1.08$, $p = .31$). Yani YZ kullanımı çerçevelemeye karşı bilişsel bir bağışıklık üretmemiştir.

Ancak nitel analiz, kullanıcıların YZ önerilerini "tarafsız bilgi" olarak algılama eğiliminde olduklarını göstermektedir. Bu algı, klasik medya çalışmalarında dahi gözlenen kaynak güvenilirliği yanlılığının (Pornpitakpan, 2004) algoritmik bağlamda daha yoğun bir biçimde tezahür etmesidir. Susser ve arkadaşlarının (2019) "teknolojik manipülasyon" kavramsallaştırması bu bağlamda özellikle açıklayıcıdır: Algoritmik çerçeveleme, kullanıcının bilinçli rıza eşiğinin altında işlediği için manipülasyon-ikna ayrımını bulanıklaştırmaktadır.

Önemli bir koruyucu faktör olarak finansal okuryazarlığın yüksekliği ön plana çıkmıştır. Lusardi ve Mitchell'in (2014) finansal okuryazarlık literatüründe ortaya koyduğu üzere, yüksek finansal okuryazarlık düzeyine sahip kullanıcılar, algoritmik önerileri eleştirel biçimde değerlendirme eğilimindedir. Bu bulgu, dijital çağda finansal okuryazarlığın yalnızca geleneksel finansal kavramları değil; aynı zamanda algoritmik karar süreçlerini anlama becerisini —yani "YZ okuryazarlığı"nı (Long & Magerko, 2020)— de kapsaması gerektiğini düşündürmektedir.

4. TARTIŞMA

4.1. Çelişkili Çifte İşlev

Bu çalışmanın merkezî bulgusu, YZ destekli finansal araçların ekonomik davranış önyargılarına yönelik etkisinin tek yönlü olmadığı; aksine çelişkili bir çift işlevsellik sergilediğidir. Bir tarafta azaltıcı işlev bulunmaktadır: Aşırı güven önyargısı, nesnel veri geri bildirimi sayesinde kısa vadeli olarak anlamlı biçimde gerilemekte; kullanıcılar finansal öz-değerlendirmelerini gerçekçileştirmektedir. Diğer tarafta pekiştirici işlev bulunmaktadır: Kayıptan kaçınma önyargısı, kayıp çerçeveli algoritmik bildirimler aracılığıyla güçlenmekte; çerçeveleme etkisi ise kişiselleştirilmiş algoritmik tasarımlar üzerinden daha güçlü ve daha görünmez biçimde işlemeye başlamaktadır.

Bu çift işlevsellik, davranışsal iktisadın kuramsal çerçevesi içinde de tutarlıdır. Thaler ve Sunstein (2008) "liberter paternalizm" savunusunda dürtmelerin doğru tasarlandığında bireysel refahı artırabileceğini ileri sürerken; eleştirmenler (Mills, 2022; Sunstein, 2016) dürtme tasarımının değer-yüklü olduğunu ve tasarımcının çıkarlarını yansıttığını vurgulamıştır. YZ destekli finansal araçlar bu tartışmayı kuramsal düzlemden uygulama düzlemine taşımakta; her tasarım kararının davranışsal sonuçlar doğurduğunu somut biçimde göstermektedir.

4.2. Algoritmik Çerçevelemenin Teorik Konumu

Çalışmanın ikinci önemli teorik katkısı, algoritmik çerçevelemenin geleneksel çerçevelemeden ayrıştırılmasıdır. Geleneksel çerçeveleme tek yönlü, statik ve kişisel olmayan iken; algoritmik çerçeveleme çift yönlü, dinamik ve kişiseldir. Bu fark dört boyutta belirginleşmektedir: (1) görünürlük (algoritmik çerçeveleme arayüze gömülü olduğu için daha az görünürdür), (2) kişiselleştirme düzeyi (kullanıcı verisine dayalı bireysel hedefleme), (3) güncelleme hızı (gerçek zamanlı uyarlanma) ve (4) algılanan tarafsızlık

(algoritmaların "nesnel" olarak algılanması).

Bu kavramsal ayrışma, Yeung'un (2017) "hipernudge" kavramı ve Zuboff'un (2019) "gözetim kapitalizmi" çerçevesi ile birlikte değerlendirildiğinde, algoritmik çerçevelemenin geleneksel çerçevelemeye kıyasla niteliksel bir sıçrama olduğunu göstermektedir. Bu sıçrama yalnızca teknik değil; aynı zamanda etik ve siyasaldır. Susser ve arkadaşlarının (2019) belirttiği gibi, algoritmik çerçeveleme manipülasyon ile makul ikna arasındaki sınırı bulanıklaştırarak demokratik öz-yönetim için yeni bir tehdit alanı oluşturmaktadır.

4.3. Politika ve Tasarım Önerileri

Bulgular ışığında üç temel politika önerisi öne çıkmaktadır. Birincisi, önyargı farkındalıklı tasarım (bias-aware design) zorunlu hâle getirilmelidir. Tasarımcılar, ürünlerinin bilinen bilişsel önyargılar üzerindeki etkisini sistematik biçimde değerlendirmeli ve bu değerlendirme süreci ürün geliştirme döngüsüne entegre edilmelidir. Bu öneri, Avrupa Birliği'nin Yapay Zekâ Yasası'nda (Avrupa Komisyonu, 2024) yüksek riskli sistemler için öngörülen risk değerlendirme zorunluluğu ile uyumludur.

İkincisi, finansal YZ araçları yalnızca finansal istikrar açısından değil; psikolojik etki boyutunda da denetlenmelidir. Hâlihazırda finansal düzenleyici kuruluşlar bu araçları büyük ölçüde tüketici koruma ve veri güvenliği boyutunda denetlemektedir. Oysa bu çalışma, davranışsal etki boyutunun da düzenleyici denetimin parçası olması gerektiğini göstermektedir. Bu öneri, Sunstein'in (2016) "davranışsal düzenleyici devlet" savunusu ile örtüşmektedir.

Üçüncüsü, algoritmik şeffaflık zorunluluğu getirilmelidir. Kullanıcılar, kendilerine sunulan finansal önerilerin hangi veri girdilerine ve hangi optimizasyon hedeflerine dayandığını bilme hakkına sahip olmalıdır. Bu öneri, Diakopoulos'un (2016) algoritmik hesap verebilirlik çerçevesi ile uyumludur.

4.4. Sınırlılıklar ve Gelecek Araştırmalar

Bu çalışmanın iki temel metodolojik sınırlılığı bulunmaktadır. Birincisi, ikincil veri analizine dayalı olduğundan, nedensellik iddiaları sınırlıdır; bulgular ilişkisel düzeyde yorumlanmalıdır. İkincisi, nitel veri büyük ölçüde İngilizce dil ortamından derlendiğinden, kültürel bağlama ilişkin genelleme dikkatli yapılmalıdır.

Gelecek araştırmalar için iki yön özellikle umut vericidir. Birincisi, nedensellik testi için uzunlamasına deneysel tasarımlar gereklidir. Rastgele kontrollü deneyler, YZ aracı kullanımının önyargı düzeylerine etkisini daha güvenilir biçimde belirleyebilir. İkincisi, farklı gelir, yaş ve kültürel bağlamlarda karşılaştırmalı çalışmalar yapılmalıdır. Hofstede'nin (2011) kültürel boyutlar çerçevesinde, belirsizlikten kaçınma düzeyi yüksek toplumlarda algoritmik çerçevelemenin etkisinin farklılaşması beklenebilir.

SONUÇ

Bu çalışma, yapay zekâ destekli finansal araçların ekonomik davranış önyargıları üzerindeki etkisini karma yöntemli bir tasarımla incelemiş; aşırı güven önyargısı üzerinde anlamlı bir azaltıcı etki bulurken kayıptan kaçınma önyargısı ve çerçeveleme etkisi üzerinde pekiştirici eğilimler tespit etmiştir. Ana teorik katkı, "algoritmik çerçeveleme" kavramının geleneksel çerçevelemeden ayrıştırılması ve dört boyutlu (görünürlük, kişiselleştirme, güncelleme hızı, algılanan tarafsızlık) bir kavramsal modelin sunulmasıdır.

Bulgular, teknolojik müdahalenin psikolojik açıdan nötr olmadığını; tasarım kararlarının kullanıcı refahı üzerinde belirleyici etki yarattığını göstermektedir. Bu nedenle, "önyargı farkındalıklı tasarım" ilkesi, davranışsal etki düzenlemesi ve algoritmik şeffaflık zorunluluğu, geleceğin finansal teknoloji ekosisteminde merkezî politika araçları olmalıdır. Davranışsal iktisat literatürünün son yarım yüzyıllık birikimi göstermektedir ki insan kararı sınırlı rasyonelliğin kalıpları içinde şekillenmektedir; yapay zekâ çağında bu kalıplar artık yalnızca insan zihninde değil, kullanıcının her etkileşim kurduğu arayüzde yeniden üretilmektedir. Dolayısıyla davranışsal iktisadın, yapay zekâ etiği ve seçim mimarisi tartışmalarıyla bütünleşik bir biçimde gelişmesi kaçınılmazdır.

KAYNAKÇA

Avrupa Komisyonu. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu

Barber, B. M., & Odean, T. (2001). Boys will be boys: Gender, overconfidence, and common stock investment. *The Quarterly Journal of Economics*, *116*(1), 261–292. https://doi.org/10.1162/003355301556400

Barber, B. M., & Odean, T. (2013). The behavior of individual investors. In G. M. Constantinides, M. Harris, & R. M. Stulz (Eds.), *Handbook of the economics of finance* (Vol. 2, pp. 1533–1570). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-44-459406-8.00022-6

Barberis, N. C. (2013). Thirty years of prospect theory in economics: A review and assessment. *Journal of Economic Perspectives*, *27*(1), 173–196. https://doi.org/10.1257/jep.27.1.173

Barberis, N. C. (2018). Psychology-based models of asset prices and trading volume. In B. D. Bernheim, S. DellaVigna, & D. Laibson (Eds.), *Handbook of behavioral economics: Applications and foundations* (Vol. 1, pp. 79–175). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.hesbe.2018.07.001

British Psychological Society. (2021). *Ethics guidelines for internet-mediated research*. The British Psychological Society. https://doi.org/10.53841/bpsrep.2021.rep155

Chong, D., & Druckman, J. N. (2007). Framing theory. *Annual Review of Political Science*, *10*, 103–126. https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.10.072805.103054

Cocco, J. F., Gomes, F. J., & Lopes, P. (2022). Evaluating the benefits of social security by estimating life-cycle models. *The Review of Economic Studies*, *89*(6), 2971–3008. https://doi.org/10.1093/restud/rdab099

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.

D'Acunto, F., Prabhala, N., & Rossi, A. G. (2019). The promises and pitfalls of robo-advising. *The Review of Financial Studies*, *32*(5), 1983–2020. https://doi.org/10.1093/rfs/hhz014

Daniel, K., & Hirshleifer, D. (2015). Overconfident investors, predictable returns, and excessive trading. *Journal of Economic Perspectives*, *29*(4), 61–88. https://doi.org/10.1257/jep.29.4.61

Diakopoulos, N. (2016). Accountability in algorithmic decision making. *Communications of the ACM*, *59*(2), 56–62. https://doi.org/10.1145/2844110

Dietvorst, B. J., Simmons, J. P., & Massey, C. (2015). Algorithm aversion: People erroneously avoid algorithms after seeing them err. *Journal of Experimental Psychology: General*, *144*(1), 114–126. https://doi.org/10.1037/xge0000033

Entman, R. M. (1993). Framing: Toward clarification of a fractured paradigm. *Journal of Communication*, *43*(4), 51–58. https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1993.tb01304.x

Fischhoff, B. (1982). Debiasing. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 422–444). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511809477.032

Glaser, M., & Weber, M. (2007). Overconfidence and trading volume. *The Geneva Risk and Insurance Review*, *32*(1), 1–36. https://doi.org/10.1007/s10713-007-0003-3

Gomber, P., Kauffman, R. J., Parker, C., & Weber, B. W. (2018). On the fintech revolution: Interpreting the forces of innovation, disruption, and transformation in financial services. *Journal of Management Information Systems*, *35*(1), 220–265. https://doi.org/10.1080/07421222.2018.1440766

Heaton, J. (2008). Secondary analysis of qualitative data: An overview. *Historical Social Research*, *33*(3), 33–45. https://doi.org/10.12759/hsr.33.2008.3.33-45

Hofstede, G. (2011). Dimensionalizing cultures: The Hofstede model in context. *Online Readings in Psychology and Culture*, *2*(1). https://doi.org/10.9707/2307-0919.1014

Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, *1*(2), 112–133. https://doi.org/10.1177/1558689806298224

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, *47*(2), 263–292. https://doi.org/10.2307/1914185

Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4th ed.). SAGE.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

Levin, I. P., Schneider, S. L., & Gaeth, G. J. (1998). All frames are not created equal: A typology and critical analysis of framing effects. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *76*(2), 149–188. https://doi.org/10.1006/obhd.1998.2804

Loewenstein, G., & Frederick, S. (1999). Hedonic adaptation: From the bright side to the dark side. In D. Kahneman, E. Diener, & N. Schwarz (Eds.), *Well-being: The foundations of hedonic psychology* (pp. 302–329). Russell Sage Foundation.

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–16). ACM. https://doi.org/10.1145/3313831.3376727

Lusardi, A., & Mitchell, O. S. (2014). The economic importance of financial literacy: Theory and evidence. *Journal of Economic Literature*, *52*(1), 5–44. https://doi.org/10.1257/jel.52.1.5

Markham, A., & Buchanan, E. (2012). *Ethical decision-making and Internet research: Recommendations from the AoIR Ethics Working Committee* (Version 2.0). Association of Internet Researchers. https://aoir.org/reports/ethics2.pdf

Mills, S. (2022). Personalized nudging. *Behavioural Public Policy*, *6*(1), 150–159. https://doi.org/10.1017/bpp.2020.7

Moore, D. A., & Healy, P. J. (2008). The trouble with overconfidence. *Psychological Review*, *115*(2), 502–517. https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.2.502

Mullainathan, S., & Spiess, J. (2017). Machine learning: An applied econometric approach. *Journal of Economic Perspectives*, *31*(2), 87–106. https://doi.org/10.1257/jep.31.2.87

Odean, T. (1998). Are investors reluctant to realize their losses? *The Journal of Finance*, *53*(5), 1775–1798. https://doi.org/10.1111/0022-1082.00072

Philippon, T. (2019). On fintech and financial inclusion (NBER Working Paper No. 26330). *National Bureau of Economic Research*. https://doi.org/10.3386/w26330

Pornpitakpan, C. (2004). The persuasiveness of source credibility: A critical review of five decades' evidence. *Journal of Applied Social Psychology*, *34*(2), 243–281. https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2004.tb02547.x

Saunders, B., Sim, J., Kingstone, T., Baker, S., Waterfield, J., Bartlam, B., Burroughs, H., & Jinks, C. (2018). Saturation in qualitative research: Exploring its conceptualization and operationalization. *Quality & Quantity*, *52*(4), 1893–1907. https://doi.org/10.1007/s11135-017-0574-8

Shefrin, H. (2002). *Beyond greed and fear: Understanding behavioral finance and the psychology of investing*. Oxford University Press.

Shefrin, H., & Statman, M. (1985). The disposition to sell winners too early and ride losers too long: Theory and evidence. *The Journal of Finance*, *40*(3), 777–790. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1985.tb05002.x

Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, *69*(1), 99–118. https://doi.org/10.2307/1884852

Sunstein, C. R. (2014). *Why nudge? The politics of libertarian paternalism*. Yale University Press.

Sunstein, C. R. (2016). *The ethics of influence: Government in the age of behavioral science*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781316493021

Susser, D., Roessler, B., & Nissenbaum, H. (2019). Technology, autonomy, and manipulation. *Internet Policy Review*, *8*(2). https://doi.org/10.14763/2019.2.1410

Tashakkori, A., & Teddlie, C. (Eds.). (2010). *SAGE handbook of mixed methods in social & behavioral research* (2nd ed.). SAGE. https://doi.org/10.4135/9781506335193

Thaler, R. H. (1985). Mental accounting and consumer choice. *Marketing Science*, *4*(3), 199–214. https://doi.org/10.1287/mksc.4.3.199

Thaler, R. H. (2015). *Misbehaving: The making of behavioral economics*. W. W. Norton & Company.

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. Yale University Press.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, *185*(4157), 1124–1131. https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124

Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, *211*(4481), 453–458. https://doi.org/10.1126/science.7455683

Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, *5*(4), 297–323. https://doi.org/10.1007/BF00122574

Yeomans, M., Shah, A., Mullainathan, S., & Kleinberg, J. (2019). Making sense of recommendations. *Journal of Behavioral Decision Making*, *32*(4), 403–414. https://doi.org/10.1002/bdm.2118

Yeung, K. (2017). 'Hypernudge': Big data as a mode of regulation by design. *Information, Communication & Society*, *20*(1), 118–136. https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1186713

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

https://doi.org/10.71284/asc.2026147

VISUALIZING THE FUTURE: A RADAR CHART ANALYSIS OF STUDENT READINESS AND ACCEPTANCE OF AI-ASSISTED THERMOGRAPHY IN AVIATION

Norisza Dalila binti Ismail[1]
Rosmawar binti Hussin [2]

Abstract

As the aviation industry transitions towards predictive maintenance, the integration of Artificial Intelligence (AI) with Non-Destructive Testing (NDT) methods like thermography has become a critical focal point. This study evaluates the readiness, trust, and overall acceptance of AI-enhanced thermography among future aviation professionals. Data was collected through a targeted questionnaire distributed to 46 respondents, assumed to be aviation or engineering students. To effectively illustrate the multi-dimensional nature of student sentiment, the positive responses across six key metrics were mapped using a radar chart visualization. The radar chart reveals a heavily skewed footprint toward technological optimism and trust. The widest axes of the visualization demonstrate that a significant majority of students are ready to embrace this technology, with 71.7% believing AI will advance aircraft safety and 67.4% expressing a strong preference for AI over traditional testing methods. Furthermore, 63.0% of respondents trust AI technology to accurately identify aircraft engine defects, and 67.4% are highly interested in learning more about AI applications in this field. However, the radar chart also visually exposes a crucial inward tapering regarding foundational knowledge and economic impact. Only 45.7% of respondents reported baseline familiarity with existing thermography testing, and exactly 50.0% firmly believe AI integration will lead to cost savings for aviation companies. By visualizing this data, the study highlights a distinct dichotomy: while theoretical trust and enthusiasm for AI are exceptionally high, practical foundational knowledge remains moderate. The findings strongly advocate for updating academic curricula to include comprehensive, hands-on NDT and AI training, ensuring that the high enthusiasm of future professionals is matched with practical expertise.

Keywords: Thermography testing, artificial intelligence (ai), non-destructive testing (ndt), aviation maintenance, defect detection.

[1]Corresponding Author, Dr., Politenik Banting Selangor, Malaysia, norisza@polibanting.edu.my, https://orcid.org/0009-0004-3963-9255

[2] Mdm, Politenik Banting Selangor, Malaysia, rosmawar@polibanting.edu.my

INTRODUCTION

The global aviation industry operates under the most demanding safety standards of any engineering sector. Aircraft structural integrity and engine health must be verified at regular intervals through rigorous inspection regimes. Traditionally, these inspections have relied on a suite of Non-Destructive Testing (NDT) techniques, including visual inspection, ultrasonic testing, eddy current testing, and radiography (Ibarra-Castanedo et al., 2013; Maldague, 2001). While effective, Al-Jubori et al. (2024) mentioned that conventional NDT methods are time-intensive, operator-dependent, and increasingly strained by the growing scale of commercial aviation fleets worldwide.

Thermography is the use of infrared imaging to detect heat-pattern anomalies indicative of subsurface defects such as delaminations, disbonds, and water ingress (Ibarra-Castanedo et al., 2013; Maldague, 2001). This also represents a particularly promising avenue for NDT modernisation. When thermography is combined with Artificial Intelligence (AI), specifically machine learning models trained to classify thermal signatures (Taheri & Gonzalez, 2002), the technique acquires the ability to detect defects with a speed and consistency (Taheri & Gonzalez, 2002; Al-Jubori et al., 2024) that human inspectors cannot reliably match across large inspection volumes. The ThermoVision Pro system, as proposed in this study developed by researchers at Politeknik Banting Selangor, exemplifies this convergence which it integrates a thermal imaging module with an AI inference engine to automate the identification and description of aircraft component defects in real time.

Yet the successful deployment of such technologies ultimately depends not only on engineering capability but also on the readiness of future aviation professionals to adopt and trust AI-assisted inspection systems. Resistance to change, lack of foundational knowledge (Venkatesh et al., 2003), or scepticism regarding AI accuracy can each constitute significant barriers (Venkatesh et al., 2003) to technology diffusion. Understanding the current psychological and educational landscape of aviation students is therefore essential for both technology developers and educational policy-makers.

This paper presents an analysis of a survey administered to 46 aviation and engineering students, examining their readiness, trust, interest, and practical familiarity across six dimensions related to AI-assisted thermography. The multidimensional results are visualised using a radar chart, which provides an intuitive representation of the asymmetric profile of student sentiment. We discuss the implications of these findings for curriculum development and the long-term integration of AI-NDT systems in aviation maintenance practice.

1. BACKGROUND AND LITERATURE

Non-Destructive Testing occupies a foundational role in aviation maintenance, underpinning the airworthiness assurance process (Ibbara-Castanedo, 2013) mandated by regulatory authorities such as the Federal Aviation Administration (FAA) and the European Union Aviation Safety Agency (EASA). Among the established NDT modalities, thermography stands out for its ability to perform rapid, full-field inspection of large surface areas without requiring physical contact with the test object. Infrared cameras capture the spatial distribution of surface temperature, and anomalies in this distribution betray subsurface inhomogeneities (Ibarra-Castanedo et al., 2013; Maldague, 2001) that would otherwise remain invisible.

The integration of AI with thermographic inspection has attracted considerable research attention over the past decade. Convolutional neural networks (CNNs) have demonstrated strong performance in classifying thermal images of composite panels, detecting delaminations (Taheri & Gonzalez, 2002; Al-Jubori et al., 2024) in carbon-fibre reinforced polymer (CFRP) structures, and identifying disbond regions in honeycomb sandwich constructions. The combination of deep learning with lock-in thermography has further enabled the detection of sub-millimetre fatigue cracks in metallic airframe components proves a capability well beyond the reach of visual inspection.

However, the human dimension of technology adoption remains comparatively under-studied in the aviation maintenance context. The Technology Acceptance Model (TAM), originally proposed by Davis (1989), posits that perceived usefulness and perceived ease of use are the principal determinants of user adoption intention. Extensions to TAM, such as the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), additionally incorporate social influence, facilitating conditions, and individual characteristics as predictors. Applied to the aviation domain, these frameworks suggest that student attitudes formed during training can substantially shape the uptake of emerging inspection technologies once graduates enter the workforce.

Prior studies examining engineering student perceptions of AI in professional settings have consistently found enthusiasm to be high but domain-specific knowledge to be limited, particularly for students who lack direct exposure to AI tools during their studies. This pattern motivates the present investigation, which seeks to quantify both dimensions simultaneously and to represent the resulting profile visually for maximum communicative impact.

2. METHODOLOGY

A structured questionnaire survey was developed to assess student sentiment across six conceptually distinct dimensions: (1) Technological Optimism, capturing the belief that AI will improve aviation safety outcomes; (2) Technology Preference, reflecting the preference for AI-assisted over traditional NDT methods; (3) Trust in Accuracy, measuring confidence in AI's ability to correctly identify defects; (4) Engagement and Interest, capturing enthusiasm for further learning in the domain; (5) Foundational Knowledge, assessing self-reported familiarity with existing thermography techniques; and (6) Economic Impact, reflecting belief that AI integration will reduce operational costs for aviation companies.

The instrument was distributed to 46 respondents enrolled in a Diploma in Aircraft Maintenance Engineering programme at Politeknik Banting Selangor. Respondents were presented with a series of Likert-scale items for each dimension, and the proportion of respondents selecting the two most positive response options (agree or strongly agree) was computed to yield a single percentage-based score suitable for radar chart visualisation.

The radar chart was selected as the primary analytical visualisation because it excels at representing multivariate data for a single subject (in this case, the aggregate student cohort), rendering the relative strengths and weaknesses of different dimensions simultaneously visible. The six axes of the radar chart correspond directly to the six survey dimensions, and the area enclosed by the resulting polygon reflects the overall breadth and balance of positive student sentiment.

3. FINDINGS

Table 1 summarises the positive response rates across all six survey dimensions, ordered by survey dimension and accompanied by an overall rank. The radar chart embedded in Figure 1 visualises these values on a common percentage scale, making the shape of the collective response profile immediately apparent.

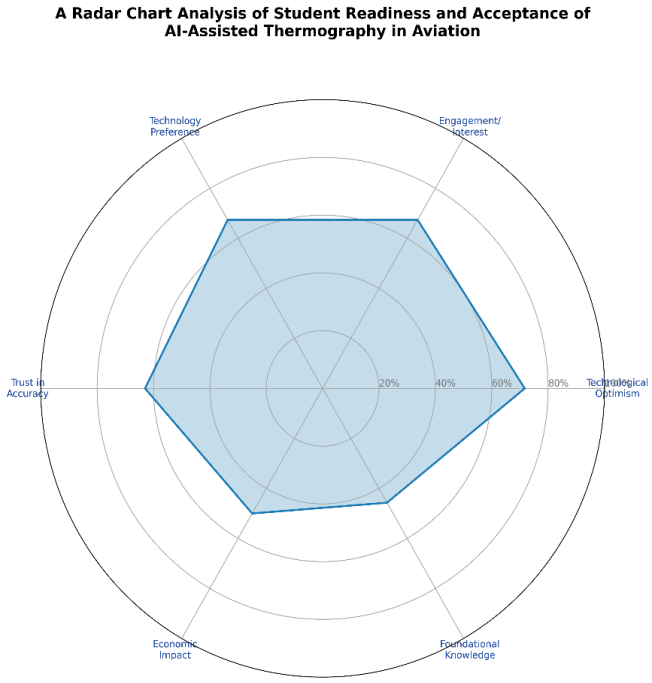
Table 1. Positive response rates across six survey dimensions (n=46)

Dimension	Positive Response (%)	Rank
Technology Preference	67.4 %	2
Engagement / Interest	67.4 %	3
Technological Optimism	71.7 %	1
Trust in Accuracy	63.0 %	4
Economic Impact	50.0 %	5
Foundational Knowledge	45.7 %	6

Referring to Figure 1, the radar chart reveals a polygon characterised by pronounced extension along the upper and lateral axes which consist of Technological Optimism, Technology Preference, Engagement/ Interest, and Trust in Accuracy and a pronounced inward tapering at the lower axes corresponding to Foundational Knowledge and Economic Impact. The widest dimension, Technological Optimism (71.7%), indicates that nearly three-quarters of respondents believe AI will advance aircraft safety. Technology Preference and Engagement/Interest are jointly the second strongest dimensions (both 67.4%), followed by Trust in Accuracy (63.0%). By contrast, belief in economic cost savings reaches only 50.0%, and self-reported familiarity with existing thermography methods. Meanwhile the Foundational Knowledge dimension is the weakest of all at 45.7%.

The visual geometry of the radar chart thus encodes a clear and interpretable message: student enthusiasm is genuine and broadly distributed across the affective and attitudinal dimensions of technology acceptance, while substantive practical and economic understanding lags considerably behind.

Figure 1. Radar chart of positive response rates across six dimensions of student sentiments (n=46). The inward tapering at the Foundational Knowledge and Economic Impact contrasts with the outward extent at the upper axes, visually representing the knowledge-enthusiasm gap.



DISCUSSION AND CONCLUSION

The pattern revealed by the radar chart is consistent with the broader technology acceptance literature but carries specific implications for the aviation maintenance education context. High scores on Technological Optimism and Technology Preference suggest that students have already internalised a positive narrative about AI's potential in their professional domain—a narrative likely reinforced by media coverage of autonomous systems, predictive analytics, and digital transformation across industries. This receptive baseline is a genuine asset: it means that resistance to AI adoption is unlikely to be the primary barrier to uptake once students enter the workforce.

However, the relatively high Trust in Accuracy score (63.0%) demands careful interpretation. Trust that is not grounded in technical understanding of a system's limitations can become a liability. An inspector who trusts AI implicitly without understanding the conditions under which thermographic models may fail—for instance, due to environmental thermal noise, non-uniform heating, or artefacts introduced by surface coatings—may overlook genuine defects or, conversely, misinterpret normal thermal signatures as anomalies. Calibrated trust, informed by hands-on experience with the technology, is the appropriate educational target rather than uninformed enthusiasm.

The Foundational Knowledge score of 45.7% is the most actionable finding of the study. Fewer than half of respondents reported adequate familiarity with thermography as it currently exists, prior to any AI enhancement. This represents a significant curricular gap: students who cannot interpret a thermal image without AI assistance will be poorly positioned to identify when the AI model is producing incorrect outputs. Effective human-machine teaming in safety-critical inspection contexts requires operators who understand enough about the underlying physics and measurement principles to exercise meaningful oversight of automated systems.

The Economic Impact dimension (50.0%) reflects a more nuanced picture. Uncertainty about cost savings may stem from unfamiliarity with the economics of aircraft maintenance operations including the costs of unscheduled maintenance events, aircraft-on-ground (AOG) incidents, and inspector labour or from a more sophisticated appreciation of the implementation costs associated with deploying AI systems at scale in certified maintenance environments. Either interpretation suggests that economics-of-maintenance content would be a valuable addition to aviation engineering curricula.

Based on the survey findings, the following curricular reforms are recommended for aviation maintenance diploma and degree programmes seeking to prepare students for AI-augmented NDT practice.

First, dedicated thermography modules should be introduced or expanded to cover the physical principles of infrared radiation and heat transfer, the operation of thermal imaging hardware, image interpretation methodology, and the current regulatory framework for thermography-based inspection. Practical laboratory sessions using thermal cameras on representative aircraft component specimens are essential for moving students from theoretical familiarity to operational competence.

Second, AI literacy content should be integrated into existing NDT and avionics modules rather than offered as a standalone elective. Students should be introduced to the concepts of training data, model accuracy, confusion matrices, and failure modes of machine learning classifiers, framed explicitly in the context of defect detection. Case studies of AI-assisted inspection systems including documented cases of both successful defect identification and false negatives or false positives would build the calibrated scepticism that productive human oversight requires.

Third, industry partnerships should be developed to expose students to operational AI-NDT systems in maintenance, repair, and overhaul (MRO) environments. Internship placements, industry guest lectures, and equipment loan programmes can bridge the gap between classroom instruction and professional practice. The ThermoVision Pro prototype developed at Politeknik Banting Selangor itself represents a valuable pedagogical resource: students who engage with the system's development acquire precisely the kind of grounded, critical familiarity that the survey identified as most lacking.

Finally, economics-of-maintenance content, including lifecycle cost analysis, the financial consequences of undetected defects, and the cost-benefit profile of predictive maintenance technologies, should be incorporated into capstone project assessments. This would address the moderate Economic Impact dimension and equip graduates to make informed recommendations about technology adoption in their future professional roles.

This study has used radar chart visualisation to reveal a characteristic profile of student readiness for AI-assisted thermography in aviation: one marked by high technological optimism, strong preference and interest, and reasonable trust in AI accuracy, set against a weaker foundation of practical thermography knowledge and mixed confidence about economic outcomes. The visual geometry of the radar chart makes this asymmetry immediately apparent and communicates it in a form readily accessible to curriculum designers, educational policy-makers, and technology developers alike.

The findings carry a clear imperative. The enthusiasm of future aviation professionals for AI-enhanced inspection technology is a resource that the educational system has an obligation to channel productively. Enthusiasm without grounded knowledge can lead to overreliance, uncritical trust, and, ultimately, to safety risks in the high-stakes environments where these graduates will practise. The challenge for aviation maintenance education in the coming decade is to ensure that the next generation of professionals can not only operate AI-assisted NDT systems but also understand, evaluate, and appropriately oversee them into making the promise of technologies like ThermoVision Pro a reality rather than merely an aspiration.

REFERENCES

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–340.

Maldague, X. P. V. (2001). *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. Wiley-Interscience.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, *27*(3), 425–478.

Ibarra-Castanedo, C., Tarpani, J. R., & Maldague, X. P. V. (2013). Nondestructive testing with thermography. *European Journal of Physics*, *34*(6), S91–S109.

Taheri, H., Gonzalez Bocanegra, M. (2022). Artificial Intelligence, Machine Learning and Smart Technologies for Nondestructive Evaluation. *Sensors (Basel)*, *22*(11),4055.

AL-Jubori, H. N. ., AL-Darraji, I., & Jerbi, H. (2024). Defect Detection Using Thermography Camera Techniques: A review. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, *20*(4), 70-88.

https://doi.org/10.71284/asc.2026148

TÜRKİYE'DE DİJİTAL SAĞLIK SİSTEMLERİNİN ETİK BOYUTU: E-NABIZ ÜZERİNE DÖRT İLKE TEMELLİ BİR DEĞERLENDİRME

ETHICAL DIMENSIONS OF DIGITAL HEALTH SYSTEMS IN TURKEY: A FOUR PRINCIPLE BASED EVALUATION OF THE E-NABIZ SYSTEM

Gizem Buse Kızılyer[1]
Ufuk Karadavut[2]

Özet

Dijital teknolojilerin gelişmesi, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli değişimlere yol açmıştır. Türkiye'de bu değişimin en önemli örneklerinden biri olan e-Nabız sistemi, bireylerin kişisel sağlık verilerine internet ve mobil uygulama üzerinden erişimini mümkün kılmaktadır. Bu çalışma, E-nabız sistemini sağlık etiğinde kabul edilen Beauchamp & Childress'in dört temel etik ilkesi olan yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet ilkeleri çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, e-nabız sisteminin sağlık hizmetlerine sağladığı katkılar ile birlikte klinik süreçlere olan etkileri ele alınmış; ayrıca mahremiyet, veri güvenliği ve erişim eşitsizliği gibi etik sorunlar da değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, sistemin bireylerin sağlık verileri üzerindeki kontrolünü artırdığı ve sağlık hizmetlerinin daha etkin sunulmasına katkı sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak e-Nabız sisteminin etik açıdan önemli avantajlar sunduğu, ancak bazı riskler barındırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital sağlık, kişisel sağlık verileri, e-nabız, sağlık hizmetleri etiği ve mahremiyet.

Abstract

The development of digital technologies has led to significant changes in the delivery of healthcare services. One of the most important examples of this transformation in Turkey is the e-Nabız system, which enables individuals to access their personal health data via the internet and mobile applications. This study aims to examine the e-Nabız system within the framework of the four fundamental ethical principles in healthcare ethics proposed by Beauchamp and Childress: beneficence, non-maleficence, autonomy, and justice. The study discusses the contributions of the e-Nabız system to healthcare services as well as its effects on clinical processes; additionally, ethical issues such as privacy, data security, and inequality of access are evaluated. Within this scope, it has been observed that the system increases individuals' control over their health data and contributes to the more efficient delivery of healthcare services. As a result, it has been determined that the e-Nabız system offers significant ethical advantages while also carrying certain risks.

Keywords: Digital health, personal health data, e-nabiz, healthcare ethics, privacy.

[1] Karabük Üniversitesi, Lisanüstü Eğitim Enstitüsü, Sağlık Bilişimi, 2528189008@ogrenci.karabuk.edu.tr

[2]Prof. Dr., Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Tıp Bilişimi Ana Bilim Dalı, ufukkaradavut@karabuk.edu.tr, https://orcid.org0000-0001-5362-7585

GİRİŞ

Gelişen bilgi ve iletişim teknolojileri ile sağlık hizmetlerinde kullanılan geleneksel kâğıt tabanlı dosya sistemleri giderek yerini dijital kayıt sistemlerine bırakmıştır. Bu sistemler sayesinde bireylerin sağlık durumlarına ilişkin tıbbi geçmiş, tanı, tedavi, laboratuvar sonuçları ve diğer klinik verileri kayıt altına alınmaktadır. Kayıt altına alınan veriler, belirli yetkilendirmeler çerçevesinde erişim, paylaşım ve kullanım amacıyla güvenli ortamlarda depolanmaktadır. Bu sayede tıbbi verilerin daha hızlı, bütüncül ve erişilebilir biçimde yönetilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu dönüşüm klinik karar verme süreçlerine önemli ölçüde destekleyerek sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırmaktadır (Yılmaz, Ergüner Özkoç, & Öğütçü Ulaş, 2021). Sağlanan bu destek kamu hizmetleri açısında önemli fırsatlar sunmaktadır. Fakat sağlanan fırsatlar mahremiyet, gizlilik ihlali gibi birçok kaygı verici etik sorunu da beraberinde getirebilmektedir (Bulut, 2023). Sağlık verilerinin "özel nitelikli kişisel veri" kapsamında değerlendirilmesi, bu alandaki etik hassasiyeti daha da artırmaktadır.

Türkiye'de dijital sağlık dönüşümünün en önemli örneklerinden biri olan e-Nabız sistemi, bireylerin kişisel sağlık verilerine internet ve mobil uygulama üzerinden erişebilmesini ve bu verileri yönetebilmesini sağlamaktadır. Bu yönüyle sistem hem sağlık hizmetlerinin etkinliğini artıran hem de bireyin kendi sağlık verileri üzerindeki kontrolünü güçlendiren bir yapı sunmaktadır. Bununla birlikte, bu tür kapsamlı dijital sistemlerin etik açıdan çok boyutlu bir değerlendirmeye tabi tutulması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan e-Nabız sistemini, Beauchamp ve Childress tarafından geliştirilen dört temel etik ilke -yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet- çerçevesinde değerlendirmektir. Bu doğrultuda, sistemin sağlık hizmetlerine sağladığı katkılar ile mahremiyet, veri güvenliği ve erişim eşitsizliği gibi potansiyel etik sorunlar analiz edilecektir.

1.DİJİTAL SAĞLIK VE E-NABIZ SİSTEMİ

Dijital sağlık, sağlık hizmetlerinin sunumu, yönetimi ve geliştirilmesinde bilgi ve teknolojilerin kullanılmasını ifade eden geniş bir kavramdır. Bu kapsamla sağlık hizmetlerinin daha erişilebilir, hızlı ve etkili hale gelmesi için sağlık uygulamaları, tele-tıp uygulamaları, yapay zekâ destekli sistemler gibi araçlar kullanılmaktadır. Dijital sağlığın temel bileşenlerinden biri de Elektronik Sağlık Kayıtlarıdır. Türkiye'de, 2003 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından başlatılan Sağlıkta Dönüşüm Programı ile Elektronik Sağlık Kayıtları ve Kişisel Elektronik Sağlık Kayıtları ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Yılmaz, Ergüner Özkoç, & Öğütçü Ulaş, 2021). Bu çalışmalar beraberinde geleneksel kâğıt tabanlı dosyalama sistemlerinin yerini elektronik kayıt sistemlerine bırakmasına neden olmuştur. Elektronik sağlık kayıtları, "kişilerin geçmişteki, şimdiki ve gelecekteki fiziksel ve ruhsal sağlığı veya hastalıkları ile ilgili elektronik sistemler kullanılarak kayıt altına alınan, saklanan, iletilen, erişilen, ilişkilendirilen ve işlenen her türlü bilgi" biçiminde tanımlanmaktadır (Bulut, 2023). Türkiye'de çeşitli sağlık kayıt sistemleri ve uygulamaları kullanılmaktadır. Bunlar; Sağlık.NET, Merkezi Hastane Randevu Sistemi (MHRS), Tele-Tıp, Ulusal Sağlık Veri Standartları (USVS), Sağlık Kodlama Referans Sözlüğü (SKRS), Genel Sağlık Sigortası (MEDULA), e-Nabız, e-Reçete uygulamaları vb. Kullanılan bu sistemler ve uygulamalar ile sağlık verileri belirli çerçevelerde saklanmakta, paylaşılmakta ve gerektiğinde kullanılabilmektedir. Bu sayede klinik karar verme süreçlerine önemli ölçüde destek sağlamaktır (Yılmaz, Ergüner Özkoç, & Öğütçü Ulaş, 2021). Sağlanan bu destek kamu hizmetleri açısında önemli fırsatlar sunmaktadır.

Türkiye'de dijital sağlık dönüşümünün önemli bileşenlerinden biri olan E-Nabız kişisel sağlık kayıt sistemi, Birleşmiş Milletler Dünya Bilgi Toplumu İnisiyatifi kapsamında verilen Dünya Zirve Ödülleri'nde "En İyi Sağlık Uygulaması" seçilerek dünya çapında bir başarı elde etmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2018). E-nabız sistemi, Sağlık kuruluşlarından toplanan tüm sağlık verilerine (laboratuvar bulguları, tanı tedavi sonuçları, hastane kayıtları ve randevu geçmişleri vs.) vatandaşların ve sağlık çalışanlarının internet ve mobil cihazlar üzerinden erişebilecekleri bir uygulamadır. Muayene, tetkik ve tedavilerinizin nerede yapıldığına bakılmaksızın, tüm sağlık bilgilerinin yönetilebildiği, tıbbi özgeçmişin tek bir yerden ulaşılabilirliğini

sağlamaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2025). E-Nabız, Türkiye'de dijital sağlık dönüşümünün en önemli bileşenlerinden biridir. 2015 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından kullanılmaya başlayan bu sistem, bireylerin kişisel sağlık verilerini merkezi bir platform üzerinden yönetmelerine olanak sağlamaktadır. E-Nabız yalnızca bir veri görüntüleme sistemi değil; aynı zamanda hasta-hekim veri paylaşımına imkân veren, yetkilendirme temelli çalışan bir kişisel sağlık kayıt sistemidir. Kullanıcılar istedikleri hekimlere belirli süre ve kapsamda erişim izni verebilmektedir. Ayrıca sistem; gereksiz tetkiklerin azaltılması, hizmet kalitesinin artırılması, karar destek sistemlerinin güçlendirilmesi sağlık harcamalarının kontrol altına alınması gibi sistem düzeyinde hedeflere de hizmet etmektedir (Yalman, 2021).

2. HASTA MAHREMİYETİ KAVRAMI VE KİŞİSEL SAĞLIK VERİLERİ

Günümüzde sağlık verileri büyük ölçüde dijital ortamlarda saklanmakta ve bu durum sayesinde sağlık hizmetlerinin daha hızlı, doğru ve etkin sunulmasına katkı sağlamaktadır. Ancak kişisel sağlık verilerinin birçok kişi ve kurum tarafından erişilebilir olması, mahremiyet ve veri güvenliği açısından ciddi riskler doğurmaktadır. Sağlık verileri "özel nitelikli hassas veri" olarak kabul edildiğinden, yetkisiz erişim veya kötüye kullanım durumunda bireylerin özel hayatı, sosyal ve ekonomik durumu olumsuz etkilenebilmektedir (Ayaz, 2025). Tüm bu olumsuz etkilenmelerinin nedeni daha iyi tanımlayabilmek amacıyla hasta mahremiyeti nedir? Kişisel sağlık verisinin tanımı ve sınırlarının neler olduğunu bilmek önemlidir.

Hasta mahremiyeti, bireyin sağlık bilgileri üzerinde sahip olduğu kontrol ve gizlilik hakkını ifade eder. Mahremiyet, kişinin hangi bilgilerini paylaşacağını veya gizli tutacağını seçebilme özgürlüğünü kapsar ve bireyin yaşamı üzerindeki kontrolünü güvence altına alan temel bir haktır (Ayaz, 2025). Bu bağlamda, sağlık çalışanları hasta mahremiyetinin korunmasında kritik bir role sahiptir. Sağlık kurumlarında görev yapan tüm çalışanların, hastalara ait sağlık kayıtlarının gizliliğini koruma konusunda etik ve yasal sorumlulukları bulunmaktadır. Hastalara ait sağlık verilerine yalnızca doğrudan ilgili sağlık profesyonellerinin erişebilmesi sağlanmalı; bu verilere yetkisiz kişilerin erişimi kesin biçimde engellenmelidir (Yılmaz, Ergüner Özkoç, & Öğütçü Ulaş, 2021).

Kişisel veri, kimliği belirli veya belirlenebilir kişiye ilişkin her türlü bilgidir. Özellikle sağlık ve cinsel hayatla ilgili bilgiler, KVKK kapsamında "özel nitelikli kişisel veri" olarak sınıflandırılır ve daha yüksek düzeyde korunmaları gerekir (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2016). Türkiye'de kişisel sağlık verileri, Ulusal Sağlık Bilgi Sistemi (USBS) gibi ulusal veri tabanları üzerinden toplanmaktadır ve bu sistemler verilerin güvenliği için şifreleme, anonimleştirme ve erişim kontrolü gibi teknik önlemler uygulanmaktadır (Ayaz, 2025). 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), kişisel verilerin işlenmesini disiplin altına alarak bireyin özel hayatının gizliliğini güvence altına almayı amaçlar. Kanuna göre veri sorumlusu, kişisel verilerin işlenme amaçlarını ve yöntemlerini belirleyen, veri sistemlerini kuran ve yöneten kişi veya kurumdur. Kişisel verilerin işlenmesi, verilerin kullanılması, değiştirilmesi, sınıflandırılması, aktarılması ve saklanması gibi tüm süreçleri kapsar ve çoğu durumda bireyin açık rızası gereklidir (Kınış, Denizli, & Boztosun, 2025).

Dijitalleşme ile mahremiyetin korunması yalnızca etik değerlerle değil, teknik ve hukuki yöntemlerle de sağlanmalıdır. Elektronik sistemlerde güvenlik önlemleri (şifreleme, log kayıtları, yedekleme), erişim kontrolü, veri paylaşım izinlerinin yönetimi ve anonimleştirme, hasta verilerinin yetkisiz erişime veya kötüye kullanıma karşı korunmasında kritik öneme sahiptir (Kınış, Denizli, & Boztosun, 2025). Hasta mahremiyeti, temel bir hak olarak hem etik hem de hukuki bir zorunluluk oluşturur. Sağlık profesyonelleri ve kurumlar, kişisel sağlık verilerini korumakla yükümlüdür. Aynı zamanda bu veriler, anonimleştirilmek şartıyla bilimsel araştırmalar ve kamu yararı için kullanılabilir. Dijital platformlarda kullanıcı rızasının alınması önemli bir mekanizma olsa da rızanın geri çekilebilmesi ve veri erişim yetkilerinin net olarak belirlenmesi de mahremiyetin korunması açısından dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Sonuç olarak, hasta mahremiyeti bireyin temel haklarından biri olup, sağlık verilerinin güvenliği ve gizliliği hem etik hem de hukuki sorumluluklarla güvence altına alınmalıdır.

3. SAĞLIK ETİĞİ KAVRAMI

Sağlık alanında, yoğun iş yükü ve stres ile etik sorunlar sık yaşanmaktadır. Bu nedenle sağlık çalışanları karar süreçlerinde etik ilkelere ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık etiği; hasta hakları, adalet, sağlık politikaları ve profesyonel davranışları kapsayarak sağlık hizmetlerinin doğru ve adil sunulmasını amaçlar. Tarihsel olarak bakıldığında sağlık etiği, Hipokrat Yemini ile başlamış, Orta Çağ'da dini ve kültürel etkilerle gelişmiş, modern dönemde ise Nuremberg Kodu ve Helsinki Bildirgesi gibi uluslararası belgelerle standartlaşmıştır. Günümüzde sağlık etiği, sağlık çalışanlarına etik ikilemler karşısında rehberlik eder bu kapsamda birçok başlık tartışılsa da Beauchamp & Childress tarafından geliştirilen ve sağlık alanında karar verirken sıklıkla kullanılan dört temel etik ilkeden söz edebiliriz. Bunlar yararlılık, zarar vermeme, özerkliğe saygı ve adalettir (Akman Dömbekci & Karabulut Meral, 2025)**.**

3.1. Yararlılık İlkesi

Sağlık profesyonellerinin her koşulda hastanın iyiliğini ön planda tutmasını ifade eder. Bu yaklaşım, yalnızca zarar vermekten kaçınmayı değil, aynı zamanda hastanın sağlık durumunu iyileştirecek olumlu müdahalelerde bulunmayı da kapsar. Bu doğrultuda hekimler, hastaları için en uygun ve etkili tedavi seçeneklerini belirleyerek elde edilecek faydayı en yüksek düzeye ulaştırmayı hedefler.

3.2. Zarar Vermeme İlkesi

Hipokrat etiğinden günümüze kadar gelmiştir. "Öncelikle zarar verme" şeklinde ifade edilir. Bu ilke, sağlık çalışanlarının uygulayacakları müdahalelerin sağlayacağı faydalar ile doğurabileceği riskleri özenle tartmalarını gerektirir. Bazı durumlarda ise daha büyük bir zararı önlemek için daha küçük bir zararın kabul edilebilir olabileceği belirtilir.

3.3. Özerklik İlkesi

Bireyin kendi sağlık sürecine ilişkin kararları bağımsız biçimde alabilme hakkını esas alır. Otonomi olarak da ifade edilen bu ilke, sağlık çalışanlarının hastayı anlaşılır ve doğru biçimde bilgilendirmesini, böylece hastanın bilinçli tercihler yapabilmesini sağlar. Bu anlayış, hekim ile hasta arasındaki ilişkiyi daha dengeli ve açık bir yapıya kavuşturur; hastaya hekimini seçme ve tedavi kararlarına katılma imkânı sağlar.

3.4. Adalet İlkesi

Sağlık hizmetlerinden yararlanmada eşitlik ve hakkaniyetin gözetilmesini hedefler. Bu yaklaşım, kişilerin sosyal ya da ekonomik durumları ile bireysel farklılıklarından bağımsız olarak aynı düzeyde sağlık hizmetine ulaşabilmesini öngörür. Hizmetlerin sunumunda hem bireysel gereksinimler hem de toplumun genel yararı dikkate alınmalı ve mevcut kaynaklar bu doğrultuda planlanmalıdır. Adalet ilkesi, özgürlük, eşit fırsatlar ve insan hakları temeline dayanan bir sağlık sistemi anlayışını güçlendirir.

Genel olarak sağlık etiği, yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet ilkeleri üzerinden, hem hasta-hekim iletişimini güçlendirir hem de etik sorunlara çözüm sunar. Teknolojik, bilimsel ve sosyal gelişmelere duyarlı yapısıyla, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmada temel rol oynar (Akman Dömbekci & Karabulut Meral, 2025). Bu ilkeler üzerinden E-nabız uygulamasını değerlendirmeye çalışacağız.

4. E-NABIZ UYGULAMASININ ETİK İLKELER AÇISINDA DEĞERLENDİRMESİ

4.1. Yararlılık İlkesi

E-Nabız uygulaması ile sağlık verileri tek bir ulusal veri alt yapısı üzerinde toplanmaktadır ve sağlık hizmetleri nerede olursa olsun tüm bilgilere entegre bir şekilde ulaşılmaktadır. Bu sayede sağlık hizmetlerine daha hızlı, koordineli ve etkin yürütülebilmektedir. Sağlık çalışanları hastanın geçmiş tıbbi verilerine erişebildiği için tanı ve tedavi süreçlerinde daha doğru karar verebilmektedir. Gereksiz tetkiklerin azaltılması, hizmet kalitesinin artırılması ve sağlık harcamalarının kontrol altına alınması açısında avantaj sağlamaktadır. Ayrıca Sağlık verilerinin tek bir ulusal veri alt yapısı üzerinde toplanması büyük

veri oluşumu sağlayacağında sağlık politikalarının geliştirilmesi ve halk sağlığı araştırmalarına da fayda sağlayacaktır. Öte yandan sistemde bulunan verilerin yanlış yorumlanması veya eksik ve yanlış bilgilere dayalı yapılan değerlendirmeler karar süreçlerinin olumsuz etkilenmesine neden olacaktır. Büyük veri oluşumu beraberinde veri güvenliği ve mahremiyet konularına gündeme getirecektir (Bulut, 2023). Halk Sağlığı çalışmalarında kullanılan verilerin anonimleştirme süreçleri veri güvenliği ve mahremiyet açısında bazı sorunlara neden olabileceği dikkat çekmektedir.

4.2. Zarar Vermeme İlkesi

Sağlık veriler KVKK da belirtildiği üzere hassas kişisel veri sınıfında yer almaktadır. Bu yüzde verilerin korunması önemlidir. E-nabız sistemi e-devlet ile entegre ve iki aşamalı doğrulama sayesinde güvenli bir giriş sistemi sunmaktadır. Bununla beraber veri güvenliği önlemleri de bulunmaktadır. Ayrıca Sağlık Bakanlığı tarafından E-nabız sisteminde bulunan paylaşılmış verirleri kişinin onayı olmadan, yargı kararı ya da yasal bir yükümlülük bulunmadığı sürece herhangi bir üçüncü şahıs, kurum ve kuruluş ile paylaşılmayacağını garanti etmektedir (İleri & Uludağ, 2017). Tüm bunlara rağmen dijital sistemlerde siber saldırı, veri ihlali veya yetkisiz erişim gibi riskler tamamen ortadan kalkmamaktadır. Bu riskler bireylerin sağlık verilerinin zarar görmesine neden olabileceğinden dolayı veri güvenlik sistemlerinin belirli periyotlar hallinde güncellenmesi ve kullanıcıların veri paylaşımı konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

4.3. Özerklik İlkesi

E-nabız sistemi ile bireyler hastane ziyaretleri, tahlil sonuçları, reçeteler gibi kendi sağlık verilerine ulaşabilmekte ve yönetebilmektedir. Kendi belirledikleri sağlık çalışanları ile de verilerini paylaşabilmektedir. Ayrıca bireyler profilinde görünmesini istemediği ziyaretlerine ait tüm verilerini profil sayfasında görünmemesini sağlayabilmektedir. (Gizlenen veriler ilgili sağlık tesisinin veya bakanlığın sunucularından silinmezler.) E-nabız sisteminde kullanıcıların sağlık verilerinin kimlerle paylaşılacağı konusunda bilgilendirmeler ve Aydınlatılmış Onam metinleri yer alması ile bireyin kendi sağlık bilgileri üzerinde kontrol sahibi olmasını ve karar süreçlerine aktif katılımını güçlendirmektedir. Ve bu imkanlar bireyin özerkliğini desteklemektedir. Ancak dijital okuryazarlık düzeyinin düşük olması durumunda bazı bireylerin sistemin bu imkanlarından etkin bir şekilde yararlanamamasına neden olabilmektedir. Ayrıca aydınlatılmış onamın tüm bireyler için açık anlaşılır olmaması ve onamın kolayca geri çekilmesini sağlayacak bir seçeneğin bulunmaması özerklik ilkesini zayıflatacak bir durumdur (Bulut, 2023).

4.4. Adalet İlkesi

E-nabız sistemi Türkiye genelinde bütün vatandaşların sağlık kayıtlarına ücretsiz bir şekilde erişme imkânı sunmaktadır. Farklı sağlık kurumlarından alınan verilerin tek sistemde toplanması sağlık hizmetlerinde koordinasyonu artırmaktadır. Ancak internet erişimi olmayan, yaşlı, dijital teknolojileri kullanmakta zorlanan bireyler ya da dezavantajlı bireyler sistemden eşit şekilde yararlanmamaktadır. Bu da dijital eşitsizlik sorununa neden olmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

E-Nabız sistemi, sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesinde önemli bir rol oynamakta ve sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmaktadır. Sistem, yararlılık ve özerklik ilkeleri açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak sistemin yalnızca sağladığı faydaların değil, beraberinde getirdiği risklerin de dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle veri güvenliği ve mahremiyet konuları, dijital sağlık sistemlerinin en kritik sorun alanları arasındadır. Ayrıca dijital okuryazarlık düzeyi ve teknolojik erişim farklılıkları, sistemin tüm bireyler için eşit şekilde fayda sağlamasını zorlaştırabilmektedir.

Sonuç olarak, e-Nabız sisteminin etik ilkelerle büyük ölçüde uyumlu olduğu söylenebilir; ancak daha güvenli, kapsayıcı ve etik açıdan daha güçlü bir yapıya sahip olabilmesi için geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda veri güvenliği altyapılarının sürekli olarak güncellenmesi, kullanıcıların dijital okuryazarlık düzeylerini artırmaya yönelik eğitimlerin yaygınlaştırılması, aydınlatılmış onam süreçlerinin daha açık

ve geri çekilebilir biçimde düzenlenmesi önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra dezavantajlı gruplar için alternatif erişim yöntemlerinin geliştirilmesi, veri anonimleştirme süreçlerinin güçlendirilmesi ve sağlık çalışanlarına yönelik etik eğitimlerin artırılması da sistemin daha güvenli ve adil bir şekilde işlemesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Akman Dömbekci, H., & Karabulut Meral, K. (2025). Sağlık iletişiminde etik ve aydınlatılmış onam. *TOGÜ Erbaa Sağlık ve Yönetim Dergisi, 2(1),*, s. 52–81. https://izlik.org/JA84NM68EY adresinden alındı

Ayaz, E. B. (2025, Şubat). Dijital teknolojiler ve mahremiyet bağlamında kişisel sağlık verilerinin korunması. *Türkiye Medya Akademisi Dergisi Sayı: 9*, s. 19-36. doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.14933897

Bulut, F. (2023). Sağlıkta büyük veri: ulusal düzenlemeler ve veri kayıt sistemlerinin tıp etiği açısından incelenmesi. *(Yayın no. 780574). [Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi*.

İleri, Y., & Uludağ, A. (2017). E-nabız uygulamasının yönetim bilişim sistemleri ve hasta mahremiyeti açısından değerlendirmesi. *Usaysad Derg*, s. 318-325. https://izlik.org/JA38KL63EY adresinden alındı

Kınış, Z., Denizli, F., & Boztosun, D. (2025). Dijital sağlık teknolojilerinin sürdürülebilir sağlık sistemlerine katkısı: türkiye odaklı bir inceleme. *Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences, 12(3),*. doi:https://doi.org/10.17336/igusbd.1715799

Mevzuat Bilgi Sistemi. (2016). Kişisel verilerin korunması kanunu: https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6698&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 adresinden alındı

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2018). E-Nabız'dan dünya çapında başarı: https://sbsgm.saglik.gov.tr/TR,19880/e-nabizdan-dunya-capinda-basari.html adresinden alındı

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2025). E-Nabız kişisel sağlık sistemi: https://www.enabiz.gov.tr adresinden alındı

Yalman, F. (2021). Sağlık yöneticilerinin e-Nabız uygulamalarının kullanımına yönelik tutumlarının doğrulayıcı faktör analizi ile belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 10(4)*, s. 610-320. doi:https://doi.org/10.37989/gumussagbil.848465

Yılmaz, D., Ergüner Özkoç, E., & Öğütçü Ulaş, G. (2021). Elektronik sağlık kayıtlarında farkındalık. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, s. 777-792. https://izlik.org/JA98FG68BY adresinden alındı

https://doi.org/10.71284/asc.2026149

FİNANSAL TEKNOLOJİLERİN İSLAMİ FİNANSA ETKİSİ

THE IMPACT OF FINANCIAL TECHNOLOGIES ON ISLAMIC FINANCE

Selçuk Balı[1]

Özet

Finansal teknolojiler, finansal hizmetlerin üretim, dağıtım ve sunum aşamalarını temelden dönüştüren, finansal aracılık sistemini yeniden yapılandırarak sektörel rekabet dinamiklerini ciddi şekilde geliştirerek değiştiren yenilikçi uygulamalar bütünü olarak değerlendirilebilir. Büyük veri analitiği, blokzincir teknolojileri, dijitalleşme ve yapay zekâ aracılığıyla finansal işlemler noktasında hız, maliyet ve erişilebilirlik boyutlarında önemli iyileşmeler yaşanmakta; böylece finansal sistemin daha kapsayıcı ve kullanıcı odaklı bir yapıya evrilmesinin temelleri atılmaktadır. Söz konusu dönüşüm, sadece teknik altyapıyı değil, eş anlı olarak finansal kurumlara dair iş modellerini, risk yönetimi yaklaşımlarını ve düzenleyici çerçeveleri de yeniden biçimlendirmektedir. İslami finans sistemi ise faiz/riba yasağı, riskin paylaşılması, varlığa dayalı olma ve etik ilkelere bağlılık gibi temel prensiplerle biçimlenirken kabul edile gelmiş geleneksel finans sistemine alternatif bir model olarak ortaya çıkmıştır. Bu noktada finansal teknolojiler ile İslami finansın teorik ilkelerinin uyumlu hale getirilmesi sektörel etkinliği artırarak finansal hizmetlerin daha geniş kesimlere ulaştırılmasını mümkün hale getirecektir. Özellikle dijital finansal platformlar, İslami finans ile birlikte kullanılabilen ürünlerin erişilebilirliğini artırırken işlem süreçlerini hızlandırmakta, şeffaflık seviyesini yükselterek kullanıcı güveninin artmasına katkı vermektedir. Ne var ki, finansal teknolojiler ile İslami finansın bütünleşme süreci beraberinde çeşitli yapısal ve normatif sorunları da getirmektedir. Düzenleyici mevzuatın yetersiz olması, veri güvenliği ve gizlilik riskleri, algoritmik karar süreçlerinin denetlenmesi noktasında yaşanabilecek sorunlar ve İslam hukukuna uyumluluğun dijital ortamlarda nasıl sağlanacağına yönelik belirsizlikler, bu noktada yaşanan temel tartışma konuları olarak öne çıkmaktadır. Bu sebeple finansal teknolojilerin İslami finans üzerindeki etki ve yansımaları sadece teknik ve ekonomik açıdan değil, aynı zamanda etik, hukuk ve kurumsal açıdan da ele alınarak birlikte değerlendirilmelidir. Sonuç olarak, İslami finans ile finansal teknolojiler arasındaki ilişki ve etkileşim, finansal sistemin dönüşümü açısından önemli fırsatlar sunarken, bu potansiyelin sürdürülebilir bir yapıya kavuşturularak bütüncül bir yaklaşımla sisteme uyumlu biçimde entegrasyonu çok büyük bir öneme sahiptir. Bu yönüyle İslami fintekin gerek akademik araştırmalar gerekse politika geliştirme süreçleri açısından giderek daha fazla önem kazanan stratejik bir çalışma sahası olarak ön plana çıktığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Finansal teknolojiler (FinTek), islami finans, finansal kapsayıcılık, finansal inovasyon.

[1] Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Akşehir İİBF, Maliye Bölümü, selcukbali@selcuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-5117-8720

Abstract

Financial technologies (FinTech) can be regarded as a set of innovative applications that fundamentally transform the production, distribution, and delivery of financial services, while restructuring the financial intermediation system and significantly altering competitive dynamics within the sector. Through the utilization of big data analytics, blockchain technologies, digitalization, and artificial intelligence, substantial improvements have been achieved in terms of speed, cost efficiency, and accessibility of financial transactions. Consequently, the foundations are being established for a more inclusive and user-oriented financial system. This transformation not only affects technical infrastructure but also simultaneously reshapes business models, risk management approaches, and regulatory frameworks within financial institutions. The Islamic finance system, on the other hand, has emerged as an alternative to the conventional financial system, being shaped by fundamental principles such as the prohibition of interest (riba), risk sharing, asset-backed financing, and adherence to ethical values. In this context, aligning financial technologies with the theoretical principles of Islamic finance has the potential to enhance sectoral efficiency and facilitate the delivery of financial services to broader segments of society. In particular, digital financial platforms increase the accessibility of Islamic financial products, accelerate transaction processes, and contribute to greater user confidence by enhancing transparency. Nevertheless, the integration of financial technologies and Islamic finance also brings various structural and normative challenges. Inadequate regulatory frameworks, data security and privacy risks, difficulties in supervising algorithmic decision-making processes, and uncertainties regarding how compliance with Islamic law (Shariah) can be ensured in digital environments constitute some of the primary issues under debate. Therefore, the impacts and implications of financial technologies on Islamic finance should be evaluated not only from technical and economic perspectives but also through ethical, legal, and institutional lenses. In conclusion, the relationship and interaction between Islamic finance and financial technologies present significant opportunities for the transformation of the financial system. However, ensuring the sustainable realization of this potential and its integration into the financial system through a holistic approach remains of critical importance. In this regard, Islamic FinTech is increasingly emerging as a strategic field of study that attracts growing attention in both academic research and policy development processes.

Keywords: Financial technologies (FinTech), ıslamic finance, financial ınclusion, financial ınnovation.

GİRİŞ

Finansal teknolojiler (fintek), son yıllarda finansal sistemin yapısını dönüştüren en önemli dinamiklerden biri haline gelmiştir. Dijitalleşme süreçlerinin hız kazanması, veri işleme kapasitesindeki artış ve mobil teknolojilerin yaygınlaşması, finansal hizmetlerin üretim ve sunum biçimlerinde köklü değişimlere neden olmaktadır. Geleneksel finansal aracılık yapıları büyük ölçüde yeniden şekillenirken, ödeme sistemlerinden kredi mekanizmalarına, yatırım süreçlerinden müşteri ilişkilerine kadar geniş bir alanda teknoloji temelli yeni iş modelleri ortaya çıkmaktadır. Bu dönüşüm yalnızca teknik verimlilik artışıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda finansal kapsayıcılık, rekabet yapısı, düzenleyici çerçeve ve kullanıcı davranışları üzerinde de önemli etkiler yaratmaktadır (Arner vd., 2015; Gomber vd., 2017).

Fintek ekosisteminin gelişimiyle birlikte finansal hizmetler daha erişilebilir, düşük maliyetli ve kullanıcı merkezli hale gelmektedir. Özellikle mobil uygulamalar, açık bankacılık sistemleri, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve blokzincir teknolojileri, finansal süreçlerin daha hızlı ve etkin biçimde yürütülmesine

imkân sağlamaktadır. Bunun yanında dijitalleşme süreci, geleneksel finans kurumlarının iş modellerini de dönüştürmekte; banka dışı aktörlerin finansal sistem içerisindeki rolünü giderek artırmaktadır. Böylece finans sektörü, daha rekabetçi ve çok katmanlı bir yapıya doğru evrilmektedir (Lee ve Shin, 2018).

İslami finans sistemi ise faiz/riba yasağı, risk paylaşımı, reel ekonomik faaliyetlere dayalı finansman ve aşırı belirsizlik ile spekülatif işlemlerin sınırlandırılması gibi temel ilkeler üzerine inşa edilmiş alternatif bir finansal yaklaşımı temsil etmektedir. Bu yönüyle İslami finans yalnızca teknik bir bankacılık modeli değil; aynı zamanda etik ve toplumsal temelli bir ekonomik yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Chapra (2000)'nın ifade ettiği üzere İslam iktisadı, ekonomik faaliyetleri toplumsal adalet, ahlaki sorumluluk ve kamusal fayda çerçevesinde ele almakta; finansal sistemin üretimden kopuk, aşırı spekülatif ve eşitsizlik yaratan yapılar oluşturmasını sınırlandırmayı amaçlamaktadır.

Finansal teknolojiler ile İslami finansın kesişim alanı, son yıllarda akademik literatürde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Çünkü fintek uygulamaları, İslami finans ürünlerinin daha geniş kitlelere ulaştırılması, işlem maliyetlerinin azaltılması ve finansal kapsayıcılığın artırılması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle dijital ödeme sistemleri, blokzincir tabanlı sözleşmeler, kitle fonlama platformları ve veri temelli finansal analiz araçları, İslami finansın operasyonel etkinliğini artırabilecek stratejik araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanında fintek uygulamaları sayesinde faiz hassasiyeti nedeniyle geleneksel finansal sisteme mesafeli duran bireylerin finansal sisteme daha etkin biçimde dahil edilmesi mümkün hale gelmektedir.

Bununla birlikte söz konusu dönüşüm yalnızca fırsatlar üretmemektedir. Dijital ortamda şeriat uygunluğunun sürdürülmesi, algoritmik karar süreçlerinin etik boyutu, veri güvenliği, kullanıcı mahremiyeti ve düzenleyici denetim mekanizmaları gibi konular, İslami fintek alanında çözülmesi gereken önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Özellikle teknolojik altyapının hızla gelişmesine karşın standartlaşmış şeriat yönetişimi mekanizmalarının yeterince kurumsallaşamamış olması, sektör açısından önemli bir belirsizlik alanı oluşturmaktadır. El-Gamal (2006), İslami finans uygulamalarında yalnızca biçimsel uygunluğun yeterli olmadığını; finansal işlemlerin toplumsal fayda ve adil paylaşım ilkeleriyle de uyumlu olması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, dijital finans uygulamalarının değerlendirilmesinde de önemli bir teorik çerçeve sunmaktadır.

Son yıllarda İslami fintek alanına yönelik akademik çalışmaların sayısında belirgin bir artış gözlenmektedir. Hasan vd. (2020), Alshater vd. (2022) ve Qudah vd. (2023) tarafından yapılan çalışmalar, alanın hızlı biçimde büyüdüğünü ancak özellikle ampirik analizler, kullanıcı davranışları, düzenleyici mimari ve etik yönetişim konularında literatürde hâlen önemli boşluklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle blokzincir, dijital sukuk, akıllı sözleşmeler ve sosyal finans uygulamaları gibi alanlarda daha derinleştirici çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Bu kapsamda çalışmanın temel amacı, finansal teknolojilerin İslami finans sistemi üzerindeki etkilerini kavramsal, teorik ve uygulamalı boyutlarıyla değerlendirmektir. Çalışmada öncelikle finansal teknoloji kavramı ve tarihsel gelişim süreci ele alınacak, ardından dünya ve Türkiye'de fintek ekosisteminin gelişimi incelenecek ve sonrasında İslam iktisadı perspektifi çerçevesinde fintek uygulamalarının İslami finans üzerindeki etkileri analiz edilecektir. Son bölümde ise literatürde öne çıkan çalışmalar değerlendirilerek İslami fintek alanına ilişkin genel değerlendirme ve çeşitli politika önerilerine yer verilecektir.

Finansal Teknoloji Kavramı, Tarihsel Gelişimi ve Fintek'in temel uygulama alanları

Finansal teknoloji kavramı, finansal hizmetlerin dijital teknolojiler aracılığıyla yeniden tasarlanmasını, sunulmasını ve yönetilmesini ifade etmektedir. Günümüzde yaygın biçimde kullanılan "fintek" kavramı ise, finans ile teknolojinin kesişiminden doğan yenilikçi uygulamaları ve iş modellerini kapsamaktadır. Fintek yalnızca mevcut finansal hizmetlerin dijital ortama aktarılması anlamına gelmemekte; aynı zamanda finansal aracılık mekanizmasının yeniden yapılandırılmasını, kullanıcı davranışlarının dönüşmesini ve finansal sistemin işleyiş mantığının değişmesini de içermektedir. Bu yönüyle fintek, finans sektöründe yaşanan dijital dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Teknolojik gelişmelerin finansal sistem üzerindeki etkileri tarihsel olarak uzun bir geçmişe sahip olmakla birlikte, özellikle son yirmi yılda yaşanan dijitalleşme süreci bu dönüşümü daha görünür hale getirmiştir. Finansal işlemlerin elektronik ortama taşınması, internet altyapısının yaygınlaşması ve mobil teknolojilerin

gelişmesi, finansal hizmetlerin zaman ve mekân sınırlamalarından büyük ölçüde bağımsız hale gelmesini sağlamıştır. Böylece finansal işlemler daha hızlı, düşük maliyetli ve kullanıcı odaklı biçimde yürütülebilir hale gelmiştir. Nitekim günümüzde ödeme sistemlerinden yatırım araçlarına, kredi süreçlerinden sigortacılık hizmetlerine kadar çok sayıda finansal işlem dijital platformlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Fintek uygulamalarının en önemli özelliklerinden biri, geleneksel finansal aracılık yapısını dönüştürmesidir. Geleneksel finansal sistemde ödeme, kredi, yatırım ve danışmanlık gibi hizmetler büyük ölçüde bankalar ve finansal kurumlar tarafından bütünleşik biçimde sunulurken; fintek ekosistemiyle birlikte bu hizmetler uzmanlaşmış teknoloji şirketleri ve dijital platformlar aracılığıyla parçalı ve daha esnek biçimde sunulmaya başlanmıştır. Bu durum finans sektöründe rekabeti artırırken, aynı zamanda kullanıcıların daha kişiselleştirilmiş finansal hizmetlere erişebilmesini mümkün hale getirmiştir. Özellikle veri analitiği ve yapay zekâ uygulamaları sayesinde kullanıcı davranışları daha ayrıntılı biçimde analiz edilmekte ve finansal ürünler bireysel ihtiyaçlara göre şekillendirilebilmektedir.

Finansal teknolojilerin tarihsel gelişimi genel olarak üç temel aşamada değerlendirilmektedir. İlk aşama, iletişim teknolojilerinin finansal işlemlerde kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Telgraf, telefon ve elektronik haberleşme sistemleri sayesinde finansal işlemler daha hızlı hale gelmiş ve uluslararası sermaye hareketleri kolaylaşmıştır. İkinci aşama ise bankacılık sisteminin dijitalleşme süreciyle ilişkilidir. ATM'ler, elektronik fon transferleri, kredi kartları ve internet bankacılığı uygulamaları bu dönemin temel gelişmeleri arasında yer almaktadır. Üçüncü ve güncel aşama ise mobil teknolojiler, büyük veri, yapay zekâ, blokzincir ve platform ekonomisi gibi ileri dijital teknolojilerin finansal sisteme entegre edilmesiyle şekillenmektedir. Bu aşamada finansal sistem yalnızca dijitalleşmemekte; aynı zamanda veri odaklı, kullanıcı merkezli ve sürekli öğrenebilen bir yapıya dönüşmektedir.

2008 küresel finans krizi, finansal teknolojilerin yükseliş sürecinde önemli bir kırılma noktası olarak değerlendirilmektedir. Kriz sonrasında geleneksel finansal kurumlara duyulan güvenin azalması ve kullanıcıların daha düşük maliyetli, hızlı ve erişilebilir hizmetlere yönelmesi, fintek girişimlerinin gelişimini hızlandırmıştır. Bunun yanında finansal kriz, geleneksel finansal sistemin yapısal sorunlarını görünür hale getirmiş ve alternatif finansal modellerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Arner vd. (2015), bu dönemi "kriz sonrası yeni finansal paradigma" olarak tanımlamakta ve fintek uygulamalarının finansal sistemin işleyiş mantığını dönüştürdüğünü ifade etmektedir.

Fintek ekosistemi oldukça geniş ve çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Ödeme sistemleri, dijital bankacılık, dijital kredi platformları, robo-danışmanlık uygulamaları, sigorta teknolojileri, açık bankacılık, blokzincir tabanlı uygulamalar ve gömülü finans çözümleri bu ekosistemin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle mobil ödeme sistemleri, kullanıcıların finansal işlemleri daha hızlı ve düşük maliyetle gerçekleştirmesine imkân tanımakta; dijital bankacılık uygulamaları ise fiziksel şube bağımlılığını azaltarak finansal hizmetlere erişimi kolaylaştırmaktadır.

Büyük veri ve yapay zekâ uygulamaları, fintek ekosisteminin en önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Veri analitiği sayesinde kullanıcı davranışları ayrıntılı biçimde analiz edilmekte ve finansal hizmetler daha yüksek düzeyde kişiselleştirilebilmektedir. Özellikle kredi değerlendirme süreçlerinde kullanılan algoritmalar, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve kapsamlı analiz yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bunun yanında robo-danışmanlık uygulamaları, yatırım karar süreçlerinin otomatikleştirilmesine katkı sunmaktadır. Ancak algoritmik karar süreçlerinin şeffaf olmaması, veri güvenliği ve etik riskler gibi konular da fintek ekosisteminin tartışmalı alanları arasında yer almaktadır.

Blokzincir teknolojisi ise finansal teknolojilerin en dikkat çekici yenilik alanlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Dağıtık kayıt altyapısına dayanan bu teknoloji, merkezi otoriteye ihtiyaç duyulmaksızın güvenli işlem yapılmasına imkân tanımaktadır. Özellikle ödeme sistemleri, dijital varlıklar, akıllı sözleşmeler ve dijital sukuk uygulamaları açısından blokzincir önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte blokzincir teknolojisinin hukuki altyapısı, düzenleyici çerçevesi ve enerji tüketimi gibi konular hâlen yoğun biçimde tartışılmaktadır.

Fintek uygulamalarının finansal kapsayıcılık üzerindeki etkileri de literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Dijital finansal araçlar sayesinde daha önce bankacılık sistemine erişemeyen bireyler finansal sisteme dahil olabilmektedir. Özellikle düşük gelirli bireyler, kırsal bölgelerde yaşayan kullanıcılar ve geleneksel finansal

sistemden dışlanan gruplar açısından fintek çözümleri önemli avantajlar sağlamaktadır. Dünya Bankası tarafından yayımlanan çalışmalar da dijital finansal araçların finansal kapsayıcılığı artırıcı etkilerine dikkat çekmektedir (Demirgüç-Kunt vd., 2018).

Bu gelişmeler, İslami finans sistemi açısından da önemli fırsatlar yaratmaktadır. Çünkü İslami finans yalnızca bankacılık hizmetlerinden ibaret değildir. Sosyal finans uygulamaları, ortaklığa dayalı finansman modelleri, zekât ve vakıf sistemleri gibi çok sayıda alan teknoloji tabanlı çözümlere ihtiyaç duymaktadır. Fintek uygulamalarının esnek ve modüler yapısı, İslami finans ürünlerinin daha erişilebilir, düşük maliyetli ve şeffaf biçimde sunulmasına katkı sağlayabilmektedir. Özellikle dijital ödeme sistemleri, blokzincir tabanlı kayıt mekanizmaları ve veri analitiği uygulamaları, İslami finansın operasyonel etkinliğini artırabilecek stratejik araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Dolayısıyla finansal teknolojiler yalnızca finans sektöründe teknik dönüşüm yaratan araçlar değil; aynı zamanda finansal sistemin işleyiş mantığını, kullanıcı davranışlarını ve ekonomik ilişkileri yeniden şekillendiren çok boyutlu bir dönüşüm alanı niteliği taşımaktadır. Bu dönüşümün İslami finans sistemi üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi ise, hem teorik hem de uygulamalı açıdan giderek daha önemli hale gelmektedir.

Dünya'da ve Türkiye'de Finansal Teknoloji Sisteminin Gelişimi

Finansal teknolojilerin küresel ölçekte gelişimi, finansal sistemin yapısal dönüşüm sürecinin en önemli göstergelerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle dijitalleşme süreçlerinin hız kazanması, mobil teknolojilerin yaygınlaşması ve veri ekonomisinin büyümesi, finans sektörünün geleneksel işleyiş biçimlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu dönüşüm yalnızca finansal hizmetlerin dijital ortama taşınmasıyla sınırlı kalmamış; aynı zamanda finansal aracılık mekanizmasının yeniden yapılandırılmasına, yeni aktörlerin finansal sisteme dahil olmasına ve kullanıcı davranışlarının değişmesine neden olmuştur. Böylece finans sektörü daha dinamik, çok katmanlı ve platform temelli bir yapıya doğru evrilmiştir.

Küresel ölçekte fintek ekosisteminin gelişiminde ABD, Birleşik Krallık ve Çin gibi ülkelerin öncü rol üstlendiği görülmektedir. Özellikle ABD'de gelişmiş girişim sermayesi piyasaları, güçlü teknoloji altyapısı ve yüksek inovasyon kapasitesi, fintek girişimlerinin hızlı biçimde büyümesine katkı sağlamıştır. Silikon Vadisi merkezli teknoloji şirketleri, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve dijital ödeme sistemleri alanlarında finansal sistemin dönüşümüne yön veren temel aktörler arasında yer almaktadır. Bunun yanında ABD'de düzenleyici kurumların yenilikçi finansal teknolojilere görece daha esnek yaklaşması, sektörün gelişimini destekleyen önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

Birleşik Krallık ise özellikle düzenleyici inovasyon alanında öne çıkmaktadır. Finansal Davranış Otoritesi (FCA) tarafından geliştirilen "regulatory sandbox" uygulamaları, fintek girişimlerinin kontrollü bir ortamda yenilikçi finansal ürünleri test etmesine imkân sağlamaktadır. Bu yaklaşım, hem finansal inovasyonun desteklenmesini hem de kullanıcı güvenliğinin korunmasını amaçlamaktadır. Londra'nın küresel finans merkezi konumu da fintek yatırımlarının yoğunlaşmasına katkı sağlamaktadır. Nitekim Birleşik Krallık, dijital bankacılık, açık bankacılık ve ödeme sistemleri alanlarında Avrupa'nın en gelişmiş fintek ekosistemlerinden biri haline gelmiştir.

Asya piyasalarında ise özellikle Çin dikkat çekmektedir. Çin'de mobil ödeme sistemleri ve platform ekonomisi, finansal teknolojilerin gelişiminde belirleyici rol oynamıştır. Alipay ve WeChat Pay gibi uygulamalar, günlük ekonomik yaşamın merkezine yerleşmiş ve nakitsiz ödeme sistemlerinin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. Çin'de fintek uygulamalarının başarısında geniş kullanıcı kitlesi, mobil internet kullanımının yaygınlığı ve veri odaklı platform ekonomisinin gelişmiş olması önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte son yıllarda Çin'de teknoloji şirketlerine yönelik düzenleyici müdahalelerin artması, fintek sektörünün geleceği açısından yeni tartışmaları gündeme getirmiştir.

Küresel fintek ekosisteminin gelişiminde dikkat çeken önemli unsurlardan biri de finansal kapsayıcılığın güçlenmesidir. Dijital finansal araçlar sayesinde geleneksel bankacılık sistemine erişemeyen bireyler finansal hizmetlere daha kolay ulaşabilmektedir. Dünya Bankası verileri, özellikle düşük gelirli bireyler ve kırsal bölgelerde yaşayan kullanıcılar açısından mobil finansal uygulamaların önemli avantajlar sağladığını göstermektedir (Demirgüç-Kunt vd., 2018). Bu durum, finansal teknolojilerin yalnızca ticari verimlilik

aracı olmadığını; aynı zamanda finansal sistemin kapsayıcılığını artırabilecek sosyal bir dönüşüm alanı olduğunu da ortaya koymaktadır.

Türkiye'de finansal teknolojilerin gelişimi ise özellikle son on yılda belirgin biçimde hız kazanmıştır. Dijital bankacılık uygulamalarının yaygınlaşması, mobil ödeme sistemlerinin gelişmesi ve banka-fintek iş birliklerinin artması, Türkiye'de fintek ekosisteminin büyümesini destekleyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin gelişmiş bankacılık altyapısı, yüksek mobil cihaz kullanım oranı ve genç nüfus yapısı, fintek uygulamalarının yaygınlaşması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Türkiye'de ödeme sistemleri, fintek ekosisteminin en hızlı büyüyen alanlarından biri olarak dikkat çekmektedir. Temassız ödeme sistemleri, mobil cüzdan uygulamaları ve dijital para transferi platformları, kullanıcı davranışlarında önemli dönüşümler yaratmıştır. Bunun yanında açık bankacılık uygulamalarının gelişmesi, kullanıcıların finansal verilerini daha etkin biçimde yönetebilmesine imkân sağlamaktadır. Açık bankacılık sayesinde finansal hizmetler daha kişiselleştirilmiş hale gelirken, finansal kurumlar arasında veri paylaşımı da hız kazanmaktadır.

Türk fintek ekosisteminde banka-fintek iş birliklerinin önemli bir gelişim alanı oluşturduğu görülmektedir. Geleneksel bankalar, teknoloji odaklı girişimlerle iş birliği yaparak dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırmakta ve kullanıcı deneyimini geliştirmeye yönelik yeni uygulamalar geliştirmektedir. Özellikle dijital müşteri edinimi, yapay zekâ tabanlı müşteri hizmetleri ve veri analitiği uygulamaları, bankacılık sektörünün dönüşümünde belirleyici hale gelmektedir. Bunun yanında İstanbul Finans Merkezi projesi gibi girişimler de Türkiye'nin bölgesel finans ve fintek merkezi olma hedefini desteklemektedir.

Türkiye açısından dikkat çeken önemli alanlardan biri de katılım bankacılığı ile finansal teknolojilerin kesişimidir. Katılım bankalarının dijital kanalları daha yoğun kullanmaya başlaması, İslami finans ürünlerinin daha geniş kullanıcı kitlesine ulaşmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle mobil bankacılık uygulamaları, dijital ödeme sistemleri ve çevrim içi finansman platformları, katılım finans sektörünün dijitalleşme sürecini hızlandırmaktadır. Bu durum, İslami fintek uygulamalarının Türkiye'de gelişmesi açısından önemli bir altyapı oluşturmaktadır.

Bununla birlikte Türkiye'de fintek ekosisteminin gelişimi açısından bazı yapısal sorunlar da bulunmaktadır. Düzenleyici çerçevenin sürekli güncellenme ihtiyacı, veri güvenliği sorunları, siber güvenlik riskleri ve kullanıcı güveninin sürdürülebilir biçimde sağlanması önemli tartışma alanları arasında yer almaktadır. Özellikle dijital finansal hizmetlerin yaygınlaşmasıyla birlikte kişisel verilerin korunması ve algoritmik karar süreçlerinin şeffaflığı gibi konular daha kritik hale gelmektedir. Bunun yanında finansal okuryazarlık düzeyi de fintek uygulamalarının etkin biçimde kullanılabilmesi açısından belirleyici rol oynamaktadır.

İslami fintek alanında ise şeriat uyumluluğu ve standartlaşma ihtiyacı öne çıkan temel sorunlar arasında yer almaktadır. Farklı kurumların aynı finansal ürüne ilişkin farklı şeriat yorumları geliştirmesi, kullanıcı güveni açısından belirsizlik yaratabilmektedir. Bu nedenle dijital şeriat yönetişimi mekanizmalarının geliştirilmesi ve standart uygulama çerçevelerinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak küresel ölçekte ve Türkiye'de finansal teknolojilerin gelişimi, finansal sistemin giderek daha dijital, veri odaklı ve kullanıcı merkezli bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Bu dönüşüm yalnızca teknik inovasyonları değil; finansal kapsayıcılık, düzenleyici yapı, etik yönetişim ve kullanıcı davranışları gibi çok boyutlu alanları da etkilemektedir. Özellikle İslami finans sistemi açısından fintek uygulamaları önemli fırsatlar sunmakla birlikte, söz konusu fırsatların sürdürülebilir ve güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için güçlü kurumsal altyapı ve etik yönetişim mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

İslam İktisadi Anlayışı

İslam iktisadı, ekonomik faaliyetleri yalnızca üretim, tüketim ve kaynak tahsisi çerçevesinde değerlendiren teknik bir yaklaşımın ötesinde; ahlaki, toplumsal ve insani boyutları merkeze alan bütüncül bir ekonomik sistem anlayışını ifade etmektedir. Bu yaklaşımda ekonomik süreçler yalnızca bireysel fayda maksimizasyonu temelinde ele alınmamakta; aynı zamanda toplumsal adalet, gelir dağılımı, insan onuru ve kamusal fayda gibi temel ilkeler çerçevesinde değerlendirilmektedir. Dolayısıyla İslam iktisadı, ekonomi ile ahlak arasındaki ilişkiyi yeniden kurmayı amaçlayan normatif bir çerçeve sunmaktadır.

Modern ekonomik sistemlerde piyasa mekanizması çoğu zaman kendi içinde işleyen bağımsız bir yapı

olarak ele alınırken, İslam iktisadı piyasa süreçlerinin etik ilkelerden bağımsız düşünülemeyeceğini savunmaktadır. Chapra (2000)'nın ifade ettiği üzere ekonomik faaliyetlerin temel amacı yalnızca sermaye birikimi veya bireysel kazanç değildir. Asıl amaç, toplumsal refahın artırılması, ekonomik adaletin sağlanması ve insan merkezli sürdürülebilir bir ekonomik düzenin oluşturulmasıdır. Bu nedenle İslam iktisadı, ekonomik etkinlik ile toplumsal sorumluluk arasında denge kurmayı hedeflemektedir.

İslam iktisadının en çok bilinen ilkelerinden biri faiz/riba yasağıdır. Ancak İslami ekonomik sistem yalnızca faiz yasağı üzerinden açıklanabilecek dar bir finans modeli değildir. Sistemin temel yaklaşımı, risksiz ve üretimden bağımsız kazanç mekanizmalarına karşı çıkılmasıdır. Başka bir ifadeyle sermayenin reel ekonomik faaliyetlerden kopuk biçimde kendi başına gelir üretmesi, İslam iktisadı açısından sorunlu görülmektedir. Bunun yerine emek, sermaye ve riskin birlikte paylaşıldığı ortaklığa dayalı ekonomik ilişkiler teşvik edilmektedir.

Bu çerçevede mudarebe ve müşareke gibi ortaklığa dayalı finansman modelleri, İslam iktisadının temel araçları arasında yer almaktadır. Söz konusu modellerde taraflar hem riski hem de kazancı paylaşmakta; böylece ekonomik ilişkiler daha adil ve dengeli hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu yaklaşım, finansal sistemin spekülatif işlemler yerine reel ekonomik faaliyetlerle bağlantılı olmasını amaçlamaktadır. El-Gamal (2006), modern İslami finans uygulamalarına yönelik eleştirilerinde, sistemin yalnızca biçimsel şeriat uygunluğu üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini vurgulamakta; finansal işlemlerin toplumsal fayda, adil paylaşım ve ekonomik etik ilkeleriyle uyumlu olması gerektiğini ifade etmektedir.

İslam iktisadında belirsizlik ve aşırı spekülasyon da sınırlandırılmaktadır. Garar olarak ifade edilen aşırı belirsizlik içeren işlemler, ekonomik ilişkilerde taraflar arasında haksızlığa ve bilgi asimetrisine yol açabileceği gerekçesiyle uygun görülmemektedir. Bunun yanında üretimden kopuk spekülatif işlemler ve aşırı risk içeren finansal faaliyetler de sistemin temel ilkeleriyle çelişmektedir. Bu yaklaşım, finansal piyasaların daha istikrarlı ve üretim odaklı hale getirilmesini amaçlamaktadır.

İslam iktisadının dikkat çeken önemli yönlerinden biri de sosyal adalet ve gelir dağılımı konusuna verdiği önemdir. Zekât, sadaka ve vakıf gibi sosyal finans mekanizmaları, ekonomik kaynakların toplum içerisinde daha dengeli dağıtılmasını hedeflemektedir. Böylece ekonomik sistem yalnızca büyüme ve sermaye birikimi üzerinden değil; toplumsal refahın paylaşımı ve sosyal dayanışma ilkeleri üzerinden de değerlendirilmektedir. Bu yönüyle İslam iktisadı, finansal kapsayıcılık ve sosyal içerme açısından önemli bir teorik çerçeve sunmaktadır.

Nitekim bazı ampirik çalışmalar, İslami finans kurumlarının özellikle kriz dönemlerinde daha dayanıklı yapılar sergileyebildiğini ortaya koymaktadır. Beck vd. (2013), İslami bankalar ile geleneksel bankaları karşılaştırdıkları çalışmalarında, bazı alanlarda İslami bankaların daha güçlü sermaye yapısına ve daha yüksek varlık kalitesine sahip olduğunu belirtmektedir. Bunun temel nedenlerinden biri, İslami finans sisteminin aşırı spekülasyon ve yüksek kaldıraç kullanımını sınırlayan yapısal özellikleridir.

İslam iktisadı teknoloji karşıtı bir yaklaşım benimsememektedir. Asıl mesele, teknolojinin hangi amaçlarla ve hangi etik ilkeler doğrultusunda kullanıldığıdır. Teknolojik araçların toplumsal faydayı artırması, adil paylaşımı desteklemesi ve ekonomik sömürüyü azaltması durumunda, bu araçların İslam iktisadıyla uyumlu olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle finansal teknolojiler, uygun etik ve kurumsal çerçeve içerisinde kullanıldığında İslami finans sistemi açısından önemli fırsatlar sunabilmektedir.

Özellikle fintek uygulamaları sayesinde İslami finans ürünlerinin daha geniş kullanıcı kitlelerine ulaştırılması, işlem maliyetlerinin azaltılması ve finansal kapsayıcılığın artırılması mümkün hale gelmektedir. Dijital ödeme sistemleri, blokzincir tabanlı sözleşmeler, akıllı kontratlar ve veri analitiği uygulamaları, İslami finansın operasyonel etkinliğini artırabilecek önemli araçlar arasında yer almaktadır. Bunun yanında zekât, sadaka ve vakıf gibi sosyal finans uygulamalarının dijitalleşmesi, sosyal yardımların daha şeffaf ve etkin biçimde yönetilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Ancak teknolojinin yalnızca hız, kârlılık ve veri kontrolü amacıyla kullanılması çeşitli etik sorunları da beraberinde getirebilmektedir. Özellikle veri istismarı, algoritmik ayrımcılık, kullanıcı manipülasyonu ve aşırı borçlandırma gibi uygulamalar, İslam iktisadının temel ilkeleriyle çelişebilmektedir. Bu nedenle İslami fintek uygulamalarında yalnızca teknik uygunluk değil; normatif ve etik uygunluk da önem taşımaktadır. Başka bir ifadeyle bir finansal ürünün yalnızca biçimsel olarak şeriata uygun olması yeterli görülmemekte;

aynı zamanda toplumsal etkilerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Buradan hareketle İslam iktisadı ile finansal teknolojiler arasındaki ilişki, yalnızca teknik entegrasyon meselesi olarak değerlendirilmemelidir. Asıl mesele, dijital finansal dönüşümün hangi etik çerçeve içerisinde gerçekleştirileceğidir. Dolayısıyla fintek uygulamalarının İslami finans sistemiyle uyumu değerlendirilirken; adalet, şeffaflık, toplumsal fayda ve risk paylaşımı gibi temel ilkelerin korunup korunmadığı büyük önem taşımaktadır.

Fintek'in İslami Finansa Katkısı

Finansal teknolojilerin İslami finans sistemine sağladığı katkılar, son yıllarda akademik literatürde ve uygulama alanlarında yoğun biçimde tartışılan konular arasında yer almaktadır. Özellikle dijitalleşme süreçlerinin hız kazanması, mobil finansal uygulamaların yaygınlaşması ve veri temelli finansal hizmetlerin gelişmesi, İslami finansın erişim kapasitesini ve operasyonel etkinliğini önemli ölçüde artırabilecek yeni imkânlar ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda fintek uygulamaları, yalnızca mevcut finansal ürünlerin dijital ortama taşınmasını değil; aynı zamanda İslami finans sisteminin daha kapsayıcı, şeffaf ve kullanıcı merkezli bir yapıya dönüşmesini sağlayabilecek stratejik araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Fintek'in İslami finansa sağladığı en önemli katkılardan biri finansal kapsayıcılığın artırılmasıdır. Geleneksel finansal sistemden faiz hassasiyeti nedeniyle uzak duran bireyler, dijital platformlar aracılığıyla ihtiyaçlarına uygun finansal hizmetlere daha kolay erişebilmektedir. Özellikle mobil bankacılık uygulamaları, dijital ödeme sistemleri ve çevrim içi finansman platformları sayesinde coğrafi erişim sorunları büyük ölçüde azalmakta ve finansal hizmetler daha geniş kullanıcı kitlelerine ulaştırılabilmektedir. Dünya Bankası tarafından yapılan çalışmalar da dijital finansal araçların finansal dışlanmayı azaltıcı etkilerine dikkat çekmektedir (Mohieldin vd., 2011; Demirgüç-Kunt vd., 2018).

Bu durum, İslami finansın temel hedeflerinden biri olan ekonomik adalet ve sosyal kapsayıcılık açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Çünkü İslam iktisadı yalnızca belirli gelir gruplarına hizmet eden dar bir finans modeli değil; toplumun geniş kesimlerini finansal sisteme dahil etmeyi amaçlayan etik temelli bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Fintek uygulamaları sayesinde düşük gelirli bireylerin, küçük işletmelerin ve geleneksel finansal sistemin dışında kalan kullanıcıların finansal hizmetlere erişimi kolaylaşabilmektedir. Böylece İslami finans sistemi daha kapsayıcı ve toplumsal fayda odaklı bir yapıya dönüşebilmektedir.

Fintek'in İslami finansa sağladığı bir diğer önemli katkı, işlem süreçlerinde şeffaflık ve güvenin artırılmasıdır. Özellikle blokzincir teknolojisi, işlem kayıtlarının değiştirilemez biçimde saklanmasına imkân sağlayarak finansal işlemlerin izlenebilirliğini güçlendirmektedir. Bu durum yalnızca teknik güvenlik açısından değil; aynı zamanda kurumsal güven ve şeriat uygunluğu açısından da önem taşımaktadır. Çünkü İslami finans sisteminde güven, yalnızca finansal işlemin güvenli biçimde gerçekleşmesini değil; aynı zamanda işlemin etik ve dini ilkelere uygun biçimde yürütülmesini de kapsamaktadır.

Blokzincir tabanlı sistemler özellikle zekât, sadaka, vakıf ve bağış yönetimi gibi sosyal finans uygulamalarında önemli avantajlar sunmaktadır. Fonların hangi amaçla kullanıldığının şeffaf biçimde takip edilebilmesi, kullanıcı güvenini artırmakta ve hesap verebilirliği güçlendirmektedir. Bu yönüyle blokzincir teknolojisi, İslami finansın sosyal dayanışma ve kamusal fayda hedeflerini destekleyen önemli araçlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

Finansal teknolojiler aynı zamanda İslami finans ürünlerinde ürün çeşitliliğini ve inovasyonu artırmaktadır. Geleneksel İslami finans uygulamalarında bazı ürünlerin operasyonel maliyetleri yüksek olabilmekte ve süreçler bürokratik hale gelebilmektedir. Fintek çözümleri ise bu süreçlerin dijitalleşmesini sağlayarak daha hızlı, düşük maliyetli ve kullanıcı dostu finansal ürünlerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Özellikle dijital sukuk platformları, kitle fonlama sistemleri, akıllı sözleşmeler ve ortaklığa dayalı dijital finansman modelleri, İslami finansın kurumsal kapasitesini genişletmektedir.

Kitle fonlama uygulamaları, İslami finans açısından dikkat çeken önemli yenilik alanlarından biridir. Özellikle mudarebe ve müşareke gibi ortaklığa dayalı finansman modellerinin dijital platformlar aracılığıyla uygulanabilmesi, küçük yatırımcıların finansal sisteme daha etkin biçimde katılmasını mümkün hale getirmektedir. Böylece risk paylaşımına dayalı finansman modelleri daha erişilebilir hale gelmekte ve İslam iktisadının temel ilkeleriyle daha uyumlu finansal yapılar oluşturulabilmektedir.

Yapay zekâ ve veri analitiği uygulamaları da İslami finans kurumları açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Veri temelli analiz sistemleri sayesinde müşteri davranışları daha ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmekte ve finansal hizmetler daha kişiselleştirilmiş hale getirilebilmektedir. Özellikle kredi değerlendirme süreçlerinde kullanılan algoritmalar, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve kapsamlı analiz yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bu durum küçük işletmeler ve finansal geçmişi sınırlı bireyler açısından finansmana erişimi kolaylaştırabilmektedir.

Ancak yapay zekâ tabanlı sistemlerin bazı etik riskler içerdiği de unutulmamalıdır. Veri setlerinde bulunan önyargılar, algoritmik ayrımcılık ve karar süreçlerinin şeffaf olmaması gibi sorunlar, İslam iktisadının adalet ve hakkaniyet ilkeleri açısından çeşitli tartışmaları gündeme getirmektedir. Dolayısıyla teknolojik verimlilik kadar algoritmik etik ve hesap verebilirlik de önemli hale gelmektedir. Bu nedenle İslami fintek uygulamalarında yalnızca teknik performans değil; kullanıcı üzerindeki toplumsal ve etik etkiler de değerlendirilmelidir.

Fintek'in İslami finans sistemine sağladığı katkılar yalnızca ticari finansman alanıyla sınırlı değildir. Sosyal finans uygulamalarında da önemli dönüşümler yaşanmaktadır. Zekât, sadaka ve vakıf gibi mekanizmaların dijital platformlar aracılığıyla yönetilmesi, fon toplama ve dağıtım süreçlerini daha etkin hale getirmektedir. Özellikle hedefleme, doğrulama ve raporlama süreçlerinin dijitalleşmesi sayesinde sosyal yardımların etkinliği artırılabilmekte ve operasyonel maliyetler azaltılabilmektedir.

Bu gelişmeler, İslami finansın yalnızca bankacılık ve yatırım sistemi olarak değil; aynı zamanda toplumsal refahı artırmayı amaçlayan daha geniş bir ekonomik yapı olarak değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Çünkü İslam iktisadı yaklaşımında finansal sistemin temel amacı yalnızca sermaye birikimi değildir. Aynı zamanda sosyal dayanışmanın güçlendirilmesi, gelir dağılımının iyileştirilmesi ve ekonomik adaletin sağlanması da sistemin temel hedefleri arasında yer almaktadır. Fintek uygulamaları bu hedeflerin daha etkin biçimde gerçekleştirilmesine katkı sağlayabilecek önemli araçlar sunmaktadır.

Bununla birlikte fintek uygulamalarının İslami finans sistemi açısından bazı riskler ve sınırlılıklar içerdiği de görülmektedir. Özellikle dijital ortamda şeriat uygunluğunun nasıl sürdürüleceği, akıllı sözleşmelerin hangi fıkhî yorum çerçevesinde kodlanacağı ve algoritmik karar süreçlerinin nasıl denetleneceği önemli tartışma alanları arasında yer almaktadır. Bunun yanında siber güvenlik riskleri, veri gizliliği sorunları ve kullanıcı manipülasyonu gibi konular da İslami fintek alanında dikkatle değerlendirilmesi gereken meselelerdir.

Dolayısıyla fintek uygulamaları, İslami finans sistemi açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte; söz konusu fırsatların sürdürülebilir ve güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için güçlü etik yönetişim mekanizmalarına, standartlaşmış şeriat denetim süreçlerine ve kullanıcı güvenini merkeze alan düzenleyici yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle teknolojik yenilik ile İslam iktisadının temel ilkeleri arasında denge kurulabilmesi, İslami fintek uygulamalarının geleceği açısından belirleyici rol oynayacaktır.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Finansal teknolojiler ve İslami fintek alanına yönelik literatür, özellikle son yıllarda dijital dönüşüm süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte önemli ölçüde genişlemiştir. Başlangıçta daha çok finansal teknolojilerin kavramsal çerçevesi ve tarihsel gelişimi üzerine yoğunlaşan çalışmalar, zaman içerisinde iş modeli dönüşümü, düzenleyici yapı, kullanıcı davranışları, etik yönetişim ve İslami finans uygulamaları gibi daha spesifik alanlara yönelmiştir. Günümüzde literatür, fintek uygulamalarının yalnızca teknik inovasyonlardan ibaret olmadığını; aynı zamanda finansal sistemin işleyiş mantığını dönüştüren çok boyutlu bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır.

Fintek literatürünün temel çalışmalarından biri Arner vd. (2015)'e aittir. Söz konusu çalışma, finansal teknolojilerin özellikle 2008 küresel finans krizinden sonra yeni bir finansal paradigma oluşturduğunu ileri sürmektedir. Arner vd. (2015), kriz sonrası dönemde geleneksel finansal kurumlara duyulan güvenin azalmasının, kullanıcıları daha hızlı, düşük maliyetli ve erişilebilir finansal hizmetlere yönlendirdiğini ifade etmektedir. Bu durumun fintek girişimlerinin gelişimini hızlandırdığı ve finansal sistemin yapısal dönüşümünü tetiklediği belirtilmektedir.

Schueffel (2016) ise fintek kavramını daha sistematik biçimde tanımlamaya çalışan çalışmalardan biridir. Çalışmada fintek, finansal hizmetlerin teknoloji aracılığıyla yeniden yapılandırılması süreci olarak ele alınmakta ve kavramın yalnızca dijital bankacılık uygulamalarıyla sınırlı olmadığı vurgulanmaktadır. Böylece fintek; ödeme sistemlerinden yatırım araçlarına, veri analitiğinden yapay zekâ uygulamalarına kadar geniş bir alanı kapsayan disiplinler arası bir yapı olarak değerlendirilmektedir.

Gomber vd. (2017), finansal teknolojilere ilişkin literatürü daha kapsamlı biçimde sınıflandırarak; dijital finans araştırmalarını girişimler, teknolojiler, finansal kurumlar ve kullanıcı deneyimi ekseninde incelemektedir. Çalışmada fintek ekosisteminin yalnızca teknoloji şirketlerinden oluşmadığı; aynı zamanda düzenleyici kurumlar, finansal kuruluşlar, kullanıcılar ve veri altyapısı gibi çok sayıda bileşeni içeren dinamik bir yapı olduğu ifade edilmektedir. Benzer şekilde Lee ve Shin (2018), fintek ekosistemini çok aktörlü bir ağ yapısı olarak değerlendirmekte ve teknoloji şirketleri, regülatörler, finansal kurumlar ve kullanıcılar arasındaki etkileşimin önemine dikkat çekmektedir.

Finansal teknolojilere ilişkin literatürde önemli tartışma alanlarından biri de düzenleyici çerçeve ve veri yönetişimi konusudur. Zetzsche vd. (2017), veri odaklı finansal sistemlerin düzenlenmesine ilişkin ortaya çıkan sorunları ele almakta ve fintek uygulamalarının mevcut finansal mevzuat açısından yeni risk alanları oluşturduğunu belirtmektedir. Özellikle veri güvenliği, kullanıcı mahremiyeti ve algoritmik karar süreçlerinin şeffaflığı gibi konuların giderek daha önemli hale geldiği ifade edilmektedir. Bu yaklaşım, finansal teknolojilerin yalnızca teknik yenilikler üretmediğini; aynı zamanda hukuki ve etik dönüşümleri de beraberinde getirdiğini göstermektedir.

İslami finans literatürünün teorik temelini ise büyük ölçüde Chapra (2000) ve el-Gamal (2006) gibi çalışmalar oluşturmaktadır. Chapra (2000), İslam iktisadını sosyal adalet, ahlaki ekonomi ve kamusal fayda ilkeleri çerçevesinde değerlendirmekte; ekonomik faaliyetlerin etik değerlerden bağımsız düşünülemeyeceğini ifade etmektedir. El-Gamal (2006) ise modern İslami finans uygulamalarına eleştirel yaklaşarak, sistemin yalnızca biçimsel şeriat uygunluğu üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmada finansal işlemlerin toplumsal fayda, risk paylaşımı ve ekonomik adalet ilkeleriyle uyumlu olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu yaklaşım, İslami fintek tartışmalarında da önemli teorik referans noktalarından biri haline gelmiştir.

İslami bankacılığın performansını inceleyen temel ampirik çalışmalardan biri Beck vd. (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma, İslami bankalar ile geleneksel bankaları iş modeli, etkinlik, sermaye yapısı ve dayanıklılık açısından karşılaştırmaktadır. Elde edilen bulgular, bazı alanlarda İslami bankaların daha güçlü sermaye yapısına ve daha yüksek varlık kalitesine sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma aynı zamanda İslami finans sisteminin kriz dönemlerinde daha dirençli olabileceğine ilişkin tartışmaları da desteklemektedir.

İslami fintek literatürü ise görece yeni bir araştırma alanı niteliği taşımaktadır. Hasan vd. (2020), İslami fintek çalışmalarını sistematik biçimde inceleyerek alanın temel araştırma konularını ortaya koymaktadır. Çalışmada özellikle şeriat uygunluğu, operasyonel etkinlik, müşteri güveni, dijitalleşme ve yönetişim mekanizmalarının ön plana çıktığı belirtilmektedir. Bunun yanında alanın hızlı büyümesine rağmen standartlaşmış şeriat yönetişimi mekanizmalarının yeterince gelişmediği ve ampirik çalışmaların sınırlı kaldığı ifade edilmektedir.

Son yıllarda yapılan bibliyometrik çalışmalar, İslami fintek alanının giderek genişlediğini göstermektedir. Alshater vd. (2022), literatürde öne çıkan araştırma temalarını sınıflandırarak özellikle blokzincir teknolojisi, dijital ödeme sistemleri, kitle fonlama uygulamaları ve sosyal finans araçlarının gelecekte daha fazla önem kazanacağını belirtmektedir. Çalışmada ayrıca uygulama temelli ve sözleşme bazlı araştırmalara duyulan ihtiyaç vurgulanmaktadır.

Qudah vd. (2023) tarafından yapılan bibliyometrik analiz de benzer biçimde blokzincir, dijital dönüşüm ve finansal inovasyon alanlarının İslami fintek literatüründe ön plana çıktığını göstermektedir. Çalışmada özellikle dijital sukuk uygulamaları, akıllı sözleşmeler ve yapay zekâ tabanlı finansal analiz sistemlerinin gelecekte önemli araştırma alanları oluşturacağı ifade edilmektedir. Bunun yanında kullanıcı güveni, veri gizliliği ve dijital şeriat uygunluğu gibi konuların daha fazla araştırılması gerektiği belirtilmektedir.

Aysan ve Unal (2023) ise İslami fintek alanında karşılaşılan temel sorunları kapsamlı biçimde incelemektedir. Çalışmada özellikle dijitalleşme süreçlerinde şeriat yönetişimi, standartlaşma eksikliği, kullanıcı güveni ve düzenleyici belirsizlikler ön plana çıkarılmaktadır. Ayrıca teknolojik dönüşümün yalnızca operasyonel verimlilik açısından değil; etik yönetişim ve toplumsal etkiler açısından da değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Literatürde dikkat çeken önemli noktalardan biri, mevcut çalışmaların büyük bölümünün kavramsal ve tanımlayıcı nitelikte olmasıdır. Özellikle kullanıcı davranışları, ülkeler arası karşılaştırmalar, dijital şeriat denetimi, algoritmik etik ve sözleşme bazlı uygulamalar üzerine yapılan ampirik çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir. Bunun yanında Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde İslami fintek alanındaki akademik üretimin artmasına rağmen, uluslararası literatürde görünürlüğün hâlen düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Dolayısıyla mevcut literatür, İslami fintek alanının hızla gelişen ancak teorik ve uygulamalı açıdan hâlen önemli araştırma boşlukları barındıran disiplinler arası bir çalışma alanı olduğunu göstermektedir. Özellikle finansal teknolojilerin İslam iktisadının temel ilkeleriyle nasıl uyumlu hale getirileceği, dijital yönetişim mekanizmalarının nasıl kurulacağı ve kullanıcı güveninin nasıl sürdürülebileceği gibi konular, gelecekte literatürde daha fazla önem kazanacak araştırma alanları arasında yer almaktadır.

1.1. İslami Finans Ürünlerine Fintek'in Getirdiği Çözümler

Finansal teknolojiler, İslami finans sisteminin uygulama alanlarında karşılaşılan birçok yapısal soruna yönelik yeni çözümler sunmaktadır. Özellikle dijitalleşme süreçlerinin hız kazanması, veri işleme kapasitesindeki gelişmeler ve blokzincir teknolojilerinin yaygınlaşması, İslami finans ürünlerinin daha şeffaf, erişilebilir ve operasyonel açıdan daha etkin biçimde uygulanmasına imkân sağlamaktadır. Bu durum yalnızca teknik verimlilik artışı anlamına gelmemekte; aynı zamanda İslam iktisadının temel ilkeleri ile uygulama süreçleri arasındaki uyumun güçlendirilmesine de katkı sunmaktadır.

İslami finans sisteminin teorik olarak en güçlü yönlerinden biri risk ve kazancın adil biçimde paylaşılması ilkesidir. Bununla birlikte uygulamada birçok kurumun daha çok borç temelli ürünlere yöneldiği ve ortaklığa dayalı finansman modellerinin sınırlı düzeyde kullanıldığı görülmektedir. Özellikle mudarebe ve müşareke gibi ortaklığa dayalı sözleşmelerin uygulanmasında bilgi asimetrisi, izleme maliyetleri ve operasyonel zorluklar önemli sorun alanları oluşturmaktadır. Fintek uygulamaları ise bu sorunların azaltılmasına katkı sağlayabilecek önemli araçlar sunmaktadır.

Dijital platformlar sayesinde ortaklığa dayalı finansman modellerinde proje takibi, yatırımcı bilgilendirmesi ve kâr-zarar paylaşımı süreçleri daha şeffaf hale getirilebilmektedir. Özellikle veri temelli takip sistemleri ve dijital raporlama uygulamaları, yatırım süreçlerinin daha etkin biçimde yönetilmesine katkı sunmaktadır. Böylece bilgi asimetrisi azaltılmakta ve yatırımcı güveni güçlenmektedir. Bu durum, İslam iktisadının temel ilkeleriyle uygulama süreçleri arasındaki mesafenin azaltılması açısından önemli bir gelişme olarak değerlendirilmektedir.

Blokzincir teknolojisi, İslami finans ürünleri açısından dikkat çeken önemli yenilik alanlarından biridir. Dağıtık kayıt sistemine dayanan bu teknoloji sayesinde işlemler değiştirilemez biçimde kayıt altına alınabilmekte ve taraflar arasında daha yüksek düzeyde güven sağlanabilmektedir. Özellikle sukuk ihracı, ödeme sistemleri, mülkiyet doğrulama süreçleri ve dijital varlık yönetimi alanlarında blokzincir teknolojisinin önemli avantajlar sunduğu görülmektedir.

Blokzincir tabanlı sistemler, İslami finans açısından yalnızca teknik güvenlik sağlamamaktadır. Aynı zamanda şeffaflık ve hesap verebilirlik açısından da önemli katkılar sunmaktadır. İşlem zincirinin tüm taraflar tarafından izlenebilir olması, özellikle sosyal finans uygulamalarında kullanıcı güvenini artırmaktadır. Zekât, sadaka ve vakıf yönetimi gibi alanlarda bağış süreçlerinin şeffaf biçimde takip edilebilmesi, kaynak kullanımına ilişkin güven sorunlarını azaltabilmektedir.

Bununla birlikte blokzincir teknolojisinin kullanımı bazı yeni tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle akıllı sözleşmelerin hangi fıkhî yorum çerçevesinde kodlanacağı, uyuşmazlık durumlarında nasıl müdahale edileceği ve yönetişim sorumluluğunun kimde olacağı gibi konular hâlen tam anlamıyla netleşmiş değildir. Dolayısıyla teknik altyapının gelişmiş olması tek başına şeriat uygunluğu açısından yeterli görülmemektedir. Bu nedenle dijital finans uygulamalarında teknik yeterlilik kadar normatif ve hukuki uygunluk da önem taşımaktadır.

Yapay zekâ ve veri analitiği uygulamaları da İslami finans ürünlerine önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle müşteri değerlendirme süreçlerinde kullanılan veri analitiği araçları, finansmana erişimi daha kapsayıcı hale getirebilmektedir. Geleneksel kredi değerlendirme sistemlerinde finansal geçmişi sınırlı bireyler çoğu zaman sistem dışında kalırken, alternatif veri kaynaklarını kullanan yapay zekâ tabanlı modeller daha geniş kullanıcı gruplarının değerlendirilmesine imkân sağlayabilmektedir. Bu durum küçük işletmeler ve finansal sistem dışında kalan bireyler açısından önemli avantajlar yaratmaktadır.

Ancak yapay zekâ tabanlı sistemlerin çeşitli etik riskler içerdiği de unutulmamalıdır. Veri setlerinde bulunan önyargılar, algoritmik ayrımcılık ve karar süreçlerinin şeffaf olmaması, İslam iktisadının adalet ve hakkaniyet ilkeleri açısından çeşitli sorunlar doğurabilmektedir. Özellikle otomatik karar mekanizmalarının kullanıcılar üzerinde haksız sonuçlar üretmesi, İslami finansın temel etik yaklaşımıyla çelişebilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarının yalnızca teknik performans açısından değil; etik ve toplumsal etkileri açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Fintek uygulamaları sosyal finans alanında da önemli dönüşümler yaratmaktadır. İslami finans sisteminin ayırt edici özelliklerinden biri, yalnızca ticari finansman araçlarına değil; aynı zamanda toplumsal dayanışma mekanizmalarına da önem vermesidir. Zekât, sadaka, vakıf ve mikrofinans uygulamaları bu çerçevede önemli sosyal finans araçları arasında yer almaktadır. Dijital platformlar sayesinde bu araçların daha etkin biçimde yönetilmesi mümkün hale gelmektedir.

Özellikle bağış toplama, fon dağıtımı, doğrulama ve raporlama süreçlerinin dijitalleşmesi, sosyal finans uygulamalarının operasyonel etkinliğini artırmaktadır. Bunun yanında dijital takip sistemleri sayesinde fonların hangi alanlarda kullanıldığı daha şeffaf biçimde izlenebilmektedir. Bu durum kullanıcı güvenini artırırken, sosyal yardımların etkinliğinin ölçülmesini de kolaylaştırmaktadır. Böylece İslami finans sistemi yalnızca ticari finansman mekanizmaları üzerinden değil; sosyal refah üretimi açısından da teknolojiyle bütünleşen daha geniş bir yapıya dönüşmektedir.

Kitle fonlama sistemleri de İslami finans açısından önemli çözüm alanlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle girişimcilik finansmanı ve küçük ölçekli yatırım projelerinde dijital platformlar aracılığıyla kaynak toplanabilmesi, risk paylaşımına dayalı finansman modellerinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Böylece geleneksel finansal aracılık maliyetleri azalmakta ve yatırım süreçleri daha erişilebilir hale gelmektedir.

Fintek uygulamalarının İslami finans ürünlerine sunduğu çözümler arasında operasyonel maliyetlerin azaltılması da önemli bir yer tutmaktadır. Dijital süreçlerin yaygınlaşması sayesinde işlem süreleri kısalmakta, bürokratik maliyetler azalmakta ve kullanıcı deneyimi gelişmektedir. Özellikle dijital müşteri edinimi, çevrim içi sözleşme süreçleri ve otomatik uyumluluk kontrolleri, finansal hizmetlerin daha hızlı ve etkin biçimde sunulmasına katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte teknolojik dönüşümün bazı yapısal riskler yarattığı da görülmektedir. Siber güvenlik sorunları, veri gizliliği ihlalleri, kullanıcı manipülasyonu ve aşırı dijital bağımlılık gibi riskler, İslami fintek alanında dikkatle değerlendirilmesi gereken meseleler arasında yer almaktadır. Özellikle kullanıcı verilerinin ticari amaçlarla aşırı biçimde kullanılması veya algoritmik sistemlerin kullanıcı davranışlarını yönlendirmesi, İslam iktisadının etik ilkeleri açısından çeşitli tartışmaları beraberinde getirmektedir.

Dolayısıyla fintek uygulamaları, İslami finans sistemi açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte; söz konusu fırsatların sürdürülebilir biçimde değerlendirilebilmesi için güçlü etik yönetişim mekanizmalarına, standartlaşmış şeriat denetimine ve kullanıcı güvenini merkeze alan düzenleyici yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle teknolojik inovasyon ile İslam iktisadının temel ilkeleri arasında denge kurulabilmesi, İslami fintek uygulamalarının uzun dönemli başarısı açısından belirleyici olacaktır.

SONUÇ

Finansal teknolojiler ile İslami finansın kesişim alanı, günümüzde finansal sistemin dönüşümünü anlamak açısından stratejik öneme sahip çalışma alanlarından biri haline gelmiştir. Dijitalleşme süreçlerinin hız kazanması, veri ekonomisinin büyümesi ve kullanıcı davranışlarının değişmesi, finansal hizmetlerin üretim ve sunum biçimlerinde önemli yapısal dönüşümler yaratmaktadır. Bu dönüşümden İslami finans sistemi de doğrudan etkilenmekte; özellikle dijital ödeme sistemleri, blokzincir teknolojileri, yapay zekâ

uygulamaları ve veri analitiği araçları, faizsiz finans uygulamalarının daha geniş kitlelere ulaşmasına imkân sağlamaktadır. Böylece İslami finans sistemi daha erişilebilir, düşük maliyetli ve kullanıcı merkezli bir yapıya dönüşebilmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen temel bulgulardan biri, fintek uygulamalarının İslami finans açısından önemli fırsatlar sunduğudur. Özellikle finansal kapsayıcılığın artırılması, işlem maliyetlerinin azaltılması, şeffaflığın güçlendirilmesi ve ortaklığa dayalı finansman modellerinin daha etkin biçimde uygulanabilmesi açısından finansal teknolojilerin önemli avantajlar sağladığı görülmektedir. Mobil finans uygulamaları ve dijital platformlar sayesinde faiz hassasiyeti nedeniyle geleneksel finansal sistemden uzak duran bireylerin finansal hizmetlere erişimi kolaylaşabilmekte; böylece İslam iktisadının temel hedeflerinden biri olan sosyal kapsayıcılık güçlenmektedir.

Bunun yanında blokzincir teknolojisinin İslami finans uygulamalarında önemli dönüşümler yaratma potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle işlem kayıtlarının değiştirilemez biçimde saklanabilmesi, dijital sukuk uygulamaları, akıllı sözleşmeler ve sosyal finans araçlarının yönetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. İşlem süreçlerinin şeffaf biçimde izlenebilmesi, kullanıcı güvenini artırmakta ve hesap verebilirliği güçlendirmektedir. Özellikle zekât, sadaka ve vakıf gibi sosyal finans mekanizmalarında dijital izlenebilirliğin artması, kaynak kullanımına ilişkin güven sorunlarının azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir.

Yapay zekâ ve veri analitiği uygulamalarının da İslami finans sistemine önemli katkılar sunduğu görülmektedir. Veri temelli analiz sistemleri sayesinde finansmana erişim süreçleri daha kapsayıcı hale gelebilmekte ve kullanıcı ihtiyaçlarına uygun finansal ürünler geliştirilebilmektedir. Özellikle küçük işletmeler ve finansal geçmişi sınırlı bireyler açısından alternatif veri kaynaklarının kullanılması, finansal dışlanmanın azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bu durum, İslam iktisadının adalet ve toplumsal fayda yaklaşımıyla da uyum göstermektedir.

Ancak çalışmada ulaşılan önemli sonuçlardan biri de, teknolojik dönüşümün yalnızca fırsatlar üretmediğidir. Fintek uygulamalarının İslami finans sistemiyle tam anlamıyla uyumlu hale getirilebilmesi için ciddi kurumsal, etik ve düzenleyici sorunların çözülmesi gerekmektedir. Özellikle dijital ortamda şeriat uygunluğunun nasıl sürdürüleceği, algoritmik karar süreçlerinin nasıl denetleneceği ve kullanıcı verilerinin hangi etik sınırlar içerisinde kullanılacağı önemli tartışma alanları oluşturmaktadır.

İslami fintek alanındaki en önemli sorunlardan biri standartlaşma eksikliğidir. Farklı kurumların aynı finansal ürüne ilişkin farklı şeriat yorumları geliştirmesi, kullanıcı güveni açısından önemli belirsizlikler yaratabilmektedir. Özellikle dijital finans uygulamalarında şeriat denetim süreçlerinin nasıl yürütüleceği, akıllı sözleşmelerin hangi fıkhî çerçeveye göre tasarlanacağı ve algoritmik sistemlerin nasıl denetleneceği gibi konular hâlen tam anlamıyla netleşmiş değildir. Bu durum, sektörün ölçeklenebilirliği açısından önemli yapısal sınırlılıklar oluşturmaktadır.

Bunun yanında etik yönetişim konusu da İslami fintek alanının en kritik meselelerinden biri haline gelmektedir. İslam iktisadının temel amacı yalnızca "faizsiz" finansal ürünler üretmek değildir. Aynı zamanda adalet, toplumsal fayda ve ekonomik denge ilkelerini koruyan bir finansal yapı oluşturmaktır. Dolayısıyla teknolojik araçların yalnızca teknik verimlilik temelinde değerlendirilmesi yeterli değildir. Kullanıcı manipülasyonu, veri istismarı, algoritmik ayrımcılık ve aşırı borçlandırma gibi uygulamalar, biçimsel şeriat uygunluğu bulunsa dahi İslam iktisadının temel etik yaklaşımıyla çelişebilmektedir.

Bu doğrultuda çalışmada dört temel yapısal alanın önem kazandığı görülmektedir. Bunlardan ilki düzenleyici çerçevedir. Finansal teknolojiler hızla gelişirken, geleneksel finans mevzuatının hibrit dijital yapılar karşısında yetersiz kalabildiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle İslami fintek alanında hem finansal uygunluğu hem de şeriat uygunluğunu birlikte değerlendiren esnek fakat güçlü bir düzenleyici mimariye ihtiyaç bulunmaktadır.

İkinci önemli alan şeriat yönetişimi ve standartlaşmadır. Özellikle dijital şeriat denetim mekanizmalarının geliştirilmesi, akıllı sözleşmeler için standart yapıların oluşturulması ve amaçsal uygunluk analizlerinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü kullanıcı güveninin sürdürülebilir biçimde sağlanabilmesi, yalnızca teknik güvenlik önlemlerine değil; aynı zamanda kurumsal ve etik güvene de bağlıdır.

Üçüncü alan insan kaynağı ve teknik kapasitedir. İslami fintek yalnızca finans veya fıkıh bilgisiyle yönetilebilecek bir alan değildir. Yazılım geliştirme, veri bilimi, yapay zekâ, siber güvenlik, kullanıcı deneyimi ve regülasyon gibi disiplinler arası uzmanlık gerektirmektedir. Bu nedenle üniversitelerde ve araştırma merkezlerinde İslami finans ile dijital finansı bütünleştiren eğitim programlarının geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Dördüncü alan ise etik risk yönetimidir. Fintek uygulamalarının kullanıcı davranışları üzerindeki etkileri, veri kullanımı ve algoritmik karar süreçlerinin toplumsal sonuçları daha dikkatli biçimde değerlendirilmelidir. Özellikle İslami finansın temel etik iddiasının korunabilmesi için yalnızca sözleşme yapısına değil; kullanıcı sonuçlarına ve toplumsal etkilere de odaklanılması gerekmektedir.

Çalışmanın ortaya koyduğu önemli bulgulardan biri de sosyal finans alanının gelecekte daha fazla önem kazanacağıdır. Zekât, sadaka, vakıf ve mikrofinans uygulamalarının dijitalleşmesi, İslami finansın toplumsal refah üretme kapasitesini önemli ölçüde artırabilir. Özellikle dijital bağış sistemleri ve şeffaf fon yönetimi uygulamaları sayesinde sosyal finans araçlarının daha etkin ve güvenilir biçimde kullanılabilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu durum, İslami fintek'in yalnızca ticari finans alanında değil; sosyal etki üretimi açısından da önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar açısından çeşitli araştırma alanları öne çıkmaktadır. Öncelikle kullanıcı davranışları ve teknoloji kabulü üzerine daha fazla ampirik çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Özellikle faiz hassasiyeti, kullanıcı güveni, dijital şeriat uygunluğu algısı ve veri gizliliği gibi değişkenlerin birlikte analiz edilmesi literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Bunun yanında mudarebe, müşareke, sukuk ve zekât platformları gibi spesifik ürünler üzerine sözleşme bazlı çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Ülkeler arası karşılaştırmalı çalışmalar da literatür açısından önemli katkılar sunabilir. Malezya, Körfez ülkeleri, Türkiye ve Endonezya gibi farklı düzenleyici yapılara sahip ülkelerin karşılaştırılması, İslami fintek ekosisteminin hangi kurumsal koşullar altında daha başarılı geliştiğini ortaya koyabilir. Ayrıca yapay zekâ tabanlı kredi değerlendirme sistemleri, algoritmik yönetişim ve dijital şeriat denetimi gibi alanlar da gelecekte önem kazanacak araştırma başlıkları arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak finansal teknolojiler ile İslami finansın birleşimi, yalnızca yeni bir sektörün gelişmesi anlamına gelmemektedir. Aynı zamanda finansal sistemin etik geleceğine ilişkin daha geniş bir dönüşüm tartışmasını da beraberinde getirmektedir. Gerçek başarı, teknolojik inovasyon ile İslam iktisadının temel ilkeleri arasında sürdürülebilir bir denge kurulabilmesine bağlıdır. Dolayısıyla İslami fintek uygulamalarının başarısı yalnızca büyüme hızı veya kullanıcı sayısıyla değil; adalet, şeffaflık, toplumsal fayda ve etik yönetişim ilkelerini ne ölçüde koruyabildiğiyle değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Alshater, M.M., Saba, I., Supriani, I., Rabbani, M. R. (2022). Fintech in Islamic finance literature: A review. *Heliyon,* 8(9), e10385.

Arner, D. W., Barberis, J.N., Buckley, R.P. (2015). The evolution of fintech: A new post-crisis paradigm. *Georgetown Journal of International Law,* 47(4), 1271-1319.

Aysan, A.F., Unal, I. M. (2023). Challenges in Islamic fintech and digitalization: An extensive literature review. *World Scientific Annual Review of Islamic Finance,* 1, 41-52.

Baş Kutlu, K. (2025). Açık bankacılık ekosisteminin avantajları. *Parion Academic Review Journal,* 4(1), 73-87.

Beck, T., Demirgüç-Kunt, A., Merrouche, O. (2013). Islamic vs. conventional banking: Business model, efficiency and stability. *Journal of Banking & Finance,* 37(2), 433-447.

Chapra, M.U. (2000). *the future of economics: An Islamic perspective*. Leicester: The Islamic Foundation.

Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., Ansar, S., Hess, J. (2018). *The Global Findex Database 2017: Measuring financial inclusion and the fintech revolution*. Washington, DC: World Bank.

el-Gamal, M.A. (2006). *Islamic finance: Law, economics, and practice*. Cambridge: Cambridge University Press.

Gomber, P., Koch, J.A., Siering, M. (2017). Digital finance and fintech: Current research and future research directions. *Journal of Business Economics*, 87(5), 537-580.

Hasan, R., Hassan, M.K., Aliyu, S. (2020). Fintech and Islamic finance: Literature review and research agenda. *IJIEF: International Journal of Islamic Economics and Finance,* 3(1), 75-94.

Lee, I., Shin, Y. J. (2018). Fintech: Ecosystem, business models, investment decisions, and challenges. *Business Horizons,* 61(1), 35-46.

Mohieldin, M., Iqbal, Z., Rostom, A., Fu, X. (2011). *The role of Islamic finance in enhancing financial inclusion in Organization of Islamic Cooperation (OIC) countries* (World Bank Policy Research Working Paper No. 5920). Washington, DC: World Bank.

Narayan, P.K., Phan, D.H.B. (2019). A survey of Islamic banking and finance literature: Issues, challenges and future directions. *Pacific-Basin Finance Journal,* 53, February, 484-496.

Qudah, H., Malahim, S., Airout, R., Alomari, M., Hamour, A.A., Alqudah, M. (2023). Islamic finance in the era of financial technology: A bibliometric review of future trends. *International Journal of Financial Studies,* 11 (2), 76

Schueffel, P. (2016). Taming the beast: A scientific definition of fintech. *Journal of Innovation Management,* 4 (4), 32-54.

the State of the Turkish Fintech Ecosystem and Case Studies on Bank-Fintech Collaborations. (2025). In *The State of the Turkish Fintech Ecosystem and Case Studies on Bank-Fintech Collaborations*.

TKBB. (2024). IFN 2024 annual guide published. Türkiye Katılım Bankaları Birliği.

Zetzsche, D.A., Buckley, R.P., Arner, D.W., Barberis, J.N. (2017). From fintech to techfin: The regulatory challenges of data-driven finance. *New York University Journal of Law & Business,* 14 (2), 393-446.

https://doi.org/10.71284/asc.2026150

YAPAY ZEKÂ ENDEKSİ VE GELİŞİMİ
ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDEX AND DEVELOPMENT

Selçuk Balı[1]

Özet

Dijital ekonominin yapısını değiştirerek ve geliştirerek dönüştüren, ekonomilerin üretim kapasitesi, yenilik ve inovasyon performansı ile küresel rekabet gücü üzerinde belirleyici hale gelen temel teknolojilerden biri olarak değerlendirebileceğimiz yapay zekâ, gerek özel sektör gerekse kamu yönetimi açısından algoritmik karar sistemleri, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve veri yoğun analitik uygulamalar ile birlikte yeni fırsatlar yaratırken, aynı zamanda ölçüm ve yönetişim sorunlarını da beraberinde gündeme taşımaktadır. Bu sebeple ülkelerin yapay zekâ alanındaki hem kapasite hem de hazırlık düzeylerinin sistematik biçimde değerlendirilerek sürecin etkin bir şekilde yönetilmesinin giderek daha büyük bir önem taşımaya başladığı söylenebilir. Bu çalışma bağlamında, yapay zekâ endeksi kavramının kompozit endeks metodolojisi çerçevesinde ele alınarak, yapay zekânın genel ve basit bir tanımı verilerek, temel kuramsal yaklaşımlara değinilerek, yapay zekânın net ve kolay şekilde görülen ekonomik etkilerinin ölçümüne yönelik temel bir literatürün bütüncül bir bakış açısıyla incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, yapay zekâ endekslerinin sadece teknik altyapı açısından değil aynı zamanda beşeri sermaye, veri ekosistemi, Ar-Ge kapasitesi, düzenleyici mevzuat, etik yönetişim ve uluslararası bütünleşme gibi çok katmanlı unsurlar ile birlikte ele alınarak değerlendirmesi gerekliliği ifade edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca mevcut yapay zekâ endeksi çalışmalarının metodolojik açıdan güçlü ve zayıf yönleri tartışılarak, gösterge seçimi, normalizasyon, ağırlıklandırma, toplulaştırma ve duyarlılık analizi gibi çeşitli aşamaların elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisinin ayrıntılı bir biçimde değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak, yapay zekâ endekslerinin politika üretmeye elverişli güvenilir bir hale gelmesi için veri kalitesinin artırılması, metodolojik standartlaşmanın güçlendirilmesi ve etik-toplumsal boyutların değerlendirmelere daha etkin ve sistematik biçimde dâhil edilmesi gerektiği yönünde bir değerlendirmeye ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, yapay zekâ endeksi, kompozit endeks, dijital ekonomi, teknolojik rekabet.

Abstract

Artificial intelligence (AI), which can be considered one of the fundamental technologies transforming the structure of the digital economy and becoming decisive in determining the production capacity, innovation performance, and global competitiveness of economies, creates new opportunities for both the private sector and public administration with algorithmic decision systems, machine learning, deep learning, and data-intensive analytics applications, while also raising measurement and governance issues. Therefore, it can be said that systematically evaluating both the capacity and preparedness levels of countries in the field of AI and effectively managing the process is becoming increasingly important. In this study, the aim is to examine the concept of the AI index within the framework of composite index methodology, provide a general and simple definition of AI, discuss fundamental theoretical approaches, and comprehensively review the basic literature on measuring the clearly and easily observable economic impacts of AI. In this context, it has been argued that artificial intelligence (AI) indices should be evaluated not only from a technical infrastructure perspective but also by considering multifaceted elements such as human capital,

[1] Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Akşehir İİBF, Maliye Bölümü, selcukbali@selcuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-5117-8720

data ecosystem, R&D capacity, regulatory legislation, ethical governance, and international integration. Furthermore, the methodological strengths and weaknesses of existing AI index studies have been discussed, and the impact of various stages such as indicator selection, normalization, weighting, aggregation, and sensitivity analysis on the results obtained has been evaluated in detail. In conclusion, it has been determined that for AI indices to become reliable and suitable for policy making, data quality needs to be improved, methodological standardization strengthened, and ethical and social dimensions need to be included in the evaluations more effectively and systematically.

Keywords: Artificial intelligence, AI index, composite indicators, digital economy, technological competitiveness.

GİRİŞ

Yapay zekâ, son yıllarda dijital dönüşüm süreçlerinin merkezinde yer alan ve ekonomik-toplumsal yapıları doğrudan etkileyen stratejik teknolojilerden biri haline gelmiştir. Başlangıçta daha çok bilgisayar bilimleri ve mühendislik disiplinlerinin çalışma alanı olarak değerlendirilen yapay zekâ, günümüzde ekonomi politikalarından kamu yönetimine, uluslararası rekabetten ulusal güvenlik stratejilerine kadar oldukça geniş bir çerçevede ele alınmaktadır. Özellikle veri işleme kapasitesindeki artış, hesaplama maliyetlerindeki düşüş ve öğrenen algoritmaların gelişimi, yapay zekâ uygulamalarının gündelik yaşamın yanı sıra üretim süreçlerinde de yaygın biçimde kullanılmasına imkân sağlamıştır. Bu kapsamda yapay zekâ; sağlık, finans, eğitim, savunma, lojistik ve kamu hizmetleri gibi birçok sektörde karar alma süreçlerini dönüştüren temel teknolojik unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Yapay zekânın önem kazanmasında yalnızca teknolojik gelişmeler değil, aynı zamanda küresel ekonomik yapıdaki dönüşüm de etkili olmaktadır. Bilgi ekonomisine dayalı üretim anlayışının yaygınlaşması, veri temelli yönetim süreçlerinin güçlenmesi ve dijital platform ekonomilerinin büyümesi, yapay zekâyı ekonomik büyümenin ve rekabet üstünlüğünün temel belirleyicilerinden biri haline getirmiştir. Nitekim günümüzde ülkelerin teknolojik kapasitesi yalnızca fiziksel sermaye birikimi ile değil; veri altyapısı, dijitalleşme düzeyi, araştırma kapasitesi ve nitelikli insan kaynağı gibi unsurlarla birlikte değerlendirilmektedir. Yapay zekâ da bu unsurların merkezinde yer almakta ve ülkelerin uzun dönemli kalkınma stratejilerinde belirleyici bir rol üstlenmektedir.

Ekonomi literatüründe yapay zekâ çoğunlukla üretkenlik artışı, karar alma süreçleri ve işgücü piyasaları üzerindeki etkileri çerçevesinde incelenmektedir. Özellikle Agrawal vd. (2019), yapay zekâyı "tahmin maliyetini düşüren teknoloji" olarak tanımlamakta ve bu durumun ekonomik organizasyonu yeniden şekillendirdiğini ileri sürmektedir. Bunun yanında Autor (2015) ile Acemoglu ve Restrepo (2018; 2020) tarafından yapılan çalışmalar, otomasyonun işgücü piyasalarında yarattığı dönüşümlere dikkat çekmektedir. Teknolojik ilerleme bazı rutin görevleri ortadan kaldırırken, yeni uzmanlık alanları ve yüksek beceri gerektiren iş türleri ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla yapay zekâ, yalnızca teknik bir yenilik değil; aynı zamanda ekonomik yapı, üretim ilişkileri ve emek piyasaları üzerinde dönüştürücü etkiler yaratan çok boyutlu bir süreç olarak değerlendirilmektedir.

Bu gelişmeler doğrultusunda ülkelerin yapay zekâ alanındaki mevcut konumlarının ölçülmesi ve karşılaştırılması giderek daha önemli hale gelmiştir. Çünkü yalnızca araştırma çıktıları veya yatırım büyüklükleri üzerinden yapılacak değerlendirmeler, ülkelerin gerçek yapay zekâ kapasitesini açıklamak açısından yetersiz kalabilmektedir. Veri erişimi, dijital altyapı düzeyi, insan sermayesi kapasitesi, araştırma ekosistemi, düzenleyici yapı, etik yönetişim anlayışı ve ulusal stratejiler gibi çok sayıda unsurun birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapay zekâ endeksleri, ülkelerin yapay zekâ performansını çok boyutlu şekilde analiz eden önemli analitik araçlar olarak öne çıkmaktadır.

Yapay zekâ endeksleri, farklı göstergelerin belirli metodolojik süreçler çerçevesinde bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit ölçüm araçlarıdır. Söz konusu endeksler sayesinde ülkelerin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konulabilmekte, zaman içerisindeki gelişim süreçleri izlenebilmekte ve politika yapıcılara stratejik yol haritaları sunulabilmektedir. Ancak yapay zekâ endeksi oluşturma süreci yalnızca teknik bir veri toplama işlemi değildir. Hangi göstergelerin seçileceği, bu göstergelerin nasıl ağırlıklandırılacağı, normalizasyon süreçlerinin nasıl yürütüleceği ve sonuçların ne ölçüde güvenilir olduğu gibi metodolojik tercihler, endeks sonuçlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ endeksleri; teknik, metodolojik, ekonomik ve politik boyutları birlikte değerlendirilmesi gereken çok katmanlı analiz araçlarıdır.

Buradan hareketle çalışmanın temel amacı, yapay zekâ endekslerini kavramsal, metodolojik ve analitik boyutlarıyla incelemek; yapay zekâ kapasitesinin ölçüm sürecini literatür çerçevesinde değerlendirmek ve bu alandaki mevcut yaklaşımları bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymaktır. Bu kapsamda çalışmada öncelikle yapay zekânın kuramsal gelişimi ve temel yaklaşımları ele alınacak, ardından yapay zekânın ekonomik etkileri incelenecek ve sonrasında yapay zekâ endekslerinin oluşturulma süreçleri detaylı biçimde değerlendirilecektir. Son bölümde ise yapay zekâ endekslerine ilişkin mevcut çalışmalar analiz edilerek genel değerlendirme ve çeşitli politika önerilerine yer verilecektir.

1. YAPAY ZEKÂNIN TANIMI VE YAPAY ZEKÂ YAKLAŞIMLARI

Yapay zekâ kavramı, özellikle son yıllarda teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte hem akademik literatürde hem de uygulama alanlarında yoğun biçimde tartışılan konular arasında yer almaktadır. Bununla birlikte yapay zekâya ilişkin ortak kabul gören tek ve kesin bir tanımdan söz etmek oldukça güçtür. Bunun temel nedeni, yapay zekânın yalnızca teknik bir mühendislik alanı olmaması; aynı zamanda bilişsel bilimler, matematik, ekonomi, psikoloji, felsefe ve yönetim bilimleri gibi farklı disiplinlerle doğrudan ilişkili olmasıdır. Bu nedenle yapay zekâ kavramı, kullanılan yaklaşım ve araştırma perspektifine bağlı olarak farklı biçimlerde ele alınabilmektedir.

Genel bir tanımlama yapmak gerekirse yapay zekâ; insan zekâsına özgü öğrenme, problem çözme, karar verme, muhakeme yürütme ve çevresel koşullara uyum sağlama gibi bilişsel süreçlerin makineler tarafından gerçekleştirilmesini amaçlayan sistemler bütünü şeklinde ifade edilebilir. Russell ve Norvig (2021)'e göre yapay zekâ, çevresini algılayabilen ve belirli hedeflere ulaşmak amacıyla rasyonel kararlar alabilen sistemlerin geliştirilmesine odaklanan bir çalışma alanıdır. Bu yönüyle yapay zekâ, yalnızca belirli görevleri otomatikleştiren teknik uygulamalardan ibaret değildir; aynı zamanda veri analizi, öğrenme kapasitesi ve adaptasyon yeteneği sayesinde insan benzeri karar süreçlerini modellemeye çalışan çok boyutlu bir teknolojik paradigma niteliğindedir.

Yapay zekâ literatüründe zaman içerisinde farklı kuramsal yaklaşımlar geliştirilmiştir. İlk dönem çalışmaları daha çok insan aklının mantıksal yapısının makinelere aktarılması fikrine dayanırken, günümüzde veri odaklı öğrenme modelleri ve büyük ölçekli hesaplama sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bu dönüşüm, yapay zekânın gelişim sürecinin yalnızca teknik ilerlemelerle değil; veri üretim kapasitesi, dijitalleşme düzeyi ve hesaplama altyapısındaki gelişmelerle de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

1.1. Klasik Yaklaşımlar: İnsan Aklının Makineye Yansıtılması

Yapay zekânın erken dönem gelişim süreci büyük ölçüde insan düşünce sisteminin biçimsel kurallar aracılığıyla modellenebileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu çerçevede klasik yapay zekâ yaklaşımları; sembolik temsil, mantıksal çıkarım ve kural tabanlı sistemler etrafında şekillenmiştir. Söz konusu yaklaşımlar, insan aklının belirli mantıksal süreçler üzerinden işlediğini ve bu süreçlerin uygun algoritmalar yardımıyla makinelere aktarılabileceğini savunmaktadır.

Sembolik yapay zekâ yaklaşımında bilgi, çeşitli semboller ve semboller arasındaki ilişkiler aracılığıyla temsil edilmektedir. Böylece sistemler, belirli mantıksal kurallar çerçevesinde çıkarım yapabilmekte ve problem çözebilmektedir. Russell ve Norvig (2021)'e göre sembolik yaklaşım, yapay zekâ araştırmalarının tarihsel

temelini oluşturan en önemli paradigmalardan biridir. Özellikle matematiksel mantık ve tümdengelimsel çıkarım süreçleri üzerine kurulu olan bu yaklaşım, erken dönem yapay zekâ çalışmalarının büyük bölümüne yön vermiştir.

Klasik yaklaşımlar içerisinde uzman sistemler önemli bir yere sahiptir. Uzman sistemler, belirli bir alandaki uzman bilgisinin kurallar aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılması mantığına dayanmaktadır. Tıp, mühendislik, hukuk ve finans gibi alanlarda geliştirilen uzman sistemler, uzman kişilerin karar süreçlerini taklit etmeye çalışmıştır. Bu sistemlerin temel avantajı, açıklanabilir ve izlenebilir olmalarıdır. Başka bir ifade ile sistemin hangi kurallar aracılığıyla sonuca ulaştığı açık biçimde görülebilmektedir. Özellikle güvenlik ve etik açıdan kritik alanlarda bu durum önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte klasik yapay zekâ yaklaşımlarının çeşitli sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle bu sistemler öğrenme kapasitesine sahip değildir. Sistem yalnızca kendisine önceden tanımlanan kurallar doğrultusunda işlem yapabilmektedir. Dolayısıyla yeni durumlar ve beklenmeyen çevresel koşullar karşısında uyum sağlama kapasitesi oldukça sınırlıdır. Ayrıca veri çeşitliliği arttıkça ve problem alanı karmaşık hale geldikçe, kural setlerinin yönetilmesi zorlaşmaktadır. Özellikle büyük veri, örüntü tanıma ve belirsizlik içeren karar süreçlerinde klasik yaklaşımların yetersiz kaldığı görülmüştür.

Bu gelişmeler doğrultusunda yapay zekâ araştırmaları zamanla veri temelli öğrenme modellerine yönelmiştir. Ancak klasik yaklaşımlar bütünüyle önemini kaybetmiş değildir. Günümüzde özellikle açıklanabilir yapay zekâ, etik denetim mekanizmaları ve kritik karar sistemlerinde sembolik mantık ve kural tabanlı yapıların hâlen önemli işlevler üstlendiği görülmektedir. Nitekim yapay zekâ güvenliği ve şeffaflığına ilişkin tartışmalar, klasik yaklaşımların belirli alanlarda yeniden önem kazanmasına neden olmaktadır (Köse, 2018).

1.2. Modern Yaklaşımlar: Veriden Öğrenen Sistemler

Modern yapay zekâ yaklaşımları, klasik sistemlerden farklı olarak bilgiyi önceden tanımlanmış kurallar üzerinden değil, doğrudan verilerden öğrenilen örüntüler aracılığıyla işlemektedir. Bu dönüşümde özellikle veri üretim kapasitesindeki artış, hesaplama gücünün gelişmesi ve istatistiksel yöntemlerin ilerlemesi belirleyici olmuştur. Böylece yapay zekâ sistemleri yalnızca belirli kuralları uygulayan yapılar olmaktan çıkmış; öğrenebilen, uyum sağlayabilen ve çevresel değişimlere göre davranış geliştirebilen sistemlere dönüşmüştür.

Modern yapay zekâ yaklaşımlarının merkezinde makine öğrenmesi yer almaktadır. Makine öğrenmesi, sistemlerin açık biçimde programlanmaksızın veriler içerisindeki ilişkileri öğrenmesini sağlayan algoritmik yapılardan oluşmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde sistemler geçmiş verilerden hareketle tahminlerde bulunabilmekte ve yeni gözlemler karşısında genelleme yapabilmektedir. Özellikle büyük veri setlerinin analizinde makine öğrenmesi yöntemlerinin yüksek performans sergilediği görülmektedir.

Derin öğrenme ise modern yapay zekânın en önemli alt alanlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Çok katmanlı yapay sinir ağlarına dayanan bu yaklaşım, özellikle görüntü işleme, doğal dil işleme, ses tanıma ve biyometrik analiz gibi karmaşık veri yapılarında başarılı sonuçlar üretmektedir. Günümüzde otonom araçlar, öneri sistemleri, dijital asistanlar ve üretken yapay zekâ uygulamaları büyük ölçüde derin öğrenme modelleri üzerine kuruludur. Bununla birlikte derin öğrenme sistemlerinin yüksek veri ihtiyacı, yoğun hesaplama maliyetleri ve yorumlanabilirlik sorunları önemli tartışma alanları arasında yer almaktadır.

Modern yapay zekâ yaklaşımlarından biri de pekiştirmeli öğrenmedir. Bu yaklaşımda sistem, çevre ile etkileşim kurarak belirli ödül ve ceza mekanizmaları doğrultusunda davranış geliştirmektedir. Başka bir ifade ile sistem, zaman içerisinde hangi davranışların daha başarılı sonuç ürettiğini öğrenerek stratejisini güncellemektedir. Özellikle robotik sistemler, oyun teorisi uygulamaları ve dinamik karar alma süreçlerinde pekiştirmeli öğrenmenin önemli avantajlar sunduğu görülmektedir.

Modern yapay zekâ sistemleri yalnızca teknik anlamda değil, ekonomik organizasyon açısından da önemli dönüşümler yaratmaktadır. Agrawal vd. (2019), yapay zekânın esas etkisinin tahmin maliyetlerini düşürmesinden kaynaklandığını belirtmektedir. Tahmin maliyetlerindeki azalma; üretim planlamasından insan kaynakları yönetimine, tüketici davranışlarının analizinden finansal karar süreçlerine kadar çok geniş bir alanda ekonomik etkinliği artırmaktadır. Bu nedenle modern yapay zekâ yaklaşımları, yalnızca teknolojik ilerlemeyi değil; aynı zamanda ekonomik organizasyonun yeni işleyiş mantığını da temsil etmektedir.

1.3. Ekonomik Perspektiften Yapay Zekâ: Dönüştürücü Etkiler ve Fırsatlar

Yapay zekâ teknolojilerinin ekonomik sistem üzerindeki etkileri, yalnızca üretim süreçlerinde verimlilik artışı sağlanmasıyla sınırlı değildir. Günümüzde yapay zekâ; üretim yapısından işgücü piyasalarına, firma organizasyonundan uluslararası rekabet dinamiklerine kadar oldukça geniş bir alanı etkileyen stratejik bir dönüşüm unsuru haline gelmiştir. Bu nedenle yapay zekâ, çoğu zaman "genel amaçlı teknoloji" kapsamında değerlendirilmekte ve elektrik, buhar makinesi veya internet gibi ekonomik yapıyı köklü biçimde dönüştüren teknolojik gelişmelerle benzer bir çerçevede ele alınmaktadır.

Yapay zekânın ekonomik etkilerinin temelinde veri işleme kapasitesi ve tahmin yeteneği yer almaktadır. Özellikle büyük veri setlerinin analiz edilmesi sayesinde firmalar tüketici davranışlarını daha doğru biçimde öngörebilmekte, üretim süreçlerini optimize edebilmekte ve kaynak kullanımında etkinlik sağlayabilmektedir. Bu durum yalnızca işletme düzeyinde değil; sektörler ve ulusal ekonomiler açısından da verimlilik artışlarını beraberinde getirmektedir. Nitekim yapay zekâ uygulamaları sayesinde üretim maliyetleri azalmakta, hata oranları düşmekte ve karar alma süreçleri daha hızlı hale gelmektedir.

Agrawal vd. (2019), yapay zekânın ekonomik etkisini büyük ölçüde tahmin maliyetlerindeki düşüş üzerinden açıklamaktadır. Tahmin maliyetinin azalması, firmaların daha etkin karar alabilmesini sağlamakta ve ekonomik koordinasyonu güçlendirmektedir. Örneğin hangi ürünün talep göreceği, hangi yatırımın daha verimli olacağı veya hangi çalışanın hangi göreve daha uygun olduğu gibi konular daha düşük maliyetle analiz edilebilmektedir. Böylece bilgi eksikliğinden kaynaklanan ekonomik verimsizlikler önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Yapay zekânın ekonomik yapılar üzerindeki etkilerinden biri de firma organizasyonlarının dönüşmesidir. Geleneksel işletme yapılarında karar süreçleri büyük ölçüde insan yöneticilere bağlı iken, günümüzde veri temelli algoritmalar birçok stratejik kararda belirleyici hale gelmektedir. Özellikle dijital platform ekonomilerinde algoritmik yönetim anlayışının yaygınlaştığı görülmektedir. Bunun yanında yapay zekâ uygulamaları ölçek ekonomilerini de güçlendirmektedir. Büyük veri setlerine erişebilen ve yüksek hesaplama kapasitesine sahip firmalar, daha gelişmiş algoritmalar geliştirebilmekte ve rekabet avantajı sağlayabilmektedir. Bu durum, teknoloji sektöründe piyasa yoğunlaşmasının artmasına ve büyük teknoloji şirketlerinin ekonomik güçlerini daha da artırmasına yol açabilmektedir.

Yapay zekânın işgücü piyasaları üzerindeki etkileri ise literatürde en yoğun tartışılan konular arasında yer almaktadır. Özellikle otomasyon süreçlerinin bazı meslekleri ortadan kaldıracağı yönündeki tartışmalar, teknolojik işsizlik kavramını yeniden gündeme taşımıştır. Bununla birlikte literatürde yapay zekânın yalnızca iş kaybı yaratmadığı; aynı zamanda yeni iş alanları ve uzmanlıklar oluşturduğu yönünde görüşler de bulunmaktadır. Autor (2015), teknolojik dönüşümün işlerin tamamını ortadan kaldırmadığını, esas olarak görev bileşimlerini değiştirdiğini ifade etmektedir. Bu kapsamda rutin ve tekrar eden görevler otomatikleşirken; yaratıcılık, problem çözme ve analitik düşünme gerektiren alanlarda insan emeğine olan ihtiyaç devam etmektedir.

Acemoglu ve Restrepo (2018; 2020) tarafından yapılan çalışmalar da otomasyon süreçlerinin kısa vadede emek ikamesi etkisi yarattığını, ancak uzun vadede yeni görevlerin ortaya çıkmasıyla birlikte farklı bir denge oluşabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle robotlaşmanın yoğun olduğu bölgelerde ücret baskısı ve istihdam kayıpları görülebilmekte; buna karşılık yüksek beceri gerektiren alanlarda yeni iş fırsatları

oluşabilmektedir. Dolayısıyla yapay zekâ teknolojileri işgücü piyasalarında aynı anda hem risk hem de fırsat üreten bir dönüşüm süreci olarak değerlendirilmektedir.

Makroekonomik açıdan değerlendirildiğinde yapay zekâ; toplam faktör verimliliği, inovasyon kapasitesi ve uluslararası rekabet gücü üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Özellikle Ar-Ge yatırımları, dijital altyapı kapasitesi ve insan sermayesi düzeyi yüksek olan ülkelerin yapay zekâ alanında daha hızlı gelişim gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle yapay zekâ kapasitesi yalnızca özel sektör yatırımlarıyla değil; aynı zamanda kamu politikaları, eğitim sistemleri ve düzenleyici çerçevelerle birlikte değerlendirilmelidir.

Son yıllarda birçok ülkenin ulusal yapay zekâ stratejileri geliştirmesi de bu durumun önemli göstergelerinden biridir. Avrupa Komisyonu'nun koordineli yapay zekâ planı ile ABD Ulusal Yapay Zekâ Girişimi gibi kurumsal çerçeveler, yapay zekânın yalnızca ekonomik büyüme açısından değil; aynı zamanda stratejik bağımsızlık, ulusal güvenlik ve küresel rekabet açısından da önemli görüldüğünü ortaya koymaktadır (European Commission, 2019; National Artificial Intelligence Initiative Office, 2021). Özellikle Çin, ABD ve Avrupa Birliği arasındaki teknolojik rekabet, yapay zekânın jeopolitik güç unsuru haline geldiğini göstermektedir.

Diğer yandan yapay zekânın ekonomik etkileri yalnızca olumlu sonuçlar doğurmamaktadır. Veri mahremiyeti, algoritmik ayrımcılık, dijital eşitsizlikler ve etik sorunlar, yapay zekâ teknolojilerinin yönetilmesi gereken önemli risk alanları arasında yer almaktadır. Büyük veri kullanımının yoğunlaşması, bireysel gizlilik tartışmalarını artırırken; algoritmaların şeffaf olmaması karar süreçlerine duyulan güveni azaltabilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ politikalarının yalnızca teknolojik gelişim hedeflerine değil; etik yönetişim ve toplumsal kapsayıcılık ilkelerine de dayanması gerekmektedir.

Sonuç olarak yapay zekâ, modern ekonomilerde sermaye, emek ve teknoloji arasındaki ilişkiyi yeniden tanımlayan yapısal bir dönüşüm faktörü niteliğindedir. Üretim süreçlerinden işgücü piyasalarına, firma organizasyonlarından uluslararası rekabet yapısına kadar geniş bir alanı etkileyen yapay zekâ teknolojileri, gelecekte ekonomik büyüme ve kalkınma süreçlerinin temel belirleyicilerinden biri olmaya devam edecektir. Bu nedenle yapay zekânın ekonomik etkilerinin çok boyutlu biçimde analiz edilmesi ve ülkelerin bu dönüşüme yönelik stratejik kapasitesinin ölçülmesi büyük önem taşımaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapay zekâ literatürü, özellikle son yıllarda dijital dönüşüm süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte oldukça geniş ve disiplinler arası bir araştırma alanına dönüşmüştür. Başlangıçta daha çok bilgisayar bilimleri ve mühendislik alanlarında yoğunlaşan çalışmalar, zaman içerisinde ekonomi, kamu yönetimi, hukuk, etik, uluslararası ilişkiler ve yönetim bilimleri gibi farklı disiplinlerin de katkısıyla çok boyutlu bir yapıya kavuşmuştur. Bu kapsamda yapay zekâ literatürü genel olarak üç temel eksen çerçevesinde değerlendirilebilir. Bunlar; yapay zekânın kavramsal ve teknik temelleri, ekonomik etkileri ve yapay zekâ kapasitesinin ölçümüne yönelik endeks çalışmalarıdır. Söz konusu literatür birlikte ele alındığında, yapay zekânın yalnızca teknik bir yenilik değil; aynı zamanda ekonomik, toplumsal ve stratejik bir dönüşüm alanı olduğu görülmektedir.

Literatürün ilk boyutu, yapay zekânın kavramsal çerçevesi ve kuramsal gelişimi ile ilgilidir. Bu alanda Russell ve Norvig (2021) tarafından ortaya konulan çalışma, yapay zekâ literatürünün temel başvuru kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Söz konusu çalışma, yapay zekâyı rasyonel ajan yaklaşımı çerçevesinde ele almakta ve sembolik sistemlerden modern öğrenme modellerine kadar oldukça kapsamlı bir teorik çerçeve sunmaktadır. Russell ve Norvig (2021)'e göre yapay zekâ, yalnızca hesaplama gücüne dayanan teknik bir yapı değil; aynı zamanda öğrenme, problem çözme ve çevresel koşullara uyum sağlayabilen sistemlerin geliştirilmesini amaçlayan disiplinler arası bir çalışma alanıdır. Bu yaklaşım, yapay zekânın salt algoritmik süreçlerden ibaret olmadığını; bilişsel süreçlerin modellenmesine dayalı daha geniş bir paradigma olduğunu ortaya koymaktadır.

Köse (2018) ise yapay zekânın güvenlik ve etik boyutuna odaklanarak, teknolojik ilerlemenin beraberinde çeşitli riskler de taşıdığına dikkat çekmektedir. Özellikle makine etiği ve yapay zekâ güvenliği konusundaki tartışmalar, yapay zekâ sistemlerinin yalnızca teknik performans açısından değil; aynı zamanda toplumsal güvenlik ve etik ilkeler çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Benzer şekilde Floridi vd. (2018) ile Floridi (2020), yapay zekânın etik yönetişim boyutunu ön plana çıkarmakta ve güvenilir yapay zekâ yaklaşımının önemine vurgu yapmaktadır. Bu çalışmalarda algoritmik ayrımcılık, veri mahremiyeti, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi unsurların yapay zekâ politikalarının temel bileşenleri arasında yer alması gerektiği ifade edilmektedir.

Literatürün ikinci boyutu, yapay zekânın ekonomik etkilerini inceleyen çalışmalardan oluşmaktadır. Özellikle işgücü piyasaları, üretkenlik artışı ve ekonomik organizasyon üzerindeki etkiler bu alandaki temel tartışma konularıdır. Autor (2015), teknolojik dönüşümün işlerin tamamını ortadan kaldırmadığını; daha çok görev bileşimlerini değiştirdiğini ileri sürmektedir. Bu kapsamda rutin ve tekrar eden işlerin otomatikleştiği, buna karşılık analitik düşünme, problem çözme ve yaratıcılık gerektiren alanlarda insan emeğinin önemini koruduğu belirtilmektedir.

Acemoglu ve Restrepo (2018), otomasyon süreçlerinin işgücü piyasalarında emek ikamesi etkisi yarattığını ve teknolojik dönüşümün istihdam yapısında önemli değişimlere neden olduğunu ampirik bulgularla ortaya koymaktadır. Daha sonraki çalışmalarında ise robotlaşmanın yerel işgücü piyasaları üzerindeki etkilerini analiz etmişler ve otomasyonun ücret düzeyleri ile istihdam üzerinde baskı oluşturabileceğini göstermişlerdir (Acemoglu ve Restrepo, 2020). Bununla birlikte aynı çalışmalar, uzun dönemde yeni iş alanlarının ortaya çıkması ve üretkenlik artışları sayesinde farklı bir ekonomik denge oluşabileceğine de dikkat çekmektedir.

Yapay zekânın ekonomik etkilerine ilişkin önemli çalışmalardan biri de Agrawal vd. (2019)'dir. Bu çalışmada yapay zekâ, esas olarak tahmin maliyetini düşüren bir teknoloji olarak ele alınmaktadır. Tahmin maliyetindeki düşüşün; firma organizasyonlarını, karar alma süreçlerini ve ekonomik koordinasyonu yeniden şekillendirdiği ifade edilmektedir. Bu yaklaşım, yapay zekânın yalnızca teknik bir yenilik olmadığını; aynı zamanda ekonomik organizasyonun işleyiş mantığını dönüştüren bir teknoloji olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.

Son yıllarda yapay zekâ becerilerine yönelik işgücü talebini inceleyen çalışmalar da dikkat çekmektedir. Özellikle Acemoglu vd. (2022), çevrim içi iş ilanları üzerinden yaptıkları analizlerde yapay zekâ ve veri analitiği alanındaki becerilere yönelik talebin hızla arttığını ortaya koymaktadır. Bu durum, dijitalleşme sürecinin işgücü piyasalarında beceri dönüşümünü hızlandırdığını ve nitelikli insan sermayesinin önemini artırdığını göstermektedir.

Literatürün üçüncü boyutu ise yapay zekâ kapasitesinin ölçümüne yönelik endeks ve gösterge çalışmalarından oluşmaktadır. Yapay zekâ gibi çok boyutlu bir olgunun tek bir göstergeyle ölçülmesi mümkün olmadığından, kompozit endeks yaklaşımları bu alanda önemli bir analiz aracı haline gelmiştir. Kompozit endeks metodolojisinin temel çerçevesi, Nardo vd. (2008) tarafından hazırlanan OECD el kitabında sistematik biçimde ortaya konulmuştur. Bu çalışmada gösterge seçimi, veri normalizasyonu, ağırlıklandırma, toplulaştırma ve sağlamlık analizleri gibi aşamalar detaylı biçimde açıklanmaktadır. Özellikle endeks geliştirme süreçlerinde metodolojik şeffaflığın ve duyarlılık analizlerinin önemine vurgu yapılmaktadır.

Saisana vd. (2005) ise kompozit göstergelerin güvenilirliği açısından belirsizlik ve duyarlılık analizlerinin vazgeçilmez olduğunu ifade etmektedir. Endeks sonuçlarının kullanılan varsayımlara ne ölçüde bağlı olduğunun test edilmesi gerektiği belirtilmekte ve aksi durumda endekslerin yanıltıcı sonuçlar üretebileceği vurgulanmaktadır. Bu yaklaşım, yapay zekâ endekslerinin yalnızca teknik hesaplamalara dayalı araçlar olmadığını; aynı zamanda belirli metodolojik tercihlerin sonucu olduğunu göstermesi açısından önem taşımaktadır.

Yapay zekâ kapasitesinin ölçümüne yönelik en kapsamlı çalışmalardan biri Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence tarafından hazırlanan AI Index raporudur. Stanford HAI (2024), yapay zekâ ekosistemini araştırma çıktıları, yatırım düzeyi, eğitim kapasitesi, politika gelişmeleri ve toplumsal etkiler gibi çok sayıda gösterge üzerinden değerlendirmektedir. Söz konusu rapor, yapay zekâ alanındaki küresel gelişmeleri yıllık olarak izleyen ve politika yapıcılar açısından önemli veri sağlayan temel kaynaklardan biri haline gelmiştir.

OECD (2023) tarafından geliştirilen yapay zekâ göstergeleri ise daha çok yönetişim, etik ve toplumsal etki boyutlarına odaklanmaktadır. OECD yaklaşımı, yapay zekâ performansının yalnızca teknik kapasite ile açıklanamayacağını; güvenilir yapay zekâ ilkeleri, kamu politikaları ve toplumsal güven gibi unsurların da değerlendirme sürecine dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Avrupa Komisyonu (2019), güvenilir yapay zekâ ilkeleri çerçevesinde etik ve düzenleyici boyutların önemine dikkat çekmektedir.

Lee (2018), yapay zekâ rekabetinin jeopolitik boyutunu ön plana çıkararak, yapay zekâ kapasitesinin uluslararası güç dengeleri açısından stratejik bir unsur haline geldiğini ifade etmektedir. Özellikle Çin ve ABD arasındaki teknolojik rekabetin küresel ekonomi ve siyasal yapı üzerindeki etkileri detaylı biçimde ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, yapay zekâ endekslerinin yalnızca teknik performans ölçüm araçları olmadığını; aynı zamanda stratejik rekabet göstergeleri olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Porcher (2024) tarafından geliştirilen çalışma ise yapay zekâ hazırlık ve kapasite ölçümüne yönelik daha doğrudan bir model sunmaktadır. Bu çalışmada yapay zekâ kapasitesinin yalnızca çıktı göstergeleriyle değil; aynı zamanda organizasyonel hazırlık düzeyi, kurumsal yapı ve stratejik yönelimlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde literatür, yapay zekâ kapasitesinin tek bir değişken aracılığıyla açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. İnsan sermayesi, dijital altyapı, araştırma kapasitesi, veri erişimi, etik yönetişim ve kamu politikaları gibi çok sayıda unsurun birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapay zekâ endeksleri, yalnızca ülkeleri sıralayan teknik araçlar değil; aynı zamanda politika yapım süreçlerine yön veren stratejik analiz mekanizmaları olarak önem kazanmaktadır.

3. KOMPOZİT ENDEKS GELİŞTİRME SÜRECİ

Kompozit endeksler, çok boyutlu ekonomik ve toplumsal olguların tek bir analitik çerçevede değerlendirilmesine imkân sağlayan ölçüm araçlarıdır. Özellikle doğrudan gözlemlenmesi ve ölçülmesi güç olan kavramların analizinde, farklı göstergelerin belirli metodolojik süreçler çerçevesinde bir araya getirilmesiyle oluşturulan bu endeksler, hem akademik çalışmalarda hem de politika yapım süreçlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Küreselleşme, dijitalleşme, sürdürülebilir kalkınma, rekabet gücü ve teknolojik kapasite gibi çok boyutlu alanların ölçülmesinde kompozit endekslerin önemli bir işlev üstlendiği görülmektedir. Yapay zekâ kapasitesi de doğrudan ölçülmesi zor ve çok katmanlı bir yapı içerdiğinden, bu alanın değerlendirilmesinde kompozit endeks metodolojisi önemli bir analitik araç olarak öne çıkmaktadır.

Kompozit endekslerin temel amacı, birbirinden farklı ölçü birimlerine sahip çok sayıdaki göstergenin tek bir bütüncül ölçüye dönüştürülmesini sağlamaktır. Böylece ülkeler, bölgeler veya kurumlar arasında karşılaştırmalar yapılabilmekte ve zaman içerisindeki gelişim süreçleri izlenebilmektedir. Bununla birlikte kompozit endeksler yalnızca teknik hesaplama araçları değildir. Endekslerin oluşturulma sürecinde yapılan her metodolojik tercih, elde edilen sonuçları doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle kompozit endeks geliştirme süreci, teknik olduğu kadar kuramsal ve metodolojik bir tasarım süreci olarak da değerlendirilmelidir.

Kompozit endeks metodolojisine ilişkin en kapsamlı çerçevelerden biri Nardo vd. (2008) tarafından OECD için hazırlanan çalışmada ortaya konulmuştur. Söz konusu çalışmada endeks geliştirme süreci sistematik aşamalar halinde ele alınmakta ve metodolojik şeffaflığın önemi vurgulanmaktadır. Bu kapsamda kompozit endeks geliştirme süreci genel olarak; kavramsal çerçevenin oluşturulması, gösterge seçimi, veri

toplama, veri temizleme, normalizasyon, ağırlıklandırma, toplulaştırma ve sağlamlık analizleri şeklinde sıralanabilmektedir.

İlk aşama, kavramsal çerçevenin oluşturulmasıdır. Bu aşamada ölçülmek istenen olgunun sınırları açık biçimde tanımlanmalı ve hangi boyutları içerdiği teorik olarak gerekçelendirilmelidir. Çünkü kavramsal çerçevesi net biçimde oluşturulmayan bir endeksin analitik tutarlılığı zayıf olacaktır. Özellikle yapay zekâ gibi çok boyutlu alanlarda yalnızca teknik altyapının değil; insan sermayesi, araştırma kapasitesi, veri erişimi, yönetişim yapısı ve etik düzenlemeler gibi unsurların da değerlendirme sürecine dahil edilmesi gerekmektedir. OECD (2023) ile Stanford HAI (2024) tarafından yapılan çalışmalar da yapay zekâ kapasitesinin bütüncül biçimde ele alınmasının önemine dikkat çekmektedir.

İkinci aşama, gösterge seçimi ve veri toplama sürecidir. Kullanılacak göstergelerin kavramsal çerçeveyle uyumlu, ölçülebilir, güncel ve karşılaştırılabilir nitelikte olması gerekmektedir. Bunun yanında veri kaynaklarının güvenilirliği ve sürekliliği de oldukça önemlidir. Çünkü zayıf veri kalitesi, endeks sonuçlarını sistematik biçimde çarpıtabilmektedir. Nardo vd. (2008), veri kalitesinin kompozit endekslerin güvenilirliği açısından belirleyici rol oynadığını ifade etmektedir. Özellikle yapay zekâ alanında veri üretim kapasitesinin ülkeler arasında farklılık göstermesi, veri tutarsızlıkları ve eksik gözlemler gibi sorunların daha yoğun biçimde ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Üçüncü aşama, veri temizleme ve eksik veri yönetimidir. Endeks geliştirme süreçlerinde eksik gözlemler önemli metodolojik sorunlardan biridir. Eksik verilerin uygun istatistiksel yöntemlerle tamamlanmaması durumunda, ülkeler arası karşılaştırmaların güvenilirliği azalabilmektedir. Bu nedenle imputasyon yöntemlerinin dikkatli biçimde seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca uç değerlerin kontrol edilmesi ve veri setindeki olası tutarsızlıkların giderilmesi de bu aşamanın önemli bileşenleri arasında yer almaktadır.

Dördüncü aşama, normalizasyon sürecidir. Kompozit endekslerde kullanılan göstergeler farklı ölçü birimlerine sahip olduğundan, bu göstergelerin karşılaştırılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemi sayesinde değişkenler ortak bir ölçeğe dönüştürülmektedir. Literatürde min-max dönüşümü, z-skor standardizasyonu ve mesafe temelli yöntemler gibi çeşitli normalizasyon teknikleri kullanılmaktadır (Nardo vd., 2008). Ancak burada kullanılan yöntemin yalnızca teknik bir tercih olmadığı unutulmamalıdır. Çünkü seçilen normalizasyon yöntemi, endeks dağılımını ve ülkelerin göreli konumunu doğrudan etkileyebilmektedir.

Beşinci aşama, ağırlıklandırma sürecidir. Kompozit endeks geliştirme süreçlerinin en tartışmalı aşamalarından biri ağırlıklandırmadır. Çünkü her göstergenin veya boyutun endeks içerisindeki önem düzeyi farklı olabilmektedir. Eşit ağırlıklandırma yöntemi uygulama kolaylığı ve şeffaflık sağlamakla birlikte, tüm göstergelerin aynı öneme sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu durum ise çoğu zaman gerçekçi sonuçlar üretmeyebilmektedir. Buna karşılık faktör analizi, temel bileşenler analizi veya veri zarflama analizi gibi veri temelli yöntemler daha nesnel sonuçlar sunabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin yorumlanabilirlik düzeyinin daha düşük olduğu da ifade edilmektedir (Saisana vd., 2005). Bu nedenle literatürde farklı ağırlıklandırma senaryolarının birlikte test edilmesi önerilmektedir.

Altıncı aşama, toplulaştırma sürecidir. Bu aşamada normalizasyonu ve ağırlıklandırması tamamlanan göstergeler tek bir endeks puanında birleştirilmektedir. En yaygın kullanılan yöntemler aritmetik ve geometrik ortalamadır. Aritmetik ortalama yöntemi, yüksek performansın düşük performansı telafi etmesine imkân tanımaktadır. Buna karşılık geometrik ortalama yöntemi, boyutlar arasında daha dengeli performansı teşvik etmektedir (Nardo vd., 2008). Dolayısıyla seçilen toplulaştırma yöntemi, endeksin teorik yaklaşımıyla doğrudan ilişkilidir.

Son aşama ise duyarlılık ve sağlamlık analizleridir. Saisana vd. (2005), kompozit göstergelerin güvenilirliği açısından duyarlılık analizlerinin vazgeçilmez olduğunu belirtmektedir. Bu aşamada endeks sonuçlarının kullanılan metodolojik varsayımlara ne ölçüde duyarlı olduğu test edilmektedir. Özellikle normalizasyon

yöntemi, ağırlıklandırma tercihi veya veri setindeki değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkisi analiz edilmektedir. Bunun yanında dış geçerlilik analizleriyle endeks sonuçlarının diğer ekonomik ve toplumsal göstergelerle uyumu değerlendirilmektedir.

Kompozit endekslerin önemli avantajları bulunmakla birlikte çeşitli eleştiriler de söz konusudur. Öncelikle bu endeksler karmaşık yapıları sadeleştirerek karar alıcılar açısından anlaşılabilir hale getirmektedir. Ayrıca ülkeler arası karşılaştırma yapılmasına ve zaman içerisindeki gelişim süreçlerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Ancak buna karşılık metodolojik tercihlerin öznel olması, veri kalitesi sorunları ve farklı boyutların tek bir puana indirgenmesi gibi nedenlerle eleştirilmektedir. Özellikle bazı göstergelerin aşırı ağırlık kazanması veya veri eksiklikleri nedeniyle belirli ülkelerin sistematik biçimde avantajlı ya da dezavantajlı görünmesi önemli sorunlar arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak kompozit endeks geliştirme süreci yalnızca teknik bir hesaplama aşaması değil; aynı zamanda teorik, metodolojik ve analitik tercihlerin bütünleştiği çok katmanlı bir tasarım sürecidir. Yapay zekâ gibi dinamik ve karmaşık bir alanın ölçülmesinde bu süreçlerin bilimsel titizlikle yürütülmesi, elde edilen sonuçların güvenilirliği ve politika yapımındaki işlevselliği açısından büyük önem taşımaktadır.

4. YAPAY ZEKÂ ENDEKSİ OLUŞTURMA SÜRECİ

Yapay zekâ endeksi oluşturma süreci, kompozit endeks metodolojisinin yapay zekâ alanına uyarlanmış özel bir uygulaması niteliğindedir. Ancak yapay zekânın çok boyutlu, disiplinler arası ve hızlı değişen yapısı, bu süreci klasik endeks tasarımlarından daha karmaşık hale getirmektedir. Çünkü yapay zekâ kapasitesi yalnızca teknik altyapıdan ibaret değildir. İnsan sermayesi, araştırma ve geliştirme kapasitesi, veri ekosistemi, dijital altyapı, yatırım düzeyi, düzenleyici çerçeve, etik yönetişim anlayışı ve uluslararası bütünleşme gibi çok sayıda unsurun birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla yapay zekâ endeksleri, yalnızca ülkelerin mevcut teknoloji düzeyini ölçen araçlar değil; aynı zamanda dijital dönüşüm kapasitesini ve stratejik rekabet gücünü analiz eden kapsamlı değerlendirme mekanizmalarıdır.

Yapay zekâ endeksi oluşturma sürecinin ilk aşaması, ölçülmek istenen kavramın açık ve tutarlı biçimde tanımlanmasıdır. Başka bir ifade ile endeksin hangi boyutu ölçtüğünün netleştirilmesi gerekmektedir. Yapay zekâ kapasitesi, hazırlık düzeyi, rekabet gücü, teknolojik canlılık veya uygulama kapasitesi gibi farklı kavramsallaştırmalar, endeksin yapısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle kavramsal çerçevenin yeterince açık biçimde oluşturulmaması, metodolojik tutarsızlıklara ve analitik belirsizliklere yol açabilmektedir. Nardo vd. (2008), kompozit endekslerde kavramsal netliğin temel ön koşul olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle yapay zekâ gibi dinamik alanlarda kavramsal çerçevenin teorik temellerinin güçlü biçimde oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

İkinci aşama, yapay zekâ kapasitesini temsil edecek temel boyutların belirlenmesidir. Literatürde bu boyutlar çoğunlukla dijital altyapı, insan sermayesi, araştırma ve geliştirme kapasitesi, veri erişimi, yatırım düzeyi, kurumsal yapı, yönetişim ve etik düzenlemeler başlıkları altında toplanmaktadır. Stanford HAI (2024) ile OECD (2023) tarafından geliştirilen değerlendirme çerçeveleri de benzer biçimde çok boyutlu bir yaklaşım benimsemektedir. Dijital altyapı boyutu içerisinde geniş bant erişimi, veri merkezleri, bulut bilişim kapasitesi ve yüksek işlem gücü gibi unsurlar yer alırken; insan sermayesi boyutu araştırmacı sayısı, teknik eğitim kapasitesi ve ileri dijital beceriler üzerinden değerlendirilmektedir. Araştırma ve geliştirme kapasitesi ise yayın sayısı, atıf düzeyi, patent üretimi ve yenilikçi girişim ekosistemi gibi göstergeler aracılığıyla analiz edilmektedir.

Üçüncü aşama, veri seçimi ve veri kaynaklarının belirlenmesidir. Yapay zekâ endekslerinde kullanılan veriler oldukça heterojen bir yapıya sahiptir. Bibliyometrik veri tabanları, patent veri setleri, yatırım raporları, eğitim istatistikleri, kamu strateji belgeleri ve uluslararası kuruluş raporları bu süreçte yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak veri çeşitliliğinin artması, beraberinde karşılaştırılabilirlik ve tutarlılık sorunlarını da gündeme getirmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde veri üretim kapasitesinin

sınırlı olması, eksik gözlemler ve güncellik sorunları yaratabilmektedir. Bu nedenle veri kaynaklarının güvenilirliği, sürekliliği ve uluslararası standartlara uygunluğu titizlikle değerlendirilmelidir. Nardo vd. (2008), veri kalitesindeki sorunların kompozit endeks sonuçlarını sistematik biçimde etkileyebileceğini ifade etmektedir.

Dördüncü aşama, göstergelerin normalizasyonudur. Yapay zekâ endekslerinde kullanılan değişkenler farklı ölçü birimlerine sahip olduğundan, bu göstergelerin ortak bir ölçeğe dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla min-max dönüşümü, z-skor standardizasyonu ve mesafe temelli yöntemler gibi çeşitli normalizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Ancak burada tercih edilen yöntemin yalnızca teknik bir işlem olmadığı unutulmamalıdır. Çünkü normalizasyon yöntemi, ülkelerin göreli konumunu ve endeksin genel dağılımını doğrudan etkileyebilmektedir. Özellikle uç değerlere sahip ülkelerin bulunduğu veri setlerinde bazı normalizasyon yöntemleri sonuçları ciddi biçimde değiştirebilmektedir. Bu nedenle yöntem seçiminin teorik gerekçelerle desteklenmesi gerekmektedir.

Beşinci aşama, ağırlıklandırma sürecidir. Yapay zekâ endeksi geliştirme sürecinin en kritik ve tartışmalı aşamalarından biri ağırlıklandırmadır. Çünkü her boyutun yapay zekâ kapasitesi üzerindeki etkisi aynı düzeyde olmayabilmektedir. Eşit ağırlıklandırma yöntemi uygulama kolaylığı ve şeffaflık sağlasa da, tüm göstergelerin aynı öneme sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu durum ise çoğu zaman gerçekçi sonuçlar üretmeyebilmektedir. Buna karşılık uzman görüşüne dayalı yöntemler veya istatistiksel teknikler daha esnek sonuçlar sağlayabilmektedir. Saisana vd. (2005), farklı ağırlıklandırma senaryolarının birlikte analiz edilmesinin endeksin güvenilirliği açısından önemli olduğunu belirtmektedir. Özellikle yapay zekâ gibi çok boyutlu alanlarda tek bir ağırlıklandırma yaklaşımının mutlak doğru kabul edilmesi metodolojik sorunlar yaratabilmektedir.

Altıncı aşama, toplulaştırma sürecidir. Bu aşamada alt göstergeler ve boyutlar tek bir endeks puanında birleştirilmektedir. Aritmetik ortalama yöntemi, yüksek performans gösteren alanların düşük performanslı alanları telafi etmesine imkân tanımaktadır. Buna karşılık geometrik ortalama yöntemi, boyutlar arasında daha dengeli bir gelişimi teşvik etmektedir. Bu nedenle hangi yöntemin tercih edileceği, endeksin teorik yaklaşımı ile doğrudan ilişkilidir. Yapay zekâ kapasitesi gibi çok boyutlu yapılarda bazı alanlardaki aşırı güçlü performansın diğer zayıflıkları telafi edip edemeyeceği önemli bir metodolojik tartışma konusu oluşturmaktadır.

Yedinci aşama, ülke karşılaştırmaları ve profil analizidir. Yapay zekâ endekslerinin amacı yalnızca ülkeleri sıralamak değildir. Asıl önemli olan, ülkelerin hangi alanlarda güçlü veya zayıf olduklarının ayrıntılı biçimde ortaya konulabilmesidir. Bu nedenle alt boyut analizleri, kümeleme yöntemleri ve profil haritaları önemli analiz araçları arasında yer almaktadır. Stanford HAI (2024) yaklaşımı da yalnızca toplam performans puanı sunmakla sınırlı kalmamakta; araştırma, yatırım, eğitim, politika ve toplumsal etki gibi alanlarda ayrı değerlendirmeler yapmaktadır. Bu durum, politika yapıcılar açısından daha ayrıntılı ve stratejik analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Son aşama ise zaman serisi analizleri ve sağlamlık testleridir. Yapay zekâ kapasitesi durağan bir yapı değildir. Teknolojik gelişmeler, ekonomik dönüşümler ve politika değişiklikleri nedeniyle ülkelerin performansları kısa süre içerisinde değişebilmektedir. Bu nedenle yalnızca tek dönemli ölçümler yapmak, gelişim dinamiklerinin anlaşılması açısından yetersiz kalabilmektedir. Zaman serisi analizleri sayesinde ülkelerin yapay zekâ kapasitesindeki değişimler ve gelişim eğilimleri izlenebilmektedir. Bunun yanında duyarlılık ve belirsizlik analizleri, endeks sonuçlarının metodolojik varsayımlara ne ölçüde bağımlı olduğunu test ederek bilimsel güvenilirliği artırmaktadır (Saisana vd., 2005).

Yapay zekâ endekslerinin oluşturulma süreci genel olarak değerlendirildiğinde, bu yapıların yalnızca teknik sıralama araçları olmadığı açık biçimde görülmektedir. Söz konusu endeksler, ülkelerin dijital dönüşüm kapasitesini, teknolojik rekabet gücünü ve stratejik yönelimlerini değerlendiren kapsamlı analiz mekanizmalarıdır. Bu nedenle yapay zekâ endekslerinin bilimsel, metodolojik ve etik açıdan sağlam

temeller üzerine inşa edilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle yapay zekâ teknolojilerinin ekonomik ve toplumsal etkilerinin giderek arttığı günümüzde, güvenilir ve çok boyutlu ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi hem akademik çalışmalar hem de kamu politikaları açısından kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

5. YAPAY ZEKÂ ENDEKSİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Yapay zekâ endekslerine yönelik çalışmalar, özellikle son yıllarda dijital dönüşüm süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte önemli ölçüde artış göstermiştir. Başlangıçta daha çok teknoloji üretim kapasitesi, araştırma çıktıları ve yatırım düzeyi gibi sınırlı göstergeler üzerinden yapılan değerlendirmeler, zaman içerisinde daha kapsamlı ve çok boyutlu bir yapıya dönüşmüştür. Günümüzde yapay zekâ kapasitesinin yalnızca teknik göstergeler aracılığıyla açıklanamayacağı; insan sermayesi, veri altyapısı, etik yönetişim, düzenleyici çerçeve ve kamu politikaları gibi unsurların da değerlendirme sürecine dahil edilmesi gerektiği yönünde güçlü bir literatür oluşmuştur. Bu kapsamda yapay zekâ endeksleri, ülkelerin teknolojik rekabet gücünü ve dijital dönüşüm kapasitesini analiz eden önemli araçlardan biri haline gelmiştir.

Yapay zekâ endekslerine ilişkin erken dönem çalışmalar daha çok teknolojik rekabet ve jeopolitik güç dengeleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu alandaki dikkat çekici çalışmalardan biri Lee (2018)'e aittir. Lee (2018), yapay zekâ rekabetinin yalnızca teknolojik ilerleme ile sınırlı olmadığını; aynı zamanda ekonomik güç, veri erişimi, devlet kapasitesi ve uluslararası stratejik üstünlük açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Özellikle Çin ile ABD arasındaki yapay zekâ rekabeti üzerinden yapılan analizler, teknolojik kapasitenin küresel güç dengelerini yeniden şekillendirdiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, yapay zekâ kapasitesinin ölçümünde stratejik ve jeopolitik unsurların önemini ortaya koyması bakımından dikkat çekmektedir.

Avrupa Komisyonu (2019) tarafından geliştirilen yapay zekâ strateji çerçevesi ise, yapay zekâ kapasitesinin yönetişim ve düzenleme boyutuna odaklanan önemli çalışmalardan biridir. Avrupa Birliği yaklaşımı, özellikle güvenilir yapay zekâ ilkeleri üzerine inşa edilmiştir. Bu kapsamda şeffaflık, hesap verebilirlik, veri güvenliği ve etik ilkeler, yapay zekâ kapasitesinin ayrılmaz parçaları olarak değerlendirilmektedir. Avrupa Komisyonu'nun geliştirdiği koordineli yapay zekâ planı, ülkelerin yalnızca teknolojik altyapı açısından değil; aynı zamanda kurumsal ve hukuki düzenleme kapasitesi açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle Avrupa yaklaşımı, yapay zekâ endekslerinin normatif ve etik boyutunu güçlendiren önemli bir çerçeve sunmaktadır.

ABD Ulusal Yapay Zekâ Girişimi (2021) ise daha çok araştırma kapasitesi, dijital altyapı ve insan sermayesi boyutlarına odaklanan stratejik bir yaklaşım geliştirmiştir. Söz konusu çalışma, yapay zekâ kapasitesinin artırılmasında kamu politikalarının merkezi rolünü vurgulamakta ve üniversiteler, özel sektör ile kamu kurumları arasındaki iş birliğinin önemine dikkat çekmektedir. Özellikle araştırma ve geliştirme yatırımları, yüksek nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesi ve veri altyapısının güçlendirilmesi temel politika alanları arasında yer almaktadır. Bu yaklaşım, yapay zekâ kapasitesinin yalnızca piyasa mekanizmaları aracılığıyla değil; devlet destekli stratejik politikalarla birlikte geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Yapay zekâ kapasitesinin etik ve toplumsal boyutlarını inceleyen çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Roche vd. (2022), yapay zekâ politikalarında etik ve çeşitlilik unsurlarının kritik öneme sahip olduğunu ifade etmektedir. Özellikle algoritmik ayrımcılık, toplumsal kapsayıcılık ve veri mahremiyeti gibi konuların yapay zekâ endekslerinde dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu yaklaşım, yapay zekâ performansının yalnızca teknik başarıyla ölçülmesinin yetersiz olduğunu; aynı zamanda toplumsal güven ve etik yönetişim kapasitesinin de değerlendirme sürecine dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

OECD (2023) tarafından geliştirilen yapay zekâ göstergeleri ise disiplinler arası ve çok boyutlu bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. OECD yaklaşımı, yapay zekânın ekonomik etkilerinin yanı sıra toplumsal, etik ve yönetsel boyutlarını da analiz etmektedir. Özellikle güvenilir yapay zekâ, veri yönetişimi, kamu güveni ve düzenleyici kapasite gibi unsurların ölçüm süreçlerine dahil edilmesi gerektiği

belirtilmektedir. Bu yönüyle OECD çalışmaları, yapay zekâ kapasitesinin yalnızca teknik performans üzerinden değerlendirilemeyeceğini; çok katmanlı bir analiz çerçevesine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Yapay zekâ endekslerine ilişkin en kapsamlı çalışmalardan biri Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence tarafından hazırlanan AI Index raporudur. Stanford HAI (2024), yapay zekâ ekosistemini çok boyutlu bir çerçevede ele almakta ve araştırma çıktıları, yatırım düzeyi, eğitim kapasitesi, politika gelişmeleri, toplumsal etkiler ve model performansları gibi çok sayıda göstergeyi birlikte değerlendirmektedir. Söz konusu raporun en önemli özelliklerinden biri, yapay zekâ alanındaki küresel gelişmeleri yıllık olarak izleyebilmesidir. Böylece ülkelerin ve sektörlerin zaman içerisindeki performans değişimleri sistematik biçimde analiz edilebilmektedir. Ayrıca Stanford AI Index yaklaşımı, yalnızca genel sıralamalar üretmekle sınırlı kalmamakta; alt boyut analizleri aracılığıyla ülkelerin hangi alanlarda güçlü veya zayıf olduğunu da ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır.

Porcher (2024) tarafından geliştirilen çalışma ise yapay zekâ hazırlık düzeyi ve kapasitesinin ölçümüne yönelik daha doğrudan bir model sunmaktadır. Bu yaklaşımda yapay zekâ performansının yalnızca çıktı göstergeleriyle değil; organizasyonel hazırlık, kurumsal kapasite ve stratejik yönelimlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Özellikle ülkelerin yapay zekâ teknolojilerini üretme, benimseme ve yaygınlaştırma kapasitesi arasındaki farklara dikkat çekilmektedir. Bu yönüyle çalışma, yapay zekâ kapasitesinin dinamik ve çok katmanlı bir yapı olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürde dikkat çeken önemli gelişmelerden biri de yapay zekâ endekslerinin zaman içerisinde giderek daha kapsamlı hale gelmesidir. İlk dönem çalışmalar daha çok patent sayıları, bilimsel yayınlar ve yatırım büyüklükleri gibi teknik göstergelere odaklanırken; güncel çalışmalar etik yönetişim, toplumsal kapsayıcılık, kamu politikaları ve veri güvenliği gibi alanları da değerlendirme süreçlerine dahil etmektedir. Bu durum, yapay zekânın yalnızca teknolojik bir mesele değil; aynı zamanda ekonomik, toplumsal ve siyasal bir dönüşüm alanı olarak görülmeye başlandığını göstermektedir.

Bunun yanında mevcut literatürde bazı metodolojik sorunlar da dikkat çekmektedir. Öncelikle farklı endekslerin farklı kavramsal çerçeveler ve ağırlıklandırma yöntemleri kullanması, sonuçların karşılaştırılabilirliğini zorlaştırmaktadır. Ayrıca veri kalitesi ve veri erişimi sorunları, özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından önemli metodolojik sınırlılıklar yaratmaktadır. Veri üretim kapasitesinin düşük olduğu ülkelerde yapay zekâ performansının tam olarak ölçülememesi, küresel eşitsizliklerin ölçüm süreçlerine de yansımasına neden olabilmektedir. Bunun yanında etik ve toplumsal etkilerin ölçülmesinde ortak standartların yeterince oluşmamış olması da önemli bir sorun alanı olarak değerlendirilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde yapay zekâ endeksi literatürü, hızla gelişen ve disiplinler arası niteliği giderek güçlenen bir araştırma alanı görünümündedir. Yapay zekâ kapasitesinin ölçümüne yönelik çalışmalar yalnızca akademik bilgi üretimi açısından değil; aynı zamanda ülkelerin teknoloji politikalarının şekillendirilmesi, dijital dönüşüm stratejilerinin belirlenmesi ve küresel rekabet dinamiklerinin anlaşılması açısından da büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla gelecekte yapay zekâ endekslerinin daha kapsamlı, daha dinamik ve daha kapsayıcı metodolojik çerçeveler üzerinden geliştirileceği söylenebilir.

SONUÇ

Yapay zekâ teknolojileri, günümüzde yalnızca teknik yenilikler üreten bir alan olmaktan çıkarak ekonomik, toplumsal ve stratejik dönüşüm süreçlerinin merkezinde yer alan temel unsurlardan biri haline gelmiştir. Özellikle veri işleme kapasitesindeki gelişmeler, öğrenen algoritmaların yaygınlaşması ve dijitalleşme süreçlerinin hız kazanması, yapay zekânın üretim yapısından işgücü piyasalarına, kamu yönetiminden uluslararası rekabet dinamiklerine kadar oldukça geniş bir alanı etkilemesine neden olmuştur. Bu nedenle yapay zekâ kapasitesinin ölçülmesi ve ülkelerin bu alandaki konumlarının karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmesi, hem akademik çalışmalar hem de politika yapım süreçleri açısından önemli hale gelmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen temel bulgulardan biri, yapay zekâ kapasitesinin doğası gereği çok boyutlu bir yapı taşıdığıdır. Yapay zekâ performansı yalnızca teknik altyapı veya yatırım büyüklüğü üzerinden açıklanabilecek bir olgu değildir. İnsan sermayesi kapasitesi, veri erişimi, araştırma ve geliştirme altyapısı, etik yönetişim anlayışı, kamu politikaları ve dijital dönüşüm düzeyi gibi çok sayıda unsurun birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla yapay zekâ alanında güçlü görünen bir ülke, bazı alt boyutlarda ciddi yapısal eksikliklere sahip olabilmektedir. Örneğin ileri düzey dijital altyapıya sahip bir ülke, yeterli insan sermayesi oluşturamadığı takdirde sürdürülebilir bir yapay zekâ ekosistemi geliştirmekte zorlanabilmektedir. Benzer şekilde yüksek araştırma kapasitesine sahip ülkelerde etik düzenleme ve veri yönetişimi alanındaki eksiklikler, toplumsal güven sorunları yaratabilmektedir.

Bu durum, yapay zekâ endekslerinin neden çok boyutlu bir yapıya sahip olması gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Çünkü tek bir gösterge üzerinden yapılacak değerlendirmeler, ülkelerin gerçek yapay zekâ kapasitesini açıklamak açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle insan sermayesinden araştırma kapasitesine, veri altyapısından etik yönetişim anlayışına kadar farklı alanların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Stanford HAI (2024), OECD (2023) ve Avrupa Komisyonu (2019) tarafından geliştirilen çerçeveler de bu çok boyutlu yaklaşımın önemine dikkat çekmektedir.

Çalışmada ayrıca kompozit endeks metodolojisinin yapay zekâ kapasitesinin ölçümünde önemli avantajlar sunduğu görülmektedir. Özellikle farklı göstergelerin tek bir analitik çerçevede birleştirilmesi sayesinde ülkeler arası karşılaştırmalar yapılabilmekte ve zaman içerisindeki gelişim süreçleri izlenebilmektedir. Bunun yanında kompozit endeksler, politika yapıcılar açısından stratejik yol haritaları oluşturulmasına da katkı sağlamaktadır. Ancak söz konusu metodolojinin çeşitli sınırlılıkları bulunduğu da unutulmamalıdır. Endeks oluşturma sürecinde yapılan her tercih -gösterge seçimi, veri kaynağı tercihi, normalizasyon yöntemi, ağırlıklandırma yaklaşımı ve toplulaştırma tekniği- elde edilen sonuçları doğrudan etkileyebilmektedir. Dolayısıyla kompozit endekslerin tamamen nesnel araçlar olduğu düşüncesi yanıltıcı olabilmektedir. Çünkü bu yapılar, belirli teorik varsayımlar ve metodolojik tercihler üzerine inşa edilmektedir.

Mevcut literatür incelendiğinde yapay zekâ endekslerine ilişkin üç temel sınırlılık dikkat çekmektedir. Bunlardan ilki veri kalitesi ve veri erişimi sorunudur. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde güncel, güvenilir ve karşılaştırılabilir veri eksikliği önemli bir metodolojik problem oluşturmaktadır. Veri üretim kapasitesinin sınırlı olması, bazı ülkelerin gerçek performansının tam olarak ölçülememesine neden olabilmektedir. Bu durum ise küresel eşitsizliklerin ölçüm süreçlerine de yansımasına yol açmaktadır. İkinci önemli sorun metodolojik çeşitliliktir. Farklı çalışmaların farklı kavramsal çerçeveler ve ağırlıklandırma yöntemleri kullanması, endeks sonuçlarının karşılaştırılabilirliğini zorlaştırmaktadır. Üçüncü sorun ise etik ve toplumsal boyutun bazı çalışmalarda yeterince dikkate alınmamasıdır. Oysa algoritmik ayrımcılık, veri mahremiyeti, şeffaflık, toplumsal kapsayıcılık ve kamu güveni gibi unsurlar, günümüzde yapay zekâ kapasitesinin ayrılmaz parçaları haline gelmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda bazı temel önerilerde bulunmak mümkündür. Öncelikle yapay zekâ endekslerinin geliştirilmesinde metodolojik standartlaşmanın artırılması gerekmektedir. Tüm çalışmaların aynı yapıda olması beklenmese de, veri kaynaklarının şeffaf biçimde açıklanması, duyarlılık analizlerinin yapılması ve ağırlıklandırma süreçlerinin gerekçelendirilmesi bilimsel güvenilirlik açısından önem taşımaktadır. Özellikle kompozit endeks metodolojisinde kullanılan varsayımların açık biçimde ortaya konulması, sonuçların daha sağlıklı değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

İkinci olarak, yapay zekâ kapasitesine ilişkin veri altyapısının güçlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde eğitim kapasitesi, araştırma ve geliştirme faaliyetleri, veri erişimi ve dijital altyapıya ilişkin düzenli veri üretiminin desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü veri eksikliği yalnızca ölçüm süreçlerini değil; aynı zamanda politika üretim kapasitesini de zayıflatmaktadır. Bu nedenle uluslararası kuruluşlar ile ulusal kurumlar arasında veri standardizasyonuna yönelik iş birliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Üçüncü olarak, etik yönetişim ve toplumsal etki boyutlarının yapay zekâ endekslerine daha sistematik biçimde dâhil edilmesi gerekmektedir. Güvenilir yapay zekâ ilkeleri, yalnızca tamamlayıcı unsurlar olarak değil; temel değerlendirme kriterlerinden biri olarak ele alınmalıdır. Özellikle veri güvenliği, algoritmik şeffaflık, hesap verebilirlik ve toplumsal kapsayıcılık gibi unsurların ölçüm süreçlerinde daha görünür hale getirilmesi önem taşımaktadır.

Dördüncü olarak, yapay zekâ endekslerinin yalnızca sıralama aracı olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir. Söz konusu endeksler, ülkelerin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyan stratejik analiz araçları olarak kullanılmalıdır. Bu nedenle alt boyut analizleri, kümeleme yöntemleri ve zaman serisi değerlendirmeleri gibi daha ayrıntılı analiz tekniklerinin kullanılması önem arz etmektedir. Özellikle ülkelerin hangi alanlarda yapısal eksikliklere sahip olduğunun belirlenmesi, daha etkili politika geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Beşinci olarak ise yapay zekâ çalışmalarında disiplinler arası yaklaşımın güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapay zekâ yalnızca bilgisayar bilimlerinin çalışma alanı olmaktan çıkmış; ekonomi, hukuk, kamu yönetimi, etik, uluslararası ilişkiler ve eğitim gibi çok sayıda disiplinin kesişim noktasında yer alan bir araştırma alanına dönüşmüştür. Bu nedenle yapay zekâ kapasitesinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi süreçlerinde disiplinler arası bakış açısının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar açısından da çeşitli araştırma alanları öne çıkmaktadır. Özellikle gerçek zamanlı veri kullanan dinamik yapay zekâ endekslerinin geliştirilmesi, mevcut statik ölçüm yaklaşımlarına göre daha açıklayıcı sonuçlar sağlayabilir. Bunun yanında bölgesel eşitsizlikleri, sektörler arası farklılıkları ve kamu-özel sektör kapasite asimetrilerini ortaya koyan alt endekslerin geliştirilmesi de politika yapıcılar açısından önemli katkılar sunacaktır. Ayrıca yapay zekâ ile sürdürülebilir kalkınma, enerji tüketimi, çevresel maliyetler ve toplumsal kapsayıcılık arasındaki ilişkilerin daha kapsamlı biçimde incelenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak yapay zekâ endeksleri, dijital çağda ülkelerin teknolojik kapasitesini, ekonomik rekabet gücünü ve stratejik yönelimlerini değerlendiren önemli analitik araçlardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle söz konusu endekslerin bilimsel, güvenilir, şeffaf ve kapsayıcı metodolojik çerçeveler üzerine inşa edilmesi yalnızca akademik bir gereklilik değil; aynı zamanda ekonomik ve toplumsal açıdan stratejik bir zorunluluk niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Acemoglu, D., Autor, D., Hazell, J., Restrepo, P. (2022). Artificial intelligence and jobs: Evidence from online vacancies. *Journal of Labor Economics,* 40 (S1), 293-340.

Acemoglu, D., Restrepo, P. (2018). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American Economic Review,* 108 (6), 1488-1542.

Acemoglu, D., Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy,* 128 (6), 2188-2244.

Agrawal, A., Gans, J., Goldfarb, A. (2019). Artificial intelligence: The ambiguous labor market impact of automating prediction. *Journal of Economic Perspectives,* 33 (2), 31-50.

Autor, D.H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives,*29 (3), 3-30.

European Commission. (2019). *Coordinated plan on artificial intelligence*. European Commission.

Floridi, L. (2020). The ethics of artificial intelligence: Emerging issues and challenges. *AI ve Society,* 35 (4), 701-710.

Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines,* 28 (4), 689-707.

Köse, U. (2018). Are we safe enough in the future of artificial intelligence? A discussion on machine ethics and artificial intelligence safety. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience,* 9 (2), 184-197.

Lee, K.F. (2018). *AI superpowers: China, Silicon Valley, and the new world order*. Houghton Mifflin Harcourt.

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing.

National Artificial Intelligence Initiative Office. (2021). *The national AI initiative: Advancing the American AI strategy*. U.S. Government.

OECD. (2023). *Artificial intelligence in society*. OECD Publishing.

Porcher, S. (2024). Measuring artificial intelligence capabilities and readiness. *Academy of Management Proceedings*.

Roche, C., Wall, P.J., Lewis, D. (2022). Ethics and diversity in artificial intelligence policies, strategies, and initiatives. *AI and Ethics,* 3 (1), 1095-1115.

Russell, S., Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S. (2005). Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A,* 168 (2), 307-323.

Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. (2024). *AI Index report 2024*. Stanford University.

https://doi.org/10.71284/asc.2026151

KARA KUTU SORUNSALI: İŞLETME KARAR ALMA SÜREÇLERİNDE YAPAY ZEKÂDA AÇIKLANABİLİRLİK, ETİK VE YÖNETSEL MEŞRUİYET

THE BLACK BOX PROBLEM: EXPLAINABILITY, ETHICS, AND MANAGERIAL LEGITIMACY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS DECISION-MAKING

Fatma Duygu Büber[1]

Özet

Günümüz işletmelerinde yapay zekâ sistemleri, stratejik karar alma süreçlerinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli modeller, büyük veri setleri üzerinden öğrenerek hızlı ve yüksek doğrulukta kararlar üretebilmektedir. Ancak bu modellerin karmaşık yapısı, kararların nasıl üretildiğinin açık bir biçimde anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde "kara kutu sorunu" olarak ifade edilen bir durumu ortaya çıkarmaktadır. Kara kutu sorunu, yapay zekâ sistemlerinde girdilerin çıktılara nasıl dönüştüğünün yeterince açıklanamaması nedeniyle şeffaflık eksikliğine yol açmaktadır. Bu durum işletme yönetimi açısından yalnızca teknik değil, aynı zamanda etik ve yönetsel sonuçlar da doğurmaktadır. Bu çalışmanın amacı, açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımını ilgili literatür ışığında incelemek ve kara kutu probleminden kaynaklanan etik ve yönetsel sorunları değerlendirmektir. Bu kapsamda, algoritmik önyargı, sorumluluk belirsizliği ve açıklama hakkı gibi kavramlar ele alınmaktadır. Literatür temelli değerlendirmeler, işletmelerin yalnızca teknolojik performansa odaklanmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Etik denetlenebilirlik, şeffaflık ve insan merkezli yapay zekâ yaklaşımlarının benimsenmesinin yönetsel meşruiyetin sürdürülebilirliği açısından belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, yöneticilere yapay zekâ entegrasyonunda etik ilkelere dayalı bir katkı sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ etiği, kara kutu sorunsalı, açıklanabilir yapay zekâ, yönetsel meşruiyet, algoritmik sorumluluk.

Abstract

In contemporary business environments, artificial intelligence systems have become a crucial component of strategic decision-making processes. In particular, machine learning and deep learning-based models are capable of generating fast and highly accurate decisions by learning from large datasets. However, the complexity of these models makes it difficult to clearly understand how decisions are produced, leading to what is referred to in the literature as the "black box problem." The black box problem creates a lack of transparency due to the insufficient explainability of how inputs are transformed into outputs in artificial intelligence systems. This situation generates not only technical but also ethical and managerial implications for business administration. The aim of this study is to examine the explainable artificial intelligence approach within the scope of the relevant literature and to evaluate the ethical and managerial

[1]Dr., Bağımsız Araştırmacı, fatmaduygububer@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8195-847X

issues arising from the black box problem. In this context, concepts such as algorithmic bias, responsibility ambiguity, and the right to explanation are addressed. Literature-based evaluations indicate that focusing solely on technological performance is insufficient for organizations. It is understood that the adoption of ethical accountability, transparency, and human-centered artificial intelligence approaches is critical for the sustainability of managerial legitimacy. In this regard, a contribution based on ethical principles in artificial intelligence integration is offered to managers.

Keywords: Artificial intelligence ethics, black box problem, explainable artificial intelligence, managerial legitimacy, algorithmic responsibility.

GİRİŞ

Dijital dönüşüm süreci, işletmelerin işleyişlerinin veri temelli yaklaşımlar ve dijital teknolojiler aracılığıyla yeniden yapılandırılmasını ifade etmektedir. Bu bağlamda e-ticaret işletmeleri, müşteri etkileşimlerinden elde edilen verileri sistematik biçimde toplamakta ve bütüncül veri altyapıları içerisinde depolamaktadır. Söz konusu veriler, yapay zekâ destekli analitik yöntemler aracılığıyla işlenmekte ve makine öğrenmesi algoritmaları üzerinden analiz edilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları, geçmiş verilerden örüntüler öğrenerek tahmin ve sınıflandırma yapabilen modellerden oluşmaktadır. Bu süreçte denetimli öğrenme ile satış tahminleri yapılmakta, denetimsiz öğrenme ile müşteri segmentleri oluşturulmakta ve pekiştirmeli öğrenme ile öneri sistemleri geliştirilmektedir. Elde edilen çıktılar doğrultusunda kişiselleştirilmiş ürün önerileri sunulmaktadır. Talep eğilimleri doğrultusunda ürün konumlandırmaları optimize edilmekte ve stok yönetimi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda işletmeler, karar alma süreçlerinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi sistemlerini bütünleşik bir bileşen olarak konumlandırmakta ve stratejik kararlarını veri odaklı bir perspektifle şekillendirmektedir.

Yapay zekâ sistemleri; satış verileri, müşteri davranışları, stok düzeyleri ve maliyet bilgileri gibi işletme içi ve dışı verileri analiz etmektedir. Bu analizler sonucunda veriler arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmakta ve işletme açısından karar almaya yönelik aksiyon önerilerine dönüştürülmektedir. Örneğin, talep artışına bağlı üretim planlaması veya stok seviyelerine göre tedarik düzenlemeleri gibi yönetsel öneriler üretilebilmektedir. Bununla birlikte bu kararların nasıl üretildiği her zaman açık biçimde izlenememektedir. Özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli modellerde karar süreci, çok katmanlı veri işleme yapısı nedeniyle doğrudan gözlemlenebilir değildir. Bu durum, kararların gerekçesinin anlaşılmasını güçleştirmektedir. Literatürde bu durum "kara kutu sorunu" olarak ifade edilmektedir (Burrell, 2016). Kara kutu sorunu, yalnızca sistemin giriş ve çıkışlarının gözlemlenebilmesi ancak kararın hangi süreçler üzerinden üretildiğinin açık biçimde açıklanamaması durumunu ifade etmektedir. Bu noktada açıklanabilirlik kavramı önem kazanmaktadır. Açıklanabilirlik, yapay zekâ sistemlerinin ürettiği kararların hangi veriler ve hangi gerekçeler doğrultusunda oluşturulduğunun anlaşılmasını ifade etmektedir (Gunning, 2019). Bu durum, kararların yalnızca sonucunun değil, aynı zamanda gerekçesinin de değerlendirilebilmesine imkân sağlamaktadır.

Yapay zekâ sistemlerinin yaygınlaşması, bu sistemlerin etik açıdan değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Yapay zekâ etiği; adalet, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi ilkeler üzerinden ele alınmaktadır (Floridi vd., 2018). Bu ilkeler, sistemlerin yalnızca teknik doğrulukla değil, aynı zamanda güven ve sorumluluk çerçevesinde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin işletmelerde yaygınlaşması, bu sistemlerin örgütsel kabulünü önemli bir konu hâline getirmektedir. Bu kabul; çalışanlar, yöneticiler, müşteriler, tedarikçiler ve yatırımcılar gibi işletme içi ve dışı paydaşların sisteme duyduğu güven ve kararları benimseme düzeyi ile ilişkilidir.

İşletme yönetimi açısından yapay zekâ temelli kararların kabul edilmesi, yönetsel meşruiyet kavramı ile

açıklanmaktadır. Meşruiyet, bir kararın yalnızca uygulanması değil, aynı zamanda uygun, doğru ve kabul edilebilir olarak görülmesi anlamına gelmektedir (Suchman, 1995). Bu bağlamda yönetsel meşruiyet; yapay zekâ sistemleri aracılığıyla alınan kararların işletme içi ve dışı paydaşlar (çalışanlar, yöneticiler, müşteriler, tedarikçiler ve yatırımcılar) tarafından kabul edilmesi, güvenilir bulunması ve benimsenmesi durumunu ifade etmektedir. Yönetsel meşruiyet; pragmatik (fayda ve sonuç), ahlaki (adalet ve doğruluk) ve bilişsel (anlaşılabilirlik ve mantıklılık) boyutları üzerinden değerlendirilmektedir. Bu boyutlar, yapay zekâ temelli kararların işletme ortamında kabul görme düzeyini belirlemektedir (Suchman, 1995). Bu çalışma, yapay zekâ temelli karar süreçlerinin yalnızca teknik bir dönüşüm olarak değerlendirilmemesi gerektiğini; aynı zamanda açıklanabilirlik, etik ilkeler ve yönetsel meşruiyet üzerinden işletme içi güven ve kabul ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Yapay Zekâda Kara Kutu Sorunsalı

Yapay zekâ, insan benzeri düşünme, öğrenme ve problem çözme yeteneklerini taklit eden bir teknoloji olarak gelişmektedir. Bu teknoloji insan yaşamını kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda karar verme süreçlerini dönüştürmektedir. Bilgi toplumlarında birçok işlem algoritmalara devredilmektedir (Mittelstadt vd., 2016). Kararlar ve seçimler giderek sistemler tarafından verilmektedir. Yapay zekâ, karmaşık bilişsel süreçler gerektiren görevleri yerine getirmeyi amaçlayan bilişim teknolojilerini kapsayan bir üst kavram olarak tanımlanmaktadır (Levy vd., 2021). Bu kapsamda yapay zekâ, öğrenme, akıl yürütme, problem çözme ve karar verme gibi zihinsel faaliyetleri içeren süreçlerle ilişkilendirilmektedir. Aynı zamanda dil anlama, iletişim kurma ve çevresel bilgileri yorumlama gibi işlevleri de kapsamaktadır. Yapay zekâ, düşünme, öğrenme ve farklı kaynaklardan veri toplama yeteneğine sahip sistemlerle bağlantılıdır (Sobrino-García, 2021). Bu sistemler, algoritmalar aracılığıyla belirli hedeflere yönelmektedir. Büyük veri kümeleri işlenmekte ve öğrenme süreçleri sürekli geliştirilmektedir (Etscheid, 2019: 250). Yapay zekâ, algılama, anlama, hareket etme ve öğrenme becerileri doğrultusunda insan benzeri davranışlar sergilemektedir (Wirtz, Weyerer and Geyer, 2019).

Algoritmalar, yapay zekâ sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Veriler, algoritmalar aracılığıyla işlenmekte ve çıktılara dönüştürülmektedir. Ancak dönüşüm süreci her zaman açık biçimde izlenememektedir. Bu durum, yapay zekâ sistemlerinin "kara kutu" olarak nitelendirilmesine yol açmaktadır. Kara kutu, girdileri ve çıktıları gözlemlenebilen ancak iç işleyişi doğrudan açıklanamayan sistemleri ifade etmektedir. Bu bağlamda kara kutu yaklaşımı, modelin karar verme sürecinin şeffaf olmaması durumunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla sistemin çıktılara nasıl ulaştığı net olarak açıklanamamaktadır (İnce, İmamoğlu ve İmamoğlu, 2021). Girdiler sistematik biçimde değiştirilmekte ve elde edilen çıktılar dikkatle incelenmektedir. Bu sayede algoritmanın çalışma mantığına ilişkin çıkarımlar yapılabilmektedir. Algoritmanın girdileri nasıl işlediği ve hangi dönüşümleri gerçekleştirdiği anlaşılmaya çalışılmaktadır. Böylece, kaynak koda erişim olmasa dahi algoritmanın pratikte nasıl çalıştığına dair değerlendirmeler yapılabilmektedir (Diakopoulos, 2014).

2.2. Yapay Zekâda Açıklanabilirlik

Son yıllarda yapay zekâ, farklı sektörlerde karar alma ve problem çözme süreçlerini dönüştürerek stratejik öneme sahip bir teknoloji alanı haline gelmiştir. Bu dönüşümle birlikte yapay zekâ sistemlerinin yalnızca doğru sonuç üretmesi yeterli görülmemektedir. Aynı zamanda bu sonuçlara nasıl ulaşıldığının da anlaşılabilmesi gerekliliği giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu noktada açıklanabilirlik, yapay zekâ sistemlerinin ürettiği kararların, kullandığı veri ve izlediği işlem adımlarının insan kullanıcılar tarafından anlaşılabilir, yorumlanabilir ve gerekçelendirilebilir biçimde ortaya konulabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram yalnızca sistemin ortaya koyduğu sonucun ne olduğunu değil, aynı zamanda bu sonuca nasıl ve hangi gerekçelerle ulaşıldığını da kapsamaktadır. Açıklanabilirlik sayesinde insan kullanıcılar, yapay zekâ sisteminin karar süreçlerini daha iyi anlayabilir, bu kararları değerlendirebilir ve gerektiğinde de

denetleyebilir (Gunning vd., 2019). Bu durum, özellikle güven, şeffaflık ve hesap verebilirlik açısından kritik bir önem taşımaktadır.

Yapay zekâ teknolojileri önemli ölçüde gelişmiş ve yüksek performans düzeylerine ulaşmış bulunmaktadır. Bununla birlikte, özellikle derin öğrenme temelli sistemlerin "kara kutu" niteliği taşıması, bu sistemlerin karar alma süreçlerinin yeterince şeffaf ve anlaşılabilir olmamasına yol açmaktadır. Söz konusu sınırlılık, kritik alanlarda yapay zekânın güvenli, sorumlu ve denetlenebilir biçimde kullanılabilmesi açısından açıklanabilirliği zorunlu bir gereklilik haline getirmektedir (Angelov vd., 2021). Bu bağlamda derin öğrenme temelli sistemlere, görüntü tanıma, insan konuşmasını yazıya dönüştürerek metne çevirme (konuşma tanıma) ve otomatik dil çevirisi gibi uygulamalar örnek olarak verilebilmektedir. İlgili örnekler, derin öğrenme temelli sistemlerin geniş kullanım alanına sahip olmasına karşın karar süreçlerinin anlaşılabilirliğine yönelik ihtiyacın devam ettiğini göstermektedir.

Yapay zekâ günümüzde sağlık bilişiminde hastalıkların teşhis edilmesi ve tıbbi görüntülerin analiz edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Finansal teknolojide ise dolandırıcılık işlemlerinin tespit edilmesi, kredi risk analizlerinin yapılması ve kullanıcı davranışlarının incelenmesi süreçlerinde yer almaktadır. Otonom sistemler kapsamında çevresel veriler sensörler aracılığıyla toplanmakta ve bu veriler doğrultusunda sürücüsüz araçlar tarafından hızlanma, fren yapma ve yön değiştirme gibi kararlar otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Eğitim teknolojilerinde öğrencilerin performansı analiz edilmekte, kişiselleştirilmiş içerikler sunulmakta ve otomatik değerlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Ayrıca e-ticaret alanında kullanıcıların alışveriş geçmişi ve davranışları analiz edilerek kişiye özel ürün önerileri oluşturulmaktadır. Güvenlik alanında yüz tanıma sistemleri, şüpheli davranış tespiti ve siber saldırıların önlenmesi gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Üretim ve sanayi sektöründe ise makine arızalarının önceden tahmin edilmesi ve üretim süreçlerinin optimize edilmesi sağlanmaktadır. Dijital asistanlar ise sesli komutları işleyerek kullanıcıların bilgiye erişimini kolaylaştırmakta ve çeşitli görevleri yerine getirmektedir. Bu sistemler veri analizi yapmakta, tahmin üretmekte ve süreçleri hızlandırmaktadır. Aynı zamanda karar destek mekanizmaları sunmaktadır. Yapay zekâ, karar destek mekanizmaları aracılığıyla veri analizi yapmakta ve karar alma süreçlerinde insanlara öneriler sunmaktadır. Buna karşılık, bazı uygulama alanlarında karar verme sürecini doğrudan üstlenmekte ve insan müdahalesi olmaksızın alınan kararları uygulamaktadır. Bununla birlikte, açıklanabilir yapay zekâ önemli bir sınırlılık olarak değerlendirilmektedir. Birçok yapay zekâ modelinin karar verme süreci açık biçimde anlaşılamamaktadır. Bu durum güven ve şeffaflık sorunlarına yol açmaktadır. Özellikle kritik uygulama alanlarında risk oluşturmaktadır (Arrieta vd., 2020).

Açıklanabilir yapay zekâ, sistemlerin daha anlaşılır hâle getirilmesini amaçlamaktadır. Ancak bu gereklilik yalnızca teknik bir konu olarak ele alınmamaktadır. Güven, etik ve toplumsal kabul açısından temel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir. Özellikle karmaşık modellerin yaygınlaşması, kararların nasıl ve neden alındığı sorusunu daha önemli hâle getirmektedir. Bu nedenle açıklama süreçlerinin kimin için ve hangi amaçla yapıldığı da dikkate alınmaktadır. Bu durum, yapay zekâ uygulamalarının etik boyutunun daha fazla sorgulanmasına neden olmaktadır (Erol, 2025).

1.3. Yapay Zekâ Etiği

Yapay zekâ sistemlerinin nasıl, kimler için ve hangi değerlere göre çalıştığına ilişkin sorular giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık, eğitim, finans, güvenlik ve kamu yönetimi gibi kritik alanlarda yaygın biçimde kullanılması etik sorunların görünürlüğünü artırmaktadır. Bu sistemler insan yaşamını doğrudan etkileyen sonuçlar üretmektedir. Özellikle otomatik karar verme mekanizmaları, işe alım süreçleri, tıbbi tanılar ve risk analizleri gibi alanlarda belirleyici rol oynamaktadır. Algoritmik çıktılara olan bağımlılık giderek artmaktadır. Bu durum etik değerlendirmeleri kaçınılmaz hâle getirmektedir (Floridi vd., 2018).

Yapay zekâ sistemlerine ilişkin etik tartışmaların merkezinde şeffaflık sorunu yer almaktadır. Bu sistemlerin karar alma süreçleri çoğu durumda açık biçimde izlenememektedir. Algoritmik yapıların karmaşıklığı, insan tarafından anlaşılmasını güçleştirmektedir. Özellikle derin öğrenme temelli modeller "kara kutu" niteliği taşımaktadır. Bu yapı, sistemin hangi verileri nasıl değerlendirdiğinin açıklanmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum hesap verebilirlik açısından önemli sorunlar doğurmaktadır (Burrell, 2016). Açıklanabilirlik eksikliği, hata ve yanlılıkların tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Algoritmik hatalar çoğu zaman fark edilememektedir. Benzer şekilde, sistematik yanlılıkların ortaya çıkarılması güçleşmektedir. Bu durum kullanıcıların sisteme duyduğu güveni azaltmaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ uygulamalarına yönelik güven ortamı zedelenmektedir.

Yapay zekâ etiği, sistemlerin insan ve toplum üzerindeki etkilerini düzenleyen temel ilkeler üzerine kurulmaktadır. Bu ilkeler arasında iyilik, zarar vermeme, özerklik, adalet, açıklanabilirlik, hesap verebilirlik ve gizlilik yer almaktadır. Bu ilkeler, yapay zekâ sistemlerinin güvenli ve sorumlu biçimde geliştirilmesini sağlamaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin "kara kutu" doğası önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu durum, sistemlerin nasıl karar verdiğinin açık biçimde anlaşılamamasına yol açmaktadır. Bu nedenle açıklanabilirlik ilkesi kritik bir rol üstlenmektedir. Açıklanabilirlik, sistemin çıktılarının neden ve nasıl üretildiğinin anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu durum, diğer etik ilkelerin uygulanması için ön koşul oluşturmaktadır. Yapay zekânın faydalı veya adil olup olmadığı, karar süreçlerinin anlaşılmasına bağlı olmaktadır. Aynı zamanda ciddi olumsuz sonuçlarda sorumluluğun kime ait olduğunun belirlenmesi gerekmektedir (Floridi ve Cowls, 2019). Bu bağlamda hesap verebilirlik ilkesi önem kazanmaktadır. Açıklanabilirlik, etik yönetişim ve sorumluluk mekanizmalarının temelini oluşturmaktadır.

Etik ilkeler, yasal düzenlemeler ve kurumsal politikalar, gizli bilgilerin korunması ve gerekli durumlarda uygun biçimde paylaşılmasına ilişkin temel çerçeveyi belirlemektedir. Bu çerçeve, yapay zekâ sistemlerinde veri güvenliği, şeffaflık ve etik sorumluluk arasındaki dengenin kurulmasına katkı sağlamaktadır. Yapay zekâ sistemlerinde karar süreçlerinin anlaşılabilir olması, işletmelerde güvenin oluşması açısından önem taşımaktadır. Kararların gerekçelendirilmesi gerekli olmaktadır. Süreçlerin denetlenebilir olması önem kazanmaktadır. Bu durum kurumsal kabulü artırmaktadır. Aynı zamanda yönetsel meşruiyeti güçlendirmektedir. Paydaş güveni bu süreçten doğrudan etkilenmektedir. Yapay zekâ sistemlerinin işletme kararlarına entegrasyonu, satış stratejilerinin veri analitiği ile belirlenmesi ve talep tahminlerine dayalı üretim planlaması gibi uygulamalarla daha sürdürülebilir hâle gelmektedir. Müşteri davranışlarının analiz edilmesi de karar süreçlerini doğrudan desteklemektedir.

1.4. Yönetsel Meşruiyet

Meşruiyet, yapay zekâ sistemlerinin etik ilkelere uygunluğu, şeffaflığı ve paydaşlarla kurduğu iletişim doğrultusunda kabul görmesi ve güvenilir bulunması durumunu ifade etmektedir (Sarnıç, Çardak ve Arslan, 2026). Yönetsel meşruiyet, yapay zekâ sistemleri aracılığıyla alınan kararların işletme içi ve dışı paydaşlar (çalışanlar, yöneticiler, müşteriler, tedarikçiler ve yatırımcılar) tarafından kabul edilmesi, güvenilir bulunması ve bu kararlara rıza gösterilmesi durumunu tanımlamaktadır (Toprak, 2021). Bu durum, yapay zekâ sistemlerinde alınan kararların yalnızca teknik doğrulukla değil, aynı zamanda paydaşlar tarafından benimsenme düzeyi ile de değerlendirildiğini göstermektedir.

Örgütsel dönüşüm ve yenilik yönetimi, yapay zekâ temelli sistemlerin işletme yapılarında giderek daha yaygın kullanılmasıyla birlikte önem kazanmaktadır. Teknoloji temelli güvenlik dönüşümü, risk yönetimi yaklaşımı (RMA) ve yapay zekâ söylemleri çerçevesinde yeniden şekillenmektedir. Bu yaklaşım, risklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınmasını amaçlamaktadır. Bu süreçte performans ölçümü ve raporlama uygulamaları daha görünür hâle gelmektedir. Kara kutu niteliği taşıyan yapay zekâ sistemleri, bu dönüşüm sürecinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle şeffaflık ve açıklanabilirlik uygulamaları gerekli olmaktadır. Bu uygulamalar, paydaş iletişimi açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Meşruiyet, örgütsel kararların kabul görmesiyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin güvenilirliği,

paydaşlarla kurulan iletişim üzerinden değerlendirilmektedir. Bu durum, örgütsel dönüşüm süreçlerinde yönetsel meşruiyetin güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Sarnıç, Çardak ve Arslan, 2026).

Yapay zekâda yönetsel meşruiyet, sistemler aracılığıyla alınan kararların paydaşlar tarafından kabul edilmesi ve güvenilir bulunması durumu olarak belirtilmektedir. Örneğin, bankalarda kredi değerlendirme süreçlerinin yapay zekâ ile yürütülmesi durumunda, verilen ret kararlarının gerekçelerinin anlaşılabilir olması meşruiyeti güçlendirmektedir. Benzer şekilde, işe alım süreçlerinde yapay zekâ tarafından yapılan aday eleme işlemlerinde şeffaflığın sağlanması, adayların ve çalışanların sisteme olan güvenini artırmaktadır. Sağlık alanında ise yapay zekâ destekli teşhis sistemlerinin ürettiği sonuçların doktorlar tarafından anlaşılabilir olması, kararların kabul edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu örnekler, yapay zekâ sistemlerinde yönetsel meşruiyetin şeffaflık ve açıklanabilirlik ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Yönetsel meşruiyetin sağlanmasında yapay zekâ sistemlerinin karar süreçlerinde adalet ilkesine uygun biçimde çalışması gerekmektedir. Karar üretim sürecinin şeffaf biçimde izlenemediği yapay zekâ sistemlerinde, adalet algısının zayıflaması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle açıklanabilirlik ve etik ilkeler, meşruiyetin güçlendirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda otoritenin adaletli biçimde kullanılması, karar süreçlerinin kabul edilebilirliği açısından belirleyici olmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinde alınan kararların eşitlik ve tarafsızlık ilkeleri çerçevesinde üretilmesi, paydaşlar nezdinde güvenin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Böylece yönetsel meşruiyetin sürdürülebilirliği güçlenmektedir. Örneğin, bir yapay zekâ sisteminin işe alım kararlarında adaylar arasında ayrımcılık yapmadığının ve kararlarını eşitlik ilkesine göre verdiğinin ortaya konulması, otoritenin adil biçimde kullanıldığını göstermektedir.

SONUÇ

Yapay zekâ sistemleri, günümüz işletmelerinde karar alma süreçlerinde giderek daha belirleyici bir rol üstlenmektedir. Farklı veri türlerinin analizine dayalı olarak karar üretimine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin karar üretim süreçlerinin şeffaf olmaması, kara kutu sorunsalını ortaya çıkarmakta ve açıklanabilirlik ihtiyacını doğurmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ destekli karar alma süreçlerinde açıklanabilirliğin sağlanması, kararların güvenilirliği ve kabul edilebilirliği açısından önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Yapay zekâ sistemleri, üretim planlama, talep tahmini, fiyatlandırma yönlendirmesi ve satış stratejilerinin belirlenmesi gibi işletme kararlarını desteklemektedir. Ancak bu önerilerin dayandığı veri ve mantık anlaşılmadığında, sistemin güvenilirliği sorgulanabilmektedir. Bu durum özellikle işletme içi ve dışı paydaşlar (çalışanlar, yöneticiler, tedarikçiler, müşteriler ve yatırımcılar) açısından karar süreçlerinde şeffaflık beklentisini artırmaktadır.

Etik ilkeler, yapay zekâ sistemlerinin adil, şeffaf ve sorumlu biçimde çalışmasını sağlamaktadır. Adalet, hesap verebilirlik ve şeffaflık ilkeleri, karar süreçlerinin kabul edilebilirliğini artırmaktadır. Bu durum, yönetsel meşruiyetin oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır. Yönetsel meşruiyet, alınan kararların paydaşlar tarafından kabul edilmesi ve güvenilir bulunması anlamına gelmektedir. Bu çerçevede, üretim planlamasında yapay zekâ tarafından önerilen bir üretim artış kararının, satış verilerindeki yükseliş ve stok seviyesindeki düşüşe dayandığının açıklanması, yöneticilerin kararı daha kolay benimsemesini sağlamaktadır. Benzer şekilde, bu tür bir açıklık, tedarik sürecinde yer alan ilgili tarafların da sürece güven duymasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, yapay zekâ, algoritmik yapı, kara kutu sorunsalı, açıklanabilirlik, etik ve yönetsel meşruiyet kavramlarını işletme karar alma süreçleri çerçevesinde bütüncül bir biçimde ele almaktadır. Kara kutu sorununun yalnızca teknik bir sınırlılık değil, aynı zamanda yönetsel güven ve meşruiyet sorunu olduğu ortaya konulmaktadır. Çalışmanın temel katkısı, yapay zekâ sistemlerinde açıklanabilirliğin yalnızca teknik bir gereklilik olmayıp, yönetsel meşruiyetin temel belirleyicilerinden biri olduğunu göstermesidir. Böylece işletmelerde yapay zekâ kullanımının değerlendirilmesinde yalnızca performans değil, kararların anlaşılabilirliği ve paydaş güveni de önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

Sınırlılıklar açısından çalışma literatür temelli bir yaklaşıma dayanmakta olup doğrudan ampirik verilere dayalı bir analiz içermemektedir. Bu nedenle gelecek araştırmalarda farklı sektörlerde gerçekleştirilecek uygulamalı çalışmaların gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca açıklanabilirlik düzeyinin değerlendirilmesine yönelik yöntem geliştirme çalışmaları, sistemlerin anlaşılabilirlik düzeyinin daha somut bir biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak yapay zekâ sistemleri işletme karar alma süreçlerini hızlandırmakta ve veri temelli bir yapıya dönüştürmektedir. Ancak bu dönüşümün sürdürülebilirliği, açıklanabilirlik, etik ilkeler ve paydaş güveni ile desteklenmesine bağlı olmaktadır. Bu unsurlar, yönetsel meşruiyetin oluşmasına ve güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Angelov, P. P., Soares, E. A., Jiang, R., Arnold, N. I., & Atkinson, P. M. (2021). Explainable artificial intelligence: *An analytical review. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 11(5). https://doi.org/10.1002/widm.1424

Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82-115. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012

Burrell, J. (2016). How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms. *Big Data & Society*, 3(1). https://doi.org/10.1177/2053951715622512

Diakopoulos, N. (2014). Algorithmic accountability reporting: On the investigation of black boxes. *Columbia Journalism School, Tow Center For Digital Journalism*, 1-33.

Etscheid, J. (2019) Artificial intelligence in public administration. *18th International Conference on Electronic Government (EGOV)*, Sep 2019, San Benedetto del Tronto, Italy. pp.248-261.

Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*. https://doi.org/10.1162/99608f92.8cd550d1

Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689-707. https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5

Gunning, D. (2019). DARPA's explainable artificial intelligence (XAI) program. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces.*

Gunning, D., Stefik, M., Choi, J., Miller, T., Stumpf, S., & Yang, G. Z. (2019). XAI—Explainable artificial intelligence. *Science Robotics*, 4(37). https://doi.org/10.1126/scirobotics.aay7120

İnce, H., İmamoğlu, S.E. & İmamoğlu, S.Z. 2021. Yapay zeka uygulamalarının karar verme üzerine etkileri: Kavramsal bir çalışma. *International Review of Economics and Management*, 9(1), 50-63. https://doi.org/10.18825/iremjournal.866432

Levy, K., Chasalow, K. E., & Riley, S. (2021). Algorithms and decision-making in the public sector. *Annual Review of Law and Social Science*, 17(1), 309-334. https://doi.org/10.1146/annurev-lawsocsci-041221-023808

Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2). https://doi.org/10.1177/2053951716679679

Osman Erol. (2025). Açıklanabilir Yapay Zekâ: Kuramsal Temeller ve Yaklaşımlar. In *Yapay Zekâ: Etik, Sürdürülebilirlik ve Açıklanabilirlik* (1st ed., pp. 79-126). Vesile Gül Başer.

Sarnıç, A., Çardak, B., & Arslan, Ş. Ö. (2026). Savunma ve güvenlik alanında yenilik yönetimi ve yapay zekâ söylemleri: Türkiye savunma sektörü üzerine nitel bir araştırma. *Savunma ve Güvenlik Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 67-90.

Sobrino-García, I. (2021). Artificial intelligence risks and challenges in the Spanish public administration: An exploratory analysis through expert judgements. *Administrative Sciences*, 11(3), 102. https://doi.org/10.3390/admsci11030102

Suchman, M. C. (1995). Managing legitimacy: Strategic and institutional approaches. *Academy of Management Review*, 20(3), 571-610. https://doi.org/10.2307/258788

Toprak, E. (2021). Devlet yönetiminde yetki-görev-sorumluluk ilişkisi: Bir yönetsel meşruiyet analizi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 76(1), 257-278. https://doi.org/10.33630/ausbf.670003

Wirtz, B. W., Weyerer, J. C., & Geyer, C. (2018). Artificial intelligence and the public sector—Applications and challenges. *International Journal of Public Administration*, 42(7), 596-615. https://doi.org/10.1080/01900692.2018.1498103

https://doi.org/10.71284/asc.2026152

COLLABORATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR PROJECT MANAGEMENT IN EDUCATION

Leila A. Umargaliyeva[1]
Aigerim B. Kabdoldayeva[2]
Assel Zh. Akzhalova[3]

Abstract

As the nature of educational projects becomes more complex, it can necessitate the coordination of various stakeholders who have varying pedagogical objectives and limited resources - all areas that face challenges in current project management tools, while traditional single-agent systems are no longer sufficient in these scenarios. Yet, in the face of new advances in LLM technology and multi-agent approaches, current frameworks are more likely to treat the model parameters and learning rate as static fixed parameters, and as such impose unrealistic computational demands on educational institutions. There is, therefore, a gap between adaptive AI coordination and an optimal use of computational resources that must be bridged. This paper aimed to address this problem by suggesting a Collaborative AI Multi-Agent Framework to combat the challenge. Specifically, we present a design science structure and use an LLM auto-tuning method for which agent action functions are described with weighted linear equations, and optimal weights $w^* = (X^TX)^{-1}X^Ty$ are determined through an analytical approach based on no iterative training. We describe the learning rate $\eta(t)$ as a dynamic function $\eta(t) = \eta_0 \cdot (1 + \alpha t)^{(-\beta)}$, using coefficients obtained from empirical loss curves, as well as performing eigen decomposition of the agent interaction matrix, which minimizes the number of state components necessary for characterization of agents' action dynamics. In conclusion, the analysis of comparison between five other frameworks regarding the evaluation criteria establishes our framework as one of the first frameworks to consider all six criteria, which results in RAM-saving at 40-70%, faster training to learning rates, and lower computational energy in terms of eliminating the per-epoch gradient update process.

Keywords: Collaborative AI, large language models, auto-tuning, educational project management, multi-agent systems, adaptive learning rate, eigen decomposition.

[1] Department of Computer Science, Faculty of Information Technology and Artificial Intelligence, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, leilaumargaliyeva@gmail.com, https://orcid.org/0009-0008-1456-6044

[2] Department of Computer Science, Faculty of Information Technology and Artificial Intelligence, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, aqabdolda@gmail.com, https://orcid.org/0009-0005-8994-8504

[3] Prof. Dr., IT faculty, Director of SDG projects department, Kazakh-British Technical university, Almaty, Kazakhstan, a.akzhalova@kbtu.kz, https://orcid.org/0000-0002-1141-7595

INTRODUCTION

Educational institutions increasingly rely on project-based approaches to support curriculum modernization, accreditation processes, interdisciplinary collaboration, digital transformation initiatives, and institutional innovation. Unlike industrial projects, educational projects involve heterogeneous stakeholders with different pedagogical objectives, fragmented communication structures, evolving requirements, and limited institutional resources. Consequently, educational project management requires adaptive coordination, efficient decision-making, and scalable organizational workflows.

Traditional project-management systems mainly support scheduling, reporting, and workflow tracking. Although these systems provide operational support, they are often insufficient for managing the adaptive and collaborative nature of educational environments. Project managers frequently rely on fragmented communication channels and manual coordination processes, increasing operational inefficiency and reducing workflow transparency.

Recent advances in artificial intelligence have introduced AI-supported project-management systems capable of automating forecasting, monitoring, and decision-support tasks. Simultaneously, developments in large language models and collaborative multi-agent systems have significantly expanded the capabilities of intelligent coordination and adaptive reasoning. Multi-agent architectures distribute decision-making across specialized agents, enabling parallel reasoning and improved scalability, while transformer-based language models improve contextual understanding and planning support.

Despite these advances, current AI frameworks still present several important limitations. Many systems continue to rely on centralized architectures, static optimization parameters, and iterative gradient-based learning procedures. Learning rates and optimization coefficients are frequently treated as fixed values, limiting adaptability to changing project conditions. Furthermore, repeated optimization updates introduce substantial computational overhead, including increased RAM usage, high energy consumption, and slower convergence behavior. Such computational demands may become unrealistic for educational institutions operating under constrained infrastructure and limited budgets.

Several previous studies explored collaborative AI and intelligent coordination in organizational environments. Dellermann et al. (2019) described collaborative intelligence as a hybrid interaction model combining human expertise and machine reasoning capabilities. Seeber et al. (2020) emphasized the role of AI systems as collaborative teammates supporting organizational coordination. Wooldridge (2009) explained that multi-agent architectures improve scalability and distributed reasoning capabilities in complex environments. Wu et al. (2023) introduced AutoGen as a collaborative framework supporting structured communication among intelligent agents, while Li et al. (2023) demonstrated that large language models can improve contextual reasoning and collaborative decision-making.

However, existing studies rarely address adaptive coordination and computational resource optimization simultaneously. Most frameworks primarily focus on intelligent reasoning or collaborative automation independently while neglecting RAM usage, computational efficiency, and optimization overhead.

Therefore, a gap remains between adaptive AI coordination and efficient computational resource utilization. Addressing this gap is particularly important for universities and educational institutions that require scalable AI systems capable of operating under limited computational infrastructure.

This study proposes a Collaborative AI Multi-Agent Framework enhanced with LLM auto-tuning and analytical optimization methods. Unlike traditional iterative learning systems, the proposed framework estimates optimization coefficients analytically using a closed-form solution and introduces a dynamic learning-rate function to improve adaptive convergence. Additionally, eigen decomposition is applied to reduce interaction-space dimensionality and minimize computational complexity.

The study follows a Design Science Research methodology and evaluates the proposed framework through a Python-based simulation environment representing educational project-management workflows.

The experimental findings demonstrated substantial improvements in RAM efficiency, throughput, training speed, and computational energy consumption compared with baseline iterative systems. The results indicate that analytical optimization and collaborative AI can significantly improve scalable educational project management under constrained computational resources.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Collaborative AI and Multi-Agent Systems

Collaborative artificial intelligence refers to intelligent systems in which humans and AI agents cooperate in shared decision-making processes instead of replacing human participants entirely. Collaborative AI systems are increasingly used in organizational environments requiring adaptive reasoning, distributed coordination, and dynamic workflow management. In educational environments, collaborative AI can support planning, monitoring, scheduling, communication management, and institutional coordination.

Multi-agent systems extend collaborative AI by distributing responsibilities across autonomous intelligent agents capable of interacting dynamically with one another. Unlike centralized systems, multi-agent architectures improve scalability, flexibility, and adaptive coordination. Wooldridge (2009) explained that distributed agent systems are particularly suitable for environments involving heterogeneous objectives and decentralized communication structures.

Recent developments in large language models further expanded the capabilities of collaborative AI systems. Wu et al. (2023) introduced AutoGen as a framework supporting structured communication among multiple intelligent agents, while Li et al. (2023) demonstrated that transformer-based language models can improve collaborative reasoning and contextual decision-making.

Despite these advances, many current AI frameworks continue to rely on static optimization parameters and computationally expensive iterative learning procedures. Such approaches increase RAM usage, computational energy consumption, and optimization overhead, limiting scalability in educational institutions with constrained computational infrastructure.

1.2. Limitations of Existing Frameworks

Traditional project-management systems primarily focus on workflow tracking and documentation rather than adaptive coordination. Existing AI-supported frameworks frequently depend on centralized architectures and iterative gradient-based optimization methods. These methods require repeated parameter updates and extensive memory allocation, increasing computational complexity and reducing operational scalability.

Most existing collaborative AI systems primarily optimize intelligent coordination independently without simultaneously addressing computational resource efficiency. In addition, learning-rate parameters are commonly treated as static values, reducing adaptability to changing coordination conditions.

The absence of analytical optimization and dimensionality-reduction mechanisms represents an important limitation in current educational AI frameworks. Consequently, there remains a need for intelligent systems capable of improving adaptive coordination while minimizing computational overhead and memory consumption.

1.3. Proposed Conceptual Architecture

The proposed framework is organized as a layered collaborative AI architecture consisting of a Human Interaction Layer, an Agent Coordination Layer, a Specialized AI Agent Layer, and a Shared Knowledge Infrastructure.

The Human Interaction Layer includes educators, administrators, project managers, and institutional stakeholders responsible for defining project goals and supervising AI-generated recommendations. Human-in-the-loop governance remains an important component of the framework in order to preserve transparency and institutional accountability.

The Agent Coordination Layer manages communication among intelligent agents and synchronizes project workflows. The Specialized AI Agent Layer contains four autonomous intelligent agents responsible for planning, coordination, monitoring, and evaluation tasks. The Shared Knowledge Infrastructure stores project histories, institutional constraints, stakeholder feedback, schedules, and operational indicators.

Unlike traditional iterative systems, the proposed framework integrates analytical optimization, adaptive learning-rate scheduling, and eigen decomposition into a unified resource-efficient architecture.

2. METHODOLOGY

2.1. Research Design

This study follows the Design Science Research methodology proposed by Hevner et al. (2004). The methodology supports the development and evaluation of innovative technological artifacts intended to solve practical organizational and computational problems. The relevance cycle focused on identifying challenges in educational project-management environments, including stakeholder diversity, fragmented communication structures, limited institutional resources, and coordination complexity. The rigor cycle incorporated theoretical foundations from collaborative artificial intelligence, multi-agent systems, optimization theory, and adaptive learning systems. The design cycle involved iterative development and refinement of the proposed collaborative AI framework and its optimization mechanisms.

2.2. Research Model and Hypotheses

The research model evaluates the relationship between analytical optimization mechanisms and computational efficiency in collaborative educational AI systems.

The input variables include:

- workload conditions;
- stakeholder-priority parameters;
- risk indicators;
- deadline constraints;
- resource-allocation variables.

The optimization layer includes:

- analytical coefficient estimation;
- adaptive learning-rate scheduling;
- eigen decomposition.

The output variables include:

- RAM usage;
- training speed;
- throughput;
- decision accuracy;
- computational energy consumption.

The following hypotheses were developed:

H1: The proposed collaborative AI framework improves adaptive coordination efficiency compared with traditional iterative systems.

H2: Analytical coefficient estimation significantly reduces RAM usage and computational energy consumption.

H3: Dynamic learning-rate scheduling improves optimization stability and throughput performance.

H4: Eigen decomposition reduces interaction-space dimensionality while preserving coordination quality.

2.3. Mathematical Optimization Model

Agent actions within the framework are represented using weighted linear equations:

where project indicators include workload, stakeholder priority, operational risk, deadline pressure, and resource availability.

Optimization coefficients are estimated analytically using the following closed-form solution:

Unlike iterative gradient-based optimization procedures, this approach eliminates repeated parameter updates and significantly reduces computational overhead.

The framework additionally introduces a dynamic learning-rate function:

This adaptive learning-rate mechanism improves convergence stability during changing coordination conditions.

Complex nonlinear coordination dynamics are simplified using linearization techniques:

Dimensionality reduction is achieved using eigen decomposition:

Eigen decomposition identifies dominant interaction patterns among agents while reducing redundant state dimensions and memory requirements.

2.4. Experimental Environment

The proposed framework was implemented as a Python-based simulation prototype representing educational project-management workflows.

The simulation environment included 5000 synthetic educational project-task instances generated dynamically within the experimental system. The generated scenarios incorporated workload conditions, stakeholder-priority parameters, operational risk indicators, deadline constraints, and resource-allocation variables.

The simulation environment represented realistic educational project scenarios including:

- curriculum redesign;
- LMS implementation;
- lecture preparation;
- assessment coordination;
- pilot testing.

Two systems were compared during evaluation:

1.a baseline iterative AI framework;

2.the proposed analytical collaborative AI framework.

Both systems were evaluated under identical computational conditions.

The evaluation metrics included:

- RAM usage;
- training time;
- throughput;
- computational energy consumption;
- decision accuracy.

To ensure reliability, simulations were executed repeatedly under identical computational conditions. Average values were calculated across repeated runs to reduce random variability and improve consistency of experimental observations.

3. FINDINGS

Table 1. Comparison of Existing Frameworks and Proposed System

Framework	Multi-Agent Coordination	Dynamic Learning Rate	Eigen Decomposition	Resource Optimization	Human-in-the-Loop
Traditional PM Systems	No	No	No	No	Partial
AI PM Framework A	Partial	No	No	Partial	Yes
AI PM Framework B	Yes	No	No	Partial	Partial
AutoGen-Based Coordination	Yes	Partial	No	No	No
Proposed Framework	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Table 1 demonstrates that the proposed framework is one of the few architectures integrating collaborative coordination, adaptive optimization, dimensionality reduction, and computational resource efficiency within a unified educational project-management system.

Table 2. Experimental Performance Results

Metric	Baseline Iterative Framework	Proposed Analytical Framework	Improvement
RAM Usage	500 MB	220 MB	56% reduction
Training Time	12.5 s	3.8 s	3.3× faster
Throughput	100 tasks/min	165 tasks/min	65% increase
Decision Accuracy	88%	91%	3% increase
Energy Consumption	100 units	30 units	70% reduction

According to Table 2, the proposed framework demonstrated substantial improvements in computational efficiency compared with the baseline iterative system. RAM usage decreased from 500 MB to 220 MB, corresponding to approximately 56% memory reduction. The elimination of repeated gradient-update procedures significantly reduced computational overhead and improved optimization efficiency. Training speed improved from 12.5 seconds to 3.8 seconds, indicating approximately 3.3× faster convergence behavior. Throughput increased from 100 to 165 tasks per minute due to reduced state complexity and more efficient coordination mechanisms. The dynamic learning-rate function improved optimization stability during changing coordination conditions, while eigen decomposition reduced redundant interaction dimensions among intelligent agents. Decision accuracy additionally improved from 88% to 91%, demonstrating that computational optimization did not reduce coordination quality.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The findings of this study demonstrate that collaborative artificial intelligence combined with analytical optimization methods can significantly improve adaptive coordination and computational efficiency in educational project-management environments. Unlike traditional project-management systems that primarily focus on workflow tracking and centralized coordination, the proposed framework introduces distributed intelligent coordination through specialized multi-agent interaction and resource-efficient optimization mechanisms.

One of the most important contributions of the proposed framework is the integration of analytical coefficient estimation within a collaborative AI architecture. Existing AI-based project-management systems frequently depend on iterative optimization procedures and repeated gradient updates, which increase computational complexity and infrastructure requirements. In contrast, the proposed framework applies a closed-form analytical solution for coefficient estimation, reducing optimization overhead while preserving adaptive coordination capabilities.

The study additionally contributes to the growing literature on collaborative artificial intelligence and multi-agent systems in educational environments. Previous studies primarily emphasized collaborative reasoning, intelligent automation, or human-AI interaction independently (Dellermann et al., 2019; Seeber et al., 2020; Wu et al., 2023). However, relatively few studies simultaneously addressed computational efficiency and adaptive coordination. The proposed framework extends previous research by integrating collaborative AI, adaptive learning-rate scheduling, eigen decomposition, and analytical optimization into a unified architecture for educational project management.

The application of dynamic learning-rate adaptation and eigen decomposition further distinguishes the framework from previous approaches. Adaptive learning-rate scheduling improved optimization stability under dynamically changing coordination conditions, while eigen decomposition reduced state-space dimensionality and simplified interaction complexity among intelligent agents.

Several limitations should nevertheless be acknowledged. First, the current implementation was evaluated using a simulation-based environment rather than real institutional deployment. Second, the study focused primarily on medium-scale educational project-management simulations and did not evaluate large-scale cross-institutional coordination environments. Third, while the analytical optimization approach reduced computational overhead, the framework still depends on the quality and representativeness of generated project indicators and coordination variables.

Future research should therefore focus on real-world institutional deployment and empirical validation with educators, administrators, and project managers. Additional studies may also explore transformer-based reasoning expansion, lightweight edge AI deployment, explainable AI dashboards, and real-time adaptive coordination mechanisms for large-scale educational environments.

In conclusion, this study proposed a Collaborative AI Multi-Agent Framework enhanced with LLM auto-tuning and analytical optimization methods for educational project management. The framework combines collaborative multi-agent coordination, analytical coefficient estimation, adaptive learning-rate scheduling, and eigen decomposition within a unified resource-efficient architecture. The findings indicate that collaborative AI combined with computational optimization provides a promising direction for scalable, adaptive, and sustainable educational project-management systems.

REFERENCES

Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M., & Leimeister, J. M. (2019). Hybrid intelligence. Business & Information Systems Engineering, 61(5), 637–643. https://doi.org/10.1007/s12599-019-00595-2

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.

Li, H., Chong, Y., Stepputtis, S., Campbell, J., Hughes, D., Lewis, C., & Sycara, K. (2023). Theory of mind for multi-agent collaboration via large language models. Proceedings of EMNLP 2023.

Marnewick, C., & Marnewick, A. (2024). Leveraging artificial intelligence in project management: A systematic literature review. Computers, 14(2), 66. https://doi.org/10.3390/computers14020066

Seeber, I., Bittner, E., Briggs, R. O., et al. (2020). Machines as teammates: A research agenda on AI in team collaboration. Information & Management, 57(2), 103174. https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103174

Wu, Q., Bansal, G., Zhang, J., et al. (2023). AutoGen: Enabling next-generation large language model applications via multi-agent conversation.

Wooldridge, M. (2009). An introduction to multi-agent systems (2nd ed.). Wiley.

https://doi.org/10.71284/asc.2026153

THE EFFECTIVENESS OF ESMARTDISPOSE IN ENHANCING DIGITAL GOVERNANCE FOR MOVABLE ASSET DISPOSAL

ESMARTDISPOSE'UN HAREKETLİ VARLIK ELDE ETME İÇİN DİJİTAL YÖNETİMİ ARTIRMADAKİ ETKİNLİĞİ

Herman Nordiadi Abd Wahab [1]
Nurul Nisa Mohd Nasir [2]

Abstract

This study evaluates the effectiveness of the eSmartDispose system, a digital innovation developed by Politeknik Kuching Sarawak, in improving government movable asset disposal management. The initiative addresses limitations of manual procedures, which are often time-consuming, prone to errors, and lack transparency. A quantitative survey design was employed involving 73 professional and support staff who actively use the system in daily disposal operations. Data were collected using a structured questionnaire that covered the dimensions of system interface, effectiveness and accessibility, and impact on work productivity. The instrument demonstrated high reliability with a Cronbach's Alpha value of 0.94. Descriptive analysis using SPSS revealed an overall mean score of 4.73 (SD = 0.47), indicating a very high level of user satisfaction. The findings show that eSmartDispose provides an intuitive and user-friendly interface, enhances real-time accessibility of disposal information, and improves workflow efficiency and coordination among users. Overall, the study confirms that eSmartDispose is an effective digital solution that enhances transparency, efficiency, and productivity in asset disposal management. The system aligns with Malaysia's MAMPU Digital Government Blueprint (2021–2025), supporting the national agenda for digital transformation in public sector services. Future enhancements are recommended, including mobile integration and interoperability with national asset management systems to further strengthen digital governance capabilities.

Keywords: eSmartDispose, digital transformation, asset disposal management, system effectiveness, public sector productivity.

[1]Mr., Politeknik Kuching Sarawak, herman@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0005-4193-8761
[2]Ms., Politeknik Kuching Sarawak, n_nisa@poliku.edu.my, https://orcid.org/ 0009-0006-0759-0623

INTRODUCTION

The advancement of digital technology in the public sector has significantly transformed the way government organizations manage data, assets, and information. One of the most critical components in government asset management is the disposal of movable assets, which requires a high level of transparency, efficiency, and compliance with established financial procedures. However, in many organizations, this process is still carried out manually, involving physical form completion, multi-layered approvals, and document submission through conventional channels. Such practices are not only time-consuming but also increase the risk of document loss and delays in reporting, ultimately affecting organizational efficiency.

To address these limitations, the eSmartDispose application was developed by Politeknik Kuching Sarawak as a digital innovation to enhance the management of government movable asset disposal. This system enables disposal processes to be conducted online, supported by a user-friendly interface, real-time accessibility, and a more transparent record-keeping mechanism. Its development aligns with the public sector digitalization agenda outlined by the Malaysian Administrative Modernisation and Management Planning Unit through the Digital Government Blueprint (2021–2025), which emphasizes data-driven and automated governance (MAMPU, 2021).

Previous studies have highlighted the importance of digital transformation in improving public sector and institutional performance. The integration of digital technologies has been shown to enhance administrative efficiency and address operational challenges in financial and asset management processes (Azman et al., 2025). In the context of asset disposal management, manual approaches have been identified as a major cause of inefficiency and lack of transparency, particularly due to incomplete documentation and the absence of digital monitoring mechanisms (Kementerian Kewangan Malaysia, 2022). Audit findings further reported that delays in asset disposal are often linked to poor documentation practices and the absence of integrated digital tracking systems (Jabatan Audit Negara Malaysia, 2020). These challenges highlight the need for automated systems that can ensure faster, more accurate, and traceable disposal processes.

From a system design perspective, the effectiveness of digital systems is closely associated with usability and interface quality. Principles such as usability heuristics proposed by Nielsen (1993) emphasize simplicity, consistency, and clarity in system design. Similarly, user interface design principles highlight the importance of responsiveness and structured interaction in improving user experience (Shneiderman, 2020). A well-designed interface not only enhances user satisfaction but also improves the overall efficiency of system usage.

Furthermore, from an organizational perspective, the use of information technology has been widely recognized as a key driver in enhancing productivity through automation and improved data management. Digital systems can significantly reduce processing time, streamline workflow processes, and support faster decision-making, thereby contributing to improved organizational performance (Robbins, 2016). Empirical findings also suggest that integrated digital systems in public sector organizations can reduce operational time and increase efficiency in administrative processes (Hassan et al., 2024).

Despite these advancements, the effectiveness of a digital system should not be evaluated solely based on its technical capabilities, but also on the actual experiences and perceptions of its users. Therefore, assessing the effectiveness of eSmartDispose is essential to determine whether the system successfully achieves its intended objectives in real operational settings.

Accordingly, this study aims to evaluate the effectiveness of the eSmartDispose application as a digital platform for managing government movable asset disposal at Politeknik Kuching Sarawak. The evaluation focuses on three key aspects: system interface, effectiveness and accessibility, and impact on work productivity.

1. RESEARCH METHODOLOGY

This study adopted a quantitative research design using a survey methodology to evaluate the effectiveness of the eSmartDispose system in managing government movable asset disposal at Politeknik Kuching Sarawak. A quantitative approach was considered appropriate as it enables objective measurement of user perceptions and supports statistical generalisation of findings within the study context. In addition, the survey design allows systematic data collection from a relatively large group of system users within a defined operational environment.

The target population comprised professional and support staff at Politeknik Kuching Sarawak who are directly involved in asset disposal activities using the eSmartDispose system. A purposive sampling technique was employed to ensure that only respondents with relevant system experience were included in the study. A total of 73 respondents participated, representing active users of the system in daily administrative and asset management processes.

Data were collected using a structured questionnaire developed based on three main constructs: system interface, effectiveness and accessibility, and impact on work productivity. These constructs were selected to reflect both technical usability aspects and organisational performance outcomes of the system. The questionnaire employed a five-point Likert scale ranging from 1 (Strongly Disagree) to 5 (Strongly Agree), allowing respondents to indicate the degree of agreement with each statement.

The instrument development was guided by established digital system evaluation frameworks, particularly the Malaysian Administrative Modernisation and Management Planning Unit (MAMPU, 2021) guidelines on digital government systems, as well as usability principles proposed by Nielsen (1993), which emphasise system simplicity, consistency, and user-centred design. These frameworks ensured that the measurement items were aligned with both public sector digital governance standards and established usability theory.

Prior to full-scale analysis, the reliability of the instrument was assessed using Cronbach's Alpha to determine internal consistency. The overall reliability coefficient recorded was 0.94, indicating a very high level of reliability (Hair et al., 2019). At the construct level, all dimensions demonstrated strong reliability values, namely system interface ($\alpha = 0.92$), effectiveness and accessibility ($\alpha = 0.93$), and impact on productivity ($\alpha = 0.91$). These results confirm that the instrument is highly consistent in measuring the intended variables.

Data analysis was performed using Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Descriptive statistical techniques, including mean, standard deviation, and percentage analysis, were applied to examine respondent perceptions of each construct. In addition, qualitative feedback from open-ended questions was analysed using content analysis to identify recurring themes and user suggestions for system improvement.

Overall, the methodology of this study integrates a structured quantitative approach with validated measurement constructs to ensure reliability and analytical rigor. The combination of descriptive statistical analysis and reliability testing provides a robust framework for evaluating the effectiveness of the eSmartDispose system in supporting digital transformation within public sector asset disposal management.

2. RESULT AND DISCUSSION

This study evaluated the effectiveness of the eSmartDispose system across three main dimensions: system interface, effectiveness and accessibility, and impact on work productivity. Descriptive analysis revealed an overall mean score of 4.73 (SD = 0.47), indicating a very high level of user perception. In general, respondents expressed strong confidence that the system is not only easy to use but also enhances efficiency and transparency in the disposal of government movable assets.

2.1. System Interface

This dimension assessed the quality of design and user experience in interacting with the system. The average score for this dimension was 4.73 (M = 4.73, SD = 0.48), indicating a very high level of satisfaction with the visual elements, layout, and ease of use. The item "The eSmartDispose interface is user-friendly" obtained the highest score (M = 4.77, SD = 0.43), followed by "The interface is easy to understand" (M = 4.74, SD = 0.47).

These results indicate that users encountered minimal difficulty in navigating the system, and that the simple and logical interface design helped accelerate task completion, reflecting key usability principles in digital system design. The findings are also consistent with previous studies on e-government systems, which highlight that usability and accessibility are critical factors influencing user satisfaction and system effectiveness (Wan Mohd Isa, 2011).

Furthermore, the professional color scheme and well-organized menu layout enhanced user trust in the system's credibility. Positive perception toward the visual design goes beyond aesthetics, as it plays a crucial role in fostering user confidence in the system's stability, formality, and reliability (Shneiderman, 2010).

2.2. System Effectiveness and Accessibility

The second dimension examined how well the system facilitates workflow efficiency and provides fast, flexible access for users. This dimension also recorded a high mean score (M = 4.73, SD = 0.46). The top-rated items were "The system can be accessed at any time" (M = 4.74, SD = 0.48) and "The system is easily accessible from anywhere" (M = 4.74, SD = 0.48).

These findings show that real-time accessibility is a key advantage of eSmartDispose compared to manual processes. This feature enables asset disposal coordinators to review and approve applications without waiting for physical documents. This finding is consistent with previous studies which reported that the integration of digital technologies in educational institutions significantly improves administrative efficiency and addresses operational challenges (Muthu et al., 2023).

Additionally, the low standard deviation values indicate high consistency among respondents, with nearly all users sharing positive views regarding the system's capabilities. This reflects broad acceptance, not only among ICT skilled users but also among support staff who were previously more comfortable with manual procedures. It suggests that eSmartDispose successfully bridges the digital divide within the organization.

The system's responsiveness and round-the-clock accessibility also align with the concept of a flexible work environment, enabling officers to carry out disposal tasks outside regular office hours, consistent with post-pandemic work trends that emphasize automation and mobility.

2.3. Impact On Work Productivity

The third dimension measured the extent to which the system directly influences users' work performance. The mean score for this dimension was also high (M = 4.73, SD = 0.47), with two key items scoring the highest: "The system improves my productivity" (M = 4.73, SD = 0.45) and "The system facilitates access to up-to-date disposal information" (M = 4.74, SD = 0.46).

These findings indicate that eSmartDispose accelerates work processes, reduces dependence on physical documents, and enables users to make faster, data-driven decisions. The results are consistent with Stephen P. Robbins' (2016) theory of organizational effectiveness, which asserts that automation and integrated digital systems enhance productivity by reducing processing time and increasing data accuracy.

Practically, the system establishes a more transparent and traceable disposal process, minimizing the risk of record loss and strengthening accountability. This is particularly significant for government organizations that must comply with stringent audit and transparency standards.

Open-ended feedback further supports these findings, with many respondents noting that the system saves time, facilitates communication across units, and minimizes reliance on manual verification processes that previously delayed approvals.

2.4. Comparative and Overall Interpretation

All three dimensions recorded the same high mean score (4.73), demonstrating that the system successfully achieves a balance between interface design, operational effectiveness, and productivity impact. This reflects a mature information system ecosystem that has been well accepted by users.

The findings also reinforce Davis(1989) Technology Acceptance Model (TAM), where the two main factors including perceived ease of use and perceived usefulness and influence user acceptance of new technologies. In the context of eSmartDispose, users' positive perceptions of ease of use (high mean in interface) and work efficiency (high mean in productivity) indicate that both factors coexist, resulting in high system adoption among staff.

Furthermore, the findings align with Malaysia's public sector digitalization agenda under MAMPU's Digital Government Blueprint, which emphasizes technological integration to improve service delivery and foster a more data-driven work culture.

CONCLUSION

This study demonstrates that the eSmartDispose application is an effective digital innovation for improving government movable asset disposal management at Politeknik Kuching Sarawak. Based on responses from 73 users, the system recorded a consistently high level of effectiveness across all three dimensions: system interface, effectiveness and accessibility, and impact on work productivity, with an overall mean score of 4.73. These findings indicate strong user acceptance and positive perception of the system's ability to enhance operational efficiency and transparency.

From a usability perspective, the system's interface design adheres to established principles of simplicity and clarity, resulting in an intuitive and user-friendly experience. In terms of functionality, the system improves accessibility by enabling real-time access to disposal information, thereby reducing reliance on manual documentation processes. Furthermore, the system contributes to improved work productivity by streamlining approval workflows and enhancing coordination among related units.

The findings suggest that digital systems such as eSmartDispose play a significant role in supporting public sector digital transformation initiatives, particularly in promoting efficient, transparent, and accountable asset management practices in line with MAMPU's Digital Government Blueprint.

While the results are highly positive, they are based on user perception within a single institution, which may limit broader generalisation. Future studies are recommended to incorporate multiple institutions and objective performance indicators to further validate system effectiveness.

Overall, eSmartDispose can be considered a practical model of digital transformation in asset disposal management, integrating usability, efficiency, and transparency within a unified platform.

REFERENCES

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008.

Husin, M. H., Loghmani, N., & Zainal Abidin, S. S. (2017). Increasing e-government adoption in Malaysia: MyEG case study. Journal of Systems and Information Technology, 19(3/4), 202–227. https://doi.org/10.1108/JSIT-01-2017-0007

Jabatan Audit Negara Malaysia. (2020). Laporan Ketua Audit Negara: Pengurusan aset dan pelupusan Kerajaan Persekutuan 2019. https://www.audit.gov.my

Kementerian Kewangan Malaysia. (2022). Panduan Pengurusan Aset Alih Kerajaan (Kemaskini 2022). Putrajaya: Bahagian Perolehan dan Aset.

MAMPU. (2021). Digital Government Blueprint 2021–2025. Putrajaya: Unit Pemodenan Tadbiran dan Perancangan Pengurusan Malaysia.

Nielsen, J. (1993). Usability Engineering. Boston: Academic Press.

Muthu, C., Liang, C., & Hui, W. (2023). Digital transformation in higher education. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18720.25605

Azman, N. S., Abu Hassim, A., & Shamsudin, M. F. (2025). Financial Management Strategies and Challenges in Malaysian Educational Institutions: A Systematic Review of Educational Technology Integration. Journal Of Research, Policy & Practice of Teachers & Teacher Education (JRPPTTE), 15(1).

Robbins, S. P. (2016). Organizational Behavior (18th ed.). New Jersey: Pearson Education.

Shneiderman, B. (2020). Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction (6th ed.). Boston: Pearson.

Wan Mohd Isa, W. A. R. (2011). Assessing the usability and accessibility of Malaysia e-government website. *American Journal of Economics and Business Administration, 3*(1), 40–46. https://doi.org/10.3844/ajebasp.2011.40.46

https://doi.org/10.71284/asc.2026154

KAMU YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKANIN GELECEK PERSPEKTİFİ: 657'SİZ BİR MEMUR OLARAK YAPAY ZEKÂ

FUTURE PERSPECTIVES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PUBLIC ADMINISTRATION: AI AS A "CIVIL SERVANT" BEYOND LAW NO. 657

Mehmet Enes Salkın[1]
Mehmet Nas[2]

Özet

Bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin kamu yönetiminde giderek artan kullanımının, kamu hizmetlerinin üretim biçimini ve kamu personel rejiminin temel varsayımlarını nasıl dönüştürdüğünü tartışmaktadır. Çalışmanın temel amacı, 657 sayılı Devlet Memurları Kanunu'nun insan merkezli memur tasavvurunu bir metafor olarak ele alarak, idari işlemlerin tesisinde insan müdahalesi olmaksızın ya da sınırlı müdahaleyle karar üretebilen sistemlerin "algoritmik memur" şeklinde kavramsallaştırılmasını temellendirmektir. Bu bağlamda, bürokratik devletten yeni kamu işletmeciliğine ve dijital devlete uzanan dönüşüm hattı üzerinden, algoritmik yönetişimin kamu hizmetlerinde karar destekten otonomiye uzanan bir evrimi ifade ettiği ileri sürülmektedir. Çalışma; sosyal yardım uygunluk tespiti, vergi denetimi ve risk analizi, güvenlik alanında öngörücü uygulamalar ve e-devlet platformlarında otomatik işlem tesis edilmesi gibi örnekler üzerinden, algoritmik sistemlerin yalnızca teknik araçlar değil, karar üretme yetkisinin fiilen icra edildiği yönetsel aktörler olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Bununla birlikte, algoritmik karar süreçlerinin yaygınlaşması sorumluluk boşluğu (accountability gap), "kara kutu" problemi, veri temelli ayrımcılık ve idari takdir yetkisinin "kodlanması" gibi hukuki-etik gerilimleri derinleştirmektedir. Sonuç olarak çalışma, geleceğin kamu yönetiminde asıl tartışmanın yapay zekânın sisteme dahil olup olmayacağı değil; algoritmik memurun hangi statü, sınır ve denetim mekanizmaları içinde konumlandırılacağı olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kamu yönetimi, yapay zeka, kamuda yapay zeka, kamu yönetimi dönüşümü.

Abstract

This study discusses how the increasing utilization of artificial intelligence (AI) technologies in public administration is transforming the delivery of public services and the fundamental assumptions of public personnel regimes. The primary objective of the study is to conceptualize AI systems—which can generate administrative decisions with limited or no human intervention—as an "algorithmic civil servant," using the human-centered vision of the Civil Servants Law No. 657 as a metaphor. Within this framework, it is argued that algorithmic governance represents an evolution from decision support to autonomy, traced through the transformative trajectory from the bureaucratic state to New Public Management and the digital state. By examining examples such as social assistance eligibility determination, tax auditing and risk analysis,

[1]Sorumlu Yazar, Öğr. Gör. Dr., Mersin Üniversitesi, enessalkin@mersin.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-5198-5378
[2] Öğr. Gör. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, mehmet.nas@alanya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1015-9934

predictive policing, and automated processing on e-government platforms, the study demonstrates that algorithmic systems are emerging not merely as technical tools but as administrative actors that explicitly exercise decision-making authority. However, the proliferation of algorithmic decision-making processes exacerbates legal and ethical tensions, including accountability gaps, the “black box” problem, data-based discrimination, and the “coding” of administrative discretion. Consequently, the study emphasizes that the fundamental debate in the future of public administration will not be whether AI should be integrated into the system, but rather the status, boundaries, and oversight mechanisms within which the algorithmic civil servant will be positioned.

Keywords: Public administration, artificial intelligence, ai in public sector, transformation of public administration

GİRİŞ

Yapay zeka teknolojileri her gün gelişerek yeni bir versiyonu ile hayatın içerisine katılmakta; baş döndüren bir hızla evrilerek toplumsal ve ekonomik hayatın tüm alanlarında kendine yer bulmaktadır. Bu teknolojik hız sektörel fark gözetmeksizin tüm kurumsal yapıları entegrasyona zorlamaktadır. Önümüzdeki yıllarda da bu etkileşimin devam edeceği, yapay zeka teknolojileri ve akıllı sistemlerin pek çok süreci ve sektörü etkileyerek yeni araçlar sunacağı öngörülmektedir(Acemoğlu, 2022:7). Kamu yönetimi vatandaşların beklentisi veya çağın ihtiyaçları doğrultusunda geçmişten günümüze köklü değişimler yaşamıştır. Weber’in Rasyonel Bürokrasi Modeli, 1930’larda “beşeri ilişkiler yaklaşımı” ile sorgulanmış ve 1970’lerde “yeni kamu işletmeciliği modeli” ortaya çıkmıştır. Kamu yönetimi artık işletme bilimi kavramlarını kullanmakta, azalan hiyerarşi ile esnek ve ademi merkeziyetçi örgütlenme, deregülasyon, yönetişim, etkinlik, verimlilik ve vatandaş merkezli sonuç odaklılık kavramlarını öne çıkarmaktadır(Eryılmaz, 2013:83). Türkiye’de de 1980’lerle birlikte kamu yönetiminin değişim süreci başlamış ve yeni kamu yönetimi ilkeleri uygulamaya geçirilmiştir (Çevikbaş 2012.19). Kamu yönetiminde yaşanan dönüşüm, yalnızca ilkesel bir bakış açısı değişikliğinden ibaret olmayıp, aynı zamanda kullanılan araçlar, yöntemler ve sistemler aracılığıyla günümüz teknolojilerine uyumu da içeren bütüncül bir yeniden yapılanma sürecini ifade etmektedir. Bu bağlamda e-devlet, “kamu yönetiminin geliştirilmesi amacıyla devlet, birey ve işletmelere katma değer oluşturacak şekilde bilişim teknolojilerinin kamu sektöründe kullanılması” olarak tanımlanmaktadır (Temür, 2010: 10). E-devlet uygulamalarının ortaya koyduğu dijital altyapı ve dönüşüm dinamikleri dikkate alındığında, yapay zekâ teknolojilerinin kamu yönetimine entegrasyonu bu sürecin devamı niteliğinde değerlendirilmekte ve kaçınılmaz bir gelişim aşaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin kamu yönetiminde kullanımı; teknolojik baskılar, küresel ve piyasa eğilimleri doğrultusunda kaçınılmaz bir hale gelmiştir (Banazılı 2025).

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE BÜROKRATİK DEVLETTEN ALGORİTMİK DEVLETE YAŞANAN DÖNÜŞÜM

1.1. Weberyen Bürokrasi

Bürokrasi kavramı bugüne kadar pek çok farklı anlamda kullanılmıştır ancak temel kuramsal yapısının oluşması ve bugünkü anlamına ulaşmasında Weber’in önemli katkıları olmuştur. Weber sanayi devrimi sonrası yaptığı gözlemler ile bürokrasiyi bir örgütlenme ve yönetim biçimi olarak tasarlamıştır (Akçakaya, 2016:284). Weber’in örgütlerdeki işleyişi kurallara, hiyerarşiye, nesnelliğe ve uzmanlaşmaya dayandırarak kişiselliğin, liderlerin ve geleneğin dışında konumlandırması bürokrasinin «weberyen» anlamını oluşturmaktadır. Weber «Bürokrasinin diğer örgütlere nazaran ‹dakiklik, devamlılık, disiplin, güvenilirlik, hız, kesinlik, sağduyu, dosyalama bilgisi, dayanışma, tam itaat ve anlaşmazlıkların giderilmesi› bakımından üstün olduğunu ileri sürmüştür»(Özer, 2013:47). Weberyen bürokrasi modeli her ne kadar örgütler üzerinden

geliştirilse de kamu yönetimi üzerinden tasarlanmış ve kamu yönetimi ile özdeşleştirilmiştir. Weberyen bürokrasi modeli, kamu yönetimini kurallar, hiyerarşi ve hukuki rasyonalite üzerine inşa etmektedir. Bu modelde memur, belirli kurallar çerçevesinde hareket eden ve takdir yetkisini sınırlı ölçüde kullanan bir uygulayıcıdır. Bürokratik yapı, öngörülebilirlik ve istikrar sağlamak amacıyla insan unsurunu sistematik bir çerçeveye oturtmaktadır.

Weber'in geliştirdiği bürokrasi modeli 1930'lardan sonra sorgulanmaya başlamış ABD ve Avrupa'da yapılan çalışmalar modelin sorunlu alanlarını belirlemiştir (Akçakaya, 2016: 286-288). 1970'lerde petrol kaynaklı başlayan krizler üzerine değişen ekonomik model kamu yönetimini de etkilemiştir. Devletin ekonominin başat bir aktörü olarak hareket ettiği müdahaleci, katı, hiyerarşik ve sıkı sıkıya kurallara bağlı olan weberyen kamu yönetimi yapısı yerini esnek, adem-i merkeziyetçi, daha esnek kurallarla çalışan ve serbest piyasayı dikkate alarak onun kurallarına göre hareket eden yeni kamu yönetimi düşüncesine bırakmıştır. Büyük ölçüde Weber'in tasarımı olan yasal-rasyonel bürokrasinin yerine 20. yüzyılda artık rasyonel üretken bürokrasi geçmiştir (Eryılmaz, 2013:98).

1.2. Yeni Kamu İşletmeciliği

1970'lerden itibaren ortaya çıkan Yeni Kamu İşletmeciliği anlayışı, kamu yönetimine özel sektör dinamiklerini entegre etmeyi amaçlamıştır. Özel sektörde kullanılan ve başarılı bulunan yönetim teknikleri kamu kesimine aktarılmıştır. Bunun sonucu olarak yönetimin katı, hantal ve kuralcı yapısı esnetilmiş; yetki devri, kamu özel ortaklığı, deregülasyon ve özelleştirmeler kamu yönetimi alanına dahil olmuştur (Tuncer ve Usta, 2013:187). Yeni kamu yönetimi işletmeciliği ile birlikte süreç odaklı yaklaşım yerini sonuç odaklı bir yaklaşıma bırakmıştır (Bilici ve Pekküçükşen, 2022: 659). Yeni kamu işletmeciliği dönemin hakim ideolojisi neo-liberalizm ile ilişkilendirilmiş ve tüm krizlerin reçetesi olarak sunulmuştur. 1980'lerin hakim neo-libaral rüzgarını da arkasına alan yeni kamu işletmeciliği dünyada Thatcher ve Reagan ittifakı tarafından daha fazla refah ve verimlilik için yeni bir dünya paradigması olarak tanıtılırken (Bilici ve Pekküçükşen 2022) Türkiye›de de Turgut Özal ile Türk kamu yönetimi dönüşümünün hakim paradigması haline getirilmiştir.

Yeni Kamu İşletmeciliği paradigmasıyla birlikte, kamu bürokrasisinin geleneksel yapısı radikal bir dönüşüme uğramış; yöneten devletten 'yönetişim' odaklı devlete geçiş hız kazanmıştır. Bu süreçte kamu yönetimi, sadece yapısal bir değişimle sınırlı kalmamış, aynı zamanda idari rasyonaliteyi 'piyasa temelli bir verimlilik' ve 'teknik uzmanlık' odağına kaydırmıştır. İdarenin esnekleşmesi ve hizmet sunumunda performans ölçütlerinin ön plana çıkması, kamu görevlisinin klasik statüsünü de sarsarak 'müşteri memnuniyeti' odaklı bir profesyonelizmi dayatmıştır (Eryılmaz, 2013: 85). Bu durum, kamu hizmeti sunumunda insan unsurunun takdir yetkisinden ziyade, önceden belirlenmiş çıktı hedeflerine ve rasyonalize edilmiş veri akışlarına duyulan güveni artırmıştır. Dolayısıyla, YKİ tarafından meşrulaştırılan 'azalan hiyerarşi' ve 'sonuç odaklılık' ilkeleri, idari süreçlerin teknokratik bir zeminde yeniden kurgulanmasına olanak tanımış ve idarenin karar alma yetkisinin insani mülahazalardan arındırılarak daha mekanik, ölçülebilir ve standartlaştırılmış düzlemlere taşınmasının önünü açmıştır (Güler, 2005: 142). Sözen, Yeni kamu işletmeciliği anlayışının kamu personel rejiminde yaptığı değişiklikleri beş madde ile açıklamaktadır;

- Öncelikle personel yönetiminde bir lisan değişikliğine gidilmiş, ''personel yönetimi'' yerine ''insan kaynakları yönetimi'' kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında yine personel yönetimi ile ilgili olarak performansla ilgili kavramların da sıkça kullanıldığı görülmektedir.

- Yeni kamu işletmeciliği ile birlikte ''esneklik, sözleşmeli istihdam, bireysel sözleşme, değişim yönetimi'' gibi personel yönetiminde sıkça kullanılan ve personel yönetiminin değişimine etki eden kavramların da ortaya çıktığı görülmektedir.

- Yeni kamu işletmeciliği ile birlikte istihdam şekillerinde değişiklik yapılmış, kamu personelinin işine son vermeyi kolaylaştırmak ve kamudaki personel sayısını azaltmak amaçlanmıştır. Dolayısıyla memur

ücretlerinin içinde yer alan emeklilik ve yan ödemeler ile ilgili ödemeler de azaltılarak, kamu personelinin maliyetinin düşürülmesi için gerekli yollar aranmıştır.

- Yeni kamu işletmeciliği anlayışı ile hemen hemen bütün kamu personelinin örgütsel performansa katkıları değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Buna da performansa dayalı ücret sistemi adı verilmektedir.
- Geleneksel anlayışın aksine işletmecilik anlayışında, kamu personelinin kurumlar arası geçişi mümkün olabilmektedir (Sözen, 2005:105-107).

Yeni kamu yönetiminin talep ettiği bu dönüşüm kamu personel rejimindeki katı hiyerarşinin esnetilmesini ve kararların hızlı alınmasını gerektirmektedir. Yeni kamu yönetimi ile birlikte esnek ve hızlı karar almak ise ancak kamu yönetiminin içine bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) yerleşmesi ile mümkün olmuştur. Yani yeni kamu yönetimi paradigmasının rasyonalizasyon, esneklik, verimlilik ve hız arayışı, kamu yönetiminde (BİT) kullanımını bir seçenekten öte zorunluluk haline getirmiştir.

1.3. Dijital Devlet Paradigması ve E-Devlet Uygulamaları

Yeni kamu işletmeciliğiyle başlayan değişim süreci, 1990'lı yılların sonunda internetin hayatımıza girmesi ve teknolojik gelişmelerle birleşince devletin hizmet verme şeklini kökten değiştirmiştir (Şataf, Çiçek, ve Dikmen 2014). Yönetimdeki bu yeni anlayışın aradığı hız ve verimlilik, internetin sağladığı imkanlarla buluşmuş; böylece kamu hizmetlerinin sunumu hem biçim hem de sürat açısından büyük bir dönüşüm yaşamıştır. Bu durum, kamu yönetimini geleneksel yöntemlerden uzaklaştırarak dijitalleşmeyi temel alan yeni bir döneme taşımıştır. Bu dönemde iş ve işlemler dijitalleşmiş klasik dönemin karmaşık ve uzun zaman alan prosedürleri dijitalleşerek hızlı ve basit yapılır hale gelmiştir. Bu dönemde devlet ve vatandaşın karşılaşma alanları artık dijital kanallar üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu dijital kanalların oluşması ve devletin hizmetlerini elektronik ortamlarda hızlıca sunması ancak e-devlet ya da dijital devlet olanakları ile mümkün olmuştur.

"E-devlet kavramı, devletin kendi iç işleyişinde ve sunduğu hizmetlerde bilişim teknolojilerinin kullanılması olarak tanımlanmaktadır"(Şataf, Çiçek, ve Dikmen, 2014:2). "Model olarak e-devlet; teknik anlamda yurttaşların "müşteri", kamu yönetimi faaliyetlerinin de "hizmet" olarak görüldüğü "kalite/fiyat performansı" ölçütlerinin uyguladığı, en az maliyet ve emekle en kaliteli hizmetin üretilmesini hedefleyen verimlilik yönetim sistemidir"(Demirel, 2006:85). Bu durum, kamu yönetiminde şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerinin güçlenmesine katkı sağlarken, vatandaşların hizmetlere erişimini de kolaylaştırmıştır. Öte yandan, dijitalleşmenin yaygınlaşması devlet ile vatandaş arasındaki ilişkiyi yeniden tanımlamış; fiziksel temasın yerini büyük ölçüde çevrimiçi etkileşimler almıştır. Böylece kamu hizmeti sunumu, mekândan ve zamandan bağımsız bir nitelik kazanarak daha erişilebilir ve kullanıcı odaklı bir yapıya evrilmiştir. Ancak kamu yönetiminde teknoloji kullanımı, sadece teknik bir araç değişimi değil, devletin vatandaşıyla kurduğu ilişkinin niteliğini belirleyen bir paradigma dönüşümüdür. Bu bağlamda e-devlet, yeni kamu işletmeciliğinin verimlilik, maliyet disiplini ve hız arayışına cevap veren 'hizmet odaklı' bir model olarak doğmuş; ancak etkileşim imkânlarının kısıtlı olduğu bir teknolojik düzlemde (Web 1.0) kalmıştır. Buna karşın 2010'lu yıllardan itibaren yükselen 'Dijital Devlet' paradigması, teknolojiyi sadece bir verimlilik aracı değil, kamu değeri yaratmanın ve katılımcı yönetişimin temel kolaylaştırıcısı olarak konumlandırmaktadır. Bu yeni dönemde devlet, tek taraflı hizmet sunan bir mekanizmadan; vatandaşın 'ortak yapımcı' ve 'karar verici' olarak sürece dahil olduğu, büyük veri gibi ileri teknolojilerle sürdürülebilir kalkınmayı hedefleyen daha demokratik ve iş birlikçi bir platforma evrilmiştir (Saylam 2022). Bu dönüşüm süreci, yalnızca hizmet sunumunun hızlanmasıyla sınırlı kalmamış; aynı zamanda kamu yönetiminin işleyiş mantığını da önemli ölçüde değiştirmiştir. Dijital devlet uygulamalarıyla birlikte veri temelli karar alma süreçleri ön plana çıkmış, idari faaliyetler daha izlenebilir ve ölçülebilir hale gelmiştir.

1.4. Algoritmik Yönetişim Kavramı

Algoritmik yönetişim, kamu yönetiminde karar alma süreçlerinin algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmesini ifade eden bir yönetişim biçimidir.

"Algoritmik Yönetişim veya eş anlamlı olarak kullanılan "algoritmik düzen", "algoritmalarla düzenleme-algorithmic regulation" gibi değişik kavramlarla beraber klasik politik yönetim anlayışına alternatif olarak kanuni yaptırım veya düzenlemeler ile günlük hayatın ulaşımdan tapu dairesine kadar birçok sahasında YZ kullanarak toplumsal işleyişi sağlamanın yeni biçimini anlatan kompleks sosyoteknik bir sistemdir"(Çalışkan, 2026:43)

Bu yaklaşım, insan merkezli karar mekanizmalarının yerini veri temelli, otomatik ve öngörücü sistemlere bırakmasına yol açmaktadır. Böylece kamu yönetimi, "bürokratik devlet"ten "algoritmik devlet"e doğru evrilmektedir. Algoritmik yönetişim, algoritmaların kamu politikası ve kamu hizmeti süreçlerinde yalnızca birer teknik araç olarak değil; karar alma, öncelik belirleme, sınıflandırma ve denetim pratiklerini şekillendiren sosyo-teknik mekanizmalar olarak konum kazandığı bir yönetsel düzleme işaret etmektedir. Bu bağlamda algoritmalar; görünürde "tarafsız" ve "nesnel" hesaplama süreçleri üzerinden işleyen sistemler gibi sunulsa da, pratikte hangi verinin önemli sayılacağı, hangi ölçütlerin benimseneceği ve hangi çıktıların "doğru" kabul edileceği gibi tercihleri içererek kamu yönetiminde yeni bir düzen kurma kapasitesi üretir. Beer'in (Beer, 2017:2) vurguladığı üzere algoritmaların gücü yalnızca teknik işleyişlerinde değil; aynı zamanda "algoritma" fikrinin dolaşıma soktuğu nesnellik, verimlilik ve doğruluk beklentilerinde de ortaya çıkar. Bu nedenle algoritmik yönetişim tartışması, bir yandan algoritmik sistemlerin karar süreçlerine somut etkilerini incelerken, diğer yandan bu sistemlerin "hesaplanabilir nesnellik" söylemiyle nasıl meşrulaştırıldığını ve yönetsel otoritenin insan aktörlerden algoritmik sistemlere doğru nasıl yeniden dağıtıldığını ortaya koymayı gerektirir.

Kamu yönetiminin bu dönüşümü geleneksel olarak insan memurların elinde bulunan takdir yetkisinin algoritmalarla paylaşılmasına yol açmaktadır. Nitekim algoritmik karar sistemleri, sosyal yardım, kaynak dağıtımı ve risk analizleri gibi alanlarda insan müdahalesini azaltarak idari karar süreçlerini yeniden şekillendirmektedir (Akay, 2025:337). Bu bağlamda algoritmalar toplumsal düzeni belirli bir biçimde üreten ve yönlendiren mekanizmalar olarak işlev görmektedir. Algoritmik yönetişim, dijital teknolojiler aracılığıyla sosyal düzenin yeniden üretildiği bir sosyo-teknik sistem olarak değerlendirilmektedir(Çalışkan 2026). Bu dönüşüm, kamu yönetiminde karar alma yetkisinin yalnızca desteklenmesi değil, kısmen algoritmik sistemlere devredilmesi anlamına gelmekte olup, kamu görevlisinin rolünün ve statüsünün yeniden tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır.

2. KAMU YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKÂ: DÖNÜŞEN ROL VE İŞLEVLER

2.1. Karar Alma Süreçlerinin Dönüşümü: Destekten Otonomiye

Karar alma süreci; bilgi edinme, değerlendirme ve eylem aşamalarından oluşan normatif bir yapı arz etmektedir (Jacob vd., 1988: 26). Kamu yönetimi özelinde bu yapı, yöneticilerin kamusal faydayı gözeterek kullandıkları 'idari takdir yetkisi' ile doğrudan ilişkilidir. Barth ve Arnold'un (Barth ve Arnold, 1999:336) vurguladığı üzere, kamu yöneticilerinin insani duyguları, bencil saikleri veya önyargıları takdir yetkisinin kötüye kullanılması riskini barındırmaktadır. Yapay zekâ, rasyonel karar verme aşamalarını (Bazerman ve Moore, 2009) otonom sistemler üzerinden uygulamaya koyarak, idari süreçleri kişisellikten arındırmayı ve 'yönetimde mükemmellik' ile 'sıfır hata' ideallerini gerçekleştirebilecek bir potansiyel sunmaktadır (Önder ve Saygılı, 2018:645-648).

Yapay zekâ teknolojilerinin gelişimiyle birlikte karar alma süreçleri yalnızca desteklenmekle kalmamakta, aynı zamanda kısmen otonom bir nitelik kazanmaktadır. Geleneksel karar destek sistemleri, yöneticilere veri sağlayan ve alternatifleri analiz eden araçlar olarak konumlanırken; günümüzde makine öğrenmesi ve büyük veri analitiğine dayalı sistemler, kararın içeriğini doğrudan belirleyebilen yapılara dönüşmektedir.

Bu bağlamda karar alma sürecinin bilgi edinme, değerlendirme ve seçim aşamaları giderek algoritmik sistemler tarafından yürütülmekte, insan faktörü ise çoğu zaman sürecin denetleyicisi konumuna indirgenmektedir. Özellikle kamu yönetiminde sosyal yardım dağıtımı, vergi denetimi ve risk analizleri gibi alanlarda kullanılan yapay zekâ sistemleri, geçmiş verilerden hareketle öngörücü kararlar üretmekte ve idari süreçleri standartlaştırmaktadır. Bu durum, karar alma sürecinin bireysel değerlendirme ve deneyim temelli yapısından uzaklaşarak veri temelli ve hesaplanabilir bir zemine oturduğunu göstermektedir (Efe, 2022:100i101).

Yapay zekâ başlangıçta karar destek sistemi olarak kullanılırken, günümüzde doğrudan karar üretebilen sistemlere dönüşmektedir. Bu durum, kamu yönetiminde insan faktörünün rolünü yeniden tanımlamaktadır. Bu teknolojik sıçrama, kamu yönetiminin temel taşı olan idari takdir yetkisinin doğasını da kökten sarsmaktadır. Geleneksel bürokraside takdir yetkisi, mevzuatın boşluk bıraktığı durumlarda kamu görevlisinin vicdanı, mesleki deneyimi ve kamusal yarar anlayışıyla doldurduğu insani bir alanı temsil eder. Ancak rasyonel karar verme aşamalarının akıllı sistemler aracılığıyla otomatize edilmesi, bu esnek alanın matematiksel modellemeler ve algoritmik parametrelerle "kodlanması" sonucunu doğurmaktadır. Algoritmaların önyargı, duygusallık ve kişisel çıkardan arınmış "nesnellik" vaadi, takdir yetkisinin sübjektif risklerini minimize etme potansiyeli sunsa da; aynı zamanda idari kararların katı bir standartlaşmaya hapsolması riskini de beraberinde getirmektedir. Sonuç olarak, karar alma yetkisinin insan memurdan algoritmik sistemlere doğru bu kayışı, idarenin karar organlarında "hesaplanabilir bir meşruiyet" dönemi başlatırken, geleneksel kamu görevlisi profilini de yapısal bir değişimle karşı karşıya bırakmaktadır(Barth ve Arnold, 1999:336,337); .

2.2. Kamu Hizmet Sunumunun Yeniden Yapılanması: Otomasyon ve Dijitalleşme

Kamu hizmetlerinin sunumu, dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerinin etkisiyle geleneksel bürokratik arayüzlerden, etkileşimli ve otonom platformlara doğru evrilmektedir. Geleneksel hizmet modelinde kamu görevlisi, vatandaş ile devlet arasındaki temel köprüyü oluştururken; günümüzde chatbotlar, akıllı başvuru sistemleri ve dijital hizmet portalları bu aracılık rolünü üstlenmektedir. Bu dönüşüm, hizmetlerin sadece hızlanmasını değil, aynı zamanda "insan müdahalesinden arındırılmış" bir süreç tasarımını da beraberinde getirmektedir. Sunulan hizmetlerin standartlaştırılması ve 7/24 erişilebilir hale gelmesi, kamu yönetiminde verimliliği artırırken, hizmet sunumunun merkezine insan memur yerine algoritmik iş akışlarını yerleştirmektedir.

Hizmet sunumundaki bu otomasyon, beraberinde "görünmez idare" (invisible administration) olarak adlandırılan yeni bir yönetim pratiğini getirmektedir. Vatandaşın devletle olan etkileşimi, fiziksel bir ofis ve bir kamu görevlisiyle yapılan mülakattan, algoritmaların arka planda çalıştığı ekranlara ve kod dizinlerine kaymaktadır. Bu süreçte kamu hizmeti, bir memurun takdirinden ziyade, önceden tanımlanmış parametrelerin (input) işlenmesiyle otomatik olarak üretilen çıktılara (output) dönüşmektedir. Sonuç olarak, hizmetin sunum aşamasında memurun fiziksel varlığının silikleşmesi, kamu yönetiminde "insansız hizmet" dönemini başlatmakta ve memuriyet statüsünü fiziksel bir emek biçiminden dijital bir işlem operatörlüğüne dönüştürmektedir. Sonuç olarak günümüzde Chatbotlar, otomatik başvuru değerlendirme sistemleri ve dijital hizmet platformları, kamu hizmetlerinin insan müdahalesi olmaksızın yürütülmesini mümkün kılmaktadır ancak henüz işlerin tamamını onlara bırakabileceğimiz hukuki, etik, denetlenebilir ve şeffaf bir çalışma sistemi kurulamamıştır. Tam otomasyon sisteminin kurulması da dijital teknolojideki tüm baş döndürücü hıza rağmen yakın zamanda mümkün görünmemektedir.

2.3. İdari Takdir Yetkisinin "Kodlanması"

Kamu yönetiminde takdir yetkisi bir bürokratın kendi yetki alanı içinde belirli konularda karar verebilmesidir (Haesevoets vd. 2026). Geleneksel kamu yönetimi teorisinde bu yetki, katı kuralların somut olaylara uyarlanmasını sağlayan ve bürokrasiye esneklik kazandıran temel bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Kamu yönetiminde yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, idari karar alma süreçlerinin

merkezinde yer alan takdir yetkisinin niteliğini dönüştürmektedir. Geleneksel bürokratik yapıda takdir yetkisi, kamu görevlisinin hukuki sınırlar içerisinde, somut olayın özelliklerini değerlendirerek karar vermesini ifade eden insani ve esnek bir alan olarak kabul edilmektedir ancak veri temelli ve algoritmik karar sistemlerinin devreye girmesiyle birlikte; bu esnek alan giderek önceden tanımlanmış kurallar, veri setleri ve model parametreleri çerçevesinde yeniden yapılandırılmaktadır (Yolcu ve Ozan 2024). Bu durum, idari takdirin bireysel değerlendirmeye dayalı doğasından uzaklaşarak, standartlaştırılmış ve hesaplanabilir bir karar mekanizmasına dönüşmesine yol açmaktadır.

Takdir yetkisinin bu şekilde standartlaştırılması, literatürde uzun süredir tartışılan takdir–hesap verebilirlik gerilimini (trade-off) yeniden gündeme taşımaktadır. Zira takdir yetkisi arttıkça kararların bağlama duyarlılığı yükselmekte; ancak karar süreçlerindeki çeşitlilik ve yorum payı, denetim ve değerlendirme mekanizmalarının (ör. performans ölçümü, denetim, inceleme) standart biçimde işletilmesini zorlaştırabilmektedir (Bovens, 2007). Buna karşılık, aşırı kontrol ve aşırı standartlaştırma da sokak düzeyindeki uygulamalarda esnekliği azaltarak kamu hizmetinin niteliğini ve etkinliğini zayıflatabilir (Lipsky, 1980). Yapay zekâ sistemlerinin kamu yönetimine dahil edilmesi, takdir yetkisi ile hesap verebilirlik arasındaki dengeleri ortadan kaldırmaz, sadece bu dengenin kurulduğu yeri değiştirir. Bu yeni düzlemde, takdir yetkisi 'karar verildiği andaki' bireysel bir tercih olmaktan çıkar; algoritmanın nasıl tasarlandığına, hangi verilerin seçildiğine ve sistemin hangi mantığa göre kurgulandığına dair bir yönetişim meselesine dönüşür. Bu nedenle, takdir yetkisinin "kodlanması", takdir alanını görünmezleştirme ve karar mantığını teknik bir mimari içine gömme riski taşıdığı ölçüde, kararların gerekçelendirilmesi ve kamusal denetlenebilirliği açısından ayrıca ele alınmalıdır (Goldsmith ve Yang 2026).

2.4. "Algoritmik Memur" Kavramsallaştırması

Bu çalışma kapsamında önerilen "algoritmik memur", kamu hizmetlerinin yürütülmesinde insan memurun fonksiyonlarını yerine getiren yapay zekâ sistemlerini ifade etmektedir. Bu sistemler, karar alma, veri analizi ve işlem tesis etme kapasitesiyle klasik memur tanımını dönüştürmektedir. Algoritmik memur kavramı, yapay zekânın sadece pasif bir teknolojik araç değil, kamu yönetimi hiyerarşisinde belirli bir "karar yetkisine" sahip aktif bir yönetsel aktör olduğunu varsayar.

Algoritmik memur, kamu hizmetlerinin ifasında ve idari işlemlerin tesisinde insan müdahalesi olmaksızın veya sınırlı müdahaleyle karar üreten yapay zekâ temelli sistemleri ifade etmektedir. Bu sistemler, klasik kamu görevlisinin yerine getirdiği birçok fonksiyonu fiilen üstlenerek idari süreçlerde fonksiyonel eşdeğerlik sergilemektedir; örneğin fiziksel olarak imza atmamakta ancak onay/red kararları üretebilmekte, dilekçeleri bireysel olarak incelememekte ancak başvuruları otomatik olarak sınıflandırıp eleme işlemi gerçekleştirebilmektedir.

Algoritmik memurun temel karakteristik özellikleri arasında özerk karar alma kapasitesi, sürekli öğrenme ve adaptasyon yeteneği ile yüksek hızlı uygulama becerisi öne çıkmaktadır. Bu özellikler doğrultusunda, yapay zekâ sistemlerinin kamu yönetimindeki rolü yalnızca bir karar destek mekanizması olmaktan çıkarak doğrudan karar verici bir yapıya evrilmektedir. Nitekim bu dönüşüm, insan destekli sistemlerden yarı otonom modellere ve nihayetinde tam otonom idari karar süreçlerine doğru ilerleyen bir evrimsel süreci ifade etmektedir.

Günümüzde bu dönüşümün somut yansımaları; sosyal yardım uygunluk tespitinde otomatik değerlendirme, vergi denetiminde risk analizi, güvenlik alanında suç tahmin sistemleri (predictive policing) ve e-devlet uygulamalarında otomatik işlem tesis edilmesi gibi farklı kamu hizmeti alanlarında açıkça gözlemlenmektedir. Bu gelişmeler, kamu hizmetlerinin yalnızca belirli alanlarda değil, kamu hizmetleri, kamu görevlilerini destekleyen sistemler, kamu kayıtları, altyapı yönetimi ve politika geliştirme gibi geniş bir yönetsel yelpazede algoritmik sistemler aracılığıyla yürütülebileceğini göstermektedir (Engin ve Treleaven, 2019:451). Bu bağlamda algoritmik memur, kamu yönetiminde karar üretme yetkisinin teknik sistemler aracılığıyla icra edildiği yeni bir yönetsel aktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Elde edilen bu veriler ve sistemin işleyiş pratiği, kamu hizmeti üretiminin artık klasik bir 'insan-memur' tekelinden çıktığını doğrulamaktadır; bu durum, kamu personel rejiminin temel taşı olan 657 sayılı Kanun bağlamında öngörülen sadakat, tarafsızlık ve şahsi sorumluluk gibi ilkelerin, fiziksel bir varlığı olmayan ancak idari karar yetkisini fiilen kullanan 'algoritmik memur' üzerinden yeniden tartışılmasını zorunlu kılmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Kamu yönetimi, tarihsel süreç içerisinde sürekli dönüşüm geçirmiş ve her dönemde yeni araçlar ve yaklaşımlar benimsemiştir. Günümüzde yapay zekâ, bu dönüşümün en ileri aşamasını temsil etmektedir. Ancak yapay zekâ artık yalnızca bir araç değil, kamu yönetiminde karar alma süreçlerine katılan potansiyel bir idari aktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, yapay zekanın kamu yönetiminde sadece operasyonel bir araç değil, idari karar alma yetkisini fiilen kullanan bir "algoritmik memur" olarak konumlanabileceğini tartışmaktadır. Klasik kamu yönetimi literatüründe idari takdir yetkisi, bürokratın vicdani ve rasyonel değerlendirmesine dayalı insani bir alan olarak tanımlanırken; günümüzde bu yetki veri setleri ve algoritmik parametrelerle "kodlanmış" bir yapıya bürünmektedir. Yapay zeka her geçen gün farklı bir araçla kendisine yeni bir alan açmaktadır. Her ne kadar kamu sektörü özel sektöre kıyasla daha yavaş hareket etmek durumunda olsa da yapay zekanın kullanımından kaçamayacaktır. Günümüzde farklı ülkelerde pek çok hizmet ve hizmet sunumunda yapay zeka kullanılır hale gelmiştir ancak burada tartışılan husus algoritmik memurun insan memur yerini almasıdır. İnsan memur gibi takdir yetkisini kullanabilmesi, bağımsız karar alabilmesi, hesap verebilmesi ve kullanıcılarına güven verebilmesidir. Bu noktada en kritik risk, algoritmik sistemlerin kullanımıyla birlikte kamu görevlilerinin hissettiği sorumluluk duygusunun azalması ve idari kararlardaki "hesap verebilirlik boşluklarının" büyümesidir (Wang vd., 2026:8). Algoritmik memur, her ne kadar objektiflik ve liyakat vaadiyle "yapay bir takdir yetkisi" sunsa da (Yolcu ve Ozan, 2024:171) bu yetkinin denetimi halen insan merkezli hukuki bir rejimin içinden yapılmaya çalışılmaktadır.

Yapay zekânın kamu yönetiminde kullanımı, önemli hukuki ve etik sorunları da beraberinde getirmektedir. Öncelikle, mevcut kamu personel rejimi yapay zekâyı bir "özne" olarak tanımlamadığından, ortaya ciddi bir sorumluluk boşluğu (accountability gap) çıkmaktadır. Yapay zekâ tarafından verilen hatalı bir kararın sorumluluğunun kime ait olacağı belirsizliğini korumaktadır. Nitekim yapılan çalışmalar, yapay zekâ destekli karar süreçlerinde bürokratların algılanan takdir yetkisinin azalmasıyla birlikte, hissedilen hesap verebilirliğin de zayıfladığını ortaya koymaktadır (Wang vd., 2026, s. 9)**.**

Bunun yanı sıra, algoritmaların şeffaf olmaması "kara kutu" problemi olarak adlandırılmakta ve idarenin hesap verebilirliğini zayıflatmaktadır. Karar alma süreçlerinin algoritmik sistemler içinde görünmez hale gelmesi, kamu yönetiminin temel ilkelerinden biri olan şeffaflık ilkesinin uygulanmasını güçleştirmektedir (Beer, 2017, s. 2)**.** Bir diğer önemli sorun ise veri temelli ayrımcılıktır. Yapay zekâ sistemleri, beslendikleri veri setlerindeki önyargıları yeniden üretebilmekte ve bu durum kamu hizmetlerinde eşitsizliklere yol açabilmektedir (Obermeyer vd., 2019, s. 448)**.**

657 sayılı Devlet Memurları Kanunu'nun insan merkezli yapısı, yapay zekânın idari süreçlerdeki rolünü düzenlemekte yetersiz kalmaktadır. Yapay zekâ destekli karar alma sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte idari takdir yetkisinin dönüşümü, mevcut hukuki çerçevenin sınırlarını zorlamakta ve yeni bir düzenleme ihtiyacını ortaya koymaktadır (Yolcu ve Ozan, 2024, s. 171; Goldsmith ve Yang, 2026, s. 12). Son olarak bu tartışmaya yapay zekanın cevabı: "geleceğin kamu yönetiminde temel tartışma, yapay zekânın sisteme dahil olup olmayacağı değil; bu yeni aktörün hangi statü ve sınırlar içerisinde konumlandırılacağı olacaktır".

KAYNAKÇA

Acemoğlu, D. (2022). Yapay zekâyı yeniden tasarlamak (J. Joshua ve D. C. Chasman, Eds.). Efil Yayınevi. https://www.efilyayinevi.com

Akay, H. (2025). Yeni kamu işletmeciliği ve algoritmik iktidar: Devletin karar verme süreçlerinde yapay zekânın rolü. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi (Sosyal Bilimlerde Yapay Zeka: Kuram, Uygulama ve Gelecek Perspektifleri özel sayısı), 336–351. https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1736311

Akçakaya, M. (2016). Weber'in bürokrasi kuramının bugünü ve geleceği. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (Özel Sayı), 275–295.

Banazılı, A. M. (2025). Yapay zekânın kamu yönetiminde kullanımı üzerine nitel bir inceleme: Faydalar, riskler ve Türk kamu yönetimi bağlamında çıkarımlar. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34*(Özel Sayı), 538–563. https://doi.org/10.35379/cusosbil.1691552

Barth, T., ve Arnold, E. (1999). Artificial intelligence and administrative discretion: Implications for public administration. American Review of Public Administration, 29(4), 332–351.

Bazerman, M., ve Moore, D. (2009). Judgment in managerial decision making. Courier/Westford.

Beer, D. (2017). The social power of algorithms. Information, Communication ve Society, 20(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1216147

Bilici, G., ve Pekküçükşen, Ş. (2022). Yeni kamu (yönetimi, işletmeciliği, hizmeti). KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 24(43), 655–669.

Bovens, M. (2007). Analysing and assessing accountability: A conceptual framework. European Law Journal, 13, 447–468. https://doi.org/10.1111/j.1468-0386.2007.00378.x

Çalışkan, A. S. (2026). Yapay zekâ ve küresel noopolitik düzen: Algoritmik yönetişim, BM ve NOOPOLITICUS. Divan: Disiplinlerarası Çalışmalar Dergisi, 31(60), 41–65. https://doi.org/10.20519/divan.1489047

Çevikbaş, R. (2012). Yeni kamu yönetimi anlayışı ve Türkiye uygulamaları. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 1(1), 9–32.

Demirel, D. (2006). E-devlet ve dünya örnekleri. Sayıştay Dergisi, (61), 83–118. Erişim tarihi 05 Mayıs 2026, https://izlik.org/JA93YN46ZL

Efe, A. (2022). Yapay zekâ ortamındaki dijital kamu yönetiminin yol haritası. Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi, 1(4), 99–130. https://www.ibm.com/watson

Engin, Z., ve Treleaven, P. (2019). Algorithmic government: Automating public services and supporting civil servants in using data science technologies. The Computer Journal, 62(3), 448–460. https://doi.org/10.1093/comjnl/bxy082

Eryılmaz, B. (2013). Bürokrasi ve siyaset: Bürokratik devletten etkin yönetime (5. baskı). Alfa Yayınları.

Goldsmith, S., ve Yang, J. (2026). AI and the transformation of accountability and discretion in urban governance. Urban Governance. https://doi.org/10.1016/j.ugj.2026.02.005

Güler, B. A. (2005). Kamu personeli: Sistem ve yönetim. İmge Kitabevi.

Haesevoets, T., Verschuere, B., Van Hiel, A., ve Roets, A. (2026). Public servants' attitudes toward the use of artificial intelligence in policymaking: An experimental study. Government Information Quarterly, 43(2), Article 102134. https://doi.org/10.1016/j.giq.2026.102134

Jacob, V., Moore, J., ve Whinston, A. (1988). Artificial intelligence and the management science practitioner: Rational choice and artificial intelligence. Interfaces, 18(4), 24–35.

Lipsky, M. (2010). Street-level bureaucracy: Dilemmas of the individual in public service. Russell Sage Foundation.

Önder, M., ve Saygılı, H. (2018). Yapay zekâ ve kamu yönetimine yansımaları. Türk İdare Dergisi, 2(487), 629–670.

Özer, M. A. (2013). Weber'in bürokrasisi karşısında yönetimde yeniden yapılandırma. Global Journal of Economics and Business Studies Küresel İktisat ve İşletme Çalışmaları Dergisi, (4), 43–57. https://www.gjebs.com

Saylam, A. (2022). E-devlet kavramının dijital devlet ve elektronik/dijital yönetişim kavramları ekseninde değerlendirilmesi. 3. Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 3, 2130–2149. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.22.09.1887

Sözen, S. (2005). Teori ve uygulamada yeni kamu yönetimi. Seçkin Yayıncılık.

Şataf, C., Çiçek, H. G., ve Dikmen, S. (2014). Kamu hizmetlerinin sunulmasında e-devlet uygulamalarının toplumsal algı düzeyi üzerine ampirik bir çalışma. Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi, 9(2), 1–14.

Temür, N. (2010). E-devlet kamu hizmetlerinde vatandaş memnuniyeti. Türkiye Noterler Birliği Yayınları.

Tuncer, A., ve Usta, S. (2013). İki kriz arasında yönetim: Yeni kamu işletmeciliği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (30), 181–195.

Wang, S., Zhang, Y., Xiao, Y., ve Liang, Z. (2026). Perceived discretion, felt accountability, and gender representation: The impact of artificial intelligence on street-level bureaucracy. Government Information Quarterly, Article 102140. https://doi.org/10.1016/j.giq.2026.102140

Yolcu, F. S., ve Ozan, M. S. (2024). Teknoloji tabanlı karar alma modeli olarak yapay takdir yetkisi: Türk kamu yönetimi için bir değerlendirme. Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(2), 165–183. https://doi.org/10.33399/biibfad.1572770

https://doi.org/10.71284/asc.2026155

KÜRESEL ENERJİ JEOPOLİTİĞİNDE HÜRMÜZ BOĞAZI: POLİTİK GÜÇ, ENERJİ DİPLOMASİSİ VE JEOSTRATEJİK ETKİLER

THE STRAIT OF HORMUZ IN GLOBAL ENERGY GEOPOLITICS: POLITICAL POWER, ENERGY DIPLOMACY, AND GEOSTRATEGIC IMPACTS

Murat Cihangir[1]
Muhammed Yunus Sevinç[2]

Özet

Enerji kaynaklarının küresel ölçekte taşınması, uluslararası politik dengelerin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Özellikle stratejik deniz geçiş noktaları, yalnızca ticari ve ekonomik anlamda değil, aynı zamanda politik güç ve jeopolitik nüfuz açısından da kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda Hürmüz Boğazı, dünya enerji ticaretinin önemli bir bölümünün geçtiği ve bölgesel güç rekabetinin yoğunlaştığı stratejik bir su yolu olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji piyasasındaki rolü, bölgesel ve küresel politik güç dengeleri üzerindeki etkisi ve enerji diplomasisi açısından taşıdığı stratejik önem analiz edilmiştir. Çalışmada literatür taraması ve ikincil veri analizi yöntemi kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre Hürmüz Boğazı, enerji arz güvenliğinin yanı sıra bölgesel güç dengeleri ve küresel enerji politikalarının belirlenmesinde önemli bir jeopolitik araç niteliği taşımaktadır. Sonuç olarak, Hürmüz Boğazı'nın yalnızca enerji geçiş noktası değil, aynı zamanda küresel politik güç mücadelesinin merkezinde yer alan stratejik bir unsur olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hürmüz boğazı, enerji jeopolitiği, enerji güvenliği, politik güç, enerji diplomasisi, stratejik deniz geçişleri.

Abstract

The global transportation of energy resources plays a significant role in shaping international political balances. Strategic maritime chokepoints, in particular, are of critical importance not only in commercial and economic terms but also in terms of political power and geopolitical influence. In this context, the Strait of Hormuz stands out as a strategic waterway through which a significant portion of global energy trade passes and where regional power competition intensifies. This study analyzes the Strait of Hormuz's role in the global energy market, its impact on regional and global political power balances, and its strategic importance in terms of energy diplomacy. The study employs a literature review and secondary data analysis methodology. According to the research findings, the Strait of Hormuz serves as a significant geopolitical tool not only for energy supply security but also in determining regional power balances and global energy policies. Consequently, it has been concluded that the Strait of Hormuz is not merely an energy transit point but also a strategic element at the center of global political power struggles.

Keywords: Strait of hormuz, energy geopolitics, energy security, political power, energy diplomacy, strategic maritime chokepoints.

[1] Doç. Dr., Batman Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Uluslararası İlişkiler Bölümü, muratscihangir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9301-422X

[2] Yüksek Lisans Mezunu, Siirt Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Bölgesel Kalkınma İktisadı; myunussevinc@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2601-0867

GİRİŞ

Küreselleşme süreciyle birlikte enerji güvenliği, uluslararası ilişkiler ve küresel ekonomik istikrar açısından en önemli stratejik konulardan biri haline gelmiştir. Özellikle petrol ve doğal gaz gibi stratejik enerji kaynaklarının üretim bölgelerinden tüketim merkezlerine taşınması, uluslararası ticaretin sürdürülebilirliği ve küresel ekonomik dengelerin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda enerji taşımacılığında kullanılan deniz yolları ve stratejik boğazlar, küresel enerji jeopolitiğinin merkezinde yer almaktadır.

Deniz taşımacılığı, enerji kaynaklarının taşınmasında en ekonomik ve en yaygın kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır. Dünya ticaretinin yaklaşık %80'inin deniz yoluyla gerçekleşmesi, stratejik deniz geçiş noktalarının küresel ekonomi açısından önemini artırmaktadır. Özellikle dar boğazlar ve stratejik deniz geçitleri, enerji arz güvenliğinin sürekliliği açısından kritik rol oynamaktadır. Bu kapsamda Hürmüz Boğazı, Malakka Boğazı, Süveyş Kanalı ve Babülmendep Boğazı gibi stratejik geçiş noktaları, küresel enerji ticaretinin en önemli dar boğazları olarak değerlendirilmektedir.

Ortadoğu bölgesi, dünya petrol rezervlerinin yaklaşık yarısına sahip olması nedeniyle küresel enerji piyasasında merkezi bir rol oynamaktadır. Bu çerçevede Basra Körfezi'ni Umman Körfezi ve Hint Okyanusu'na bağlayan Hürmüz Boğazı, dünya enerji ticaretinin en kritik geçiş noktalarından biri olarak öne çıkmaktadır. Güncel verilere göre, dünya petrol ticaretinin yaklaşık %20'si ve deniz yoluyla taşınan petrolün önemli bir bölümü Hürmüz Boğazı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ayrıca küresel LNG ticaretinin önemli bir kısmı da bu boğazdan geçmektedir. Bu durum, Hürmüz Boğazı'nın yalnızca bölgesel değil küresel enerji güvenliği açısından da stratejik önemini ortaya koymaktadır.

Hürmüz Boğazı'nın önemi yalnızca enerji taşımacılığı ile sınırlı değildir. Boğaz, aynı zamanda küresel güç rekabetinin yoğunlaştığı stratejik bir bölge olarak dikkat çekmektedir. ABD, İran, Çin, Körfez ülkeleri ve Avrupa Birliği gibi aktörler, enerji güvenliği ve ticaretin sürekliliği açısından Hürmüz Boğazı'nı yakından takip etmektedir. Özellikle bölgesel gerilimler ve askeri çatışmalar, boğazın küresel enerji piyasası üzerindeki etkisini daha da artırmaktadır. Nitekim Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2026 yılı raporuna göre, Hürmüz Boğazı'nda yaşanabilecek bir aksama, küresel enerji arzında ciddi daralmaya ve petrol fiyatlarında önemli artışlara yol açabilecek riskler barındırmaktadır.

Bu bağlamda Hürmüz Boğazı, yalnızca enerji taşımacılığı açısından değil, aynı zamanda politik güç ve enerji diplomasisi açısından da önemli bir jeopolitik unsur olarak değerlendirilmektedir. Bölgesel aktörlerin boğaz üzerindeki politikaları, küresel enerji fiyatlarını ve ekonomik dengeleri doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji jeopolitiği içerisindeki rolünün analiz edilmesi, uluslararası ilişkiler ve enerji güvenliği açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji piyasasındaki rolünü, politik güç dengeleri üzerindeki etkisini ve enerji diplomasisi açısından stratejik önemini analiz etmektir. Bu doğrultuda çalışmada literatür taraması ve ikincil veri analizi yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma kapsamında, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji güvenliği üzerindeki etkileri, bölgesel aktörlerin politik stratejileri ve boğazın jeostratejik önemi ele alınmaktadır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Hürmüz Boğazı'nın stratejik önemi üzerine yapılan çalışmalar, genellikle enerji güvenliği ve jeopolitik riskler üzerine yoğunlaşmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, boğazın politik güç unsuru olarak rolüne daha fazla dikkat çekmektedir.

Marine Policy dergisinde yayımlanan bir başka çalışmada, Hürmüz Boğazı'nın dar yapısı ve yüksek tanker yoğunluğu nedeniyle küresel enerji güvenliği açısından kritik bir konumda olduğu vurgulanmaktadır. Çalışma, boğazın kapanması durumunda alternatif taşımacılık yollarının sınırlı olduğunu ve bu durumun

küresel enerji arzını olumsuz etkileyebileceğini ortaya koymaktadır (Cordesman, 2018, s. 41-45).

Shepard çalışmasında, Hürmüz Boğazı'nda meydana gelebilecek güvenlik risklerinin petrol fiyatlarında ani artışlara neden olabileceği üzerinde durmuştur. Çalışmada, jeopolitik gerilimlerin petrol piyasasında risk primi oluşturduğu ve bu durumun küresel enerji fiyatlarını doğrudan etkilediği ifade etmiştir (Shepard & Pratson, 2020).

Benzer şekilde Energy Economics dergisinde yayımlanan bir çalışmada, Hürmüz Boğazı'nda meydana gelebilecek güvenlik risklerinin petrol fiyatlarında ani artışlara neden olabileceği belirtilmektedir. Çalışmada, jeopolitik gerilimlerin petrol piyasasında risk primi oluşturduğu ve bu durumun küresel enerji fiyatlarını doğrudan etkilediği ifade edilmektedir (Baumeister & Kilian, 2016, s. 12-18).

Oxford Economics tarafından yapılan analizde, Hürmüz Boğazı'nın kapanması ya da ciddi biçimde aksaması durumunda küresel petrol arzının önemli ölçüde daralacağı ve Brent petrol fiyatlarının 100–120 dolar aralığına yükselebileceği belirtilmektedir. Çalışmada, özellikle Körfez ülkelerinin alternatif ihracat yollarının sınırlı olması nedeniyle Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji piyasasında kritik bir fiyat belirleyici unsur olduğu ifade edilmektedir (Economics, 2023, s. 4-6).

Journal of International Affairs dergisinde yayımlanan bir çalışmada, Hürmüz Boğazı'nın yalnızca enerji geçiş noktası değil, aynı zamanda küresel güç rekabetinin önemli merkezlerinden biri olduğu ifade edilmektedir. Çalışmada İran-ABD gerilimlerinin boğaz üzerinden küresel enerji piyasasına yansıdığı ve bu durumun enerji fiyatlarında oynaklığa neden olduğu belirtilmektedir (Fulton, 2019, s. 67-72).

Benzer şekilde Energy Strategy Reviews dergisinde yayımlanan Li ve Chen (2025) çalışmasında, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji arz güvenliğinde kritik rol oynadığı vurgulanmaktadır. Çalışmada, boğazda meydana gelebilecek bir aksamanın Asya enerji piyasalarını doğrudan etkileyebileceği ve küresel petrol fiyatlarında ciddi dalgalanmalara yol açabileceği belirtilmektedir (Wei & Yong, 2025, s. 100-110).

Ayrıca Energy Economics dergisinde yayımlanan 2024 tarihli çalışmada, jeopolitik risklerin petrol fiyatları üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve Orta Doğu kaynaklı krizlerin petrol piyasasında yüksek fiyat oynaklığına neden olduğu belirtilmiştir. Araştırma, Hürmüz Boğazı'nda yaşanabilecek bir aksamanın petrol fiyatlarını hızla yükseltebileceğini ortaya koymaktadır (Caldara, Iacoviello, & Molteni, 2024, s. 25-33).

Sonuç olarak literatür, Hürmüz Boğazı'nın bölgesel çatışmalar sırasında küresel enerji piyasasını doğrudan etkileyen stratejik bir darboğaz olduğunu ortaya koymaktadır. Boğazdaki aksama, üretim kesintileri, fiyat artışları ve enerji güvenliği riskleri üzerinden küresel ekonomik dengeleri etkileyebilmektedir. Derlenen veriler ve çalışmalar, Hürmüz Boğazı'nın yalnızca ekonomik değil aynı zamanda politik güç unsuru olduğunu göstermektedir.

2. KÜRESEL ENERJİ JEOPOLİTİĞİ VE STRATEJİK DENİZ GEÇİŞ NOKTALARI

Küresel enerji arz güvenliği, büyük ölçüde stratejik deniz geçiş noktalarının istikrarına bağlıdır. Hürmüz, Malakka ve Babülmendep gibi boğazlar, dünya petrol ve doğalgaz ticaretinin belirleyici akslarını oluşturmaktadır (Emerson C. & Stevens P., 2015) .Bu noktaların herhangi birinde meydana gelebilecek askerî çatışma, korsanlık veya siyasi istikrarsızlık, yalnızca bölgesel değil, küresel ölçekte enerji fiyat şoklarına ve arz kesintilerine yol açabilmektedir (Shepard & Pratson, 2020, s. 111-124).

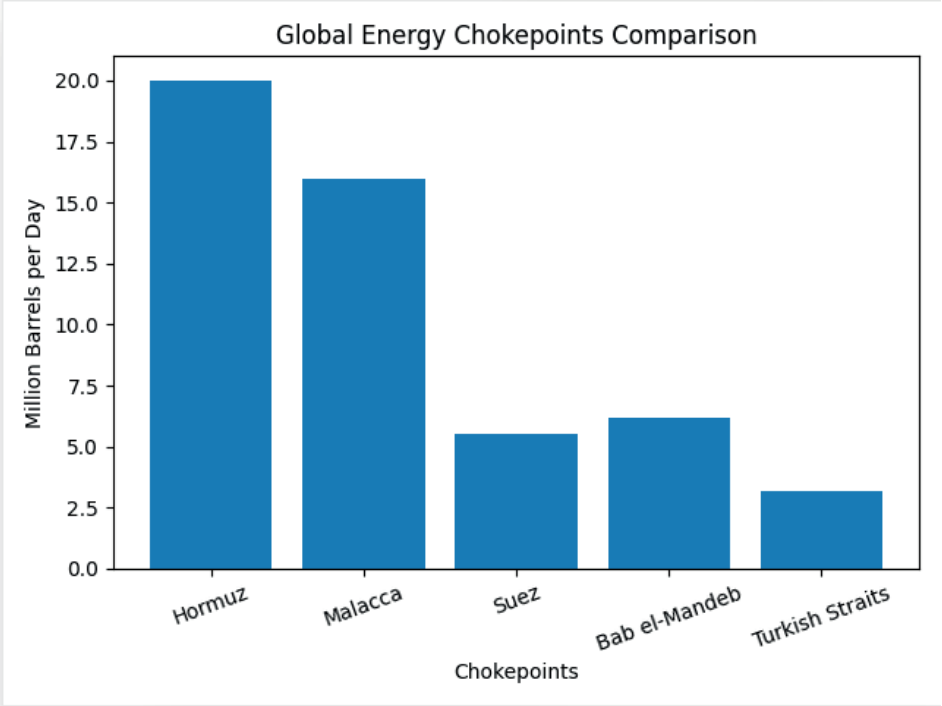
Enerji kaynaklarının taşınmasında kullanılan stratejik boğazlar, küresel politik dengelerin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, dünya enerji ticaretinde öne çıkan stratejik geçiş noktaları şunlardır:

- Hürmüz Boğazı
- Malakka Boğazı
- Süveyş Kanalı

- Babülmendep Boğazı
- Panama Kanalı
- Türk Boğazları

Bu geçiş noktaları, enerji arzının sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu boğazların kontrolü, devletlere önemli jeopolitik avantajlar sağlamaktadır.

Grafik 1. Küresel Enerji Geçiş Noktalarının Karşılaştırması



Kaynak: EIA, IEA, BP Statistical Review

Grafik verileri incelendiğinde küresel enerji ticaretinde kritik rol oynayan stratejik deniz geçiş noktalarının petrol taşımacılığı açısından karşılaştırmasını göstermektedir. Grafik incelendiğinde, Hürmüz Boğazı'nın yaklaşık 20 milyon varil/gün kapasite ile küresel enerji darboğazları arasında en kritik geçiş noktası olduğu görülmektedir. Bu durum, Basra Körfezi›nde üretilen petrolün büyük bölümünün dünya pazarlarına ulaşmasında Hürmüz Boğazı›nın merkezi rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Hürmüz Boğazı'nı yaklaşık 16 milyon varil/gün kapasite ile Malakka Boğazı takip etmektedir. Malakka Boğazı, özellikle Orta Doğu'dan Doğu Asya'ya yönelik enerji taşımacılığında önemli bir rol oynamakta olup Çin, Japonya ve Güney Kore gibi büyük enerji ithalatçısı ülkeler açısından stratejik önem taşımaktadır.

Babülmendep Boğazı ve Süveyş Kanalı ise sırasıyla yaklaşık 6,2 milyon varil/gün ve 5,5 milyon varil/gün petrol geçiş kapasitesine sahiptir. Bu iki geçiş noktası, Orta Doğu petrolünün Avrupa ve Akdeniz pazarlarına ulaştırılmasında kritik rol oynamaktadır. Özellikle Süveyş Kanalı'nın kapanması veya Babülmendep'te yaşanabilecek güvenlik riskleri, enerji taşımacılığında önemli aksamalara yol açabilmektedir.

Grafikte ayrıca Türk Boğazları'nın yaklaşık 3,2 milyon varil/gün petrol geçiş kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Türk Boğazları, özellikle Hazar ve Rusya kaynaklı petrolün dünya pazarlarına ulaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak kapasite açısından diğer küresel enerji darboğazlarına kıyasla daha sınırlı bir geçiş hacmine sahiptir.

Bu karşılaştırma, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji güvenliği açısından en kritik darboğaz olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Hürmüz Boğazı'nda yaşanabilecek herhangi bir güvenlik sorununun, diğer enerji darboğazlarına kıyasla küresel enerji piyasaları üzerinde çok daha büyük etkiler yaratabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle Hürmüz Boğazı, yalnızca bölgesel değil küresel enerji jeopolitiğinin merkezinde yer alan stratejik bir geçiş noktası olarak öne çıkmaktadır.

Son dönemde yapılan ağ analizi çalışmaları, bu geçiş noktalarının enerji denizyolu ağları içindeki sistemik rolünü nicel olarak ortaya koymuştur. Zhang vd. (2026), ham petrol taşımacılık ağları üzerinde gerçekleştirdikleri simülasyonlarda, kritik boğazların devre dışı kalması durumunda ağ bütünlüğünün ciddi oranda zayıfladığını ve bunun enerji güvenliğinde kademeli çöküş (cascading failure) riskini artırdığını göstermiştir. Bu bulgular, deniz geçiş noktalarının yalnızca coğrafi veya jeopolitik değil, aynı zamanda sistem mühendisliği ve enerji lojistiği açısından da yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

3. HÜRMÜZ BOĞAZI'NIN EKONOMİK VE POLITIK GÜÇ UNSURU OLARAK ROLÜ

Hürmüz Boğazı, küresel enerji piyasasında en kritik dar geçitlerden biri olarak kabul edilmektedir. Literatürde boğaz, genellikle "enerji darboğazı (energy chokepoint)" kavramı çerçevesinde ele alınmaktadır. Shepard (2020), Hürmüz Boğazı'nı küresel enerji ekonomisi açısından en önemli stratejik enerji geçiş noktası olarak tanımlamakta ve Basra Körfezi ülkelerinden ihraç edilen enerji kaynaklarının büyük bölümünün bu boğaz üzerinden taşındığını belirtmektedir. Bu nedenle, boğazda yaşanabilecek herhangi bir güvenlik sorununun küresel enerji ticaretini doğrudan etkileyebileceği ifade edilmektedir. Hürmüz Boğazı, Basra Körfezi›ni Umman Körfezi›ne bağlayan dar bir su yoludur. Boğazın kuzeyinde İran, güneyinde Birleşik Arap Emirlikleri ve Umman yer almaktadır. Boğazın stratejik önemini artıran faktörler şunlardır: Dünya petrol ticaretinin kilit noktası olması, LNG ticaretinde kritik öneme sahip olması, Körfez ülkelerinin alternatifsiz ihracat güzergâh olması, boğaza ikame ulaşım yollarının sınırlı olması Hürmüz Boğazı'nı küresel enerji jeopolitiğinin merkezine yerleştirmektedir (Shepard & Pratson, 2020, s. 32-35).

Hürmüz Boğazı üzerine literatürde, büyük ölçüde ekonomik, stratejik ve politik enerji darboğazı (energy chokepoint) olarak incelenmiştir. Güncel veriler, boğazın önemini nicel olarak da ortaya çıkarmaktadır. Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji piyasası açısından önemi, özellikle bölgesel çatışma dönemlerinde daha belirgin hale gelmektedir. 2025'te Hürmüz'den geçen petrol akışı günlük ortalama 20 milyon varil düzeyindedir; bu miktar küresel petrol sıvıları tüketiminin yaklaşık %20'sine, küresel deniz yoluyla taşınan petrol ticaretinin ise dörtte birinden fazlasına karşılık gelmektedir. Ayrıca küresel LNG ticaretinin yaklaşık beşte biri de bu güzergahtan geçmektedir. Bu nedenle literatürde Hürmüz, yalnızca coğrafi bir geçiş noktası değil, küresel enerji fiyatlaması ve arz güvenliği üzerinde belirleyici bir düğüm olarak değerlendirilmektedir (IEA, Oil Market Report, 2026, s. 14-15).

Hürmüz Boğazı, küresel güç rekabetinin yoğunlaştığı bölgelerden biridir. Bu rekabetin başlıca aktörleri ABD, İsrail, İran, Çin, Körfez Ülkeleri ve Avrupa Birliği şeklindedir. Bu aktörler, enerji güvenliği ve ticaret güvenliği açısından bölgedeki gelişmeleri yakından takip etmektedir. Körfez ülkeleri, enerji ihracatının sürekliliğini sağlamak amacıyla bölgesel iş birliği politikaları geliştirmektedir. ABD, küresel enerji güvenliğini sağlamak amacıyla bölgede askeri varlığını sürdürmektedir. Çin, enerji bağımlılığı nedeniyle bölgedeki politik gelişmelerle yakından ilgilenmektedir. Özellikle İran açısından değerlendirildiğinde İran, Hürmüz Boğazı›nın kuzey kıyısında yer alması nedeniyle önemli bir jeopolitik avantaj elde etmektedir. Bu durum İran'a enerji taşımacılığı üzerinde dolaylı kontrol imkânı sağlamaktadır. Dolayısıyla İran, zaman zaman boğaz üzerindeki kontrolünü diplomatik baskı unsuru olarak kullanmaktadır. ABD-İsrail ve İran çatışması nedeniyle Uluslararası Enerji Ajansına göre enerji piyasasındaki gelişmeler küresel enerji güvenliği açısından "Büyük Ölçekli Arz Şoku" olarak değerlendirmiştir. Bu durum, bölgesel güç dengelerini etkileyebilmektedir. Körfez ülkelerinin ihracat yapamaması nedeniyle üretim kesintilerine gitmesi, küresel enerji piyasasında arz daralması ve fiyat oynaklığı riskini artırmıştır (IEA, Oil Market Report, 2026, s. 18-20).

Hürmüz Boğazı, küresel enerji fiyatları ve ekonomik dengeler üzerinde önemli etkilere sahiptir. Boğaz üzerindeki politik gerilimler: Petrol fiyatlarını, Enerji arz güvenliğini ve Küresel ticareti etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Bu durum, Hürmüz Boğazı'nın politik güç unsuru olarak önemini artırmaktadır. Goldman Sachs tarafından yayımlanan enerji piyasası analizinde İran ile Batı ülkeleri arasındaki gerilimlerin artması halinde Hürmüz Boğazı'nda oluşabilecek risklerin petrol fiyatlarını 120 dolar seviyesine yaklaştırabileceği öngörülmektedir. Bu analiz, boğazın küresel enerji piyasasında stratejik bir darboğaz olduğunu ve jeopolitik risklerin fiyat dalgalanmaları üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır (Sachs, 2022, s. 2-3).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) verilerine göre, ABD-İsrail ve İran arasındaki gerilim ve çatışma sürecinde tanker geçişlerinin durma noktasına gelmesi, alternatif ihracat güzergâhlarının sınırlı olması nedeniyle Körfez ülkelerinin üretimi azaltmasına neden olmuş ve küresel petrol piyasasında ciddi dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji piyasasında yalnızca bir geçiş noktası değil, aynı zamanda enerji fiyatlarının belirlenmesinde kritik bir jeopolitik unsur olduğunu göstermektedir (IEA, Oil Market Report, 2026, s. 14-18).

IEA Mart 2026 tarihli Petrol Piyasası Raporu, Orta Doğu'da başlayan çatışmaların Hürmüz Boğazı üzerinden gerçekleştirilen enerji taşımacılığını ciddi biçimde aksattığını ortaya koymaktadır. Rapora göre, tanker geçişlerinin normale dönmemesi durumunda Körfez ülkelerinde günlük yaklaşık 7,9 milyon varil ham petrol ve toplamda 9,9 milyon varil sıvı yakıt üretiminin geçici olarak askıya alınabileceği öngörülmektedir. Bu durum, küresel enerji arzında ciddi bir daralma riskine işaret etmektedir (IEA, Middle East supply disruptions and Strait of Hormuz developments., 2026).

Tablo 1. Hürmüz Boğazı›ndan Geçen Petrol Akışı (2020–2026)

Yıl	Günlük Petrol Akışı (Milyon Varil/Gün)	Küresel Pay (%)	Kaynak
2020	18.5	~18%	EIA
2021	19.0	~19%	EIA
2022	20.5	~20%	EIA
2023	20.2	~20%	EIA
2024	20.0	~20%	EIA
2025	20.1	~20%	IEA / EIA
2026	19.8	~19-20%	IEA 2026

Kaynak: 2025–2026 IEA Mart 2026 raporu

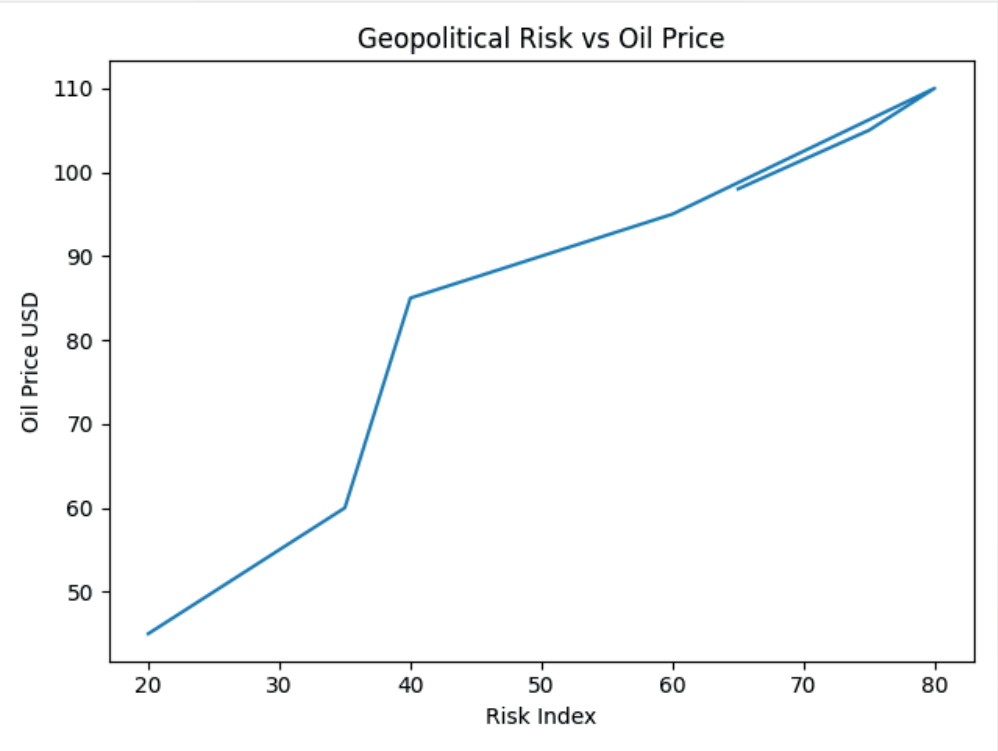
Not: LNG geçiş oranı: %18-21 arası, Deniz yoluyla petrol ticareti payı: %25-30 arası

Tablo verileri incelendiğinde, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji taşımacılığı açısından kritik önemini koruduğu görülmektedir. 2020–2026 döneminde boğazdan geçen günlük petrol miktarının yaklaşık 18,5–20,5 milyon varil aralığında seyrettiği dikkat çekmektedir. Özellikle 2022 yılında günlük 20,5 milyon varil ile en yüksek seviyeye ulaşan petrol akışı, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji ticaretindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. 2024–2026 döneminde ise petrol geçiş miktarının yaklaşık 20 milyon varil/gün seviyesinde istikrarlı bir görünüm sergilediği görülmektedir. Bu durum, küresel enerji talebindeki dalgalanmalara ve bölgesel jeopolitik risklere rağmen Hürmüz Boğazı'nın enerji arz güvenliği açısından vazgeçilmez bir geçiş noktası olmaya devam ettiğini göstermektedir.

Tablodaki veriler ayrıca Hürmüz Boğazı'nın küresel petrol tüketiminin yaklaşık %19–20'sine karşılık geldiğini ortaya koymaktadır. Bu oran, boğazın yalnızca bölgesel değil küresel enerji piyasasında da kritik bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte küresel LNG ticaretinin yaklaşık %18–21'inin ve deniz yoluyla taşınan petrol ticaretinin yaklaşık %25–30'unun bu boğazdan geçmesi, Hürmüz Boğazı'nın enerji darboğazı olarak tanımlanmasının temel nedenlerinden biridir. 2025–2026 döneminde Orta Doğu'da

artan jeopolitik gerilimler ve enerji güvenliği tartışmaları dikkate alındığında, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji fiyatları üzerinde belirleyici rol oynamaya devam ettiği görülmektedir. Özellikle Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2026 yılı raporuna göre, boğazda yaşanabilecek herhangi bir aksama durumunda küresel petrol arzında ciddi daralma ve fiyat oynaklığı riskinin ortaya çıkabileceği belirtilmektedir. Bu durum, Hürmüz Boğazı'nın yalnızca bir enerji geçiş noktası değil, aynı zamanda küresel enerji jeopolitiğinde stratejik bir güç unsuru olduğunu göstermektedir (IEA, Middle East supply disruptions and Strait of Hormuz developments., 2026).

Grafik 2. Jeopolitik risk artışı ve petrol fiyatları arasındaki ilişkisi



Kaynak: IEA, World Bank Energy Data

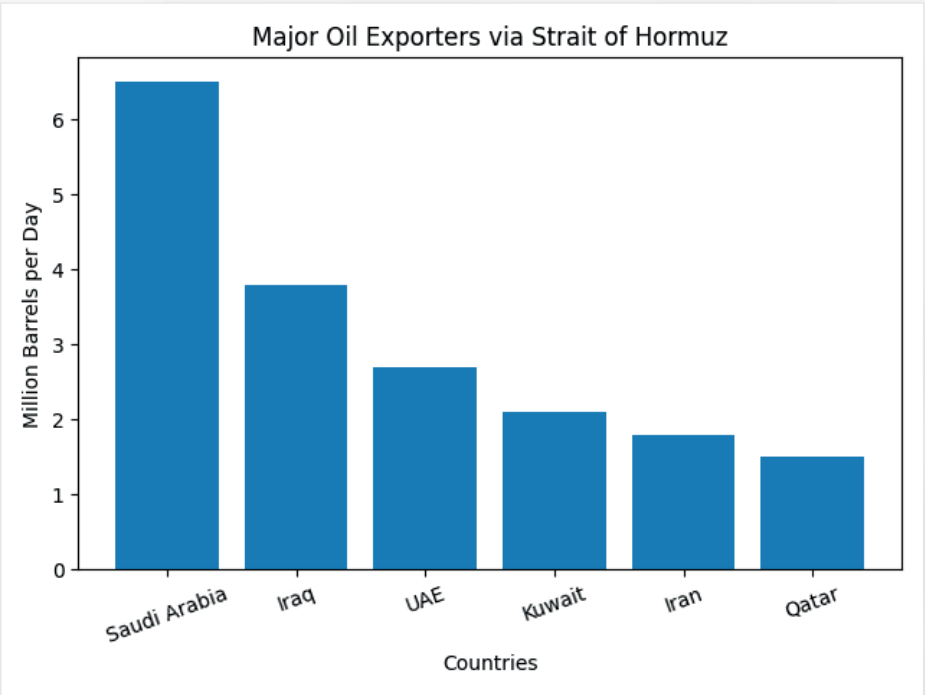
Not: Jeopolitik risk seviyesindeki artış, petrol arzına yönelik belirsizlikleri artırarak petrol fiyatlarında yükselişe neden olmaktadır. Bu durum, Hürmüz Boğazı gibi stratejik enerji darboğazlarının küresel enerji piyasası üzerindeki etkisini güçlendirmektedir.

jeopolitik risk seviyesindeki artış ile petrol fiyatları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafik incelendiğinde, jeopolitik risklerin arttığı dönemlerde petrol fiyatlarının da yükselme eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu durum, enerji piyasalarının politik ve güvenlik gelişmelerine karşı son derece hassas olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Orta Doğu bölgesinde yaşanan çatışmalar, siyasi gerilimler ve enerji arzına yönelik tehditler, petrol piyasasında arz güvenliği endişelerini artırmaktadır. Bu tür gelişmeler, enerji arzında kesinti ihtimalini gündeme getirerek petrol fiyatlarında yukarı yönlü baskı oluşturmaktadır. Grafik, düşük jeopolitik risk seviyelerinde petrol fiyatlarının daha istikrarlı ve görece düşük seviyelerde seyrettiğini, risk seviyesinin artmasıyla birlikte petrol fiyatlarının hızlı biçimde yükseldiğini göstermektedir.

Bu durum özellikle Hürmüz Boğazı gibi stratejik enerji darboğazlarının önemini daha da artırmaktadır. Çünkü bu bölgede yaşanabilecek bir güvenlik riski, küresel petrol arzının önemli bir bölümünü doğrudan etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Nitekim geçmişte İran-ABD gerilimleri, Körfez bölgesindeki askeri hareketlilikler ve tanker saldırıları gibi gelişmeler, petrol fiyatlarında ani artışlara neden olmuştur. Bu

durum, jeopolitik risklerin petrol piyasasında "risk primi" oluşturduğunu göstermektedir. Grafikte görülen eğilim, enerji piyasalarının yalnızca arz-talep dengesiyle değil, aynı zamanda jeopolitik gelişmelerle de şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle enerji güvenliği ve jeopolitik istikrar, küresel enerji fiyatlarının belirlenmesinde önemli faktörler arasında yer almaktadır. Sonuç olarak, jeopolitik risklerin artması durumunda petrol fiyatlarının yükselme eğilimi göstermesi, Hürmüz Boğazı gibi stratejik enerji geçiş noktalarının küresel enerji piyasası üzerindeki etkisini daha da belirgin hale getirmektedir.

Grafik 3. Hürmüz Boğazı üzerinden petrol ihracatı yapan başlıca ülkeler



Kaynak: EIA (2024); IEA (2025, 2026); BP Statistical Review (2024)

Şekil verileri incelendiğinde Hürmüz Boğazı üzerinden petrol ihracatı gerçekleştiren başlıca ülkelerin günlük ihracat miktarlarını göstermektedir. Grafik incelendiğinde, Suudi Arabistan'ın yaklaşık 6,5 milyon varil/gün ile Hürmüz Boğazı üzerinden en fazla petrol ihracatı gerçekleştiren ülke olduğu görülmektedir. Suudi Arabistan›ı sırasıyla Irak, Birleşik Arap Emirlikleri ve Kuveyt takip etmektedir.

Grafikte ayrıca İran ve Katar'ın da Hürmüz Boğazı üzerinden önemli miktarda enerji ihracatı gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu durum, Basra Körfezi'nde yer alan enerji üreticisi ülkelerin büyük ölçüde Hürmüz Boğazı'na bağımlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle alternatif boru hattı seçeneklerinin sınırlı olması, bu ülkelerin enerji ihracatında Hürmüz Boğazı'nı kritik bir geçiş noktası haline getirmektedir. Bu dağılım, Hürmüz Boğazı'nda yaşanabilecek herhangi bir güvenlik sorununun yalnızca tek bir ülkeyi değil, küresel petrol arzının önemli bölümünü etkileyebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla Hürmüz Boğazı, küresel enerji arz güvenliği açısından kritik bir stratejik enerji darboğazı olarak değerlendirilmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji jeopolitiği içindeki konumu, yalnızca coğrafi bir geçiş güzergâhı olmanın çok ötesinde, politik güç mücadelesinin, enerji diplomasisinin ve jeostratejik rekabetin kesiştiği bir eksen niteliği taşımaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, boğazın yıllık ortalama 20 milyon varil/gün civarında seyreden petrol akışı ve küresel LNG ticaretindeki yaklaşık beşte birlik payıyla, dünya enerji sisteminin en kırılgan fakat aynı zamanda en işlevsel darboğazlarından biri olduğunu teyit etmektedir.

Elde edilen veriler, Hürmüz Boğazı'nın yalnızca bir enerji koridoru değil, aynı zamanda bölgesel ve küresel aktörler için bir nüfuz aracı olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Özellikle İran'ın boğazın kuzey kıyısındaki coğrafi konumu, bu ülkeye uluslararası enerji krizleri sırasında dolaylı bir veto kapasitesi kazandırmaktadır. Bu durum, İran-ABD gerilimlerinin veya İsrail ile olası çatışma ortamlarının, boğazın güvenliğini doğrudan tehdit eden unsurlar olarak öne çıkmasına neden olmaktadır. Nitekim Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2026 yılı raporunda, bu tür gerilimlerin "büyük ölçekli arz şoku" riskini tetikleyebileceği açıkça ifade edilmektedir.

Boğazın jeopolitik kırılganlığı, yalnızca askerî çatışma veya korsanlık gibi doğrudan tehditlerle sınırlı değildir. Aynı zamanda enerji piyasalarındaki risk primi mekanizması aracılığıyla, boğaza yönelik herhangi bir güvenlik algısı dahi petrol fiyatlarında ani ve spekülatif yükselişlere yol açabilmektedir. Çalışmada yer alan jeopolitik risk-fiyat ilişkisi grafiğinin de gösterdiği üzere, özellikle 2022 sonrası dönemde artan bölgesel gerilimler, Brent petrol fiyatlarında kalıcı bir yukarı yönlü baskı oluşturmuştur.

Hürmüz Boğazı'na bağımlılık, özellikle Suudi Arabistan, Irak, BAE ve Kuveyt gibi Basra Körfezi üreticileri için stratejik bir zafiyet alanı yaratmaktadır. Bu ülkelerin alternatif ihracat güzergâhlarının (örneğin boru hatları) yetersizliği, boğazın kapanması durumunda üretim kesintilerine gitmek zorunda kalabileceklerini göstermektedir. Bu senaryo, yalnızca bölgesel değil, küresel enerji arzında ciddi bir daralmaya ve fiyat şoklarına neden olabilecek potansiyele sahiptir

Hürmüz Boğazı, küresel enerji güvenliği ve politik güç dengeleri açısından kritik bir konumdadır. Bölgesel aktörler, bu stratejik geçiş noktasını politik nüfuz aracı olarak kullanmaktadır. Bu bağlamda:

- Enerji diplomasisi güçlendirilmelidir
- Bölgesel iş birliği artırılmalıdır
- Alternatif enerji koridorları geliştirilmelidir
- Deniz güvenliği artırılmalıdır

KAYNAKÇA

Baumeister, C., & Kilian, L. (2016). Forty Years of Oil Price Fluctuations: Why the Price of Oil May Still Surprise Us. *Energy Economics, 30*(1), 1-20.

Caldara, D., Iacoviello, M., & Molteni, F. (2024). Geopolitical risks and oil price volatility. *Energy Economics, 118*, 25-33.

Cordesman, A. (2018). The strategic importance of the Strait of Hormuz and energy security. *Marine Policy, 95*, 39-46.

Economics, O. (2023). Iran and the Strait of Hormuz: Risks to global energy prices. *Oxford Economics*, 4–6.

Emerson C., & Stevens P. (2015). *Maritime choke points and the global energy system: Charting a way forward.* Londra: Chatham House. https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/field/field_document/20150908MaritimeChokePointsEmmersonStevens.pdf adresinden alındı

Fulton, J. (2019). China's changing role in the Persian Gulf: Implications for the Strait of Hormuz. *Journal of International Affair, 73*(1), 65–82.

IEA. (2026). *Middle East supply disruptions and Strait of Hormuz developments.* Paris: nternational Energy Agency.

IEA. (2026). *Oil Market Report.* Paris: International Energy Agency.

Sachs, G. (2022). *Oil Market Risk Scenario: Strait of Hormuz Disruption.* Goldman Sachs .

Shepard, & Pratson. (2020). Maritime piracy in the Strait of Hormuz and implications of energy export security. *Energy Policy, 140*, 111-124.

Shepard, J. U., & Pratson, L. (2020). Maritime piracy in the Strait of Hormuz and implications for global energy markets. *Energy Policy*.

Wei, L., & Yong, C. (2025). Strategic maritime chokepoints and global energy security: The Strait of Hormuz case. *Energy Strategy Reviews, 56*, 100-110.

Zhang, L., Su, W., Liao, S., & Wang, S. (2026). Enhancing energy security through multi-scale network analysis: robustness in global crude oil shipping–trade networks. Reliability Engineering & System Safety, 265, 110-125.

https://doi.org/10.71284/asc.2026156

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA DİJİTALLEŞME VE EKONOMİK BELİRSİZLİK: TÜRKİYE'DE DOĞRUSAL OLMAYAN ETKİLER, KURUMSAL YAPI VE İNSAN FAKTÖRÜ

DIGITALIZATION AND ECONOMIC UNCERTAINTY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NONLINEAR EFFECTS, INSTITUTIONAL STRUCTURE, AND THE HUMAN FACTOR IN TÜRKİYE

Ömer Uğur Bulut[1]

Özet

Çalışma, yapay zekâ kullanımının hız kazandığı ve dijital dönüşümün yaygınlaştığı 2000'li yıllarda dijitalleşme ve kurumsal yapının ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisini Türkiye örneğinde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, belirsizlik yalnızca ekonomik bir değişken olarak değil, bireylerin beklenti, risk algısı ve karar alma süreçlerini etkileyen çok boyutlu bir olgu olarak ele alınmaktadır. Dijitalleşmeyi temsil etmek üzere internet, mobil ve sabit altyapı göstergelerinden oluşturulan bir dijitalleşme endeksi (ICT), kurumsal yapıyı temsil etmek üzere ise yönetişim göstergelerine dayalı bir kurumsal kalite endeksi (INST) kullanılmıştır. Otoregresif Gecikmesi Dağıtılmış (ARDL) modeliyle gerçekleştirilen ampirik analizde, insan boyutunu dikkate almak ve tahmin gücünü artırmak amacıyla insani gelişmişlik endeksi (HDI) modele eklenmiş, ayrıca dijitalleşmenin doğrusal olmayan etkilerini yakalayabilmek için ICT değişkeninin karesi (ICT^2) modele dâhil edilmiştir. Bulgular, dijitalleşmenin belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Uzun dönem katsayıları, ICT ve ICT^2 değişkenleri sırasıyla 0.15 ve 0.05 düzeyinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu durum, dijitalleşme arttıkça belirsizliğin artan bir hızla yükseldiğine (artan marjinal etki/konveks ilişki) işaret etmektedir. Ayrıca, hesaplanan eşik değerin (-1.48) örneklem aralığı dışında kalması, ilişkinin incelenen dönemde sürekli ve artan bir yapı sergilediğini teyit etmektedir. Diğer taraftan, INST ve HDI değişkenlerine ait uzun dönem katsayıları sırasıyla -0.39 ve -1.11 olup negatif ve istatistiksel açıdan anlamlıdır. Kısa dönem bulguları, dijitalleşmenin etkisinin dalgalı ve doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini, kurumsal kalitenin kısa dönemde belirsizliği azaltıcı etkisini sürdürdüğünü, insan faktörünün ise etkisinin gecikmeli olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Dijital dönüşüm sürecinin yarattığı bilgi yoğunluğu, hız ve öngörülemezlik algısı, belirsizliği derinleştiren temel mekanizmalar arasında öne çıkmaktadır. Buna karşılık, kurumsal kalite ve insani gelişmişlik düzeyindeki artışın belirsizliği azaltıcı yönde etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, dijitalleşme uzun dönemde belirsizliği artırırken, güçlü kurumsal yapı ve gelişmiş insan sermayesi bu etkiyi dengeleyici rol üstlenmektedir. Kurumsal kaliteyi güçlendiren ve insan sermayesini geliştiren politikalar, dijitalleşmenin belirsizlik artırıcı etkilerini sınırlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, ekonomik belirsizlik, ICT, kurumsal kalite, insani gelişmişlik.

[1]Doç. Dr., Kafkas Üniversitesi, bulut.o.u@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6511-8187

Abstract

This study aims to examine the impact of digitalization and institutional structure on economic uncertainty in Türkiye during the 2000s, a period marked by the acceleration of artificial intelligence and the widespread diffusion of digital transformation. In this context, uncertainty is considered not only as an economic variable but also as a multidimensional phenomenon affecting individuals' expectations, risk perceptions, and decision-making processes. To represent digitalization, a composite ICT index is constructed using internet usage, mobile subscriptions, and fixed-line infrastructure indicators, while institutional structure is proxied by a governance-based institutional quality index (INST). Within the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) framework, the Human Development Index (HDI) is incorporated to account for the human dimension and to enhance the explanatory power of the model, and the squared term of ICT (ICT^2) is included to capture nonlinear effects. The findings reveal that the impact of digitalization on uncertainty is nonlinear. Long-run coefficients indicate that ICT and ICT^2 are positive and statistically significant (0.15 and 0.05, respectively), suggesting that uncertainty increases at an increasing rate as digitalization expands (convex relationship). Moreover, the calculated threshold value (-1.48) lies outside the sample range, implying a continuously increasing relationship over the period. In contrast INST and HDI exhibit negative and significant long-run effects (-0.39 and -1.11), indicating their mitigating role on uncertainty. Short-run results show that the impact of digitalization is volatile and nonlinear, while institutional quality continues to reduce uncertainty and the effect of human development emerges with a lag. Overall, digital transformation intensifies uncertainty through increased information intensity, speed, and unpredictability, whereas strong institutions and human capital act as stabilizing forces, and policies that strengthen institutional quality and enhance human capital can help mitigate the uncertainty-increasing effects of digitalization.

Keywords: Digitalization, economic uncertainty, ICT, institutional quality, human development.

GİRİŞ

2000'li yıllarda dijitalleşme, ekonomik ve toplumsal yapıları dönüştüren temel dinamiklerden biri haline gelmiştir. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, veri üretimi ve işleme kapasitesindeki artış ve dijital altyapıların yaygınlaşması, ekonomik süreçlerin işleyişini köklü biçimde değiştirmektedir (Nosova vd., 2021). Bu dönüşüm, işlem maliyetlerini azaltarak ve bilgiye erişimi kolaylaştırarak ekonomik etkinliği artırmakta; ancak aynı zamanda sistemlerin daha karmaşık ve birbirine bağımlı hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle dijitalleşme yalnızca büyüme ve verimlilik bağlamında değil, aynı zamanda ekonomik belirsizlik dinamiklerini etkileyen bir süreç olarak değerlendirilmelidir (Teng vd., 2023). Bu dönüşüm sürecinin en ileri aşamalarından biri ise yapay zekâdır.

Dijitalleşme sürecinin son aşamalarından biri olarak öne çıkan yapay zekâ, ekonomik yapının dönüşümünde belirleyici bir rol üstlenmektedir. Büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve algoritmik karar alma mekanizmaları sayesinde ekonomik süreçler daha hızlı, veri temelli ve otomatik hale gelmektedir (Goldfarb & Tucker, 2019). Bu gelişmeler, üretimden finansal piyasalara kadar geniş bir alanda verimlilik artışı sağlarken, aynı zamanda karar alma süreçlerinin doğasını da değiştirmektedir. Özellikle yapay zekâ destekli sistemlerin yaygınlaşması, bilgiye erişim ve işleme kapasitesini artırarak dijitalleşmenin kapsamını genişletmekte ve ekonomik faaliyetlerin daha karmaşık ve dinamik bir yapıya bürünmesine yol açmaktadır (Tao vd., 2025).

Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının dijitalleşme sürecine entegre edilmesi, ekonomik belirsizlik dinamikleri üzerinde yeni etkiler yaratmaktadır. Algoritmik karar alma süreçlerinin şeffaflık eksikliği, veri bağımlılığı ve teknolojik uyum maliyetleri, ekonomik aktörler açısından öngörülemezlik düzeyini artırabilmektedir. Ayrıca yapay zekâ temelli otomasyonun iş gücü piyasaları üzerindeki etkileri

ve hızlı teknolojik dönüşümün yarattığı uyum baskısı, belirsizliğin farklı boyutlarda ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Zsinkó, 2025). Bu çerçevede yapay zekâ, dijitalleşmenin yalnızca bir bileşeni değil, aynı zamanda ekonomik belirsizlik üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yaratan kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Ekonomik belirsizlik, yatırım kararları, finansal istikrar ve büyüme süreçleri üzerinde belirleyici etkiler yaratan çok boyutlu bir olgudur (Jurado vd., 2015). Dijitalleşmenin bu yapı üzerindeki etkisi ise literatürde net bir uzlaşıya sahip değildir. Bir grup çalışma, dijitalleşmenin şeffaflığı artırarak ve bilgi asimetrisini azaltarak belirsizliği düşürdüğünü ileri sürerken (Liu vd., 2025), diğer çalışmalar özellikle dijital dönüşümün erken aşamalarında uyum maliyetleri ve kurumsal yetersizlikler nedeniyle belirsizliğin artabileceğini göstermektedir (Jamil vd., 2023; Wan & Wu, 2025). Ayrıca dijital ekonominin gelişimiyle birlikte veri yoğunluğu, algoritmik karar alma ve platform ekonomileri, ekonomik aktörlerin karar alma süreçlerini daha karmaşık hale getirerek belirsizlik dinamiklerini yeniden şekillendirmektedir (Goldfarb & Tucker, 2019). Bu farklı bulgular, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal olmayabileceğine işaret etmektedir.

Dijitalleşme ve belirsizlik arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti, yalnızca dijitalleşme düzeyine değil, aynı zamanda kurumsal yapı ve insan sermayesi gibi yapısal faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Güçlü kurumsal yapıların bulunduğu ekonomilerde dijitalleşme, öngörülebilirliği artırarak istikrar sağlayıcı bir rol üstlenebilirken; zayıf kurumsal yapılarda aynı süreç belirsizliği artırıcı sonuçlar doğurabilmektedir (Perera vd., 2026). Benzer şekilde, beşeri sermaye düzeyi dijital dönüşümün ekonomik sonuçlarını belirleyen önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Eğitim ve beceri düzeyi yüksek toplumlarda dijitalleşmenin sağladığı avantajlar daha etkin biçimde kullanılabilirken, düşük insan sermayesine sahip ekonomilerde dijitalleşme uyum sorunları yaratarak belirsizliği artırabilmektedir (Jin vd., 2025; Wößmann, 2003). Buna rağmen literatürde insan faktörünün bu ilişki üzerindeki rolünün özellikle gelişmekte olan ülke ekonomileri özelinde sınırlı biçimde incelendiği görülmektedir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülke ekonomileri, dijitalleşme ile ekonomik belirsizlik arasındaki ilişkinin incelenmesi açısından önemli bir örnek sunmaktadır. 2000'li yıllardan itibaren dijital altyapının hızla gelişmesi ve teknolojik dönüşümün ivme kazanması, ekonomik yapıyı dönüştürürken; aynı dönemde yaşanan ekonomik dalgalanmalar ve kurumsal değişimler belirsizlik dinamiklerini daha görünür hale getirmiştir. Bu durum, Türkiye'yi söz konusu ilişkinin hem teknolojik hem de yapısal boyutlarıyla analiz edilebileceği uygun bir araştırma alanı haline getirmektedir.

Çalışmanın amacı, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal mı yoksa doğrusal olmayan bir yapı mı sergilediğini ve bu süreçte kurumsal yapı ile insan faktörünün rolünü Türkiye örneğinde incelemektir. Metodolojik olarak, değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkileri analiz edebilmek amacıyla Otoregresif Gecikmesi Dağıtılmış (ARDL) modeli kullanılmaktadır. ARDL yaklaşımı, farklı bütünleşme derecelerine sahip serilerle çalışabilmesi ve eşbütünleşme ilişkisini sınır testi aracılığıyla analiz edebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Pesaran vd., 2001).

Bu çalışmada, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal olmayan bir yapı sergilemesi beklenmektedir. Özellikle dijitalleşmenin artmasıyla birlikte belirsizliğin artan bir hızla yükselmesi, yani konveks bir ilişki ortaya çıkması öngörülmektedir. Buna karşılık kurumsal kalite ve insani gelişmişlik düzeyinin ekonomik belirsizliği azaltıcı yönde etki göstermesi beklenmektedir. Bu çerçevede elde edilecek bulguların, dijitalleşmenin ekonomik etkilerinin ancak güçlü kurumsal yapı ve gelişmiş insan sermayesi ile desteklendiğinde sürdürülebilir ve öngörülebilir hale gelebileceğini ortaya koyması beklenmektedir. Bu durum, dijital dönüşüm politikalarının yalnızca teknolojik altyapı yatırımlarıyla sınırlı kalmaması, aynı zamanda yönetişim kalitesinin artırılması ve insan sermayesinin güçlendirilmesi ile bütüncül bir çerçevede ele alınması gerektiğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda çalışmada kullanılan dijitalleşme ve kurumsal kalite endeksleri, Dünya Bankası veri tabanında yer alan dijitalleşmeye ilişkin kalkınma göstergeleri ile

yönetişim göstergelerinin normalize edilmesi ve eşit ağırlıklandırılması yoluyla oluşturulmuştur.

Çalışmanın literatüre üç temel katkı sunduğu değerlendirilmektedir. İlk olarak, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisi doğrusal olmayan bir çerçevede analiz edilmekte ve bu amaçla modele dijitalleşme değişkeninin karesi dahil edilmektedir. İkinci olarak, kurumsal yapı ve insan faktörü aynı model içerisinde birlikte ele alınarak dijitalleşmenin etkisinin hangi koşullarda farklılaştığı ortaya konulmaktadır. Üçüncü olarak, Türkiye örneğinde gerçekleştirilen ampirik analiz ile dijital dönüşüm sürecinin belirsizlik dinamikleri üzerindeki etkisi gelişmekte olan ülke perspektifinden değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda çalışmanın araştırma sorusu şu şekilde formüle edilmektedir: Dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisi doğrusal mı, yoksa doğrusal olmayan bir yapı mı sergilemektedir ve kurumsal yapı ile insan faktörünün bu süreçteki rolü nedir? Bu soruya yanıt verebilmek amacıyla çalışma, ARDL modeli çerçevesinde kısa ve uzun dönem ilişkileri analiz etmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu çalışmanın kavramsal çerçevesi, dijitalleşmenin bilgi yoğunluğu ve sistem karmaşıklığını artırarak ekonomik belirsizliği yükselttiği varsayımına dayanmaktadır. Buna karşılık, insani gelişmişlik bireylerin belirsizlik karşısındaki adaptasyon kapasitesini artırırken, kurumsal kalite ekonomik aktörler için öngörülebilir bir ortam sağlayarak belirsizliği azaltmaktadır. Bu bağlamda, dijitalleşmenin belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediği ve belirli bir düzeyden sonra hızlanarak arttığı öngörülmektedir.

1.1. Teorik Altyapı

Ekonomik belirsizlik kavramı iktisat literatüründe ilk kez sistematik biçimde riskten ayrıştırılarak ele alınmıştır. Risk, olasılıkları hesaplanabilir durumları ifade ederken, belirsizlik olasılıkların öngörülemediği ve geleceğin bilinemez olduğu durumları kapsamaktadır (Knight, 1921). Söz konusu yaklaşım daha sonra beklentiler ve yatırım kararları bağlamında geliştirilmiş ve ekonomik aktörlerin geleceğe ilişkin öngörü eksikliğinin karar alma süreçlerinde belirleyici olduğu vurgulanmıştır (Keynes, 1936). Modern literatürde ise belirsizlik, yalnızca nesnel ekonomik koşullardan değil, aynı zamanda beklenti oluşumu ve risk algısından beslenen çok boyutlu bir olgu olarak ele alınmaktadır. Bu kapsamda belirsizlik şoklarının ekonomik faaliyet üzerinde daraltıcı etkiler yaratabildiği ortaya konulmuş ve belirsizliğin politika boyutunu ölçülebilir hale getiren endeksler geliştirilmiştir (Baker vd., 2016; Bloom, 2009)

Teorik çerçeve, belirsizliğin yalnızca ekonomik göstergelerle değil, aynı zamanda bilgi akışı ve teknolojik dönüşüm süreçleriyle de şekillendiğini göstermektedir. Bu noktada dijitalleşme, belirsizlik dinamiklerini anlamada önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Dijitalleşmenin teorik temeli büyük ölçüde içsel büyüme teorisine dayanmaktadır. Teknolojik ilerleme ve bilgi üretimi ekonomik büyümenin içsel belirleyicileri arasında yer almakta ve dijital teknolojiler bu süreci hızlandırmaktadır (Romer, 1990). Dijitalleşme, bilgiye erişimi kolaylaştırarak işlem maliyetlerini azaltmakta ve ekonomik süreçleri hızlandırmaktadır. Bununla birlikte, artan veri hacmi ve işlem hızı ekonomik sistemlerde karmaşıklığı artırarak belirsizlik algısını da yükseltebilmektedir. Dolayısıyla, dijitalleşmenin ekonomik etkileri doğrusal ve tek yönlü olmaktan ziyade bağlama duyarlı ve çok boyutlu bir yapı sergilemektedir.

Dijitalleşmenin çok boyutlu etkileri, söz konusu ilişkinin hangi koşullar altında farklılaştığını açıklamayı gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda kurumsal teori önemli bir açıklayıcı çerçeve sunmaktadır. Kurumlar, ekonomik etkileşimleri düzenleyen resmi ve gayri resmi kurallar bütünü olarak tanımlanmakta ve işlem maliyetlerini azaltarak öngörülebilirliği artırmaktadır (North, 1990). Ayrıca kapsayıcı ve etkin kurumların ekonomik istikrarın ve sürdürülebilir büyümenin temel belirleyicileri olduğu vurgulanmaktadır (Acemoglu & Robinson, 2013). Güçlü kurumsal yapı, ekonomik aktörlerin beklenti oluşturma süreçlerini kolaylaştırarak belirsizliği azaltmakta ve dijitalleşmenin etkilerini yönlendiren kritik bir unsur haline gelmektedir.

Kurumsal yapı tek başına yeterli değildir; bu sürecin bireyler düzeyindeki yansımalarını anlamak gerekmektedir. Ek olarak, insan faktörü beşeri sermaye yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmektedir. Eğitim, bilgi ve beceriler ekonomik performansın temel belirleyicileri arasında yer almakta ve bireylerin üretkenliğini artırmaktadır (Becker, 1962; Schultz, 1961). Daha geniş bir perspektiften bakıldığında, insan gelişimi bireylerin kapasite ve fırsatlarının genişlemesi ile ilişkilendirilmektedir (Mincer, 1958). Buna göre, insan sermayesi, bireylerin teknolojik dönüşüme uyum sağlama kapasitesini artırarak belirsizlik karşısında daha rasyonel ve öngörülebilir kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır.

Teorik tartışmaların ampirik olarak test edilebilmesi, belirsizliğin uygun şekilde ölçülmesini gerektirmektedir. Bu doğrultuda metin temelli yaklaşımlar literatürde öne çıkmaktadır. Dünya Belirsizlik Endeksi, ülke raporlarında yer alan belirsizlik ifadelerinin sıklığına dayalı olarak oluşturulmakta ve belirsizliğin ekonomik, politik ve küresel boyutlarını birlikte yansıtmaktadır (Ahir vd., 2022). Bu yönüyle, dijital dönüşümün yarattığı çok katmanlı belirsizlik yapısını analiz etmek için kapsamlı bir ölçüm aracı sunmaktadır.

Çalışmanın teorik çerçevesi birlikte değerlendirildiğinde, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediği; ancak bu etkinin yönü ve şiddetinin kurumsal kalite ve insan sermayesine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki hipotezler geliştirilmiştir.

H1: Dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisi doğrusal değildir; dijitalleşme arttıkça belirsizlik artan bir hızla yükselmektedir.

H2: Kurumsal kalite, ekonomik belirsizliği azaltıcı yönde etki göstermektedir.

H3: İnsani gelişmişlik düzeyi, ekonomik belirsizliği azaltıcı yönde etki göstermektedir.

Mevcut çalışma, dijitalleşmenin belirsizlik üzerindeki etkisini doğrusal olmayan bir model ile incelemekte ve kurumsal yapı ile insani gelişmişliğin bu ilişki üzerindeki dengeleyici rolünü Türkiye örneğinde ampirik olarak test etmektedir.

1.2. Ampirik Literatür

Dijitalleşme ile ekonomik belirsizlik arasındaki ilişkiyi inceleyen ampirik literatür, yöntemsel ve bağlamsal farklılıklar nedeniyle heterojen bulgular sunmaktadır. Bununla birlikte, mevcut çalışmaların büyük çoğunluğu söz konusu ilişkinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Sistematik incelemeler, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin çoğunlukla eşik temelli, U-şekilli veya asimetrik ilişkiler şeklinde ortaya çıktığını göstermektedir (Ha, 2024; He vd., 2025; Wan & Wu, 2025).

Birçok çalışma, dijitalleşmenin düşük seviyelerinde ekonomik belirsizliği artırdığını, ancak belirli bir eşik seviyesinin aşılmasıyla birlikte bu etkinin yön değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, dijital dönüşümün başlangıç aşamasında sistem karmaşıklığını artırarak riskleri yükselttiği, ancak ileri aşamalarda bilgi akışı ve risk yönetimi mekanizmaları aracılığıyla belirsizliği azalttığı belirlenmiştir (He vd., 2025; Jiao vd., 2025). Benzer şekilde, dijitalleşmenin başlangıçta ekonomik performansı olumsuz etkileyebildiği, ancak belirli bir gelişmişlik düzeyinden sonra olumlu etkiler yarattığı ifade edilmektedir (Ha, 2024).

Literatürde dijitalleşmenin etkisinin bağlama duyarlı olduğu da vurgulanmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde dijitalleşmenin ekonomik belirsizliği artırabildiği, buna karşılık gelişmiş ekonomilerde bu etkinin tersine dönebildiği ortaya konulmuştur (Ayaz & Khattak, 2026; Jamil vd., 2023). Bu durum, dijitalleşmenin etkisinin yalnızca teknoloji düzeyi ile değil, aynı zamanda ekonomik yapı ve gelişmişlik düzeyi ile de ilişkili olduğunu göstermektedir.

Kurumsal yapı, dijitalleşme-belirsizlik ilişkisinde belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Güçlü kurumsal kaliteye sahip ekonomilerde dijitalleşmenin belirsizliği azaltıcı etkilerinin daha belirgin olduğu, buna karşılık zayıf kurumsal yapılarda dijitalleşmenin etkisinin sınırlı kaldığı veya belirsizliği artırabildiği görülmektedir (Ben Ali, 2022; Phan & Pham, 2025). Bu bulgular, kurumsal yapının dijitalleşmenin

ekonomik sonuçlarını şekillendiren temel bir sınır koşulu olduğunu ortaya koymaktadır.

Buna karşılık, insan faktörünün rolü ampirik literatürde yeterince ele alınmamıştır. Mevcut çalışmaların sınırlı bir kısmı dijital beceriler, iş gücü niteliği ve adaptasyon kapasitesi gibi unsurları incelemekte ve bu faktörlerin dijitalleşmenin ekonomik etkilerini şekillendirebileceğini göstermektedir (Zhu & Ye, 2024; Qamruzzaman vd., 2026). Ancak bu alandaki bulguların sınırlı olması, insan sermayesinin göreli önemine ilişkin net bir değerlendirme yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Son olarak, kullanılan yöntemlerin elde edilen bulgular üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Doğrusal modeller kullanan çalışmalar genellikle daha basit sonuçlara ulaşırken, doğrusal olmayan modelleme tekniklerini kullanan çalışmalar dijitalleşmenin eşik temelli ve artan marjinal etkilerini daha başarılı bir şekilde ortaya koymaktadır (Nawazish & Afza, 2024; Wan & Wu, 2025). Bu durum, dijitalleşme-belirsizlik ilişkisinin analizinde yöntem seçiminin kritik olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, mevcut literatürden birkaç açıdan farklılaşmaktadır. Öncelikle literatürde dijitalleşmenin etkisinin çoğunlukla eşik temelli olduğu vurgulanmakla birlikte, bu eşik değerlerin her ekonomi için geçerli olmadığı yeterince ortaya konulmamıştır. Bu çalışma, Türkiye örneğinde eşik değerin örneklem aralığı dışında kaldığını göstererek dijitalleşmenin belirsizlik üzerindeki etkisinin incelenen dönemde tek yönlü ve artan bir yapı sergilediğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. İkinci olarak, literatürde kurumsal yapı yaygın biçimde ele alınırken insan faktörü çoğunlukla ihmal edilmiştir. Bu çalışma, kurumsal kalite ile birlikte insani gelişmişlik değişkenini modele dahil ederek daha bütüncül bir analiz sunmaktadır. Son olarak, doğrusal olmayan modelleme yaklaşımı kullanılarak dijitalleşmenin artan marjinal etkileri test edilmekte ve bu yönüyle mevcut literatüre metodolojik katkı sağlanmaktadır.

2. YÖNTEM

Çalışmada Türkiye ekonomisi için 2002–2023 dönemi esas alınmış; ekonomik belirsizlik, dijitalleşme, kurumsal kalite ve insani gelişmişlik arasındaki ilişkiler zaman serisi yaklaşımıyla incelenmiştir. Bu kapsamda, dijitalleşme düzeyini ve kurumsal kaliteyi temsil etmek üzere ilgili göstergeler normalize edilerek bileşik endeksler oluşturulmuştur. Dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki olası doğrusal olmayan etkilerini dikkate alabilmek amacıyla oluşturulan dijitalleşme endeksinin karesi alınarak modele dâhil edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin analizinde ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılmış; bu yöntem aracılığıyla uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin varlığı test edilmiştir. Ayrıca, kısa dönem dinamikleri ve uzun dönem dengesinden sapmaların ne ölçüde giderildiği Hata Düzeltme Modeli (ECM) aracılığıyla değerlendirilmiştir.

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Çalışmanın amacı, dijitalleşme, kurumsal kalite ve insani gelişmişliğin Türkiye'de ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisini incelemektir. Bu çalışmanın önemi, 2000'li yıllardan itibaren hızlanan dijitalleşme süreci ve yapay zekâ temelli teknolojilerin ekonomik karar alma mekanizmalarını dönüştürmesi bağlamında, dijital dönüşüm politikalarının yalnızca teknolojik altyapı ile sınırlı kalmayıp kurumsal yapı ve insan sermayesi ile bütüncül şekilde ele alınması gerektiğini ortaya koymasından kaynaklanmaktadır.

2.2. Araştırmanın Kapsamı, Veri Seti ve Zaman Aralığı

Tablo 1'de tanımlanan çalışmanın veri seti, ekonomik belirsizlik, dijitalleşme, kurumsal kalite ve insan gelişmişliğini temsil eden değişkenlerden oluşmaktadır. Ekonomik belirsizlik, Dünya Belirsizlik Endeksi (WUI) ile ölçülmüştür. Dijitalleşme düzeyini temsil etmek amacıyla, Dünya Bankası veri tabanından elde edilen internet kullanımı, mobil abonelik ve sabit altyapı göstergeleri kullanılarak bir bileşik endeks oluşturulmuştur. Kurumsal kalite ise Dünya Bankası Dünya Yönetişim Göstergeleri (WGI) kapsamında yer alan hükümet etkinliği, hukukun üstünlüğü, düzenleyici kalite ve yolsuzluğun kontrolü değişkenlerine dayalı olarak hesaplanmıştır. İnsan faktörünü temsil etmek amacıyla Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından yayımlanan İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI) modele dahil edilmiştir. Dijitalleşme ve kurumsal

kalite endeksleri, ilgili göstergelerin normalize edilmesi ve eşit ağırlıklandırılması yöntemiyle yazar tarafından oluşturulmuş olup, bu yaklaşım söz konusu kavramların çok boyutlu yapısını daha kapsamlı biçimde yansıtmayı amaçlamaktadır.

Tablo 1. Veri Seti Tanımları

Değişkenler	**Sembol**	**Ölçüm**	**Kaynak**
Ekonomik Belirsizlik	WUI	Dünya Belirsizlik Endeksi	Ahir vd. (2022) www.worlduncertaintyindex.com
Dijitalleşme	ICT	İnternet kullanımı, mobil abonelik ve sabit altyapı göstergelerine dayalı oluşturulan bileşik endeks	Dijitalleşme göstergeleri Dünya Bankası, Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından temin edilmiştir.
Dijitalleşmenin Karesi	ICT^2	Dijitalleşme endeksinin karesi	Yazar tarafından hesaplanmıştır
Kurumsal Kalite	INST	Hukukun üstünlüğü, hükümet etkinliği, düzenleyici kalite ve yolsuzluğun kontrolüne dayalı oluşturulan bileşik endeks	Yönetişim göstergeleri Dünya Bankası, Dünya Yönetişim Göstergeleri (WGI) veri tabanından temin edilmiştir.
İnsani Gelişmişlik	HDI	İnsani Gelişmişlik Endeksi	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

Not: Dijitalleşme ve kurumsal kalite endeksleri, ilgili göstergelerin normalize edilmesi ve eşit ağırlıklandırılması yöntemiyle yazar tarafından oluşturulmuştur.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

İnsan faktörünü temsil etmek amacıyla Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından yayımlanan İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI) kullanılmıştır. HDI; eğitim, sağlık ve yaşam standartlarını kapsayan bileşik bir gösterge olup, bireylerin refah düzeyini çok boyutlu bir çerçevede yansıtmaktadır ve bu yönüyle modele doğrudan dâhil edilmiştir.

İnsani gelişmişlik, bireylerin yalnızca gelir düzeyleriyle değil, aynı zamanda eğitim ve sağlık gibi temel yaşam koşullarıyla birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir kavramdır. Bu çerçevede UNDP tarafından geliştirilen HDI, üç temel bileşenden oluşmaktadır: yaşam beklentisi ile ölçülen sağlık boyutu, ortalama ve beklenen eğitim süresi ile temsil edilen eğitim boyutu ve kişi başına düşen gelir ile ifade edilen yaşam standardı boyutu (Sagar & Najam, 1998). HDI, veri erişilebilirliği ve karşılaştırılabilirlik avantajları nedeniyle ampirik çalışmalarda insan faktörünü temsil eden temel bir gösterge olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Ranis vd., 2006).

Bu çalışma kapsamında HDI, modelin açıklayıcılık düzeyini ve tahmin gücünü artırmaya yönelik olarak kontrol değişkeni şeklinde dâhil edilmiş; böylece analizde yer alan temel değişkenler arasındaki ilişkinin, insan gelişmişliği düzeyinden kaynaklanabilecek etkilerden arındırılması amaçlanmıştır. Öte yandan, ekonomik belirsizlik değişkeni, Ahir vd. (2022) tarafından geliştirilen Dünya Belirsizlik Endeksi (WUI) aracılığıyla temsil edilmektedir. Söz konusu endeks, "Economist Intelligence Unit" ülke raporlarında yer alan "belirsizlik" ifadelerinin sıklığına dayalı metin analizi yöntemiyle oluşturulmakta olup, ekonomideki belirsizlik düzeyini ölçmede yaygın olarak kullanılan bir gösterge niteliği taşımaktadır. Bu çerçevede belirsizlik, yalnızca makroekonomik dalgalanmaların nicel bir yansıması olarak değil; aynı zamanda bireylerin beklenti oluşumunu, risk algısını ve karar alma davranışlarını şekillendiren çok boyutlu bir yapı olarak değerlendirilmekte, dolayısıyla ekonomik sonuçlar üzerindeki etkisi davranışsal ve kurumsal kanallar üzerinden de analiz kapsamına dâhil edilmektedir.

WUI, ilgili ülke raporlarına dayalı olarak 143 ülkeyi kapsayacak şekilde hesaplanmakta ve bu yönüyle

hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomileri içeren benzerlerine kıyasla (;Baker vd., 2016; Bloom, 2009) geniş kapsamlı bir belirsizlik göstergesi sunmaktadır. WUI, yalnızca ekonomik dalgalanmaları değil; aynı zamanda kısa ve uzun vadeli sosyal, ekonomik ve politik şokları da kapsayan bütüncül bir çerçeveye sahiptir (Ahir vd. 2022). Endeksin oluşturulmasında hem Türkiye ekonomisine özgü gelişmeler hem de küresel ölçekteki dinamikler dikkate alınmaktadır.

Çalışmada kullanılan veri, WUI'nin üç çeyrek ağırlıklı hareketli ortalama yaklaşımıyla hesaplanan T6 bileşenine dayanmaktadır. 1950'li yıllardan itibaren çeyreklik frekansta oluşturulan bu seri, Türkiye için 2002–2023 dönemini kapsayacak şekilde ele alınmış ve analizde kullanılabilir hâle getirmek amacıyla yıllık frekansa dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sürecinde, literatürde yaygın biçimde tercih edilen geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır (Wang vd., 2020; Zhong vd., 2023).

Çalışmanın dönem aralığı 2002–2023 olarak belirlenmiştir. Bu dönem, Türkiye ekonomisinde dijitalleşme göstergelerinin belirgin biçimde yaygınlaşmaya başladığı, bilgi ve iletişim teknolojilerinin ekonomik ve toplumsal süreçlerde daha görünür hale geldiği bir zaman dilimini kapsamaktadır. Özellikle 2000'li yıllardan itibaren internet kullanımı, mobil abonelikler ve dijital altyapı göstergelerinde yaşanan artış, dijitalleşmenin ekonomik etkilerini analiz etmek açısından uygun bir dönemsel zemin sunmaktadır. Ayrıca söz konusu dönem; küresel finansal kriz, pandemi süreci, jeopolitik gelişmeler ve makroekonomik dalgalanmalar gibi belirsizlik yaratan farklı iç ve dış şokları içermesi bakımından ekonomik belirsizlik dinamiklerinin incelenmesine imkân tanımaktadır. Bu nedenle 2002–2023 dönemi, dijitalleşme, kurumsal kalite, insani gelişmişlik ve ekonomik belirsizlik arasındaki ilişkilerin Türkiye örneğinde değerlendirilmesi açısından anlamlı ve kapsamlı bir analiz aralığı sunmaktadır.

2.3. Araştırmanın Yöntemi ve Temel Model

Dijitalleşme düzeyini ölçmek amacıyla, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlığını temsil eden Dünya Bankası (WB) veri tabanından temin edilen üç temel gösterge kullanılmıştır.

- İnternet kullanım oranı (Internet)
- Mobil abonelik sayısı (Mobile)
- Sabit hat altyapı göstergesi (Fixed)

Bu göstergeler öncelikle karşılaştırılabilir hale getirilmek amacıyla normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi min–maks yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

$$X_{it}^{norm} = \frac{(X_{it} - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (1)$$

Denklem 1'de Burada X_{it}, ilgili göstergenin t dönemindeki değerini, X_{min} ve X_{max} ise örneklem içerisindeki minimum ve maksimum değerleri ifade etmektedir. Normalize edilen göstergeler daha sonra eşit ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak birleştirilmiş ve dijitalleşme endeksi (ICT) elde edilmiştir (Denklem 2).

$$ICT_t = \left(\frac{1}{3}\right)(Internet_t^{norm} + Mobile_t^{norm} + Fixed_t^{norm}) \quad (2)$$

Bu endeks, 0 ile 1 arasında değer almakta olup, daha yüksek değerler daha yüksek dijitalleşme düzeyini ifade etmektedir.

Çalışmanın temel modelinde, dijitalleşmenin doğrusal olmayan etkilerini analiz edebilmek amacıyla modele ayrıca ICT değişkeninin karesi (ICT^2) de dahil edilmiştir (Denklem 3)

$$ICT_t^2 = (ICT_t)^2 \quad (3)$$

Bu çalışmada kullanılan ICT_t^2 değişkeni, bilgi ve iletişim teknolojileri düzeyini temsil eden ICT_t değişkeninin karesi alınarak elde edilmiştir. Söz konusu dönüşüm, modelde olası doğrusal olmayan ilişkilerin test edilmesine imkân tanımakta olup, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin belirli bir eşiğe kadar artıp sonrasında azalması ya da tersine bir eğilim göstermesi gibi U-şekilli veya ters U-şekilli dinamiklerin ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, kare terimin modele dâhil edilmesi, artan marjinal etkilerin söz konusu olduğu konveks (dışbükey) bir ilişkinin varlığını test etmeye de olanak tanımakta; bu sayede bilgi ve iletişim teknolojilerindeki artışların belirli bir düzeyden sonra etkisini giderek güçlendirdiği bir yapı da ampirik olarak değerlendirilebilmektedir. Bu bağlamda ICT_t^2 terimi, hem doğrusal olmayan hem de değişen marjinal etkilerin daha esnek bir çerçevede analiz edilmesine imkân sunmaktadır.

Kurumsal yapı, WB tarafından yayımlanan Yönetişim Göstergeleri kullanılarak ölçülmüştür. Bu kapsamda aşağıdaki alt bileşenler dikkate alınmıştır:

- Hükümet etkinliği (GE)
- Hukukun üstünlüğü (RL)
- Düzenleyici kalite (RQ)
- Yolsuzluğun kontrolü (CC)

Bu göstergeler de, ICT endeksinde olduğu gibi, öncelikle Denklem 1'de sunulan formül aracılığıyla normalize edilmiştir. Ardından aynı şekilde, eşit ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak kurumsal kalite endeksi (INS) oluşturulmuştur (Denklem 4).

$$INST_t = \left(\frac{1}{4}\right)(GE_t^{norm} + RL_t^{norm} + RQ_t^{norm} + CC_t^{norm}) \quad (4)$$

ICT'ye benzer, bu endeks değeri 0 ile 1 aralığında tanımlanmış olup, değerin yükselmesi kurumsal kapasitenin ve yönetişim kalitesinin daha ileri bir düzeye ulaştığını ifade etmektedir.

Bu çalışmada ekonomik belirsizlik, dijitalleşme, kurumsal yapı ve insan faktörünün bir fonksiyonu olarak ele alınmaktadır.

$$WUI_t = f(ICT_t, ICT_t^2, INST_t, HDI_t) \quad (5)$$

Denklem 5'teki fonksiyonel yapı aynı zamanda dijitalleşmenin belirsizlik üzerindeki doğrusal olmayan etkisini (ICT^2) test etmeye imkân tanımaktadır.

Fonksiyonel ilişki doğrultusunda uzun döneme yansıması amacıyla kurulan temel ekonometrik model Denklem 6'da yer almaktadır.

$$WUI_t = \beta_0 + \beta_1 ICT_t + \beta_2 ICT_t^2 + \beta_3 INST_t + \beta_4 HDI_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

Denklem 6'da yer alan β_0 sabit terimi, bağımsız değişkenlerin tümünün sıfır olduğu varsayımsal durumda ekonomik belirsizlik düzeyinin aldığı temel değeri ifade etmektedir. Her ne kadar bu durum pratikte her zaman anlamlı bir ekonomik karşılığa sahip olmasa da, modelin genel düzeyini belirleyen bir referans noktası sunması açısından önem taşımaktadır. β_1, β_2, β_3 ve β_4 ve katsayıları ise ilgili bağımsız değişkenlerde meydana gelen bir birimlik değişimin, diğer değişkenler sabitken, ekonomik belirsizlik üzerindeki marjinal etkisini göstermektedir. Bu katsayıların işareti ve büyüklüğü, değişkenlerin etkisinin yönü ve şiddeti hakkında bilgi vermektedir. Modelde yer alan hata terimi ise, modele dâhil edilmeyen ya da ölçülemeyen faktörlerin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkilerini temsil etmekte olup, aynı zamanda modelin rassal bileşenini ifade etmektedir.

Çalışmada değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkileri analiz edebilmek amacıyla ARDL modeli kullanılmıştır.

Denklem 7'deki ARDL modelinde yer alan parametreler ve semboller, kısa ve uzun dönem dinamiklerini birlikte yakalamaya yönelik olarak yapılandırılmıştır. Denklemdeki Δ operatörü, değişkenlerin birinci farkını ifade ederek kısa dönemli değişimleri temsil etmektedir. α_0 sabit terimi, modelin ortalama düzeyini belirlerken; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ve α_5 katsayıları sırasıyla bağımlı değişkenin gecikmeli farkları ile bağımsız değişkenlerin kısa dönem etkilerini göstermektedir. Burada p, q_1, q_2, q_3 ve gecikme uzunluklarını ifade etmektedir. Uzun dönem bileşeni ise $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ ve λ_5 katsayıları aracılığıyla modele dâhil edilmiştir; bu katsayılar değişkenlerin gecikmeli seviyelerinin uzun dönemli ilişkideki rolünü yansıtmaktadır. Son olarak u_t hata terimini işaret etmektedir.

$$\Delta WUI_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_1 \Delta WUI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_1} \alpha_2 \Delta ICT_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_2} \alpha_3 \Delta ICT_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^{q_3} \alpha_4 \Delta INST_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_4} \alpha_5 \Delta HDI_{t-i} + \lambda_1 WUI_{t-1} + \lambda_2 ICT_{t-1} + \lambda_3 ICT_{t-1}^2 + \lambda_4 INST_{t-1} + \lambda_5 HDI_{t-1} + u_t \quad (7)$$

Bu çerçevede model kapsamında test edilen temel hipotez, değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin var olup olmadığıdır. Buna göre sıfır hipotezi $H_0: \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0$ şeklinde kurulmakta olup, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunmadığını ifade etmektedir. Alternatif hipotez ise ; $H_1: \lambda_i \neq 0$ (en az bir i için) şeklinde olup, değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığına işaret etmektedir.

$$ICT^* = -\frac{\alpha_2}{2\alpha_3} \quad (8)$$

Denklem 8'deki formül, modele dâhil edilen ICT ve ICT^2 terimleri aracılığıyla ortaya çıkan doğrusal olmayan ilişkinin dönüm (eşik) noktasını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Regresyon denkleminde yer $\alpha_2 ICT$ ve $\alpha_3 ICT^2$ alan ve yapısı, bilgi ve iletişim teknolojilerinin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin sabit olmadığını, belirli bir düzeyden sonra yön değiştirebileceğini göstermektedir. Buna göre, söz konusu formül marjinal etkinin sıfırlandığı ve ilişkinin yön değiştirdiği kritik eşiği ifade etmektedir.

Elde edilen eşik değerin altında ve üstünde ilişkinin niteliği, katsayısının işaretine bağlı olarak farklılaşmaktadır. Eğer $\alpha_3 > 0$ ise ilişki U-şeklinde (konveks) olup, eşik değerden sonra etkinin giderek güçlendiği ve marjinal etkinin arttığı bir yapı söz konusudur. Bu durumda, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki artışlar başlangıçta sınırlı bir etki yaratırken, belirli bir eşik aşıldıktan sonra ekonomik belirsizlik üzerindeki etkinin hızlanarak arttığı görülmektedir. Buna karşılık, eşik değer göz önüne alınmaksızın $\alpha_2 > 0$ ve $\alpha_3 > 0$ birlikte değerlendirildiğinde, ilişkinin tüm aralık boyunca sürekli artan marjinal etki sergileyebileceği ve dolayısıyla ICT düzeyindeki artışların ekonomik belirsizliği giderek daha güçlü biçimde etkileyebileceği de ifade edilebilir. Öte yandan $\alpha_3 < 0$ durumunda ilişki ters U-şeklinde (konkav) olmakta ve eşik noktadan sonra etkinin zayıfladığı bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bu yönüyle söz konusu formül, yalnızca dönüm noktasını belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda etkinin dinamik yapısını ve artış hızını analiz etmede kritik bir araç sunmaktadır.

Uzun dönem ilişkinin varlığı, Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL modeli Sınır Testi yaklaşımı kullanılarak sınanmaktadır. Söz konusu yöntemde, hesaplanan F-istatistiği alt ve üst kritik değerlerle karşılaştırılmaktadır. Eğer F-istatistiği üst sınır değerini aşarsa, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin var olduğu sonucuna ulaşılmakta; alt sınırın altında kalması durumunda ise eşbütünleşme ilişkisinin bulunmadığı reddedilememektedir. F-istatistiğinin iki sınır arasında kalması durumunda ise sonuç belirsiz olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, küçük örneklemler için kritik değerlerin duyarlılığını artırmak amacıyla Narayan (2005) tarafından önerilen kritik değerler de dikkate alınabilmekte olup, bu yaklaşım özellikle sınırlı gözlem sayısına sahip çalışmalar açısından daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

Eşbütünleşme ilişkisi tespit edildikten sonra kısa dönem dinamikleri Denklem 9 ve Denklem 10'da ifade edilmektedir.

$$\Delta WUI_t = \sum_{i=1}^{p} \gamma_i \Delta X_{t-i} + \phi\, ECM_{t-1} + u_t \quad (9)$$

$$ECM_{t-1} = WUI_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 ICT_{t-1} - \beta_2 ICT_{t-1}^2 - \beta_3 INST_{t-1} - \beta_4 HDI_{t-1} \quad (10)$$

ARDL çerçevesinde elde edilen ECM, kısa dönem dinamikleri ile uzun dönem denge arasındaki ilişkiyi birlikte analiz etmeye imkân tanımaktadır. Bu bağlamda terimi, değişkenler arasında uzun dönemde kurulan denge ilişkisinden sapmayı ifade eden "uzun dönem denge hatası"nı temsil etmektedir. Modelde yer alan hata düzeltme katsayısı (ϕ), bu sapmanın ne ölçüde ve hangi hızla giderildiğini ortaya koymaktadır (Narayan & Smyth, 2006). Söz konusu katsayının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, sistemin uzun dönem dengesine geri döndüğünü ve eşbütünleşme ilişkisinin varlığını teyit etmektedir. Bu doğrultuda, hata düzeltme katsayısının negatif ve anlamlı bulunması, modelin hem teorik tutarlılığını hem de uzun dönemli ilişkinin varlığını doğrulayan temel bir kriter olarak kabul edilmektedir (Pesaran & Shin, 1998).

3. METODOLOJİK ÇERÇEVE VE BULGULAR

Bu çalışmada değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkilerin analiz edilebilmesi amacıyla ARDL sınır testi yaklaşımı tercih edilmiştir. ARDL modeli farklı bütünleşme derecelerine sahip serilerle çalışabilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle değişkenlerin düzeyde I(0) ve birinci farkında I(1) durağan olduğu durumlarda uygulanabilmesi, ARDL yaklaşımını zaman serisi analizlerinde esnek ve güçlü bir yöntem haline getirmektedir (Narayan, 2005; Pesaran vd., 2001).

ARDL modelinin tercih edilmesindeki temel nedenlerden biri, küçük örneklem boyutlarında dahi güvenilir sonuçlar üretebilmesidir. Mevcut çalışmada 2002–2023 dönemini kapsayan sınırlı gözlem sayısı dikkate alındığında, geleneksel eşbütünleşme yöntemlerine kıyasla ARDL yaklaşımı daha uygun bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca modelin hem kısa dönem dinamiklerini hem de uzun dönem ilişkileri aynı denklem içerisinde analiz edebilmesi, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki zamana bağlı etkilerini incelemek açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Narayan & Smyth, 2006; Pesaran & Shin, 1998).

ARDL modeline ayrıca dijitalleşmenin doğrusal olmayan etkilerini test edebilmek amacıyla ICT değişkeninin karesi (ICT^2) dahil edilmiştir. Bu yaklaşım, literatürde sıklıkla vurgulanan eşik temelli ve doğrusal olmayan ilişkilerin ampirik olarak sınanmasına imkân tanımaktadır. Özellikle dijitalleşmenin düşük ve yüksek seviyelerinde farklı etkiler yaratabileceği yönündeki bulgular dikkate alındığında, doğrusal olmayan model spesifikasyonu daha gerçekçi sonuçlar sunabilmektedir (Ha, 2024; He vd., 2025).

Sonuç olarak, ARDL yaklaşımı; serilerin durağanlık özelliklerine yönelik göreceli esnek yapısı, küçük örneklem avantajı, kısa ve uzun dönem ilişkileri birlikte analiz edebilme kapasitesi ve doğrusal olmayan etkilerin modele dahil edilebilmesine olanak tanıması nedeniyle, dijitalleşme, kurumsal yapı ve insan faktörünün ekonomik belirsizlik üzerindeki etkilerini incelemek için uygun bir metodolojik çerçeve sunmaktadır.

Zaman serisi analizlerinde güvenilir sonuçlar elde edebilmek için serilerin durağanlık özelliklerinin belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Durağan olmayan serilerle yapılan tahminler sahte regresyon sorununa yol açabilmekte ve elde edilen katsayıların ekonomik olarak anlamlı yorumlanmasını engelleyebilmektedir (Granger & Newbold, 1974). Bu nedenle, ARDL model tahminine geçmeden önce değişkenlerin birim kök içerip içermediği test edilmiştir.

ARDL modelinin uygulanabilirliğini değerlendirmek ve serilerin durağanlık özelliklerini belirlemek amacıyla Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) ve Dickey-Fuller GLS (ERS) birim kök testleri birlikte kullanılmıştır. ADF testi, klasik Dickey-Fuller yaklaşımını gecikmeli fark terimleri ekleyerek genişletmekte ve serilerdeki otokorelasyon sorununu kontrol etmektedir (Dickey & Fuller, 1979).

PP testi ise parametrik olmayan bir düzeltme yöntemi kullanarak serilerdeki otokorelasyon ve değişen varyans problemlerine karşı daha esnek bir yapı sunmaktadır (Phillips & Perron, 1988). ERS testi ise seriyi genelleştirilmiş en küçük kareler (GLS) yöntemiyle trendden arındırarak daha yüksek test gücü sağlamakta ve özellikle küçük örneklemlerde daha güvenilir sonuçlar vermektedir (Elliott vd., 1996). Bu üç testin birlikte kullanılması, farklı yöntemsel yaklaşımlar sayesinde durağanlık analizinin sağlamlığını artırmakta ve elde edilen bulguların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Tablo 2'deki birim kök test sonuçları ADF, PP ve ERS testleri arasında tam olarak örtüşmemektedir. Özellikle ADF testinde ICT değişkeni düzeyde durağan (I(0)) iken karesi birinci farkta durağan (I(1)) bulunmuştur. Buna karşın, PP ve ERS test sonuçları hem ICT değişkeninin hem de karesinin düzeyde durağan (I(0)) olduğunu göstermektedir. Bu farklılık, birim kök testlerinin örneklem büyüklüğüne ve model spesifikasyonuna duyarlılığı ile ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, değişkenlerin hiçbirinin ikinci dereceden bütünleşik (I(2)) olmadığı görülmekte olup, bu durum ARDL sınır testi yaklaşımının uygulanabilirliğini desteklemektedir. Ayrıca, ICT değişkeni ve karesi birlikte modele dahil edildiğinden, doğrusal olmayan modelin tutarlılığı açısından bu değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Bu doğrultuda, PP ve ERS test bulguları ICT değişkeni ve karesinin düzeyde durağan (I(0)) olabileceğine işaret etmekte olup, modelin teorik tutarlılığı açısından bu değişkenlerin aynı entegrasyon derecesine sahip olduğu varsayılmıştır.

Tablo 2. Sabit ve Trend İçeren Durağanlık Sonuçları

Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF)			
Değişken	**I(0)**	**I(1)**	**Sonuç**
WUI	-1.429	-4.842***	I(1)***
ICT	-4.188**		I(0)**
ICT²	-1.062	-3.385*	I(1)*
INST	-3.887**		I(0)**
HDI	-2.282	-4.085**	I(1)**
Phillips Perron (PP)			
WUI	-2.246	-4.638***	I(1)***
ICT	-3.848**		I(0)**
ICT²	-4.812***		I(0)***
INST	-5.146***		I(0)***
HDI	-2.319	-4.086**	I(1)**
Dickey-Fuller GLS (ERS)			
WUI	-1.431	-4.832***	I(1)***
ICT	-2.898*		I(0)*
ICT²	-3.155*		I(0)*
INST	-0.459	-4.059***	I(1)***
HDI	-2.458	-4.294***	I(1)***

Not 1: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Sınır testi sonuçları, ARDL (1, 1, 2, 2, 2) modeli çerçevesinde hesaplanan F-istatistiğinin (102.757), tüm anlamlılık düzeylerinde üst sınır kritik değerlerinin oldukça üzerinde olduğunu göstermektedir. Tablo 3'te yer alan bu bulgu, modelde yer alan değişkenler arasında güçlü bir eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla, dijitalleşme, kurumsal yapı, insan faktörü ve ekonomik belirsizlik arasında

uzun dönemli bir denge ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 3. ARDL Eşbütünleşme Sonuçları

Sınır Testi			
ARDL (1, 1, 2, 2, 2) Kısıtlı Sabit Modeli			
F-İstatistik	**Anlamlılık Düzeyi**	**Kritik Değer**	
	I(0) Alt Sınır	**I(1) Üst Sınır**	
102.757	%10	2.200 (2.525)	3.090 (3.560)
	%5	2.560 (3.058)	3.490 (4.223)
	%1	3.290 (4.280)	4.370 (5.840)
Model Tanı Testleri			
Uygunluk	**Test**	**İstatistik**	**Olasılık**
Model Kurulumu	Ramsey Reset	0.561	0.482
Değişen Varyans	Breusch-Pagan-Godfrey	1.571	0.281
Otokorelasyon	Breusch-Godfrey	1.254	0.362
Normal Dağılım	Jarque-Bera	0.390	0.823

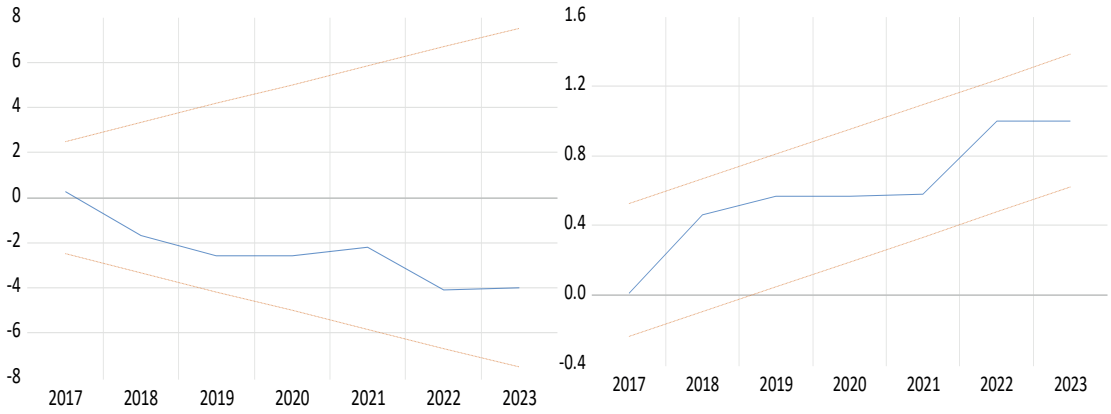
Not: Parantez içinde verilen kritik değerler Narayan (2005) tarafından önerilen küçük örneklem kritik değerlerini, parantez dışında sunulan değerler ise Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen standart ARDL sınır testi kritik değerlerini ifade etmektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 3'te, modelin geçerliliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen test sonuçları, elde edilen bulguların güvenilirliğini desteklemektedir. Ramsey RESET testi sonuçları, modelin doğru kurulduğunu ve fonksiyonel yapıya ilişkin bir sorun bulunmadığını göstermektedir. Breusch-Pagan-Godfrey testi, hata terimlerinde değişen varyans problemi olmadığını ortaya koyarken, Breusch-Godfrey testi sonuçları modelde otokorelasyon sorununun bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca Jarque-Bera testi, hata terimlerinin normal dağılım varsayımını sağladığını ortaya koymaktadır.

Şekil 1'deki modelin yapısal istikrarını değerlendirmek amacıyla kullanılan CUSUM ve CUSUMSQ test sonuçları incelendiğinde, ilgili istatistiklerin %5 anlamlılık düzeyine karşılık gelen kritik sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, tahmin edilen modelde parametrelerin zaman içerisinde istikrarlı olduğunu ve yapısal bir kırılmanın söz konusu olmadığını göstermektedir. Özellikle kümülatif artıkların belirlenen güven bantları dışına çıkmaması, modelin tahmin gücünün dönemler itibarıyla tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır (Brown vd., 1975). Bu sonuçlar, modelin istikrarlı bir yapıya sahip olduğunu ve elde edilen katsayıların güvenilirliğini desteklediğini göstermektedir.

Şekil 1. ARDL (1, 1, 2, 2, 2) CUSUM ve CUSUMSQ Grafikleri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Hem eşbütünleşme testinden elde edilen sonuçlar hem de model geçerlilik testleri, kurulan ARDL modelinin istatistiksel açıdan tutarlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, modelden elde edilen kısa ve uzun dönem katsayılarının yorumlanması ekonometrik açıdan uygun bir temel üzerine oturmaktadır.

ARDL modeli kapsamında elde edilen uzun dönem katsayıları, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisinin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Tablo 4 incelendiğinde, ICT değişkenine ait katsayının (0.150) ve ICT^2 değişkenine ait katsayının (0.051) pozitif olması, dijitalleşmenin belirsizlik üzerindeki etkisinin doğrusal olmadığını ve artan marjinal yapıda (konveks) gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, dijitalleşme arttıkça belirsizliğin daha hızlı arttığına işaret etmektedir. Ayrıca hesaplanan eşik değerin (−1.48) örneklem aralığı dışında kalması, ilişkinin incelenen dönemde herhangi bir dönüş noktası içermediğini ve tüm gözlem aralığında tek yönlü olarak devam ettiğini göstermektedir. Kurumsal kalite ve insani gelişmişlik değişkenlerine ait katsayıların sırasıyla -0.393 ve -1.115 olması, bu değişkenlerin ekonomik belirsizlik üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, güçlü kurumsal yapı ve yüksek insan sermayesinin belirsizliği sınırlayan temel faktörler olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4. ARDL (1, 1, 2, 2, 2) Modeli Katsayıları

Bağımlı Değişken: WUI			
Bağımsız Değişkenler	**Katsayı**	**T-İstatistik**	**Olasılık**
Uzun Dönem Katsayıları			
ICT	0.150145	5.023	0.000
ICT^2	0.050689	2.391	0.030
INST	-0.393391	-11.368	0.000
HDI	-1.114846	-10.802	0.000
Eşik Değer		≈ -1.481	
ECM Bulguları			
ECM(-1)	-1.428	-32.511	0.000
(ICT)	-0.234	-13.389	0.000
(ICT^2)	0.164	9.074	0.000
(ICT^2(-1))	-0.163	-10.551	0.000
(INST)	-0.504	-18.039	0.000
(INST(-1))	0.106	10.549	0.000
(HDI)	-0.103	-1.431	0.178
(HDI(-1))	1.144	9.249	0.000

Not: Δ sembolü, ilgili değişkenin birinci farkını (değişimini) ifade etmektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4'te kısa dönem dinamiklerini yansıtan ECM sonuçları incelendiğinde, hata düzeltme teriminin (ECM(-1)) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı (-1.428) olduğu görülmektedir. Bu durum, sistemin uzun dönem dengesinden sapmalar sonrası dengeye geri döndüğünü ve düzeltme hızının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Kısa dönemde ICT değişkeninin negatif, ICT^2 değişkeninin ise pozitif etkileri, dijitalleşmenin kısa vadede dalgalı ve doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Kurumsal kalite değişkeni kısa dönemde de belirsizliği azaltıcı etki gösterirken, insani gelişmişlik değişkeninin etkisinin gecikmeli olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerinde artan bir etki yarattığını, buna karşılık kurumsal kalite ve insan faktörünün bu etkiyi dengeleyici bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır.

TARTIŞMA, SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkisini Türkiye örneğinde doğrusal olmayan bir çerçevede incelemektedir. Elde edilen bulgular, dijitalleşmenin ekonomik belirsizlik üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğunu ve bu ilişkinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini göstermektedir. Özellikle dijitalleşme düzeyi arttıkça belirsizlik üzerindeki etkinin daha belirgin hale gelmesi, dijital dönüşüm sürecinin ekonomik sistem üzerindeki etkilerinin aşamalı ve karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık kurumsal kalite ve insani gelişmişlik düzeyinin ekonomik belirsizliği azaltıcı yönde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kısa dönem sapmalarına rağmen sistemin uzun dönem dengesine yeniden uyum sağlayabildiği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, dijitalleşmenin ekonomik etkilerinin tek boyutlu olmadığını göstermektedir. Dijitalleşme bir yandan bilgiye erişimi kolaylaştırarak ekonomik koordinasyonu güçlendirme potansiyeline sahipken, diğer yandan bilgi yoğunluğu, algoritmik karar alma süreçleri ve teknolojik uyum maliyetleri

nedeniyle ekonomik aktörlerin belirsizlik algısını artırabilmektedir. Bu yönüyle dijitalleşme yalnızca teknolojik bir dönüşüm süreci değil, aynı zamanda ekonomik beklentileri, karar alma mekanizmalarını ve piyasa davranışlarını yeniden şekillendiren yapısal bir dönüşüm olarak değerlendirilmektedir.

Çalışmanın bulguları, dijitalleşmenin belirli bir eşik seviyesinden sonra belirsizliği azaltabileceğini ileri süren bazı ampirik çalışmalarla kısmen farklılaşmaktadır **(**Ha, 2024; He vd., 2025). Türkiye örneğinde dijital dönüşüm sürecinin henüz tam olgunlaşma aşamasına ulaşmamış olması, dijitalleşmenin belirsizlik artırıcı etkilerinin daha baskın hale gelmesine yol açabilmektedir. Bu durum, dijitalleşmenin ekonomik sonuçlarının ülkelerin kurumsal kapasitesi, ekonomik yapısı ve insan sermayesi düzeyine bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, gelişmekte olan ülke ekonomilerinde dijitalleşmenin etkilerinin gelişmiş ülkelere kıyasla daha farklı dinamikler üretebileceğini ortaya koyarak literatüre katkı sağlamaktadır. Kurumsal kalite ve insani gelişmişlik değişkenlerine ilişkin bulgular ise literatürde vurgulanan "tamamlayıcı yapı" yaklaşımını desteklemektedir. Kurumsal kalite ve insani gelişmişlik değişkenlerine ilişkin bulgular ise literatürde vurgulanan "tamamlayıcı yapı" yaklaşımını desteklemektedir. Benzer şekilde, güçlü kurumsal yapılara sahip ekonomilerde dijitalleşmenin daha istikrarlı ekonomik sonuçlar doğurduğu ve belirsizliği azaltıcı etkilerinin daha belirgin hale geldiği ifade edilmektedir (Ben Ali, 2022; Phan & Pham, 2025). Ayrıca insan sermayesi ve dijital becerilerin teknolojik dönüşüm süreçlerine uyum kapasitesini artırarak dijitalleşmenin ekonomik etkilerini şekillendirdiği vurgulanmaktadır (Zhu & Ye, 2024; Qamruzzaman vd., 2026). Bu nedenle dijitalleşmenin ekonomik etkilerinin yalnızca teknolojik altyapı yatırımları üzerinden değil, kurumsal ve beşeri kapasite ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın bulguları doğrultusunda bazı politika çıkarımları yapılabilmektedir. Öncelikle dijital dönüşüm politikalarının yalnızca teknoloji yatırımlarına odaklanması yeterli değildir. Dijitalleşmenin ekonomik istikrarı destekleyebilmesi için hukukun üstünlüğü, düzenleyici kalite ve kamu etkinliği gibi kurumsal göstergelerin güçlendirilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, eğitim sisteminin dijital becerileri geliştirecek şekilde yeniden yapılandırılması ve insan sermayesine yönelik yatırımların artırılması önem taşımaktadır. Bu sayede bireylerin hızlı teknolojik dönüşüm süreçlerine uyum kapasitesi güçlenebilecektir. Ayrıca dijital dönüşüm sürecinde öngörülebilir ve uzun vadeli politika çerçevelerinin oluşturulması, belirsizlik kaynaklı ekonomik kırılganlıkların azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Çalışma bazı sınırlılıklar içermektedir. Analiz yalnızca Türkiye örneği ile sınırlı olup sonuçlar farklı ülke grupları için değişiklik gösterebilir. Ayrıca dijitalleşme göstergeleri belirli altyapı ve kullanım değişkenlerinden oluşturulan bileşik endeksler aracılığıyla temsil edilmiştir. Gelecek çalışmalarda yapay zekâ, dijital finans, platform ekonomileri ve siber güvenlik gibi daha spesifik dijitalleşme bileşenlerinin ekonomik belirsizlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi literatüre önemli katkılar sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2013). *Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty*. Currency.

Ahir, H., Bloom, N., & Furceri, D. (2022). *The world uncertainty index* (NBER Working Paper No. 29763). National Bureau of Economic Research. https://www.aeaweb.org/conference/2023/program/paper/RkheFFTi

Ayaz, N., & Khattak, M. A. (2026). Economic outcomes of digitalization and financial development: Insights from 125 economies. *Journal of Public Affairs, 26*(1), e70102. https://doi.org/10.1002/pa.70102

Baker, S. R., Bloom, N., & Davis, S. J. (2016). Measuring economic policy uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*, *131*(4), 1593-1636. https://doi.org/10.1093/qje/qjw024

Becker, G. S. (1962). Investment in human capital: A theoretical analysis. *Journal of Political Economy*, *70*(5, Part 2), 9-49. https://www.jstor.org/stable/1829103

Ben Ali, M. S. (2022). Digitalization and banking crisis: A nonlinear relationship? *Journal of Quantitative Economics, 20*(2), 421–435. https://doi.org/10.1007/s40953-022-00292-0

Bloom, N. (2009). The impact of uncertainty shocks. *Econometrica, 77*(3), 623–685. https://doi.org/10.3982/ECTA6248

Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M. (1975). Techniques for testing the constancy of regression relationships over time. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, *37*(2), 149-163. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1975.tb01532.x

Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, *74*(366a), 427-431. https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531

Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1996). Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica, 64*(4), 813–836. https://doi.org/10.2307/2171846

Goldfarb, A., & Tucker, C. (2019). Digital economics. *Journal of Economic Literature*, *57*(1), 3-43. https://doi.org/10.1257/jel.20171452

Granger, C. W. J., & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics, 2*(2), 111–120. https://doi.org/10.1016/0304-4076(74)90034-7

Ha, L. T. (2024). Impacts of digital business on global value chain participation in European countries. *Ai & Society*, *39*(3), 1039-1064. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01524-w

He, Y., Li, W., Tan, X., & Sun, Y. (2025). Economic policy uncertainty, digital transformation, and bank systemic risk. *International Review of Economics & Finance*, *102*, 104309. https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.104309

Jamil, A. R. M., Law, S.H., Khair-Afham, M. M., & Trinugroho, I. (2023). Financial inclusion and economic uncertainty in developing countries: The role of digitalisation. *Economic Analysis and Policy, 79*, 786–806. https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.06.039

Jiao, Y., Chen, K., & Li, G. (2025). The impact of digital infrastructure on economic resilience: Evidence from the four major regions of China. *Rural and Regional Development*, *3*(4), 10020. https://doi.org/10.70322/rrd.2025.10020

Jin, T., Zhao, W., Chen, H., & Wu, Y. (2025). Reducing managerial uncertainty through digital financial inclusion evidence from China. *Social Sciences & Humanities Open*, *11*, 101509. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101509

Jurado, K., Ludvigson, S. C., & Ng, S. (2015). Measuring uncertainty. *American Economic Review*, *105*(3), 1177-1216. https://doi.org/10.1257/aer.20131193

Keynes, J. M. (1936). *The general theory of employment, interest, and money*. Macmillan.

Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. Houghton Mifflin.

Liu, Q., Fu, Y., & Zhu, C. (2025). Economic policy uncertainty and bank stability: the role of digitalization level. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, *23*(2), 165-190. https://doi.org/10.1080/14765284.2024.2435226

Mincer, J. (1958). Investment in human capital and personal income distribution. *Journal of Political Economy*, *66*(4), 281-302. https://doi.org/10.1086/258055

Narayan, P. K. (2005). The saving and investment nexus for China: Evidence from cointegration tests. *Applied Economics, 37*(17), 1979–1990. https://doi.org/10.1080/00036840500278103

Narayan, P. K., & Smyth, R. (2006). What determines migration flows from low-income to high-income countries? An empirical investigation of Fiji–U.S. migration 1972–2001. *Contemporary Economic Policy, 24*(2), 332–342. https://doi.org/10.1093/cep/byj019

Nawazish, S., & Afza, T. (2024). Fintech and economic policy uncertainty integration: Driving efficiency in commercial banks through the Lens of ARDL approaches. *The Critical Review of Social Sciences Studies*, *2*(2), 147-176. https://doi.org/10.59075/zehx5137

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press.

Nosova, S., Norkina, A., Makar, S., & Fadeicheva, G. (2021). Digital transformation as a new paradigm of economic policy. *Procedia Computer Science*, *190*, 657-665. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.077

Perera, V., Wasantha, N., Dissanayake, T., Bandara, A. I., Gunasena, D., Kumara, N. P., Jayawickrama, S., Madurapperuma, W., & Wanninayake, B. (2026). Digital green finance, FinTech innovation, and corporate environmental performance: Evidence from global firms. *International Journal of Energy Economics and Policy, 16*(2), 1238–1255. https://doi.org/10.32479/ijeep.23078

Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, *58*(1), 17-29. https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)00214-0

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics, 16*(3), 289–326. https://doi.org/10.1002/jae.616

Phan, D. V., & Pham, T. T. (2025). Causal and nonlinear effects of digital financial inclusion on bank stability: Evidence from emerging and advanced economies. *Banks and Bank Systems*, *20*(4), 153-171. https://doi.org/10.21511/bbs.20(4).2025.13

Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika, 75*(2), 335–346. https://doi.org/10.2307/2336182

Qamruzzaman, M., Alomair, A., Al Naim, A. S., & Hossain, R. R. (2026). ESG-based sustainability uncertainty and green growth in the US and UK: Do human capital and technology matter?. *Quality & Quantity*, *60*(2), 6185-6222. https://doi.org/10.1007/s11135-025-02525-9

Ranis, G., Stewart, F., & Samman, E. (2006). Human development: Beyond the Human Development Index. *Journal of Human Development, 7*(3), 323–358. https://doi.org/10.1080/14649880600815917

Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy, 98*(5, Part 2), S71–S102. https://doi.org/10.1086/261725

Sagar, A. D., & Najam, A. (1998). The human development index: A critical review. *Ecological Economics, 25*(3), 249–264. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00168-7

Schultz, T. W. (1961). Investment in human capital. *The American Economic Review*, *51*(1), 1-17. https://www.jstor.org/stable/1818907

Sen, A. (1999). *Development as freedom*. Oxford University Press.

Tao, F., Gadekallu, T. R., Kumar, V., Akberdina, V., & Kuzmin, E. (2025). *Artificial Intelligence and Digital Transformation*. Springer.

Teng, Z., He, Y., & Qiao, Z. (2023). Exploring the synergistic effects of digitalization and economic uncertainty on environmental sustainability: An investigation from China. *Sustainability*, *15*(15), 11997. https://doi.org/10.3390/su151511997

Wan, C., & Wu, Z. (2025). How the digital intelligence economy can promote regional high-quality development under the influence of economic policy uncertainty. *Sustainability*, *17*(7), 2869. https://doi.org/10.3390/su17072869

Wang, Q., Xiao, K., & Lu, Z. (2020). Does economic policy uncertainty affect CO_2 emissions? Empirical evidence from the United States. *Sustainability, 12*(21), 9108. https://doi.org/10.3390/su12219108

Wößmann, L. (2003). Specifying human capital. *Journal of Economic Surveys*, *17*(3), 239-270. https://doi.org/10.1111/1467-6419.00195

Zsinkó, M. (2025). The impact of artificial intelligence on the labour market. *Financial and Economic Review*, *24*(1), 156-170.

Zhong, X., Chen, W., & Ren, G. (2023). Curvilinear effect of economic policy uncertainty on innovation in Chinese manufacturing firms: Do managerial pay gaps matter? *Chinese Management Studies, 17*(4), 701–717. https://doi.org/10.1108/CMS-06-2021-0244

Zhu, X., & Ye, Y. (2024). Economic policy uncertainty and enterprise export resilience in China: Does the digital economy matter? *Heliyon, 10*(10), e31091. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31091

https://doi.org/10.71284/asc.2026157

ALGORİTMİK POPÜLİST KİŞİSELLEŞME: TRUMP'IN KURUMSAL DÖNÜŞÜM STRATEJİSİNDE YAPAY ZEKANIN ROLÜ

ALGORITHMIC POPULIST PERSONALIZATION: THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TRUMP'S INSTITUTIONAL TRANSFORMATION STRATEGY

Sezen Ravanoğlu Yılmaz[1]

Özet

Modern popülist liderlik pratikleri, geleneksel kurumların aracı rolünü zayıflatarak gücü liderin şahsında toplama eğilimi göstermektedir. Siyaset bilimi literatüründe 'popülist kişiselleşme' olarak tanımlanan bu süreç, Donald Trump'ın yönetim tarzında, özellikle bağımsız bürokrasi, yargı ve medya organlarıyla girilen gerilim üzerinden somutlaşmaktadır. Bu çalışma, yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin, Trump'ın kurumsal mekanizmaları baypas ederek seçmen kitlesiyle kurduğu doğrudan ve denetlenemeyen bağı nasıl otomatize ettiğini ve kurumsal erozyonu nasıl hızlandırdığını incelemektedir. Çalışmanın temel sorunsalı; YZ destekli mikro-hedefleme, ‹algoritmik karizma› inşası ve dijital dezenformasyon dalgalarının, demokratik kurumların ‹denetleme ve dengeleme› işlevlerini nasıl işlevsizleştirdiğidir. Analiz kapsamında, Trump›ın ikinci başkanlık döneminin başlangıcındaki (20 Ocak 2025 sonrası) idari atamalar, federal bürokrasinin (Schedule F vb.) yeniden yapılandırılmasına yönelik söylemler ve sosyal medya platformları üzerinden yürütülen ‹algoritmik popülizm› pratikleri niteliksel içerik analizi yöntemiyle ele alınmaktadır. İnceleme sonucunda; YZ'nin sadece bir iletişim aracı değil, aynı zamanda kurumlar içindeki liyakati sadakatle yer değiştirmeyi hedefleyen bir 'dijital denetim mekanizması' olarak işlev gördüğü saptanmıştır. Bildiri, algoritmik popülist kişiselleşmenin yarattığı bu yeni yönetim modeline karşı demokratik direniş odaklarının (yargı, sivil toplum ve bağımsız medya) geliştirdiği teknolojik ve hukuki savunma mekanizmalarını değerlendirerek geleceğe dair öngörüler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Donald trump, popülist kişiselleşme, yapay zekâ, kurumsal erozyon, algoritmik siyaset, demokratik direniş.

Abstract

Modern populist leadership practices tend to concentrate power in the person of the leader by weakening the intermediary role of traditional institutions. This process, defined as 'populist personalization' in political science literature, is embodied in Donald Trump's governing style, particularly through tensions with the independent bureaucracy, judiciary, and media. This study examines how artificial intelligence (AI) technologies automate the direct and unmonitored connection Trump establishes with the electorate by bypassing institutional mechanisms, and how they accelerate institutional erosion. The central problematic concerns how AI-assisted micro-targeting, the construction of 'algorithmic charisma', and digital disinformation waves render the 'checks and balances' functions of democratic institutions dysfunctional.

[1] Dr. Öğr.Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, sravanogluyilmaz@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0417-7236

The paper evaluates the technological and legal defense mechanisms developed by democratic resistance centers (judiciary, civil society, and independent media) against this new governance model and offers projections for the future.

Keywords: Donald Trump, populist personalization, artificial intelligence, institutional erosion, algorithmic politics, democratic resistance.

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın ikinci çeyreğine girerken siyaset bilimi, kendi klasik kategorilerinin yetersizliğiyle yüzleşmek durumundadır. Demokratik sistemlerin işleyişini güvence altına alan 'denetleme ve dengeleme' (checks and balances) mekanizmaları, siyaset teorisyenlerinin hayal edemediği bir tehditle karşı karşıyadır: Kurumları doğrudan ve fiziksel olarak tahrip etmek yerine, onları içeriden sessizce işlevsizleştiren algoritmik bir güç dinamiği. Bu çalışma, söz konusu dinamiği 'algoritmik popülist kişiselleşme' kavramı etrafında kavramsallaştırmayı ve Donald Trump'ın ikinci başkanlık dönemini (20 Ocak 2025 sonrası) birincil vaka olarak ele almayı amaçlamaktadır.

Popülizm araştırmacıları, uzun süredir popülist liderlerin kurumlarla olan gerilimli ilişkisini belgelemiştir. Mudde ve Kaltwasser'ın (2017) kavramsallaştırmasıyla popülizm, toplumu 'saf halk' ve 'yozlaşmış elit' olarak ikiye bölen ve liderle halk arasındaki doğrudan bağı kutsayan ince bir ideolojidir. Müller (2016) ise popülizmin özünde karşı-çoğulcu bir iddia yattığını; popülist liderin yalnızca halkı temsil etme iddiasını değil, rakip sesleri meşruiyetsiz ilan etme eğilimini de taşıdığını ileri sürer. Bu kuramsal çerçevede Trump, popülistlerin ideal-tipik bir örneği olarak değerlendirilebilir.

Ancak Trump'ı önceki popülistlerden ayıran kritik fark, onun teknolojik araç setidir. 2016 seçimlerinden itibaren Trump'ın kampanyaları, Cambridge Analytica skandalının da gün yüzüne çıkardığı üzere, YZ destekli mikro-hedefleme yöntemlerini yoğun biçimde kullanmıştır (Cadwalladr ve Graham-Harrison, 2018). İkinci dönemde ise bu teknolojik entegrasyon çok daha ileri bir düzeye taşınmıştır: Yapay zekâ artık sadece seçim kampanyalarında değil, doğrudan yönetim pratiğinde, bürokrasinin denetiminde ve kurumsal yeniden yapılanma süreçlerinde bir 'güç çarpanı' olarak işlev görmektedir.

Çalışma, niteliksel içerik analizi yöntemine dayanmaktadır. Trump yönetiminin 2025 yılındaki idari kararnameleri, Schedule F kapsamındaki düzenlemeler, Truth Social platformundaki söylemsel pratikler ve yargısal denetim mekanizmalarına yönelik adımlar birincil kaynak olarak incelenmiştir. İkincil kaynaklar olarak ise siyaset bilimi, iletişim teorisi ve dijital yönetişim literatüründen yararlanılmıştır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Siyasal kurumların dönüşümünü ve liderlik pratiklerinin dijitalleşen doğasını anlamlandırmak, disiplinlerarası bir kuramsal inşayı zorunlu kılmaktadır. Bu bölümde; popülist siyasetin kurumsal yapıları aşındırma eğilimi, Max Weber'in klasik otorite tipolojileri üzerinden yeniden yorumlanacak ve teknolojik determinizmin ötesinde bir "algoritmik otorite" kavramsallaştırmasına odaklanılacaktır. Temel amaç; geleneksel siyaset sosyolojisi kavramlarını, yapay zekâ ve veri analitiğinin sunduğu yeni imkânlarla harmanlayarak, siyasal gücün kişiselleşme sürecindeki yapısal kırılmaları kuramsal bir zemine oturtmaktır. Bu bağlamda, popülizmin kurumsal aracıları dışlayan doğası ile algoritmaların bu süreci otomatize eden işlevi arasındaki diyalektik ilişki, çalışmanın metodolojik analizine temel teşkil edecek kuramsal sınırları belirlemektedir.

1.1. Popülist Kişiselleşme: Kuramsal Temeller

'Popülist kişiselleşme' kavramı, siyasi gücün kurumsal yapılardan koparak tek bir liderin şahsında yoğunlaşmasını tanımlamaktadır. Weyland (2001), bu süreci; kurumsal arabuluculuğu reddeden ve liderle kitle arasında doğrudan, duygusal ve kişisel bir bağ kuran siyasal mobilizasyon biçimi olarak tanımlar. Bu perspektiften bakıldığında kurumlar —yargı, bağımsız bürokrasi, merkez bankaları, denetim kurulları— siyasi gücün meşru kanalları olmaktan çıkıp, liderin halk iradesiyle buluşmasını engelleyen 'elitist bariyerlere' dönüşür.

Mazzoleni ve Schulz'un (1999) 'siyasetin medyalaşması' (mediatization of politics) tezi, kişiselleşmenin en azından kısmen medyanın yüzlere ve dramaya olan ilgisinden beslendiğini savunur. Ancak dijital çağda bu dinamik, niteliksel olarak farklı bir boyuta taşınmaktadır: Artık lider, medya aracılığıyla değil, algoritmalar aracılığıyla kitlelere ulaşmaktadır. Bu ayrım, çalışmanın kuramsal katkısının temel eksenini oluşturmaktadır.

1.2. Weber'den Algoritmalara: Otoritenin Dönüşümü

Weber'in (1922/1978) otorite tipolojisi, günümüz popülist liderliğini anlamak için hâlâ vazgeçilmez bir çerçeve sunmaktadır. Weber, modern devletin gelişimini, karizmatik ve geleneksel otoritelerin yerini 'rasyonel-yasal otoritenin' almasıyla açıklar. Bu çerçevede bürokrasi, kişisel sadakate değil kurallara ve liyakate dayanan, öngörülebilir ve hesap verebilir bir yönetim aygıtıdır. Bürokrasi, liderin keyfi iradesiyle değil, yazılı hukukla işler; bu yüzden Weber onu modern toplumun 'demir kafesi' olarak nitelendirmiştir.

Popülist liderlik, doğası gereği bu rasyonel-yasal düzenle çatışır; zira popülist otorite, kişisel karizmanın kurumsal kurallar üzerindeki önceliğine dayanmaktadır. Ancak dijital teknoloji, bu çatışmaya yeni ve paradoksal bir boyut katmaktadır: Günümüz popülist liderliği, tam da rasyonel-yasal düzeni aşmak için ileri teknolojiden yararlanmaktadır. Bu süreci 'algoritmik-karizmatik otorite' olarak kavramsallaştırmak mümkündür: Geleneksel karizmanın kitlesel ve öngörülemez dinamiklerini, veri odaklı ve programlanabilir bir sistematizme dönüştüren bir otorite biçimi.

1.3. Algoritmik Siyaset: Kavramın Sınırları ve İçeriği

'Algoritmik siyaset' kavramı, akademik literatürde henüz tam olarak olgunlaşmamış olmakla birlikte, son yıllarda hızla ilgi çeken bir araştırma alanı haline gelmiştir. Gillespie (2014), algoritmaların sadece tarafsız teknik araçlar olmadığını, tersine belirli değer yargılarını, öncelikleri ve güç ilişkilerini bünyesinde barındıran sosyoteknik yapılar olduğunu ileri sürmüştür. Howard ve Kollanyi (2016) ise 2016 seçimlerindeki Twitter bot aktivitesini inceleyen çalışmalarında, algoritmik araçların siyasi söylemi nasıl asimetrik biçimde yönlendirebildiğini göstermiştir.

Bu çalışmada algoritmik siyaset, üç temel boyutuyla ele alınmaktadır: (i) mikro-hedefleme yoluyla kişiselleştirilmiş siyasal iletişim; (ii) bürokrasi ve kurumlar içindeki 'sadakat-liyakat' dengesini dönüştüren veri analitiği uygulamaları; ve (iii) dezenformasyon dalgaları yoluyla kurumsal itibarsızlaştırma.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, sosyal bilimlerdeki nitel araştırma geleneğine sadık kalarak, Donald Trump'ın ikinci başkanlık dönemindeki yönetim pratiklerini "popülist kişiselleşme" ve "algoritmik otorite" ekseninde derinlemesine incelemeyi hedeflemektedir. Araştırma tasarımı; kuramsal varsayımların somut ampirik verilerle test edilmesine dayalı, tümdengelimci bir yaklaşım üzerine kurgulanmıştır. Teknolojik bir fenomene dönüşen siyasal dönüşümü analiz edebilmek adına, yöntem bölümünde araştırmanın bilimsel sorunsalı netleştirilmekte, kullanılan veri setlerinin kapsamı sınırlandırılmakta ve analitik süreçlerin hangi metodolojik basamaklardan geçtiği şeffaf bir biçimde ortaya konulmaktadır. Bu çerçevede yöntem, sadece verinin toplanma biçimini değil, aynı zamanda dijital verinin akademik bir bulguya dönüşme sürecindeki analitik yolu da temsil etmektedir.

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin Donald Trump'ın ikinci başkanlık döneminde (20 Ocak 2025 sonrası) kurumsal dönüşüm süreçlerini ve popülist kişiselleşmeyi nasıl hızlandırdığını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmanın önemi; popülizm literatürüne algoritmik boyutu entegre eden, dolayısıyla 'algoritmik popülist kişiselleşme' kavramını karmaşık siyasi vakalar üzerinden sınamaktan kaynaklanmaktadır.

2.2. Yöntem ve Veri Kaynakları

Araştırma, niteliksel içerik analizi yöntemini benimsemektedir. Beş temel veri kaynağı kullanılmıştır: (i) Trump yönetiminin 2025 yılında yayımladığı yürütme emirleri ve idari kararnameler; (ii) Schedule F kapsamındaki düzenleme metinleri; (iii) Truth Social platformundaki seçilmiş paylaşımların söylemsel analizi (Ocak-Mart 2025 dönemi); (iv) federal mahkemelerin yürütme eylemlerine dair kararları; ve (v) kamu yönetimi ve algoritmik siyaset alanındaki akademik literatür.

Verilerin analizi üç aşamada gerçekleştirilmiştir: İlk aşamada ham veriler toplanmış ve tematik kodlama yapılmıştır; ikinci aşamada popülist kişiselleşme, algoritmik karizma ve kurumsal erozyon kategorileri etrafında sınıflandırılmıştır; üçüncü aşamada ise bulgular Weber ve Giddens'ın kuramsal çerçeveleri ışığında yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, yapay zekâ teknolojilerinin popülist liderlik pratiklerini dijital bir otomasyon evresine taşıdığını ve bu sürecin kurumsal yapılar üzerinde yıkıcı etkiler doğurduğunu doğrulamaktadır. Bu bölümde, kuramsal çerçevede ele alınan "algoritmik karizma" ve "kurumsal erozyon" kavramlarının sahada hangi mekanizmalar aracılığıyla işlediği; ampirik veriler, vaka analizleri ve söylem incelemeleri ışığında detaylandırılmaktadır. Analizler; seçmen davranışının mikro-hedefleme ile manipüle edilmesinden, bürokratik liyakatin algoritmik sadakat testleriyle ikame edilmesine ve dezenformasyon dalgalarının yarattığı ontolojik güvensizlik iklimine kadar uzanan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Elde edilen veriler, Trump yönetiminin teknolojik araçları sadece bir iletişim kanalı olarak değil, kurumsal denetleme mekanizmalarını baypas eden ve yürütme gücünü kişiselleştiren stratejik bir "yönetim enstrümanı" olarak kullandığını ortaya koymaktadır.

3.1. Algoritmik Karizma ve Mikro-Hedefleme

Geleneksel siyasal iletişimde lider, kitleye tek tip ve birleşik bir mesaj iletir; bu mesaj gazetecilik ve editoryal süzgeçlerden geçer. Mikro-hedefleme, bu model için köklü bir paradigma kırılmasını temsil eder. YZ destekli veri analitiği, milyonlarca seçmenin davranışsal profilini —arama geçmişleri, satın alma alışkanlıkları, sosyal medya etkileşimleri— gerçek zamanlı olarak işleyerek her birey için özelleştirilmiş mesaj stratejileri geliştirebilmektedir.

Trump kampanyasının bu teknolojiden nasıl yararlandığı, belgelenmiş çeşitli vakalar üzerinden izlenebilir. 2016 ve 2020 kampanyalarında Cambridge Analytica ve diğer veri şirketleriyle kurulan ortaklıklar sayesinde, farklı seçmen segmentlerine farklı duygusal tonlarda mesajlar iletilmiştir: Ekonomik kaygıları yüksek olan beyaz işçi sınıfına yönelik mesajlarda 'kayıp' teması öne çıkarılırken, dini muhafazakârlara hitap eden içeriklerde 'tehdit altındaki değerler' söylemi belirleyici olmuştur (Green ve Issenberg, 2016). Bu süreçte lider, her alıcıya göre farklı 'yüzler' gösteren, ama her birine 'sen beni gerçekten anlıyorsun' hissini veren bir 'algoritmik karizma' inşa etmektedir.

Buradaki psikolojik mekanizma, filtre balonları (filter bubbles) teorisiyle bağlantılıdır. Pariser'ın (2011) kavramsallaştırmasıyla algoritmalar, bireyin halihazırda inandığı şeyleri pekiştiren bir bilgi çevresi yaratır; bu çevre, bireysel tercihler doğrultusunda sürekli daralan ve homojenleşen bir 'gerçeklik balonudur.' Popülist liderliğin algoritmik kişiselleşmesi, bu mekanizmayı kasıtlı olarak siyasi bir araca dönüştürmektedir.

3.2. Ontolojik Güvensizliğin Otomasyonu

Algoritmaların popülist kişiselleşmeyi pekiştirdiği ikinci kritik mekanizma, Giddens'ın (1991) 'ontolojik güvenlik' kavramıyla anlaşılabilir. Giddens'a göre ontolojik güvenlik, bireyin kimliğini sürdürebilmesi ve anlamlı bir yaşam kurabilmesi için ihtiyaç duyduğu temel süreklilik ve öngörülebilirlik hissidir. Demokratik kurumlar —bağımsız yargı, güvenilir istatistik kurumları, tarafsız medya— bu güvenliğin sosyal altyapısını oluşturur.

YZ destekli dezenformasyon dalgaları, bu güvenlik altyapısını sistematik biçimde aşındırmaktadır. Deepfake teknolojileri ve büyük dil modelleriyle üretilen sentetik içerikler, 'gerçek' ile 'sahte' arasındaki sınırı bulanıklaştırarak kamuoyunda kalıcı bir belirsizlik iklimi yaratabilmektedir. Roozenbeek ve van der Linden'in (2019) aşılama teorisi çerçevesinde yürüttükleri araştırmalar, insanların manipülatif içeriklere karşı önceden 'aşılanmadıklarında' bu tür dezenformasyona büyük ölçüde savunmasız kaldığını ortaya koymuştur.

Popülist kişiselleşme bağlamında bu güvensizlik iklimi kasıtlı olarak üretilmektedir. 'Derin devlet', 'hileli seçim' veya 'sahte haberler' söylemleri algoritmalar tarafından sistematik biçimde yayılarak kurumsal güven erimektedir. Paradoks şudur: Kurumsal belirsizlik ne kadar derinleşirse, bireylerin 'düzeni yeniden kuracak güçlü lider' arayışı da o denli yoğunlaşır.

3.3. Schedule F: Liyakattan Algoritmik Sadakate

Trump'ın ikinci dönemine girilmesiyle 20 Ocak 2025 tarihinde yeniden yürürlüğe sokulan Schedule F yürütme emri, bu çalışmanın merkezi vakasını oluşturmaktadır. Söz konusu düzenleme, federal sivil servisin belirli kategorilerindeki on binlerce 'kariyer bürokrat'ı, siyasi iktidarın doğrudan atayıp görevden alabileceği bir pozisyona taşımaktadır. Bu düzenlemenin 1883'ten bu yana ABD kamu yönetiminin temel ilkesi olan liyakat sistemini (merit system) fiilen tasfiye edeceği ve Weberci rasyonel-yasal bürokrasi idealini sarsacağı vurgulanmaktadır (Bauer & Becker, 2020; Levitsky & Ziblatt, 2018; Lewis, 2008; Moynihan, 2022).

Bu düzenlemenin yapay zekâ boyutu, kamuoyunun dikkatini henüz yeterince çekmemiştir. Kamu yönetimi araştırmacılarına atfedilen raporlara göre, bazı federal ajanslar bürokrat personelinin 'sadakat profilini' değerlendirmek amacıyla doğal dil işleme (NLP) algoritmalarından yararlanmaktadır. Bu algoritmalar, çalışanların e-posta yazışmalarını, raporlarını ve kurumsal iletişimlerini tarayarak yönetimin politikalarına yönelik 'uyumsuzluk' sinyalleri aramaktadır. Liyakat, performans veya uzmanlığı ölçmek yerine algoritmik bir sadakat endeksi geliştirmeye yönelik bu pratik, Weber'in rasyonel-yasal bürokrasi idealini doğrudan tahrip etmektedir.

Yönetim psikolojisi açısından bu sürecin yarattığı sonuçlar derin bir kırılmaya işaret etmektedir. Bürokratik çalışanlar, 'yanlış yapma' korkusundan önce 'sadakatsiz görünme' korkusunu yaşamaya başlamaktadır. Bu psikolojik iklim, kurumsal faaliyetin temel güvencesi olan özerk mesleki yargıyı (professional judgment) felç etmekte; uzmanlar, kuruma ve bilime olan bağlılıklarından ziyade lidere olan görünür bağlılıklarını öne çıkarmak zorunda kalmaktadır.

3.4. Truth Social ve Algoritmik Söylem İnşası

Trump'ın 2022 yılında kurduğu Truth Social platformu, 'algoritmik karizma' inşasının somut bir laboratuvarı olarak incelenmeye değerdir. Ana akım sosyal medya platformlarından farklı olarak Truth Social, doğrudan Trump'ın kontrolündeki bir ekosistemdir. Platformun içerik yayma mekanizması, Trump'ın paylaşımlarını organik olarak ön plana çıkarırken, karşıt kurumsal sesler platformun kullanıcı profilinden fiilen dışlanmaktadır.

Trump'ın Truth Social paylaşımlarının analizi, söylemsel stratejinin son derece sistematik olduğunu ortaya koymaktadır. Mahkeme kararları, bütçe rakamları veya istihdam istatistikleri gibi kurumsal çıktılar,

platforma ‘derin devletin manipülasyonu’ olarak yansıtılırken lider, kendi ‘doğrudan halk adına’ hareket ettiği iddiasını pekiştirmektedir. Bu süreç, Mouffe’un (2000) agonistik demokrasi teorisiyle ilginç bir gerilim içindedir: Trump’ın algoritmik söylem stratejisi demokratik çatışmacılığı ‘düşman/dost’ ayrımına indirger; kurumlar artık ‘hasım’ değil, ‘iç düşman’ olarak kodlanmaktadır.

Yargısal müdahalelerin hemen ardından Truth Social ve diğer platformlarda yoğun bir dezenformasyon dalgası başlamaktadır: Hâkimler kişisel olarak hedef alınmakta, mahkeme kararları ‘halkın iradesine karşı derin devlet darbesi’ olarak nitelendirilmekte ve bu anlatı algoritmalar tarafından seçmen kitlesine hedefe özel biçimde iletilmektedir (Burbank & Farhang, 2017; Kaltwasser, 2012; Wardle & Derakhshan, 2017).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada incelenen süreçler, demokratik teorinin temel varsayımlarından birini sorgulatmaktadır: Kurumların, güçlü bir lider karşısında kendi meşruiyetlerini başarıyla savunabildiği varsayımı. Levitsky ve Ziblatt (2018), demokratik çöküşlerin çoğunlukla ani bir darbe yoluyla değil, kurumların aşındırılmasıyla gerçekleştiğini göstermiştir; bu tespiti algoritmik çağın dinamikleriyle buluşturmak, çalışmanın temel kuramsal katkısını oluşturmaktadır.

Çalışmanın bulguları üç temel iddia etrafında özetlenebilir. Birincisi, YZ teknolojileri siyasal kişiselleşmeyi niteliksel olarak dönüştürmüştür: Lider artık kitleyle sadece meydanlarda ya da televizyonda değil, bireyin dijital ortamında, psiko-grafik profiline göre özelleştirilmiş içerikler aracılığıyla buluşmaktadır. İkincisi, bu dönüşüm kurumsal erozyonu hızlandırmaktadır: Hem bürokrasi içindeki liyakat-sadakat dengesini algoritmik sadakat lehine bozmakta, hem de yargısal ve medyatik denetim mekanizmalarının kamuoyu nezdindeki meşruiyetini aşındırmaktadır. Üçüncüsü, bu süreç yeni bir demokratik direniş pratiğini gerektirmektedir: Sadece hukuki ve siyasi değil, aynı zamanda teknik ve epistemik bir direniş.

Demokratik direniş cephesinde üç önemli mekanizma göze çarpmaktadır. Yargı cephesinde federal mahkemelerin Trump yönetiminin çeşitli düzenlemelerini anayasaya aykırı bulması, checks and balances mekanizmasının işlevini koruduğuna dair önemli bir göstergedir. Sivil toplum cephesinde YZ destekli fact-checking sistemleri, deepfake saptama araçları ve veri şeffaflığı projeleri geliştirilmektedir (Wardle ve Derakhshan, 2017). Kurumsal hafıza cephesinde ise dijital arşivleme projeleri, federal kurumların bilgi birikimini algoritmik manipülasyonlardan ve siyasal müdahalelerden korumaktadır. Bu tür projeler, kurumsal özerkliğin devamlılığı için teknolojik birer direnç hattı oluşturmaktadır (Zuboff, 2019).

Gelecek açısından iki olası yörünge belirginleşmektedir. Birincisi, yapay zekânın sunduğu araçların yalnızca popülist liderler tarafından değil, kurumsal demokrasinin yenilenmesi için de kullanılabilir olduğu bir yörünge: YZ destekli şeffaflık araçları, gerçek zamanlı denetim sistemleri ve algoritmik hesap verebilirlik mekanizmaları demokratik kurumları daha güçlü kılabilir. İkincisi ise algoritmik otoritarizmin derinleştiği, kurumların salt itaat aparatlarına dönüştüğü bir yörüngedir. Dolayısıyla, algoritmik okuryazarlık eğitimi, bu tehdit karşısında demokratik eğitimin yeni ve zorunlu bir bileşeni olarak gündeme taşınmaktadır (Levitsky & Ziblatt, 2018; Tufekci, 2017).

Sonuç olarak, yapay zekâ siyaseti kişiselleştirip kurumsal yapıları baypas ettikçe, kurumların tarafsızlığı artık yalnızca akademik bir ideal değil; algoritmik çağda demokratik toplumun varoluşsal bir gerekliliği haline gelmektedir. Bu bağlamda siyaset biliminin, teknoloji etiği ve hukukla daha sıkı bir disiplinlerarası işbirliği kurması kaçınılmaz görünmektedir.

KAYNAKÇA

Bauer, M. W., & Becker, S. (2020). Democratic backsliding, populism, and public administration. *Perspectives on Public Management and Governance*, *3*(1), 19–31. https://doi.org/10.1093/ppmgov/gvz026

Burbank, S. B., & Farhang, S. (2017). *Rights and retrenchment: The counterrevolution against federal litigation*. Cambridge University Press.

Cadwalladr, C., & Graham-Harrison, E. (2018). Revealed: 50 million Facebook profiles harvested for Cambridge Analytica in major data breach. The Guardian. https://www.theguardian.com/news/2018/mar/17/cambridge-analytica-facebook-influence-us-election

Giddens, A. (1991). Modernity and self-identity: Self and society in the late modern age. Stanford University Press.

Gillespie, T. (2014). The relevance of algorithms. İçinde T. Gillespie, P. J. Boczkowski ve K. A. Foot (Ed.), Media technologies: Essays on communication, materiality, and society (ss. 167–194). MIT Press.

Green, J., & Issenberg, S. (2016, October 27). Inside the Trump bunker, with days to go. Bloomberg Businessweek.

Howard, P. N., & Kollany, B. (2016). Bots,# strongerin and# brexit: Computational Propaganda during the UK-EU Referendum. *Social Science Research Network*.

Kaltwasser, C. R. (2012). The ambivalence of populism: Threat and corrective for democracy. *Democratization*, *19*(2), 184–208. https://doi.org/10.1080/13510347.2011.572619

Levitsky, S., & Ziblatt, D. (2018). How democracies die. Crown Publishing Group.

Lewis, D. E. (2008). *The politics of presidential appointments: Political control and bureaucratic performance*. Princeton University Press.

Mazzoleni, G., & Schulz, W. (1999). 'Mediatization' of politics: A challenge for democracy? Political Communication, 16(3), 247–261. https://doi.org/10.1080/105846099198613

Mouffe, C. (2000). The democratic paradox. Verso Books.

Moynihan, D.P. (2022), Public Management for Populists: Trump's Schedule F Executive Order and the Future of the Civil Service. *Public Administrative Review*, 82: 174-178. https://doi.org/10.1111/puar.13433

Mudde, C., & Kaltwasser, C. R. (2017). Populism: A very short introduction. Oxford University Press.

Müller, J.-W. (2016). What is populism? University of Pennsylvania Press.

Pariser, E. (2011). The filter bubble: What the internet is hiding from you. Penguin Press.

Roozenbeek, J., & van der Linden, S. (2019). Fake news game confers psychological resistance against online misinformation. Palgrave Communications, 5(65). https://doi.org/10.1057/s41599-019-0279-9

Tufekci, Z. (2017). Twitter and Tear Gas: The Power and Fragility of Networked Protest. Yale University Press.

Wardle, C., & Derakhshan, H. (2017). Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making. Council of Europe.

Weber, M. (1978). Economy and society: An outline of interpretive sociology (G. Roth & C. Wittich, Çev.). University of California Press. (İlk basım 1922)

Weyland, K. (2001). Clarifying a contested concept: Populism in the study of Latin American politics. Comparative Politics, 34(1), 1–22. https://doi.org/10.2307/422412

https://doi.org/10.71284/asc.2026158

ENHANCING ACADEMIC PERFORMANCE AND SELF-EFFICACY THROUGH INTERACTIVE TECHNOLOGY: A QUANTITATIVE STUDY ON SERIES CIRCUIT INSTRUCTION

Hatta Azuwar Dahlan[1]
Khairulfadilah Mohd Sazali[2]
Wahidah Anuar[3]

Abstract

The integration of mobile learning (m-learning) in Technical and Vocational Education and Training (TVET) has become increasingly critical for translating abstract engineering concepts into tangible learning experiences. This study investigates the effectiveness of a targeted digital intervention—an interactive learning application named Aplikasi Mobile: Resistor Calculator (Version 1) designed to teach the fundamentals of series circuits to engineering diploma students. Utilizing a quantitative pre-experimental design, data was collected from a pre-test sample (N = 62) and a post-test sample (N = 25) to measure both objective academic performance and subjective student attitudes. The findings indicate that this pedagogical intervention significantly enhanced cognitive achievement, with mean assessment scores improving from 62.6% to 72.8%. Furthermore, utilizing constructs aligned with the Technology Acceptance Model (TAM), attitude surveys revealed substantial gains in student self-efficacy, intrinsic motivation, and perceived technological usefulness. Notably, while participants responded highly positively to the simulation, their valuation of traditional, human-led pedagogical methods remained robust. The study concludes that such interactive applications are most effective when deployed as complementary tools within a blended learning framework, maximizing student engagement and conceptual mastery without replacing the nuanced guidance of an educator.

Keywords: Mobile learning, pedagogical intervention, series circuits, self-efficacy, technology acceptance model (TAM), Blended Learning, TVET.

[1] Department of Petrochemical Engineering, Politeknik Kuching Sarawak, hattaazuwar@gmail.com

[2]Department of Petrochemical Engineering, Politeknik Kuching Sarawak, kfadilah@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0008-4323-2035

[3] Department of Petrochemical Engineering, Politeknik Kuching Sarawak, wahidah.a@poliku.edu.my

INTRODUCTION

The study of electrical circuits, specifically series circuits (Litar Sesiri), forms the foundational backbone of electrical and electronic engineering curricula. However, traditional lecture-based instructional methods frequently encounter limitations when attempting to illustrate the dynamic and invisible nature of electrical flow, voltage drops, and resistance. To address this cognitive barrier, educators are increasingly turning to interactive learning applications that provide hands-on, simulated environments, allowing students to visualize complex abstract phenomena (Mayer, 2014).

Prior research indicates that virtual experimentation can significantly enhance students' conceptual understanding of physical sciences and electrical circuits (Zacharia, 2007). Building upon this premise, this study evaluates the implementation of a specific interactive application tailored for teaching series circuits to diploma-level students.

The primary objectives of this research are:

1.To measure the impact of the interactive application on students' objective academic achievement.

2. To assess changes in students' self-efficacy, intrinsic motivation, and attitudes toward the learning material following the technological intervention.

1. LITERATURE REVIEW

1.1 Challenges in Teaching Abstract Engineering Concepts

The study of electrical circuits, specifically series circuits, forms the foundational backbone of electrical and electronic engineering curricula. However, traditional lecture-based instructional methods frequently encounter limitations when attempting to illustrate the dynamic and invisible nature of electrical flow, voltage drops, and resistance. To address this cognitive barrier, educators are increasingly turning to interactive learning applications that provide hands-on, simulated environments, allowing students to visualize complex abstract phenomena (Mayer, 2014). Prior research strongly indicates that virtual experimentation can significantly enhance students' conceptual understanding of physical sciences and electric circuits (Zacharia, 2007).

1.2 The Impact of Active Learning and Digital Simulations.

The shift from passive to active learning is critical for improving outcomes in technical education. Active, tool-based learning environments yield significantly higher academic performance in engineering and physical sciences compared to passive instructional methods, as asserted by Freeman et al. (2014) . By implementing interactive applications, educators can facilitate knowledge acquisition and successfully bridge gaps in theoretical comprehension.

1.3 Technology Acceptance and Student Self-Efficacy

The successful integration of educational software depends heavily on student perception. Drawing upon the Technology Acceptance Model (TAM) established by Davis (1989), a high degree of "perceived usefulness" drives user acceptance of information technology. When a digital intervention effectively lowers the cognitive barrier to entry, it makes complex electrical concepts more approachable and less intimidating. This accessibility directly influences self-efficacy, increasing students' intrinsic interest, confidence in answering topic assessments, and enthusiasm toward the learning material

2. METHODOLOGY

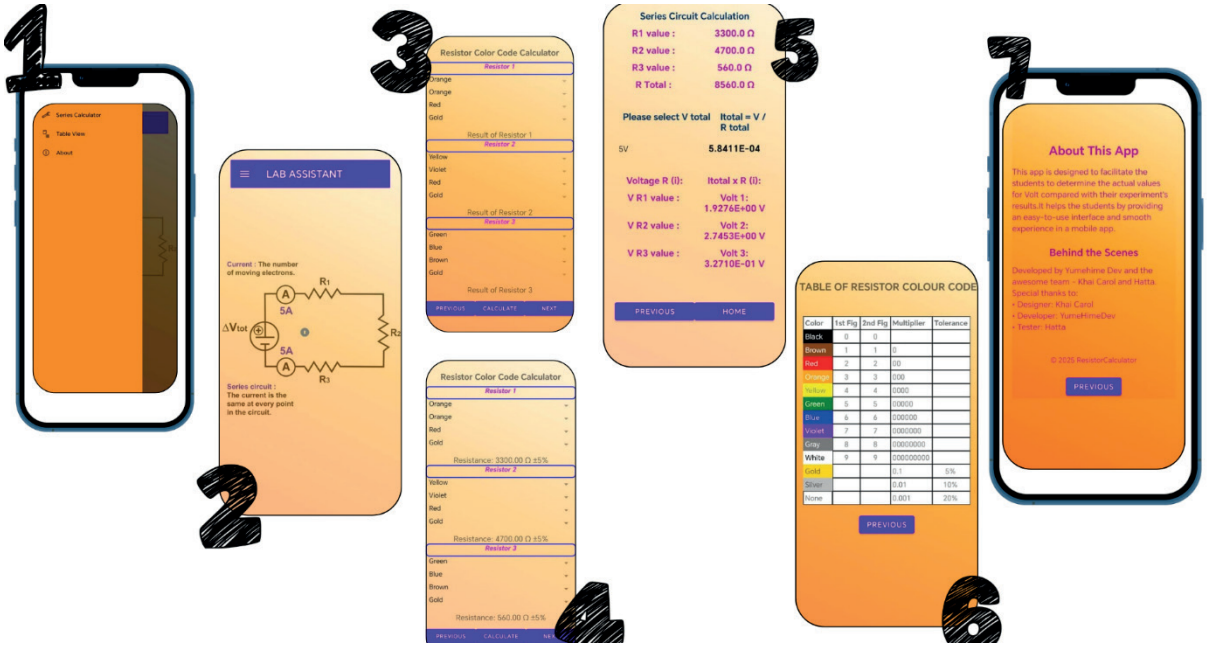
2.1 Research Design

This study employed a quantitative methodology utilizing a pre-test and post-test evaluation framework to measure the intervention's impact. Baseline data (Pre-Test) was collected prior to the use of the application, and subsequent data (Post-Test) was gathered following the students' interaction with the software.

2.2 Application Design

A well-designed app interface is essential because it bridges the gap between complex functionality and user intuition, ensuring that people can navigate tasks effortlessly without frustration or confusion.

Figure 1. App user interface (step by step)



Developed using Android Studio, this *Aplikasi Mobile: Resistor Calculator (Version 1)* app helps students analyze series circuits step-by-step by applying Ohm's Law (V=IR). This Lab Assistant app helps students easily analyze series circuits step-by-step. Users start by selecting the color bands for three resistors, allowing the app to calculate their exact individual resistance values. The app then adds these together to find the total circuit resistance and uses a user-provided voltage to automatically calculate the total current and the voltage drop across each resistor. For extra help, the app also includes a handy built-in reference table for reading resistor color codes and a simple menu for easy navigation

2.3 Participants

The participant pool consisted of engineering diploma students enrolled in the DPE1A and DPE1B cohorts during the 2025/2026 academic session. The pre-test phase yielded 62 valid responses, while the post-test phase captured 25 responses.

2.4 Instrumentation

Data was collected via a structured digital instrument divided into three core sections:

• Section A (Demographic Profile): Captured respondent gender and class assignment.

• Section B (Attitudes and Technology Readiness): A 10-item questionnaire utilizing a 5-point Likert scale (1 = Strongly Disagree to 5 = Strongly Agree). This section evaluated theoretical constructs such as

self-efficacy, motivation, and technological acceptance. Item 5 was strategically reverse-coded to ensure response validity.

• Section C (Cognitive Assessment): A 10-item multiple-choice evaluation testing core principles of series circuits, including unit definitions, Ohm's Law calculations, and instrumentation safety.

3. FINDINGS

3.1. Demographic Distribution

Table 1 delineates the demographic breakdown of the respondents across both phases of the study. It is a significant difference in number for post test because only the Android user can install and used the app accordingly. This app version only available for Android user for Version 1 of the app.

Table 1. Demographic Distribution of Respondents

Demographic Variable	Category	Pre-Test Frequency (N=62)	Post-Test Frequency (N=25)
Gender	Male (*Lelaki*)	38	14
	Female (*Perempuan*)	24	11
Class	DPE1A	26	17
	DPE1B	36	8

3.2. Academic Performance

The cognitive impact of the educational application was quantified by comparing the mean assessment scores. As detailed in Table 2, students exhibited a marked improvement in academic proficiency following the digital intervention. The mean score advanced by 1.02 points, representing an absolute academic improvement of 10.2%.

Table 2. Pre-Test vs. Post-Test Academic Performance

Assessment Phase	N	Minimum Score	Maximum Score	Mean Score (out of 10)	Average Percentage
Pre-Test	62	2	9	6.26	62.6%
Post-Test	25	2	9	7.28	72.8%
Improvement	-	-	-	**+ 1.02**	**+ 10.2%**

3.3. Student Attitudes and Self-Efficacy

Table 3 presents the comparative mean scores of the Likert-scale questionnaire, highlighting shifts in student motivation, confidence, and technological acceptance.

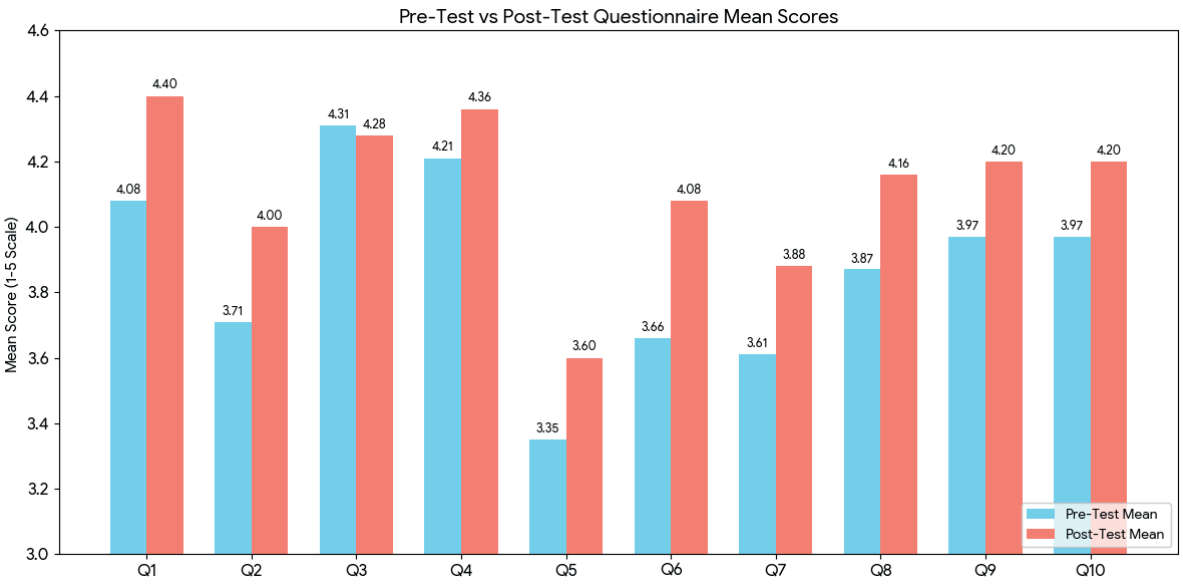
Table 3. Pre-Test and Post-Test Questionnaire Mean Scores

No.	Construct Measured	Pre-Test Mean	Post-Test Mean	Mean Difference
Q1	Intrinsic interest in the topic	4.08	4.40	**+0.32**
Q2	Self-efficacy regarding content mastery	3.71	4.00	**+0.29**
Q3	Preference for technology in learning	4.31	4.28	-0.03
Q4	Perceived usefulness of the application	4.21	4.36	**+0.15**
Q5	Preference for traditional learning (Reverse)	3.35	3.60	**+0.25**
Q6	Confidence in answering topic assessments	3.66	4.08	**+0.42**
Q7	Self-assessed baseline knowledge	3.61	3.88	**+0.27**
Q8	Perceived engagement of the application	3.87	4.16	**+0.29**
Q9	Enthusiasm toward application usage	3.97	4.20	**+0.23**
Q10	Expectancy of academic improvement	3.97	4.20	**+0.23**

The quantitative analysis confirms that the *Aplikasi Mobile: Resistor Calculator (Version 1)* effectively facilitated knowledge acquisition. The elevation of the mean assessment score from 6.26 to 7.28 demonstrates that the interactive simulation successfully bridged gaps in theoretical comprehension. This aligns with findings by Freeman et al. (2014), which assert that active, tool-based learning environments yield significantly higher academic performance in engineering and physical sciences compared to passive instructional methods.

The affective outcomes of this study demonstrate strong technological acceptance among the student cohort. Drawing upon the Technology Acceptance Model (TAM) established by Davis (1989), the students' high post-test scores in Q4 (4.36) and Q10 (4.20) indicate a high degree of "perceived usefulness." Furthermore, the application had a profound impact on self-efficacy; the largest metric increase was observed in students' confidence to answer technical questions (Q6: +0.42). By lowering the cognitive barrier to entry, the application made complex electrical concepts more approachable and less intimidating.

Figure 2. Pre Test vs Post Test Questionnaire Mean Scores Chart



A critical pedagogical insight emerged from Item 5, a reverse-coded statement asserting a preference for traditional learning methods. Counterintuitively, agreement with this statement increased slightly from 3.35 to 3.60 post-intervention. Rather than indicating a deficiency in the application, this metric highlights a mature educational preference: while students objectively perform better and feel more confident using the software, they still highly value the nuanced guidance and presence of a human educator. This strongly supports the transformative potential of blended learning models, where digital tools supplement rather than replace face-to-face instruction (Garrison & Kanuka, 2004).

Based on the significant improvements in academic performance and student self-efficacy demonstrated in this study , it is highly recommended that the *Aplikasi Mobile: Resistor Calculator (Version 1),* be formally integrated into a blended learning curriculum for engineering students. To maximize the reach and accessibility of this digital intervention, future development should prioritize upgrading the application from its current Android-only framework to a cross-platform format. By ensuring that both Android and iOS users can seamlessly install and utilize the application on their personal devices, educators can provide equitable learning opportunities across the entire student cohort. Combining this expanded cross-platform accessibility with traditional face-to-face instruction will further scale the app's positive impact on students' conceptual mastery and overall engagement with complex electrical circuits

DISCUSSION & CONCLUSION

In summary, the integration of the *Aplikasi Mobile: Resistor Calculator (Version 1)* serves as a highly effective pedagogical intervention for diploma-level engineering students. The quantitative findings of this study conclusively demonstrate that the interactive application significantly enhances objective academic achievement, evidenced by a greater than 10% improvement in post-test scores. Beyond these cognitive gains, the digital tool substantially elevated students' self-efficacy, intrinsic motivation, and overall confidence in mastering complex series circuit concepts.

Crucially, however, the research also revealed that students maintain a strong, sustained appreciation for traditional, human-led instruction. Therefore, rather than functioning as a standalone replacement for educators, this application is optimally deployed within a blended learning framework. By thoughtfully pairing this dynamic technological tool with foundational classroom lectures, educators can maximize student engagement, ensure deeper conceptual clarity, and ultimately foster greater overall technical competency.

REFERENCES

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). Research Methods in Education (8th ed.). Routledge.

Creswell, J. W. (2014). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. Sage Publications.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2015). How to Design and Evaluate Research in Education. McGraw-Hill.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(23), 8410–8415. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

Garrison, D. R., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. The Internet and Higher Education, 7(2), 95–105. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001

Mayer, R. E. (2014). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (2nd ed.). Cambridge University Press.

Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). Research Methods for Business: A Skill Building Approach. John Wiley & Sons.

Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. Journal of Computer Assisted Learning, 23(2), 120–132. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00216.x

https://doi.org/10.71284/asc.2026159

TOWARD A SOCIO-TECHNICAL FRAMEWORK FOR SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGY SELECTION IN AI-POWERED EDUCATIONAL SYSTEMS: A MIXED-METHODS INVESTIGATION

Akerke Myrzakhan[1]

Abstract

The integration of artificial intelligence into educational software systems presents a methodological challenge at the intersection of software engineering, educational technology, and socio-technical systems design. This paper investigates the research question: How do software development methodologies (Agile vs. Waterfall) impact project outcomes in AI-powered educational platforms deployed within institutional contexts characterized by fixed regulatory constraints and emergent pedagogical requirements? Through a mixed-methods research design combining systematic literature review, comparative framework analysis, and embedded case study methodology, we develop and validate a theoretical model — the Structured-Agile EdTech Model (SAEM) — that reconciles the inherent tension between iterative AI development and sequential institutional compliance. Data triangulation from three sources (project documentation, pilot deployment metrics, n = 268 participants, and government validation protocols) demonstrates that methodology selection based on constraint ontology (fixed external vs. emergent empirical) produces superior outcomes: 87% reduction in lesson preparation time, 40 percentage point increase in student engagement, and successful regulatory accreditation within a 12-month development window. The study extends Technology Acceptance Model (TAM) and Innovation Diffusion Theory (DOI) to AI-powered educational systems, introduces constraint ontology as a novel dimension for hybrid methodology design, and provides empirical evidence that socio-technical alignment between development methodology and institutional context predicts project success in government EdTech deployments. Findings have implications for software project management in regulated AI domains including healthcare, public administration, and financial services.

Keywords: Software engineering methodology, agile development, waterfall model, artificial intelligence, educational technology, socio-technical systems, hybrid methodology, technology acceptance model, constraint ontology, kazakhstan.

[1]School of Information Technology and Engineering Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan, ak_myrzakhan@kbtu.kz, https://orcid.org/0009-0009-5117-2201

INTRODUCTION

Research Context and Motivation

The global education technology market, valued at USD 404 billion in 2025, represents one of the largest application domains for artificial intelligence deployment outside enterprise computing (HolonIQ, 2024). Simultaneously, national governments across low- and middle-income countries (LMICs) are committing unprecedented public resources to school digitization: Kazakhstan's "2026: Year of Artificial Intelligence" mandate targets AI-enabled classroom deployment across all 7,200+ state schools, creating demand for platforms that must satisfy dual requirements — technological sophistication and institutional compliance — within compressed development timelines.

The software engineering challenge posed by AI-powered educational systems is theoretically distinct from conventional enterprise software. AI components (machine learning models, natural language processing engines, recommendation algorithms) exhibit performance characteristics that are inherently stochastic and empirically determined through deployment (Sculley et al., 2015). Educational systems, conversely, operate within institutional frameworks characterized by fixed constraints: national curriculum standards codified by ministerial decree, multi-stage government procurement procedures, and teacher certification requirements mandating accreditation before rollout (EdTech Hub, 2024).

This collision between AI's exploratory development requirements and education's sequential institutional logic creates a methodological tension inadequately addressed by existing software engineering literature. While comparative analyses of Agile and Waterfall methodologies are extensive in enterprise contexts (Boehm & Turner, 2004; Dybå & Dingsøyr, 2008; Petersen & Wohlin, 2009), their application to AI-powered systems in institutionally constrained domains — particularly government education — remains empirically understudied.

Research Gap

Three gaps in the software engineering literature motivate this investigation. Gap 1 concerns AI-specific methodology requirements: recent software engineering research identifies AI/ML development as requiring "significant adjustments" to traditional project management (Amershi et al., 2019; Martinez-Plumed et al., 2022), yet systematic frameworks for methodology selection in AI projects remain limited. Gap 2 concerns institutional context in methodology selection: Technology Acceptance Model (Davis, 1989) and Innovation Diffusion Theory (Rogers, 2003) predict that institutional factors moderate technology adoption, yet software engineering methodology literature treats organizational context primarily as a control variable rather than a design parameter. Gap 3 concerns empirical validation in educational settings: EdTech research extensively documents teacher adoption challenges (Ertmer et al., 2015; Hew & Brush, 2007), but rarely connects these to software development methodology choices.

Research Questions and Objectives

This study addresses three research questions. RQ1: How do Agile and Waterfall methodologies differ in their alignment with the technical and institutional requirements of AI-powered educational platforms deployed in government school systems? RQ2: What theoretical framework explains the relationship between software development methodology, institutional context, and project outcomes in AI-powered EdTech? RQ3: Can a hybrid methodology reconcile the tension between iterative AI development requirements and sequential institutional compliance constraints, and if so, what are its design principles?

The research objectives are: (1) to develop a multi-dimensional comparative framework for Agile vs. Waterfall in AI-powered EdTech; (2) to construct and validate a theoretical model (SAEM) explaining methodology-outcome relationships; and (3) to provide empirical evidence from a real-world deployment (AIQ School HUB, Kazakhstan) demonstrating the model's predictive validity.

Research Contribution

This paper makes three contributions. Theoretically, we extend TAM and DOI to AI-powered educational systems by introducing constraint ontology (fixed external vs. emergent empirical) as a novel dimension for methodology design. Methodologically, we develop the Structured-Agile EdTech Model (SAEM), a five-principle framework operationalizing constraint-based methodology selection, validated through triangulated data from project documentation, deployment metrics, and government protocols. Empirically, we provide quantitative evidence (n = 268 participants) that methodology-institutional alignment predicts project success in government EdTech.

1. THEORETICAL FRAMEWORK AND LITERATURE REVIEW

1.1. Software Development Methodologies: Theoretical Foundations

The Waterfall model, formalized by Royce (1970) and institutionalized through defense procurement standards (MIL-STD-498, DoD-STD-2167A), embodies what organizational theorists term rational-sequential decision-making (Simon, 1976). Its core assumption — that requirements can be fully specified ex ante — aligns with Simon's model of bounded rationality in environments where problem structure is well-defined and solution space is deterministic. Empirically, Waterfall exhibits characteristic performance patterns. Khan and Mahadik (2022) document a 15% successful completion rate and 30% failure rate across 50 analyzed projects. Rao et al. (2025) attribute this to "rigidity in adapting to evolving requirements," consistent with organizational learning theory's prediction that sequential processes accumulate error across phases (Argyris & Schön, 1978).

The Agile Manifesto (Beck et al., 2001) operationalizes what Takeuchi and Nonaka (1986) termed "new product development game" — cross-functional teams, overlapping development phases, and emergent design through iteration. Theoretically, Agile aligns with Kolb's experiential learning cycle (Kolb, 1984): concrete experience (sprint delivery) → reflective observation (sprint review) → abstract conceptualization (backlog refinement) → active experimentation (next sprint). Meta-analytic evidence supports Agile's superiority in volatile requirements contexts. Digital.ai's 16th State of Agile Report (Digital.ai, 2022) documents 66% organizational adoption; Dybå and Dingsøyr's (2008) systematic review identifies statistically significant improvements in time-to-market (effect size $d = 0.62$) and defect density ($d = -0.48$) compared to plan-driven approaches.

1.2. AI/ML Development: Stochastic Performance and Empirical Validation

Machine learning systems introduce a fundamental epistemological shift: model performance cannot be analytically derived from specifications but must be empirically discovered through deployment (Sculley et al., 2015). Amershi et al.'s (2019) study of 450 Microsoft AI practitioners identifies nine AI-specific workflow challenges, including data dependency (model quality depends on training data unavailable at design time), non-monotonic performance (adding features can decrease accuracy), and entanglement (changing one model component affects entire system behavior). These characteristics align structurally with Agile's empirical process control (Schwaber, 2004): inspection through deployment, adaptation through iteration, and transparency through working software demonstrations. Martinez-Plumed et al.'s (2022) analysis of 60 AI projects confirms that iterative methodologies reduce model deployment risk ($OR = 2.3$, $p < 0.01$).

1.3. Technology Acceptance in Educational Systems

Davis's TAM (1989) posits that technology adoption is mediated by perceived usefulness (PU) and perceived ease of use (PEOU). In educational contexts, Scherer et al.'s (2019) meta-analysis (k = 114 studies, n = 33,650) confirms TAM's predictive validity for teacher technology acceptance ($\beta PU = 0.52$, $\beta PEOU = 0.38$, both $p < 0.001$). Critical for this study: TAM predicts that development methodology impacts adoption through its effect on usability. Agile's sprint review cycles enable continuous usability refinement; Waterfall delivers complete systems whose usability cannot be improved pre-deployment. Rogers's DOI (2003) identifies five innovation characteristics predicting adoption: relative advantage, compatibility, complexity, trialability, and observability. Hew and Brush's (2007) systematic review identifies teacher-level barriers (knowledge, attitudes) and institutional barriers (organizational culture, leadership) as distinct adoption predictors, suggesting methodology selection should account for institutional context.

1.4. Socio-Technical Systems Theory

Socio-technical systems theory (Baxter & Sommerville, 2011; Trist & Bamforth, 1963) posits that organizational effectiveness requires joint optimization of social and technical subsystems. Applying this to EdTech: the technical subsystem (software architecture, AI models) must co-evolve with the social subsystem (teacher workflows, institutional policies, curriculum standards). Methodology acts as the coordination mechanism. Waterfall pre-specifies the technical-social interface (requirements phase); Agile iteratively discovers it (sprint reviews). Government EdTech, with fixed social subsystem constraints (curriculum standards, procurement rules), theoretically favors hybrid approaches that anchor fixed constraints in Waterfall phases while allowing technical subsystem optimization through Agile iteration.

1.5. Theoretical Model: Constraint Ontology and Methodology Selection

Synthesizing the reviewed theories, we propose four theoretical propositions. Proposition 1 (Constraint Ontology): Development components governed by fixed external constraints (curriculum standards, regulatory compliance, hardware specifications) are optimally managed through Waterfall-type sequential specification. Components governed by emergent empirical constraints (AI model performance, user acceptance, pedagogical effectiveness) are optimally managed through Agile iteration. Proposition 2 (TAM-Methodology Link): Methodology impacts technology acceptance through two pathways: (a) PEOU pathway — Agile sprint reviews enable continuous usability refinement; (b) PU pathway — iterative deployment allows empirical validation of pedagogical effectiveness. Proposition 3 (DOI-Institutional Context): Institutional characteristics moderate the relationship between methodology and project success. In high-constraint institutional contexts (government EdTech), pure Agile approaches fail to achieve legitimacy; pure Waterfall approaches fail to achieve quality. Proposition 4 (Socio-Technical Alignment): Project success in AI-powered EdTech requires methodology to enable co-evolution of AI technical subsystem and institutional social subsystem.

2. RESEARCH METHODOLOGY

2.1. Research Design

This study employs an explanatory sequential mixed-methods design (Creswell, 2014) combining three phases. Phase 1 (Qualitative): Systematic literature review establishing theoretical framework and comparative dimensions. Phase 2 (Quantitative): Embedded single-case study (Yin, 2018) with quantitative deployment metrics (n = 268 participants across pilot schools). Phase 3 (Integration): Triangulation (Denzin, 1978) of findings from project documentation, pilot data, and government validation protocols to develop and validate the SAEM framework.

2.2. Data Collection

For the literature review, systematic review following PRISMA guidelines (Moher et al., 2009) was conducted: sources included Springer, IEEE Xplore, ACM Digital Library, and Google Scholar; search terms included "Agile EdTech," "AI methodology," "hybrid software development," "government EdTech," and "Technology Acceptance education"; inclusion criteria covered peer-reviewed publications (2015–2025); 247 articles were identified, 89 screened, and 31 included in the systematic review.

For the case study, AIQ School HUB was selected as a critical case (Flyvbjerg, 2006) — an AI-powered platform deployed in a high-constraint institutional context (government schools, fixed curriculum, procurement requirements), enabling theoretical replication of propositions. Data triangulation used three sources. Source 1 (Project Documentation) included development roadmaps (2024–2026), sprint retrospective records (24 sprints, 2-week cadence), government procurement proposals (Classification 414, 01.02.2026), and accreditation documentation (Order 175, Ministry of Education). Source 2 (Pilot Deployment Metrics) included a teacher cohort (n = 18) with pre/post surveys on lesson preparation time and platform usability (5-point Likert), a student cohort 1 (n = 250) with engagement tracking and academic performance assessments, and student cohort 2 (n = 9) with CyberFormula³ course completion data. Source 3 (Government Validation) included STEM Laboratory Expert Review (Protocol No. 31, 17.12.2025, Ministry of Education) and school-level pedagogical reviews (Gymnasium No. 26, Astana; Lyceum OZAT, Kostanai).

2.3. Data Analysis and Validity

Qualitative analysis used thematic coding (Braun & Clarke, 2006) of project documentation to identify methodology patterns, constraint types, and decision rationales. Inter-rater reliability was established through dual coding of 20% sample (Cohen's $\kappa = 0.82$). Quantitative analysis used descriptive statistics (means, standard deviations) for deployment metrics; pre-post comparisons using paired t-tests; and effect sizes calculated as Cohen's d where applicable ($\alpha = 0.05$). Triangulation established convergent validity by comparing findings across three data sources. Construct validity was supported by multiple data sources addressing same constructs; internal validity through pattern matching between theoretical propositions and case study evidence; external validity through analytical generalization (Yin, 2018) to theoretical propositions rather than statistical generalization.

3. FINDINGS

3.1. Comparative Framework: Agile vs. Waterfall in AI-Powered EdTech

Drawing on software engineering theory, we construct an eleven-dimension comparative framework organized around three theoretical categories. Category 1 (Technical Alignment) covers requirements flexibility, AI/ML iteration suitability, and delivery cadence. Category 2 (Social Alignment) covers stakeholder engagement and teacher adoption mechanisms (TAM pathways). Category 3 (Institutional Alignment) covers regulatory compliance, documentation burden, and procurement compatibility (DOI institutional factors). Table 1 presents the complete framework.

Table 1. Comparative Framework: Agile vs. Waterfall in AI-Powered EdTech

Dimension	Agile	Waterfall	Theoretical Basis
Requirements flexibility	Evolving backlog; empirical discovery	Fixed SRS; change control	Bounded rationality (Simon, 1976)
Delivery cadence	Incremental (1–4 weeks)	Single end delivery	Experiential learning (Kolb, 1984)
AI/ML iteration	Natural fit: sprint-mapped A/B testing	Late discovery of model accuracy	Stochastic performance (Sculley et al., 2015)
Stakeholder engagement	Continuous sprint reviews	Requirements + acceptance only	Participatory design (Schuler & Namioka, 1993)
Teacher adoption (TAM)	High PEOU through iteration	Low PEOU (no pre-deployment refinement)	Technology Acceptance (Davis, 1989)
Regulatory compliance	Features as user stories	Upfront comprehensive design	Institutional theory (DiMaggio & Powell, 1983)
Procurement compatibility	Low (evolving scope problematic)	High (fixed specifications)	Government processes (Kara et al., 2024)
Empirical success rate	40% success / 10% failure	15% success / 30% failure	Meta-analysis (Int. J. System Assurance, 2023)

Source: Synthesized by author from systematic literature review.

The AIQ case study provides empirical validation of the framework. Three examples illustrate theoretical-empirical alignment. First, regarding AI/ML iteration: AIQ's lesson generation (KSP) quality improved from 60% teacher acceptance (Sprint 3) to 94% (Sprint 18) through iterative prompt refinement based on weekly teacher feedback — a result unachievable under Waterfall methodology, where AI quality would have been discovered only at acceptance testing. Second, regarding teacher adoption: teacher surveys (n = 18) show platform usability ratings increased from 3.2/5.0 (Sprint 5) to 4.7/5.0 (Sprint 20) as UI complexity was iteratively reduced based on classroom observation. Third, regarding regulatory compliance: Order 175 (Ministry of Education) accreditation demanded complete curriculum alignment specification before submission — a requirement satisfied through Waterfall-style documentation phase; Agile iteration alone would have failed the institutional legitimacy test.

3.2. The Structured-Agile EdTech Model (SAEM)

Based on the theoretical framework and case study evidence, we propose SAEM: a five-principle hybrid framework for AI-powered educational systems in institutional contexts.

Principle 1 (Constraint Ontology Determines Methodology): Components are classified by constraint type. Type F (Fixed External): national curriculum standards, hardware specifications, regulatory compliance, IP registration → Waterfall sequential specification. Type E (Emergent Empirical): AI model accuracy, teacher usability, student engagement, pedagogical effectiveness → Agile iterative discovery. Case validation: AIQ project documentation analysis (24 sprints) shows GOSO curriculum alignment, F3 panel specifications, and Order 175 compliance were managed through Waterfall gates; LLM prompt engineering, recommendation algorithm tuning, and UI design operated on 2-week Agile sprints.

Principle 2 (Waterfall Envelope, Agile Core): Project structure features Waterfall governance (defined milestones, procurement gates, accreditation submissions) containing Agile execution (sprint-based feature development, continuous deployment, MLOps pipeline). Case validation: AIQ achieved government accreditation (legitimacy) while delivering 94% teacher satisfaction (quality) — a combination pure methodologies cannot achieve in high-constraint contexts.

Principle 3 (Teacher as Product Owner Proxy): Pilot teachers attend sprint reviews as de facto Product Owner proxies, providing acceptance criteria for AI-generated outputs. Theoretical basis: TAM (Davis,

1989) predicts end-user participation increases adoption; participatory design theory (Schuler & Namioka, 1993) predicts stakeholder involvement improves system fit. Case validation: teachers who attended 8+ sprint reviews reported higher platform satisfaction (4.8/5.0) than those attending fewer than 4 reviews (3.9/5.0), $t(16) = 3.2$, $p = 0.005$, $d = 1.5$ (large effect).

Principle 4 (MLOps as Continuous Pipeline): AI model improvement (LLM fine-tuning, prompt engineering, recommendation updates) operates as a continuous MLOps pipeline, decoupled from software release cycles. Case validation: AIQ deployed 47 LLM prompt refinements across the 12-month period without software version changes, enabling quality improvement independent of feature roadmap.

Principle 5 (Digital Equity as Non-Functional Requirement): For national-scale deployment in countries with rural-urban digital divide, connectivity infrastructure (Starlink, edge caching) is specified as a non-functional requirement in the Waterfall envelope, not deferred to the Agile backlog. Case validation: Kazakhstan deployment plan includes Starlink for 1,500+ schools without cable internet — infrastructure requirement fixed in Phase 0 procurement specifications.

3.3. Quantitative Validation: Pilot Deployment Outcomes

Table 2 presents quantitative outcomes across three participant cohorts, demonstrating SAEM's empirical validity.

Table 2. Pilot Deployment Outcomes: Quantitative Evidence Supporting SAEM

Cohort / Metric	Pre	Post	Change	p	Theoretical Link
Teachers (n = 18): Lesson prep time (min)	120	15	−87%	< 0.01	TAM: PEOU increase
Platform usability (1–5)	3.2	4.7	+47%	< 0.01	Agile iteration
Satisfaction (1–5)	3.5	4.7	+34%	0.002	Teacher-as-PO Proxy
Students (n = 250): Engagement (% lesson time)	45%	85%	+40 pp	< 0.01	AI effectiveness
Academic performance	Baseline	+18 pp	+18 pp	0.01	Pedagogical impact
IT Course (n = 9): Digital competency (low → high)	0%	100%	+100 pp	—	Course effectiveness

Note: Pre-post comparisons using paired t-tests; p = statistical significance; pp = percentage points.

Three key findings emerge. Finding 1 (Technical): 87% lesson preparation time reduction validates Proposition 2's PU pathway — AI-generated KSP content delivers measurable productivity gains when iteratively refined through Agile sprints. Finding 2 (Social): Teacher satisfaction increase (3.5 → 4.7, $p = 0.002$) supports Principle 3 — sprint review participation creates ownership and improves acceptance. Finding 3 (Institutional): Government validation (Order 175 accreditation, STEM Laboratory Protocol No. 31 approval) confirms Waterfall envelope enables institutional legitimacy while Agile core delivers quality.

Qualitative validation from Protocol No. 31 (STEM Laboratory, Ministry of Education, 17.12.2025) independently confirms SAEM's dual achievement: "The CyberFormula³ programme demonstrates exemplary alignment with GOSO RK educational standards while incorporating contemporary pedagogical methodologies [...] The iterative development approach has produced content quality exceeding traditional curriculum materials [...] Recommendation: nationwide deployment as elective programme for grades 5–11" (Reviewer: A.S. Kabdushev, Senior Researcher). This assessment confirms institutional compliance (Waterfall governance) and pedagogical quality (Agile iteration) achieved simultaneously.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study addressed the research question: How do software development methodologies impact project outcomes in AI-powered educational platforms deployed within high-constraint institutional contexts? Through mixed-methods investigation combining systematic literature review, theoretical model development, and embedded case study with quantitative validation (n = 268 participants), the findings yield three theoretical contributions.

Contribution 1 extends Technology Acceptance Model and Innovation Diffusion Theory to AI-powered educational systems by specifying the mechanism linking development methodology to adoption outcomes. TAM traditionally treats system design as exogenous; this study demonstrates that methodology choice (Agile vs. Waterfall) impacts perceived usefulness and perceived ease of use through distinct pathways: the PEOU pathway (Agile sprint reviews enable continuous usability refinement, increasing perceived ease of use, evidenced by teacher satisfaction data 3.2 → 4.7) and the PU pathway (iterative AI model deployment allows empirical validation of pedagogical effectiveness, increasing perceived usefulness, evidenced by 87% productivity gain). Contribution 2 introduces constraint ontology — the distinction between fixed external constraints and emergent empirical constraints — as a component-level design parameter. This enables hybrid approaches to be designed systematically rather than pragmatically. Contribution 3 demonstrates that software development methodology serves as a coordination mechanism between technical and social subsystems in socio-technical systems.

From a practical perspective, government EdTech procurement frameworks typically assume Waterfall logic — fixed specifications, competitive tendering, single delivery. Our findings suggest procurement reform should accommodate hybrid approaches: specify Type F constraints (curriculum, compliance, hardware) in tender documents, allow Type E components (AI models, usability) to be iteratively refined post-award, and introduce milestone-based payments tied to pilot outcomes. Kazakhstan's 414 procurement classification could be modified to include "AI-powered educational systems" as a distinct category with hybrid evaluation criteria. Additionally, the teacher-as-Product-Owner-proxy mechanism implies professional development must precede deployment, inverting the traditional implementation timeline (procurement → installation → training) to (pilot teacher engagement → co-development → scaled training), producing superior adoption outcomes.

Regarding generalizability, SAEM's theoretical foundation (constraint ontology) applies to regulated AI domains beyond education. Healthcare AI faces medical device regulation (FDA 510(k), CE marking) as Type F constraints with clinical effectiveness requiring Type E iterative validation. Financial services AI faces banking regulation (Basel III) as fixed compliance architecture with fraud detection models requiring continuous retraining. Public administration AI faces procurement and accessibility mandates (Type F) while user experience requires iteration (Type E).

The study has methodological limitations. Single-case generalizability requires future research to replicate SAEM validation across diverse institutional contexts. Longitudinal data limitations (12-month pilot) do not yet demonstrate sustained impact at national scale. Future theoretical extensions should quantify constraint ontology as a continuous variable, develop an AI capability taxonomy, and validate SAEM cross-culturally across different national education systems.

In conclusion, the core theoretical insight — that AI feature development and institutional compliance are governed by different methodology logics that can and must coexist within single projects — offers a resolution to a challenge facing software engineers globally as AI capabilities increasingly define value in regulated domains. For Kazakhstan specifically, the validated SAEM framework provides evidence-based guidance for implementing the 2026 Year of AI mandate at national scale, demonstrating that projects navigating Waterfall procurement environments while delivering Agile-quality user experiences achieve both institutional legitimacy and pedagogical impact.

REFERENCES

Agile Research Network. (2024). *A software engineering view of AI from ICSE 2024*. White Paper.

Amershi, S., Begel, A., Bird, C., DeLine, R., Gall, H., Kamar, E., ... & Zimmermann, T. (2019). Software engineering for machine learning: A case study. In *Proceedings of the IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)* (pp. 291–300).

Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational learning: A theory of action perspective*. Addison-Wesley.

Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers, 23*(1), 4–17.

Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., et al. (2001). *Manifesto for Agile Software Development*. https://agilemanifesto.org

Boehm, B., & Turner, R. (2004). *Balancing agility and discipline: A guide for the perplexed*. Addison-Wesley.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340.

Denzin, N. K. (1978). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Digital.ai. (2022). *16th Annual State of Agile Report*.

DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review, 48*(2), 147–160.

Dybå, T., & Dingsøyr, T. (2008). Empirical studies of agile software development: A systematic review. *Information and Software Technology, 50*(9–10), 833–859.

EdTech Hub. (2024). *Embracing complex reality: Agile approaches for EdTech in LMICs*. Helpdesk Response.

Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., & Sendurur, P. (2015). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education, 59*(2), 423–435.

Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry, 12*(2), 219–245.

Hew, K. F., & Brush, T. (2007). Integrating technology into K-12 teaching and learning: Current knowledge gaps and recommendations for future research. *Educational Technology Research and Development, 55*(3), 223–252.

HolonIQ. (2024). *Global EdTech Market Report 2024*.

Int. J. System Assurance Engineering and Management. (2023). Structured software development versus agile software development: A comparative analysis. https://doi.org/10.1007/s13198-023-01958-5

Kara, T., Alyoussef, I. Y., & Alotaibi, M. (2024). Comparative analysis of Agile versus Waterfall methodology in government utilities, projects, and services. *International Journal of Social Relevance & Concern, 12*(9).

Khan, S., & Mahadik, S. (2022). A comparative study of Agile and Waterfall software development methodologies. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 2*(1), 399–404.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.

Martinez-Plumed, F., Barredo, P., Caballero, J. M., Hernández-Orallo, J., & Lenaerts, T. (2022). Research community dynamics behind popular AI benchmarks. *Nature Machine Intelligence, 4*, 38–48.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine, 6*(7), e1000097.

Petersen, K., & Wohlin, C. (2009). A comparison of issues and advantages in agile and incremental development. *Software Process: Improvement and Practice, 14*(5), 281–293.

Rao, D. B. J., Bodanapu, S., Govinda Rajulu, K., & Sandhya, N. (2025). A comparative analysis of software development models: Waterfall, Agile and DevOps. In *Intelligent Systems and Sustainable Computing* (pp. 677–689). Springer.

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.

Royce, W. W. (1970). Managing the development of large software systems. *Proceedings of IEEE WESCON, 26*, 1–9.

Scherer, R., Siddiq, F., & Tondeur, J. (2019). The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. *Computers & Education, 128*, 13–35.

Schuler, D., & Namioka, A. (Eds.). (1993). *Participatory design: Principles and practices*. Lawrence Erlbaum Associates.

Schwaber, K. (2004). *Agile project management with Scrum*. Microsoft Press.

Sculley, D., Holt, G., Golovin, D., Davydov, E., Phillips, T., Ebner, D., ... & Young, M. (2015). Hidden technical debt in machine learning systems. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 2503–2511).

Simon, H. A. (1976). From substantive to procedural rationality. In S. J. Latsis (Ed.), *Method and appraisal in economics* (pp. 129–148). Cambridge University Press.

Takeuchi, H., & Nonaka, I. (1986). The new new product development game. *Harvard Business Review, 64*(1), 137–146.

Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1963). Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting. *Human Relations, 4*(1), 3–38.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage.

https://doi.org/10.71284/asc.2026160

TÜRKİYE'DE KLİNİK ARAŞTIRMA ETİK KURULLARININ YAPISI VE MEVCUT DURUMU

STRUCTURE AND CURRENT STATUS OF CLINICAL RESEARCH ETHICS COMMITTEES IN TURKEY

Hasan Nidhal Mohammed Qaddo[1]
Ufuk Karadavut[2]

Özet

Bu çalışmanın amacı, Türkiye genelindeki Klinik Araştırmalar Etik Kurullarının (KAEK) yapılarını, üye profillerini ve coğrafi dağılımlarını tanımlamaktır. Araştırma verileri Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) web sitesindeki listelerden elde edilmiş; 2016 ile 2025 yılları arasındaki değişimler SPSS programı kullanılarak incelenmiştir. Etik kurulların çoğunluğunun İstanbul'da (%33,33) bulunduğu, bunu Ankara (%17,65) ve İzmir'in (%7,84) izlediği saptanmıştır. Üye profili analizi, en yüksek üye oranının «diğer sağlık profesyonelleri» (%60,58) grubunda olduğunu; etik uzmanlarının (%3,31) ve klinik eczacıların (%0,38) ise çok daha düşük temsil oranlarına sahip olduğunu göstermiştir. Türkiye›de etik kurulların sayısında bir artış görülmektedir; ancak üye dağılımının heterojen olduğu ve etik uzmanlarının tüm kurullarda temsil edilmediği belirlenmiştir. Kurullarda yeterli cinsiyet eşitliğinin sağlanması ve uzmanlık alanlarının daha homojen bir şekilde dağıtılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Etik kurul, klinik araştırma, biyoetik, mevzuat

Abstract

The purpose of this study was to describe the structures, member profiles and geographic distributions of Clinical Research Ethics Committees (CRECs) across Turkey. The research data were obtained from the lists on the Turkish Medicines and Medical Devices Agency (TİTCK) website, changes in these between 2016 and 2025 were examined using SPSS program. Results: The majority of ethics committees were found to be located in Istanbul (33.33%), followed by Ankara (17.65%) and Izmir (7.84%). An analysis of the member profile showed that the highest percentage of members are other health professionals (60.58%), while ethics experts (3.31%) and clinical pharmacists (0.38%) have much lower representation rates. Conclusion: There is an increase in the number of ethics committees in Turkey, however it was found that member distribution is heterogeneous and ethics experts are not represented in all committees. Adequate gender equality in the committees, as well as a more homogeneous distribution of area of expertise, is recommended.

Keywords: Ethics committee, clinical research, bioethics, legislation.

[1]Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sağlık Bilişimi Disiplinlerarası Ana Bilim Dalı, qaddohasan@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-4259-2636

[2]Prof. Dr., Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıp Bilişimi ve Biyoinfromatik Anabilim Dalı, ufukkaradavut@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5362-7585

GİRİŞ

Etik kurulları, yaşam ve sağlık bilimlerindeki yeni politikaların etik özelliklerini sürekli olarak değerlendiren bağımsız yapılardır. Bu tür kurullar insan onuruna saygı duyulmasını sağlar, bilimsel bilgi üretimindeki etik ilkelere dair rehberlik eder ve olası zararların önlenmesinde önemli bir rol oynar. Etik kurullar, Nazi rejimi sırasındaki korkunç deneyler gibi olayların ve Nürnberg Kodları'nın (1947) ardından tarihsel bir zorunluluk neticesinde kurulmuştur. Nürnberg Kodları ile "bilgilendirilmiş onam", araştırmaların temel taşı haline gelmiştir (İBÜKAY, 1993). Türkiye'de bu süreç 1980'lerde üniversite kampüslerinde başlamış; buna paralel olarak 1993 yılında "İlaç Araştırmaları Hakkında Yönetmelik"in yayımlanmasıyla yasal bir zemine oturtulmuştur (İAHY, 1993).

Günümüzde Klinik Araştırmalar Etik Kurulları, katılımcıların haklarını korumanın yanı sıra yürütülen bilimin geçerliliğini ve tarafsızlığını sağlamaya yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, çalışmalar Türkiye'de kurulların yapısında terminolojik karmaşalar olduğunu ve üye dağılımında bir dengesizlik bulunduğunu göstermektedir (İlbars, 2018). Kurullarda tıbbi etik uzmanlarının bulunmasının şartlı/isteğe bağlı olması, biyoetik incelemelerin derinliği konusunda soru işaretleri yaratmaktadır.

Etik kurullar, araştırma başlamadan önce çalışma protokolünü inceleyen ve araştırmanın (Ruacan, 1994):

- İnsan haklarına uygun olup olmadığını,
- Bilimsel açıdan yeterli olup olmadığını,
- Gönüllü güvenliğini sağlayıp sağlamadığını,
- Aydınlatılmış onam sürecinin uygunluğunu,
- Risk–yarar dengesini

değerlendiren bağımsız yapılardır (Gün, 2020). Türkiye'de bu kurulların yetkilendirilmesi ve denetlenmesi büyük ölçüde Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından yürütülmektedir (İAHY, 1993; RG, 2014). Çok sayıda etik kurlu bulunurken, sağlık bilimler ile ilgili olarak şu etik kurullar bulunmaktadır;

- Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
- Biyoyararlanım/Biyoeşdeğerlik Etik Kurulu
- Tıbbi Cihaz Araştırmaları Etik Kurulu
- Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu
- Kök Hücre ve Gen Tedavisi Araştırma Kurulları
- Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Etik Kurulları
- Sağlık Bilimleri Araştırmaları Etik Kurulları
- Hayvan Deneyleri Etik Kurulları

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Etik Kurullarının Tarihsel Gelişimi

Türkiye'de tıbbi araştırmaların etik denetimi özellikle 1990'lardan sonra sistematik hale gelmeye başlamıştır. Buna göre 1993 yılında İlk "İlaç Araştırmaları Hakkında Yönetmelik", 1995 yılında İyi Klinik Uygulamaları (GCP) ilkeleri, 2008 yılında "Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik", 2011–2013 yılları arasında Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında önemli düzenlemeler yapılmış ve 2022–2023 yıllarında ise Güncel düzenlemelerle etik kurul yapıları yeniden şekillendirilmiştir (RG, 2008; WMA, 2019). Bu süreçte Türkiye'deki sistem, büyük ölçüde Avrupa Birliği etik inceleme standartlarına uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır (Görkey ve ark., 2000).

1.2. Etik Kurulların Hukuki Dayanağı

Türkiye'de etik kurulların çalışma esasları temel olarak "İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik", "Beşeri Tıbbi Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik" ve "İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu" temelinde değerlendirilmektedir. Aslına temel olarak hukuk kurallarının esas alınarak yürütülmekte ve uygulamalarda buna özellikle dikkat edilmektedir (CIOMS, 2016).

1.3. Etik Kurulların Yapısı

Etik kurullar genel olarak rahatlıkla karar alınabilmesi için tek sayılı olarak kurulmaktadır. En az 7 üyeden ve en fazla 15 üyeden oluşmaktadır. Üyelerin çoğunluğunun doktora veya uzmanlık düzeyinde sağlık meslek mensubu olması istenmektedir. Ayrıca kurullarda farklı disiplinlerden üyelerin bulunması istenmektedir. Bunun temel sebebi "çoğulcu etik değerlendirme" amacı taşındığındandır (Kansu ve Ruacan, 1996).

Etik kurul yapısında genellikle şu üyeler yer alır (Görkey, 2009):

Tablo 1. Etik Kurul Yapısında Üyeler

Üye Türü	Görevi
Tıp doktorları	Bilimsel değerlendirme
Farmakolog	İlaç güvenliği analizi
Biyoistatistik uzmanı	Veri ve metodoloji incelemesi
Hukukçular	Hukuki uygunluk değerlendirmesi
Etik uzmanı	Etik ilkelerin değerlendirilmesi
Eczacı	İlaç uygulama güvenliği
Sağlık dışı üye	Toplum bakış açısını temsil
Hemşire / sağlık personeli	Klinik uygulama perspektifi
Biyoistatistikçiler	Deneme Planlaması ve Analizlerin Doğruluğunun Kontrolü

1.4. Araştırmanın Yöntemi ve Kapsamı

Bu çalışmada, etik kurulların mevcut durumunu değerlendirmek amacıyla tanımlayıcı bir çalışma hedeflenmiştir.

- **Veri Kaynağı:** Araştırma verileri, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'nun (TİTCK) resmi web sitesinde yer alan 102 etik kurul listesinden toplanmıştır.
- **Zaman Aralığı:** Veriler ilk olarak Kasım-Aralık 2016'da toplanmış ve Mart 2020 verileriyle karşılaştırmalı olarak güncellenmiştir.
- **Veri Analizi:** Elde edilen verilerin frekans ve yüzde dağılımları SPSS 22.00 istatistik yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

2. BULGULAR

2.1. Türkiye'de Etik Kurulların Yapılanması

Etik kurulların genel olarak hekim ve sağlık uzmanlarından oluştukları görülmektedir. Bu beklenen ve istenen bir durumdur. Sosyal ve fen bilimlerine ait etik kurullardan farklı olması nedeniyle sağlık uzmanları özellikle tercih edilmektedir. Türkiye'de toplamda tıbbi araştırma etik kurulları bulunmaktadır. Bu kurulların büyük çoğunluğu (61 tanesi) üç büyük şehirde toplanmıştır:

- **İstanbul:** Kurulların 1/3'üne (toplam 34 kurul) ev sahipliği yapmaktadır.
- **Ankara:** %17,65 ile ikinci sırada (toplam 18 kurul).

- **İzmir:** %7,84 (toplam 8 kurul).
- **Diğer İller:** Bursa, Antalya ve Erzurum gibi illerde kurul sayısı genellikle iki iken, pek çok ilde sadece bir kurul bulunmaktadır.

2.2. Üye Profili Analizi

102 kurulda görev yapan toplam 1.329 üyenin uzmanlık alanlarına göre dağılımı aşağıdadır:

- **Diğer Sağlık Profesyonelleri:** %60,58 (805 kişi) ile en büyük grubu oluşturmaktadır.
- **Farmakologlar:** %9,93 (132 kişi).
- **Hukukçular ve Biyomedikal Uzmanları:** %7,90 (105 kişi).
- **Etik Uzmanları:** %3,31 (44 kişi).
- **En Düşük Grup:** %0,38 (5 kişi) ile Klinik Eczacılar.

Araştırma sonuçları, etik kurulların hem coğrafi hem de mesleki dağılımında yoğunlaşma olduğunu göstermektedir. Türkiye'deki klinik araştırma etik kurullarının **102** kurulda toplamda **1329** üye çalışırken uzmanlık alanlarına dağılım şu şekilde belirlenmiştir;

- **Diğer Sağlık Profesyonelleri:** % 60.58 (805 kişi);
- **Farmakologlar:** %9.93 (132 kişi);
- **Hukukçular ve Biyomedikal Uzmanlar:** %7.90 (105'er kişi);
- **Etik Uzmanları:** son sırada %3.31 (44 kişi);
- **Klinik Eczacılar:** %0.38 (5 kişi) ile temsil oranı en düşük gruptur**.**

Bulgular ışığında Türkiye'de etik kurul yapısında 3 temel sorun alanı dikkat çekmektedir;

A. Etik Uzmanı Eksikliği: Etik kurulların temel amacı araştırmaları etik açıdan değerlendirmek olmasına rağmen, Türk etik kurullarının yarısından fazlasının içinde tıp etiği uzmanı yoktur. Zorunluluk haline getirilen etik uzmanının "varsa" unvanı (doktora veya uzmanlık derecesi) tanınması da etik uzmanlarının kurullarda mecburi üye olmasına engel olmaktadır. Bu durum araştırmaların etik derinliğinin yeterince analiz edilemediği anlamına gelmektedir**.**

B. Klinik eczacıların temsiliyeti: Klinik araştırmalarda en önemli konulardan biri olan ilaç yönetimi ve güvenliğine rağmen, klinik eczacı temsil oranı sıfıra yakındır. Özellikle İstanbul ve İzmir'de birkaç kurul oluşturulması aşamasında hiç klinik eczacı bulunamadığı tespit edilmiştir.

C. Bağımsızlık ve mevzuat değişimi: Türkiye'de 1993'ten bu yana 5 kez değişen yönetmeliği (2008, 2011, 2013, 2014, 2015), etik kurulların işleyişinde sorunları yaşanmasına neden olmuştur. Günümüze gelindiğinde bunun nispeten azaldığı ve daha kararlı bir yapının hâkim olduğu görülmektedir.

2.3. Sağlık Bilimleri Etik Kurullarının Geleceği

Teknolojik alanda yaşanan teknolojik gelişmeler her alanı etkilediği gibi sağlık alanını da etkilemektedir. Sağlık bilimlerinde yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler, klinik araştırmaların kapsamını ve karmaşıklığını artırmaktadır. Yapay zekâ uygulamaları, gen düzenleme teknolojileri, büyük veri analizi, biyobankalar ve dijital sağlık sistemleri gibi yenilikler, etik değerlendirme süreçlerinin önemini daha da artırmıştır (Gollogly ve Momen, 2006). Sağlık bilimleri etik kurulları gelecekte içerik olarak çok değişeceği ve günümüze göre ciddi olarak farklılaşacağı söylenebilir. Etik kurullar yalnızca klasik araştırma denetimi yapan yapılar olarak kalmayıp aynı zamanda multidisipliner, teknolojik ve küresel ölçekte kararlar alabilen yapılara dönüşmesi beklenmektedir (Karakaya ve Örs, 1994).

Gelecekte etik kurulların çalışma sistemlerinde dijitalleşme temelinde belirleyiciliğin ön plana çıkacağı ve yapay zekanın öne çıkarak yol gösterici rol oynaması beklenmektedir. Günümüzde aktif olarak kullanılan elektronik başvuru sistemlerinin yanında, çevrim içi toplantıların yapılması ve arşivlemenin dijital olarak yapılıyor olması yaygın olarak kullanılmaktadır. Önümüzdeki dönemde özellikle yapay zekânın daha da gelişmesi ve akıllanmasıyla birlikte karar alma konusunda yapay zekâ destekli sistemlerin etik kurul süreçlerine entegre edilmesi beklenmektedir. Bunun faydası ya da zararı konusunda şimdiden bir şeyler söylemek oldukça zor görülmektedir. Çünkü yapay zekanın kurullara girmesiyle özellikle başvuru dosyalarının ön incelemesi, eksik belgelerin tespit edilmesi, olası risklerin belirlenmesi ve sınıflandırılması, benzer çalışma ve analizler ile karşılaştırmalı analizlerin yapılması ile veri güvenliği bakımından önemli faydalar sağlaması beklenmektedir (Koç (2006). Ayıca bütün bu işlemleri daha hızlı gerçekleştirilebilecek olması da ayırda dikkat edilmesi gereken konulardandır. tir. Ancak bu durum beraberinde algoritmik önyargı, veri mahremiyeti ve karar süreçlerinde insan denetiminin azalması gibi yeni etik sorunları da gündeme getirecektir. Bu nedenle gelecekte etik kurulların yalnızca tıbbi araştırmaları değil, yapay zekâ sistemlerinin etik kullanımını da değerlendirmesi gerekecektir.

Burada dikkat edilmesi gereken konulardan birisi de genetik araştırmaların içerikleri nedeniyle oluşacak yeni etik sorunlardır. CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme teknolojilerinin gelişmesi, sağlık bilimleri etik kurullarının karşılaşacağı en önemli alanlardan birisi olarak görülmektedir (Hayran, 2018). Özellikle insan embriyosu üzerinde genetik müdahaleler, kalıtsal hastalıkların önlenmesi ve kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları ciddi etik tartışmalara yol açmaktadır (Lexchin ve ark., 2003). Gelecekte de bunun devam etmesi beklenmektedir. Bunun içinde şimdiden Genetik veri güvenliği, İnsan genomuna müdahalenin sınırları, Biyolojik materyal saklama süreçleri, Biyobanka yönetimi ve Genetik ayrımcılık riski gibi konuların üzerinde durulması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında etik kurullarda moleküler biyoloji, genetik ve biyoinformatik uzmanlarına daha fazla iş düşmesi beklenmektedir (Pupovaç ve ark., 2017).

Tıbbi araştırmalar dünya genelinde en yaygın yapılan çalışmalardır. Bu konuda yapılan araştırmalar giderek çok merkezli ve uluslararası hale gelmeye başlamıştır. Özellikle çok uluslu ilaç çalışmaları, farklı ülkelerde ortak etik standartların uygulanmasını gerekli kılmaya başlamıştır. Bu aynı zamanda etki kullarının yanında ahlak ve hukuk kurallarının da yeniden gözden geçirilmesini zorunlu hale getirecektir (Ruacan ve Yılmaz, 2003). Özellikle çok uluslu şirketlerin bu konuda bazı ülkeleri ciddi olarak baskı altına alarak etik ve ahlak dışı uygulamaların yapılmasına sebep olabileceklerdir. Ancak bunun engellenebilmesi için etik kurullar arasında uluslararası ölçütler kapsamında iş birliği yapmalarını zorunlu kılacaktır. Avrupa Birliği Klinik Araştırmalar Tüzüğü gibi düzenlemeler, ortak değerlendirme sistemlerini teşvik etmekte olsa da yeterli değildir (Ergün, 2017). Türkiye'nin de bu sürece daha fazla entegre olmasıyla birlikte etik kurulların: Uluslararası veri paylaşımı, Ortak etik değerlendirme mekanizmaları, Küresel araştırma standartları, Çok merkezli çalışma koordinasyonu gibi konularda daha aktif rol üstlenmesi mümkün olabilecektir.

SONUÇ

Sağlık bilimleri etik kurulları, gelecekte yalnızca araştırmaları onaylayan bürokratik mekanizmalar değil; teknoloji, insan hakları, veri güvenliği ve küresel sağlık politikaları arasında denge kuran stratejik yapılar haline gelecektir. Yapay zekâ, genetik mühendisliği ve dijital sağlık teknolojilerindeki gelişmeler etik değerlendirme süreçlerini daha karmaşık hale getirirken, etik kurulların uzmanlık alanlarını genişletmesini zorunlu kılacaktır. Bu nedenle geleceğin etik kurulları; daha dijital, daha multidisipliner, daha şeffaf ve uluslararası standartlarla daha uyumlu yapılar olarak sağlık araştırmalarının merkezinde yer almaya devam edecektir.

Türkiye'de klinik araştırma etik kurulları, klinik araştırmaların güvenli ve etik ilkelere uygun biçimde yürütülmesini sağlayan temel kurumsal yapılardır. Son yıllarda yapılan yasal düzenlemeler ve Avrupa Birliği uyum çalışmaları sayesinde etik kurul sisteminde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bununla birlikte süreçlerin standardizasyonu, kurul üyelerinin sürekli eğitimi, bağımsızlık mekanizmalarının güçlendirilmesi

ve bürokratik yükün azaltılması gibi alanlarda gelişime ihtiyaç devam etmektedir. Sonuç olarak etik kurullar, yalnızca bilimsel araştırmaları denetleyen yapılar değil; insan haklarını, gönüllü güvenliğini ve araştırma etiğini koruyan vazgeçilmez kurumlardır. Türkiye'de klinik araştırmaların uluslararası standartlarda yürütülmesi açısından etik kurulların etkinliği büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

CIOMS (2016). International Ethical Guidelines for Health-related Research Involving Humans Prepared by the Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) in collaboration with the World Health Organization (WHO)

Ergün, Y. (2017): "Klinik araştırmalar: Türkiye'deki güncel mevzuatın kronolojisi", *Archives Medical Review Journal*.

Gollogly L, Momen H. Ethical dilemmas in scientific publication: pitfalls and solutions for editors. Rev Saude Publica. 2006;40:24-9.

Görkey Ş. Etik kurullar: aşmaya çalıştığımız bir kavram kargaşası. Hacettepe Tıp Dergisi 2009; (40):78-83.

Görkey Ş., Aktan Ö., Onat F. Biyomedikal araştırmaları değerlendiren etik komiteler için uygulama kuralları. Dünya Saglık Örgütü 2000;2-6.

Gün, M. (2020). Türkiye'de Klinik Araştırma Etik Kurullarının Yapılanmaları. *Lokman Hekim Dergisi*, *10*(2), 269-279.

Hayran M. Biyotıp araştırmalarında klinik araştırma etik kurulları. Turkiye Klinikleri J Med Ethics Law Hist-Special Topics 2018;4(1):23-30.

İlaç Araştırmaları Hakkında Yönetmelik-İAHY (1993): Türkiye›de etik kurulların kurulmasını öngören ilk yasal düzenlemedir.

İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik-İBÜKAY-(2014/2015)

İlbars, H. (2018). Türkiye'de Klinik Araştırma Etik Kurullarının Yapısı ve Üye Dağılımı. *Akdeniz Tıp Dergisi*, *4*(2), 95-103.

Kansu E, Ruacan Ş. Bilimsel Yayıncılık ve Editörlük Etiği, Biyoetikten Seçmeler. Biyoetik Derneği Yayınları. Ankara 1996; 1:46-47.

Karakaya H, Örs Y. Dünyada ve Türkiye'de hastane/klinik etik kurulları. Ankara Tıp Mecmuası 1994;(47):713-722.

Koç S. Yayın Etiği İhlalleri ve Hukuksal Düzenlemeler. İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri. Araştırmalar ve Etik Sempozyum Dizisi. 2006; 50:63-75.

Lexchin, J, Bero L, Djulbegovic B, Clark O. Pharmaceutical industry sponsorship and research outcome and quality: systematic review. Br Med J. 2003;326:1176-1170.

Pupovac V, Prijić-Samaržija S, Petrovečki M. Research misconduct in the Croatian scientific community: a survey assessing the forms and characteristics of research misconduct. Sci Eng Ethics. 2017;23:165-81.

Ruacan Ş, Yılmaz O. Bilimsel Araştırma ve Yayınlarda Etik İlkeler. Sağlık Bilimlerinde Süreli Yayıncılık. 2003; 47-53.

Ruacan Ş. Türkiye ve dünyada etik kurullar. T Klin Tıbbi Etik 1994; (2):158.

TC Resmi Gazete -RG-(2008). Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik. 23 Aralık 2008. Sayı: 27089. Başbakanlık Basımevi. Ankara

TC Resmi Gazete-RG- (2014). Tıbbi Cihaz Klinik Araştırmaları Yönetmeliği. 06 Eylül 2014. Sayı: 29111. Başbakanlık Basımevi. Ankara.

WMA Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. 22 Eylül 2019 Avaliable from: http:// www.wma.net/en/30publications/10policies.

https://doi.org/10.71284/asc.2026161

SECTORAL CONCENTRATION OF GREENWASHING CASES AND THEIR IMPACT ON FINANCIAL PERFORMANCE: A COMPARATIVE CASE ANALYSIS

Laman Guliyeva[1]
Madina Valiyeva[2]
Nasiba Guliyeva[3]
Arzu Mammadova[4]

Abstract

In recent years, with the increasing emphasis of firms on sustainability and environmental responsibility, it has become evident that corporate statements do not always reflect actual practices. In this context, greenwashing—defined as misleading or exaggerated claims regarding environmental performance—has emerged as a significant research topic in both academic literature and regulatory practice. These practices not only undermine environmental transparency but also generate various adverse effects on investor confidence, brand value, and market equilibrium. In particular, the intensity of these practices across different sectors and their temporal trends constitutes a critical area that must be evaluated alongside financial outcomes. This study is based on the most widely known greenwashing cases in the public domain and examines them through a holistic perspective focusing on sectoral distribution, employed methods, and financial impacts. The primary aim is to analyze the relationship between sectoral concentration, regulatory interventions, and financial performance using a comparative case analysis method. Within the scope of the research, greenwashing practices are analyzed to identify the industries in which they are most concentrated and the periods in which they increased.The study systematically classifies frequently used greenwashing methods and examines their short- and long-term effects on profitability, sales volume, market value, and stock returns. The research design is based on a pre-event and post-event comparison; financial indicators prior to greenwashing cases are compared with the changes observed after state-imposed sanctions and penalties. Additionally, the effectiveness of regulatory interventions is evaluated by analyzing the percentage change in greenwashing practices over the following years.The methodological contribution of this study lies in addressing financial impacts within a temporal framework. Finally, the study develops a "Greenwashing Financial Impact Schema," which integrates methods, sectoral concentration, and regulatory interventions into a comprehensive analytical model, offering a significant contribution to the existing literature.

Keywords: Greenwashing, financial performance, comparative case analysis.

[1]"Corresponding Author" Lecturer (PhD Candidate), Azerbaijan State University of Economics (UNEC), quliyeva.laman@unec.edu.az, https://orcid.org/0000-0003-4584-0102

[2]Undergraduate Student, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), madina_veliyeva@unec.edu.az, https://orcid.org/0009-0008-2462-659X

[3] Undergraduate Student, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), nasiba_guliyeva@unec.edu.az, https://orcid.org/0009-0004-0685-9729

[4] Undergraduate Student, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), arzummamdova@unec.edu.az, https://orcid.org/0009-0002-4698-7501

INTRODUCTION

The global rise in sustainability-focused practices and environmental responsibility rhetoric has led to a significant transformation in businesses' corporate communication and reporting strategies. However, this process has also given rise to the phenomenon of "greenwashing," where some companies tend to portray their environmental performance in a more positive light than it actually is. Greenwashing is considered a major source of information asymmetry that distorts investor decisions and weakens market efficiency by highlighting the mismatch between companies' environmental commitments and their actual practices (Delmas & Burbano, 2011). While greenwashing has largely been addressed in the literature within the framework of corporate communication, marketing strategies, and reputation management, studies focusing on a comparative analysis of its effects on financial performance—particularly at the sectoral level—remain limited. This situation raises the question of whether greenwashing practices constitute not merely a matter of perception management but also a structural risk factor that yields financial outcomes. In this context, the study examines the phenomenon of greenwashing through a comparative case analysis of multinational companies operating in different sectors. The research aims to analyze the mechanisms by which firms create information asymmetry and the resulting effects on financial performance, particularly in sectors with high environmental impact such as energy, textiles, automotive, and fast-moving consumer goods. The findings of this study indicate that while greenwashing practices may enhance financial perceptions in the short term, they lead to negative consequences in the long term, such as legal sanctions, loss of reputation, and a decline in market value. This highlights that greenwashing is not merely an ethical issue but also a systemic risk factor that affects financial stability.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

The concept of greenwashing is addressed in the literature not merely as an environmental phenomenon, but also as a multidimensional risk factor that influences financial performance, investor confidence and market value. The effects of the perception of greenwashing on corporate reputation, brand value and investor confidence are generally assessed as negative in the literature. Research indicates that when there is a discrepancy between a company's environmental claims and its actual performance, this leads to a decline in corporate reputation, a reduction in brand trust and an increase in investors' perception of risk, as stakeholders become aware of the discrepancy. In particular, the perception that environmental rhetoric is insincere can negate the short-term marketing advantages and lead to a decline in market value in the long term (Delmas & Burbano, 2011).

A review of the literature reveals that the phenomenon of greenwashing has undergone various stages over time, with these processes being categorised under specific periods. In this context, greenwashing is examined within the framework of three main periods, based on its communication style and fundamental objectives. Greenwashing 1.0, defined as the first period, refers to a process dominated by static, one-way communication directed at the consumer. During this period, companies predominantly used sustainability rhetoric merely as a marketing tool and left the consumer in a passive recipient role within the communication process. The primary objective was to establish greenwashing practices, define their boundaries, and create a conceptual framework in this field. The second phase, Greenwashing 2.0, indicates a more dynamic structure. In this process, stakeholders, intermediary organisations and relevant actors have begun to be included in the communication process. Companies have developed communication strategies not only for consumers but also for a broader group of stakeholders, such as investors, civil society organisations and regulatory bodies. The primary aim of this period is to develop new approaches to combating greenwashing and to identify potential areas of research for future work. Finally, the Green Washing 3.0 era represents a phase in which narratives focused on the future take centre stage. During this period, the active participation of all stakeholders is key, with companies setting out their long-term visions and strategic objectives regarding sustainability in a more comprehensive manner. The primary aim is to develop sustainability narratives for the future and integrate these narratives into corporate strategies (Okkıran, 2025). In this

context, the definition and scope of greenwashing have been examined from various perspectives by different researchers, and different approaches to the concept have been developed. Accordingly, the key definitions found in the relevant literature are summarised in the table below.

Table 1. Definitions of Greenwashing and the Scale of its Financial Impact

Author(s)	Definition	Main Focus	Financial Impact Link
Boran (2023)	Greenwashing is when companies present themselves as environmentally friendly despite having no real environmental contribution.	Misleading green image	Misleading image can affect demand and sales in the short term
Akdogan & Yılmazturk (2023)	Firms use exaggerated, incomplete, or selective information to appear environmentally responsible.	Information manipulation	False information influences investor and consumer decisions
Torelli et al. (2020)	A concept that goes beyond marketing by creating significant risks in financial reporting, governance, auditing, and risk management through influencing stakeholder perceptions.	Multidimensional risk	Directly linked to financial reporting and risk management
Lyon & Montgomery (2015)	Firms making misleading claims to present their environmental performance more positively than it actually is.	Performance distortion	Distorted performance perception affects market value
Andreoli et al. (2022)	A phenomenon based on inconsistencies between stated claims and actual performance.	Inconsistency	When exposed, it leads to reputational and financial losses
Marquis et al. (2016)	A key element is highlighting strengths while hiding weaknesses.	Selective disclosure	Information asymmetry leads to market reactions and stock impacts
Seele & Gatti (2017)	Greenwashing is viewed as a legitimacy-seeking and perception management strategy.	Perception management	Indirect financial impact through reputation
Walker & Wan (2012)	A practice that weakens stakeholder trust and may lead to long-term financial losses.	Loss of trust	Decline in profitability and market value in the long term
de Freitas Netto et al. (2020)	A multidimensional concept divided into claim-based and performance-based types.	Method classification	Methods used determine the magnitude of financial impact

Source: Created by the authors

Based on the definitions in Table 1, greenwashing refers to companies presenting themselves as environmentally friendly despite making no genuine contribution to the environment. Emerging in the 1980s as a reaction to growing environmental awareness, this practice involves firms using exaggerated, incomplete or selective information to appear environmentally conscious. In this way, they mislead stakeholders by highlighting their positive aspects whilst concealing their negative impacts (Boran, 2023). In this context, companies' misrepresentation of their environmental performance is not limited to mere perception management, it also extends to financial reporting processes, potentially affecting the accuracy and reliability of financial statements. The scope and severity of the impact vary depending on firm characteristics and elements of the managerial structure. In the study, greenwashing was treated as the independent variable, whilst financial performance was treated as the dependent variable.

Hypotheses have been developed based on the research literature and case studies. The impact of greenwashing perceptions on financial performance has been tabulated in line with findings from the case

studies, in this context, the most commonly used greenwashing methods, the effects of these methods on financial performance, changes occurring following penalties imposed by the state, the distribution of cases by year, and the sectoral prevalence of greenwashing practices have been taken into account. This research has formed the basis for the development of hypotheses based on the findings obtained from the literature and case analyses. The hypotheses to be used in the research are outlined below:

- H1: Greenwashing practices have a significant impact on the financial performance of businesses.
- H2: The type of method used in greenwashing determines the direction and magnitude of the impact on financial performance.
- H3: There is a significant decline in businesses' greenwashing behaviour following penalties imposed by the government.
- H4: The frequency of greenwashing cases varies significantly across years.
- H5: Greenwashing practices vary significantly across sectors.
- H6: Greenwashing practices have a negative impact on the quality of financial reporting.
- H7: Greenwashing practices increase market value in the short term but cause a decline in the long term.
- H8: Greenwashing practices mislead investor decisions by increasing information asymmetry.
- H9: The prevalence of greenwashing practices is higher in sectors facing significant environmental pressure.
- H10: Cases of greenwashing are more frequent during periods of regulatory gaps.
- H11: Following the emergence of greenwashing practices, there is a significant decline in companies' financial performance indicators (ROA, ROE, market value).
- H12: Greenwashing practices undermine companies' corporate reputation, thereby negatively impacting long-term financial sustainability.

2. METHODOLOGY

2.1. Purpose and Importance of the Research

The primary objective of this study is to analyze the phenomenon of greenwashing—which has emerged as a byproduct of the growing prevalence of sustainability-focused marketing practices in global markets—within the framework of sectoral dynamics and financial outcomes. The study examines how companies operating in sectors with high environmental impact—such as energy, textiles, automotive, and fast-moving consumer goods (FMCG)—create information asymmetry through various strategic methods, and investigates the effects of this on financial reporting and market perception. In this context, the study aims to elucidate the mechanism linking the "financial illusion" created by greenwashing in the short term (e.g., lower financing costs and improved sales performance) to the long-term value losses that emerge following environmental scandals or reputational damage. The significance of this research stems from the fact that greenwashing has evolved into a systemic risk factor that directly influences investor decisions and market efficiency, rather than merely being a corporate reputation issue. While the vast majority of studies in the literature address the topic from a communication and marketing perspective, this study aims to fill a gap in the literature by providing a comparative analysis based on financial ratios (ROA, ROE, Tobin's Q, current ratio) and stock returns. The "Green Washing Financial Impact Framework" developed in this context provides an analytical framework to help regulators establish oversight criteria and enable investors to identify "green bubble" risks.

2.2. Population and Sample of the Study

The population of this study consists of multinational companies operating in various sectors that have significant environmental impacts. The sample for this study was determined using purposive sampling and was selected from company cases frequently cited in the literature regarding greenwashing practices. Accordingly, global companies operating in the automotive, energy, fast fashion, food, aviation, and logistics sectors were included in the sample. The sample includes companies in the high-emission energy and automotive sectors, such as Volkswagen, BP, Shell, and ExxonMobil, as well as companies in the fast fashion sector, such as H&M, Zara, and Nike. Additionally, companies producing fast-moving consumer goods, such as Coca-Cola, Nestlé, McDonald's, and Keurig, as well as companies operating in the services and logistics sectors, such as Amazon and Ryanair, were included in the analysis. The selected examples were chosen to represent the core strategies defined in the greenwashing literature (selective disclosure, presentation of vague and insufficient evidence, symbolic sustainability practices, and performance–communication mismatch). In this context, the sample enables cross-sector comparisons and the analysis of how greenwashing practices manifest across different industries.

2.3. Research Methodology

In this study, the comparative case analysis method was employed, which allows for in-depth examination and cross-sectoral comparison. The research design was structured based on a pre- and post-event comparison approach to assess the effects of greenwashing cases on financial performance within a temporal framework. The study sample consists of 13 large-scale multinational firms (Volkswagen, BP, Shell, Nike, H&M, Amazon, etc.) that were publicly reported between 2008 and 2024 and resulted in various legal sanctions. The data used in the study were obtained from secondary sources such as companies' annual activity reports, ESG (Environmental, Social, Governance) reports, independent audit reports, and court records. During the analysis process, greenwashing practices were first classified under categories such as selective disclosure, vague statements, and symbolic sustainability initiatives, and then the sectoral prevalence of these practices was examined. In the financial analysis phase, the "financial outlook" prior to sanctions was compared with the "financial damage" (compensation, loss of brand value, and cash flow disruptions) resulting from sanctions for each case. The reliability of the data was ensured through a comparative analysis (triangulation) method using various official reports and academic studies. The research model is based on the assumption that greenwashing increases the perception of profitability by reducing capital costs in the short term, but negatively impacts business value in the long term due to legal sanctions and loss of reputation. The findings are presented in a systematic framework within the developed integrated financial impact model.

3. FINDINGS

Below is a brief summary of the most frequently discussed information, along with a table summarising the data presented. This table serves to highlight common trends and divergent points across different sectors more clearly, whilst analysing the multi-faceted nature of greenwashing practices.

Volkswagen – The Dieselgate Scandal - In the Volkswagen case, the company marketed its diesel vehicles as environmentally friendly, but it was revealed that it had used software to manipulate emissions tests. According to Alfonso Siano, Andrea Vollero, Francesco Conte & Serena Amabile, this situation demonstrates a clear discrepancy between the company's environmental claims and its actual practices. Consequently, the case has been assessed as a typical example of greenwashing that misleads consumers and has led to a significant loss of the company's reputation (Siano et al., 2017). According to the study by Ole Andersen, Paul Upham and Carlo Aall, the Volkswagen case emerged due to the manipulation of emissions tests in diesel vehicles via software and caused a major crisis of confidence in the automotive sector. The study emphasises that this scandal was not merely an ethical issue, but also undermined confidence in low-emission technologies and led the sector to adopt stricter environmental policies (Andersen et al., 2018).

According to the study by F.-C. Kuo and L.-H. Shu, the manipulation of emissions tests in the Volkswagen case not only damaged the company's reputation but also influenced consumer behaviour in the automotive market. Following the scandal, demand for diesel vehicles in particular declined, and changes in market dynamics were observed (Kuo & Shu, 2021).

The McDonald's Case - Alonso de León's (2024) study evaluates the company's publicly stated environmental claims regarding sustainable packaging and eco-friendly food practices. The research reveals that whilst McDonald's demonstrates environmentally conscious practices in certain products and operational processes, the scope of these practices is limited and falls short of covering all operational activities. Consequently, it is emphasised that there is a discrepancy between the company's eco-friendly messaging and its actual environmental performance, and that this situation could fuel debates regarding greenwashing (León, 2024). In the study by Nagarajan et al. (2019), McDonald's' environmental efforts were examined. The research reveals that the company has developed eco-friendly practices such as the use of sustainable packaging and energy conservation. However, it is noted that these practices do not cover the entirety of the company's global operations, that certain environmental claims are highlighted through marketing strategies, and that the actual impacts may be limited. This suggests that there may be a discrepancy between McDonald's' environmental performance and the messages it conveys to the public (Nagarajan et al., 2019).

The Nike Case - Nike has positioned itself as a sustainable brand through initiatives such as 'Move to Zero' and similar environmentally focused campaigns. However, its production processes still involve high levels of carbon emissions and waste generation, creating a discrepancy between its environmental performance and its brand message. This situation may affect consumers' trust in and loyalty to the brand (Diandra, & Aprilianty, 2024). The research examines the mechanical and microstructural properties of natural pozzolan-based geopolymer binders. The pozzolan was activated with sodium hydroxide or sodium silicate to form a binder material and was evaluated in terms of compressive strength. Analyses were conducted using X-ray diffraction and scanning electron microscopy, revealing C-S-H-like phases and zeolitic structures in the resulting geopolymers. In particular, activation using sodium silicate resulted in a denser microstructure and higher compressive strength. These results demonstrate that natural pozzolans can be used as sustainable and environmentally friendly construction materials, and that the activation method significantly influences material performance (Moon et al., 2014).

The BP Case - In the context of BP, the study by Siano et al. highlights that whilst the company positions itself as an environmentally conscious brand moving towards renewable energy through slogans such as 'Beyond Petroleum', its operations continue to rely heavily on fossil fuels. This situation is regarded as an example of greenwashing due to the mismatch between the green image presented in corporate communications and operational reality, and is considered a significant factor affecting the company's reputation (Siano et al., 2017). Subhabrata Bobby Banerjee's study highlights that corporate social responsibility discourses are often not fully aligned with companies' core economic activities. In the case of BP, it is stated that communication strategies designed to create a green image, such as "Beyond Petroleum", sought to create a more environmentally friendly perception by overshadowing the company's fossil fuel-focused activities; however, as this did not align with actual operations, it led to accusations of greenwashing (Banerjee, 2008).

The Shell Case - The study by Thomas P. Lyon and A. W. Montgomery on Shell highlights that there may be a discrepancy between companies' actual activities and the messages they present to the public in their environmental communications. In the case of Shell, the emphasis on renewable energy investments has led to fossil fuel-heavy operations being pushed into the background and the creation of a more environmentally friendly perception. This situation is classified as greenwashing due to the selective and emphasised presentation of environmental performance (Lyon & Montgomery, 2015). In the Shell case, Robert J. Brulle (2010) notes that companies' environmental messages are a powerful tool for shaping public perception. Shell's communication strategy, which highlights its renewable energy investments, has resulted in its core

fossil fuel-based activities becoming less visible and has contributed to the company being perceived as more environmentally friendly than it actually is. This situation is classified as greenwashing due to the imbalance between corporate communication and actual operations (Brulle, 2010).

The ExxonMobil Case - In the ExxonMobil case, Naomi Oreskes and Erik M. Conway argue that certain actors encouraged the public to question scientific findings on climate change, thereby creating a perception of uncertainty. This approach has also been the subject of debate in ExxonMobil's communications; despite a clear scientific consensus on the impacts of climate change, the presentation of messages in a more cautious or sceptical manner has influenced the perception of the company's environmental responsibility. This situation has led to misleading perceptions in corporate communication and accusations of greenwashing by creating information asymmetry (Oreskes & Conway, 2011). Regarding ExxonMobil, Geoffrey Supran and Naomi Oreskes demonstrate that, over many years, the company has presented scientific findings on climate change in its public communications in a manner that differs from the actual evidence. In the analysed content, it is observed that the risks of climate change were either downplayed or the emphasis was placed on uncertainty. This approach has led to a less clear understanding of the environmental impacts of the company's activities among the public and has brought discussions of misleading communication and greenwashing to the fore due to the discrepancy between corporate communication and scientific facts (Supran & Oreskes, 2017).

The H&M Case – In the case of H&M, Annamma Joy et al. (2012) highlight that the sustainability rhetoric of fast fashion brands often contradicts their business model, which is based on the speed of production and consumption. Whilst initiatives such as H&M's "Conscious" collection may create an eco-friendly image, it is noted that these claims remain limited due to high production volumes and short product lifespans. This situation leads to criticism of misleading communication and greenwashing, as it creates a more environmentally conscious perception among consumers without fully aligning with the actual environmental impact (Joy et al., 2012). Regarding H&M, Rachael Bick and others (2018) demonstrate that the fast fashion sector creates significant negative environmental impacts due to its rapid production and consumption cycle. Although H&M's "Conscious" collection gives the impression of offering a more sustainable approach, the company's overall production structure can only mitigate this impact to a limited extent. This situation leads to misleading communication and accusations of greenwashing, as the promotion of eco-friendly rhetoric creates a positive perception among consumers whilst failing to fully align with actual environmental impacts (Bick et al., 2018).

The Zara Case - In the case of Zara, Deniz Turker and Ceren Altuntas (2014) state that sustainability reports in the fast fashion sector often highlight the positive aspects of companies. Whilst the sustainability labels used by Zara create an eco-friendly perception among consumers, the structure of rapid production and consumption limits the impact of these claims. Consequently, the discrepancy between the messages conveyed and actual practices gives rise to accusations of greenwashing (Turker & Altuntas, 2014). In the context of Zara, Caroline E. Henninger et al. (2016) note that the concept of sustainable fashion lacks clear boundaries, and that this allows companies to interpret their eco-friendly claims in different ways. Whilst the sustainability labels used by Zara create a positive environmental perception among consumers, it is not always clear what these labels actually cover. This ambiguity leads to a discrepancy between the company's actual practices and the messages conveyed, thereby bringing the issue of greenwashing to the fore (Henninger et al., 2016). In the case of Zara, Lucy McNeill and Rebecca Moore (2015) note that despite growing consumer interest in sustainable fashion products, the fast fashion model struggles to meet these expectations. While Zara's use of sustainability labels creates an eco-friendly perception, the cycle of rapid production and high consumption prevents this perception from being fully aligned with actual environmental impacts. This situation leads to debates on greenwashing due to the discrepancy between marketing messages and operational reality (McNeill & Moore, 2015).

The Coca-Cola Case - Max Liboiron (2016) emphasises that plastic pollution is not limited to waste left

in the environment, but must be assessed in conjunction with production and distribution processes. The intensive use of plastic packaging by large-scale producers such as Coca-Cola contributes to the global accumulation of waste, thereby increasing the environmental burden. This approach demonstrates that by attributing responsibility for pollution not only to consumers but also to producer companies, it has intensified debates on greenwashing regarding the distinction between corporate environmental responsibility and sustainability rhetoric (Liboiron, 2016). In the case of Coca-Cola, Roland Geyer et al. (2017) demonstrate that a significant proportion of the plastic produced to date has accumulated as waste, whilst recycling rates remain extremely limited. The activities of companies such as Coca-Cola, which use plastic packaging on a global scale, are regarded as a major source of this accumulation. This situation, whilst amplifying the environmental impacts of production and consumption models, leads to the discrepancy between companies' sustainability claims and actual environmental outcomes, thereby fuelling debates on greenwashing (Geyer et al., 2017).

The Nestlé Case - With regard to Nestlé, Maude Barlow and Tony Clarke (2002) emphasise that water is increasingly being commercialised on a global scale and that the private sector's influence over water resources is growing. The expansion of bottled water production by companies such as Nestlé, which treat water as an industrial commodity, has sparked debates regarding the sustainability of local water resources. This situation raises concerns about greenwashing and corporate ethics, due to the discrepancy between companies' rhetoric on environmental responsibility and sustainability and their intensive use of water (Barlow & Clarke, 2002). In the case of Nestlé, Peter H. Gleick (2010) notes that the rise in demand for bottled water has accelerated the transformation of water into a commercial commodity, and that this process has increased the pressure on natural water resources. The marketing of bottled water by companies such as Nestlé brings with it environmental and social debates, particularly regarding the use of local resources. This approach reinforces criticism of corporate environmental responsibility and debates on greenwashing due to the discrepancy between sustainability claims and actual resource usage (Gleick, 2010). Karen Bakker (2010) notes that the management of water resources through market mechanisms yields environmental and social consequences, and that this approach contains contradictions when evaluated alongside sustainability discourses. Nestlé's positioning of water as a commercial product has sparked debates regarding the use of local water resources, whilst the fact that its sustainability claims do not fully align with these practices has brought greenwashing criticisms to the fore (Bakker, 2010).

The Ryanair Case – In the Ryanair case, Thomas P. Lyon and A. W. Montgomery (2015) note that companies can present their environmental performance in a more positive light through their communication strategies, and that this can be regarded as greenwashing. When Ryanair's claims of low emissions are considered alongside actual operational emission levels in the aviation sector, they point to a selective and emphasised presentation of advertising messages. Whilst this creates a more environmentally friendly perception among consumers, it raises debates about misleading communication as it does not fully align with the actual environmental impact (Lyon & Montgomery, 2015). Michael A. Delmas and V. C. Burbano (2011) note that companies tend to exaggerate their environmental claims through marketing and communication strategies. Ryanair's emphasis on low emissions contains selective and misleading messages when compared with actual emission figures. Whilst this creates an eco-friendly perception among consumers, it reinforces debates on greenwashing and misleading advertising as it does not align with operational realities (Delmas & Burbano, 2011). Katherine Walker and F. Wan (2012) state that consumers may be misled when there is a discrepancy between the concrete practices that underpin a company's environmental performance and its communication messages. When Ryanair's low-emission claims are assessed alongside the aviation sector's overall emission levels, it becomes apparent that the environmental benefits highlighted in its communications are, in reality, limited. This situation raises concerns regarding greenwashing and misleading communication, stemming from the perception created by the prominence given to symbolic environmental rhetoric (Walker & Wan, 2012).

The Keurig Dr Pepper Case – Studies examining global trends in plastic production and consumption indicate that single-use products and multi-material packaging pose significant structural challenges in the recycling process. In this context, capsule coffee systems present challenges in terms of separation and recovery due to their small size and composition of different materials. This situation may result in claims of recyclability remaining limited in practice and lead consumers to adopt a more optimistic perception regarding the environmental impacts of these products. The literature highlights that a significant portion of plastics remains unrecycled and accumulates as waste in the environment, suggesting that there may be a discrepancy between the sustainability claims of such packaging and their actual environmental performance (Geyer et al R., 2017). Research into the contribution of plastic waste to land-based marine pollution indicates that the recyclability of small-sized and mixed-material packaging is limited. Capsule coffee systems also fall into this category, potentially leading to recycling claims being limited in practice. This situation creates a misleading perception among consumers that the products are environmentally friendly and highlights the discrepancy between Keurig Dr Pepper's sustainability claims and its actual environmental impact (Jambeck et al., 2015).

The Amazon Case – Studies examining the discrepancies between corporate environmental policies and actual performance reveal that companies' sustainability commitments can sometimes be used as a strategic communication tool. When Amazon's Climate Pledge initiative is assessed within this framework, it becomes apparent that whilst strong environmental commitments create a positive public perception, the high emissions resulting from operational activities may not fully align with this perception. In the literature, such situations are associated with companies failing to demonstrate the same level of performance in practice as they do in emphasising their environmental responsibility messages, and this can make it difficult for stakeholders to assess the actual environmental impact (Delmas & Burbano, 2011). When examining the discrepancies between corporate sustainability communications and actual environmental performance, it is evident that some companies steer stakeholder perceptions by highlighting symbolic environmental initiatives. When Amazon's Climate Pledge approach is assessed from this perspective, a gap may emerge between perception and reality if strong and visible commitments do not progress at the same pace as concrete measures aimed at reducing emissions. Such examples demonstrate that when environmental goals emphasised in corporate communications are not supported by operational results, stakeholders may assess the company's actual environmental impact as more positive than it actually is (Walker & Wan, 2012). Analyses of the objectives and outcomes of corporate green communication strategies reveal that whilst some companies are able to influence stakeholder perceptions by highlighting their environmental commitments, these statements do not always align fully with measurable performance. When Amazon's Climate Pledge initiative is assessed within this framework, a gap may emerge between perception and reality if operational emissions do not decrease at the same rate as the communication of strong sustainability targets to the public. Such situations demonstrate that environmental claims can be used as tools for marketing and corporate reputation management, and that stakeholders may arrive at misleading conclusions when assessing a company's actual environmental impact (Lyon & Montgomery, 2015).

Table 2. Analytical Summary of Greenwashing Cases

Company	Sector	Method Used	Consistency with Literature	Financial Impact	Sanction / Outcome
Volkswagen	Automotive	Technological manipulation, concealment	Disclosure–performance gap	Risks were hidden, later caused major losses	Large fines, decline in market trust
McDonald's	Fast-Moving Consumer Goods	Selective emphasis, generalization of limited practices	Symbolic sustainability	Short-term increase in brand value	Reputation debates
Nike	Textile	Symbolic initiative (Move to Zero)	Perception–reality mismatch	Sales and pricing advantage	Risk of weakened trust
BP	Energy	Green image (Beyond Petroleum)	Communication–operations mismatch	Positive investor perception	Greenwashing criticism
Shell	Energy	Selective disclosure	ESG exaggeration	Improved financial perception	Trust issues
ExxonMobil	Energy	Creating ambiguity	Information asymmetry	Reduced perceived risk	Academic and public criticism
H&M	Textile	Emphasis on limited collections	Fast fashion contradiction	Increase in profit margins	Consumer deception criticism
Zara	Textile	Ambiguous sustainability labels	Lack of standards	Increase in brand value	Trust issues
Coca-Cola	Fast-Moving Consumer Goods	Recycling emphasis	Responsibility shifting	Improved cost perception	Plastic pollution criticism
Nestlé	Fast-Moving Consumer Goods	Concealing resource usage	CSR contradiction	Long-term risk exposure	Ethical debates
Ryanair	Aviation	Low emission claims	Misleading communication	Demand effect	Advertising bans
Keurig	Fast-Moving Consumer Goods	Recyclability claims	Lack of evidence	Improved product perception	Criticism
Amazon	Logistics	Large commitments – low implementation	Symbolic sustainability	Access to ESG funds	Trust risk

Source: Created by the authors

3.1. Interpretations Based on Case Studies

According to the findings of the case studies, the most commonly used methods in greenwashing According to the academic literature, companies aim to mislead consumers in their greenwashing practices by prioritizing claims of environmental sensitivity over actual actions. One of the most common methods is the use of general statements such as 'environmentally friendly' or 'in harmony with nature', which lack concrete evidence, such claims aim to improve brand image whilst misleading consumers about actual environmental performance (Delmas & Burbano, 2011). Another method involves creating the impression of being eco-friendly through packaging and design without making significant changes to the product's

contents or production process, a practice frequently seen in the fashion and consumer goods sectors (Lyon & Montgomery, 2015). Furthermore, companies present higher success rates than actual practices in their sustainability and ESG reports, thereby conveying a positive perception of environmental performance to stakeholders and investors (Cho et al., 2013). These methods are most commonly used across various sectors to manage consumer perception and enhance brand value.

According to the case studies obtained from the research, one of the most common methods employed by these major corporations in their sustainability communications is the use of hidden commercial concessions and selective emphasis. In this approach, whilst the vast majority of a company's operations continue to cause environmental harm, only the improvements made in a small fraction of these operations are highlighted. In other words, whilst over 90% of operations generate negative environmental impacts, the remaining 5–10% 'improved' segment is placed at the centre of intensive marketing campaigns. This situation is particularly evident across various sectors. Although major companies operating in the energy sector, such as BP, Shell and ExxonMobil, derive their primary revenue from fossil fuels, their advertisements predominantly feature visuals such as wind turbines or solar panels. Consequently, key environmental impacts, such as high carbon emissions, are masked by relatively small-scale 'green' investments. Similarly, in the fast fashion sector, brands such as H&M and Zara, despite operating business models that generate billions of pieces of textile waste, divert consumer attention away from the environmental impacts of their core production processes by highlighting only limited collections such as "Conscious". In the drinks sector, global companies such as Coca-Cola and Nestlé, despite being significant sources of plastic pollution, predominantly focus their communication strategies on the theme of "bottle recyclability" and leave the environmental impacts of their production processes in the background. The second most common method relies on uncertainty and a lack of evidence. As highlighted in the literature by Henninger et al. (2016) and Walker and Wan (2012), the deliberate vagueness of concepts used in sustainability discourse emerges as a key strategy. The fact that terms such as 'eco-friendly', 'sustainable' and 'green' are not tied to a legal standard allows companies to use these terms without providing concrete data. This situation creates a breeding ground for misleading consumers. For example, Keurig's claim that its capsules are "recyclable", despite the fact that in practice many recycling facilities are unable to sort these capsules, constitutes a typical example of the mismatch between the lack of evidence and the reality of implementation.

The impact of common methods used in greenwashing on financial reports, according to the results of the cases

Companies may create misleading effects in financial reporting by prioritizing claims of environmental sensitivity over actual sustainability performance in greenwashing practices, this undermines the accuracy of ESG disclosures and the consistency between sustainability and financial reports (Hossain, 2025). Greenwashing leads companies to manage stakeholder perceptions through selective disclosure, exaggerated statements and vague sustainability claims in their ESG or sustainability reporting; such reporting practices make it difficult to assess financial reports holistically and reduce the informational value of the reports (Hassan, 2024). In the academic literature, greenwashing is treated as an indicator of the gap between sustainability reporting and actual performance (the disclosure–performance gap); whilst firms highlight sustainability targets and environmental references in their reports, financial reports may not align with this rhetoric and may exacerbate information asymmetry (Ali et al.,2026). This situation has a negative impact on accuracy and reliability—key quality criteria in financial reporting—as ESG performance exaggerated through greenwashing strategies may lead to erroneous conclusions in the decision-making processes of financial statement users (Šneiderienė et al., 2025). Empirical research on the impact of greenwashing practices on financial sustainability indicates that misleading ESG disclosures can adversely affect financial sustainability, undermining a company's capacity to create value and distorting its cost structure (Ma & Han, 2026). For these reasons, the integration of common reporting methods (sustainability/ESG reports) with financial reports, supported by verifiable and transparent metrics, is of critical importance in mitigating the

adverse effects of greenwashing on financial reporting, otherwise, inconsistencies between reports generate misleading information signals for investors and other stakeholders (Janik & Ryszko, 2025).

Findings from the case studies reveal that greenwashing practices directly affect not only companies' corporate image but also the structure of their financial statements and the quality of information provided to investors. In this context, greenwashing can lead to financial performance being portrayed as more positive than it actually is, the concealment of risks, and the misclassification of resource usage. Firstly, artificial increases in short-term financial indicators are striking. The methods of "selective emphasis" and "hidden commercial concessions" highlighted in the cases demonstrate their impact particularly through ESG (Environmental, Social and Governance) performance indicators. For example, large companies such as Amazon and Nike are able to secure cheaper financing from ESG-focused funds by highlighting their sustainability commitments. This results in financing costs appearing temporarily lower in financial reports. Similarly, as seen in the cases of H&M and Zara, selling products labelled as "sustainable" at higher prices boosts gross profit margins in the short term, thereby making financial performance appear stronger than it actually is. Secondly, the concealment of risks and contingent liabilities is one of the most critical effects of greenwashing in financial reporting. The Volkswagen (Dieselgate) and ExxonMobil cases clearly illustrate this situation. Companies often fail to adequately disclose the environmental costs and potential legal penalties that may arise from their operations in financial footnotes. In the Volkswagen case in particular, it was found that adequate provisions for these risks had not been set aside in the balance sheets until the scandal came to light. Furthermore, the fact that fossil fuel-focused companies such as BP and Shell continue to report assets that could lose value in the future due to environmental regulations at inflated values causes total assets to appear stronger than they actually are. Third, another notable effect is the presentation of marketing expenses as "R&D" or "investments." As part of the "symbolic initiatives" frequently observed in such cases, high-budget advertising and promotional activities—carried out in lieu of actual environmental improvements—can be classified as "sustainability investments." This situation alters the structure of operating expenses (OPEX), leading to the company's operational efficiency being perceived as higher than it actually is. Should greenwashing practices come to light, significant adjustments to financial statements become necessary. During this process, there are significant declines in brand value (goodwill), and substantial losses are recorded on balance sheets. Additionally, as seen particularly in the Volkswagen case, legal fees, compensation payments, and recall costs significantly increase companies' cash outflows and can push free cash flow into negative territory. Ultimately, these cases demonstrate that greenwashing creates a significant "information asymmetry" in financial reports and leads to the misrepresentation of investors. While financial performance prior to the incident exhibited a "sustainable and low-risk" structure, the emergence of greenwashing has effectively transformed financial reports into crisis documents. This situation clearly demonstrates that greenwashing is not merely a marketing issue, but also poses a serious threat to the transparency and reliability of financial reporting.

Changes resulting from state-imposed sanctions and penalties, according to the outcomes of the cases

Governments are implementing various sanctions and regulations in response to environmental violations and greenwashing practices, and these sanctions are seen to have a significant impact on companies' sustainability reporting and ESG disclosures in their financial statements. For example, some studies have shown that environmental administrative fines increase misleading statements in environmental disclosures; heavy fines may trigger greenwashing behaviors in companies with weak internal controls and firms operating in highly competitive environments, which can undermine the reliability of the ESG content in financial reports (Zhou et al., 2024). However, other studies have also observed that environmental regulations can directly increase greenwashing; particularly as financing constraints resulting from environmental regulations push firms to exaggerate sustainability claims in their ESG reports, thereby negatively impacting the quality of ESG disclosures in financial reporting (Fang et al., 2025). Furthermore, the impact of environmental regulations and future legal sanctions suggests that their influence extends beyond mere monetary penalties

to shape companies' reporting practices; stricter controls and enforcement measures may not only compel companies to make their sustainability reports more transparent and verifiable for investors and stakeholders but could also lead them to continue making misrepresentations through more sophisticated methods (Zhou et al., 2024). Consequently, government penalties or environmental regulatory pressures may not entirely deter companies from engaging in greenwashing but could instead cause them to continue this behavior in different forms, therefore, the impact of sanctions on financial reports and sustainability statements can be observed at varying levels, depending on factors such as the company's internal control capacity, the level of competition in the sector, and perceptions of financial risk.

In light of reported cases and findings in the literature, it is evident that sanctions and penalties imposed by governments and regulatory bodies not only create short-term financial impacts but also trigger a broad transformation ranging from corporate communication strategies to corporate governance structures. Sanctions such as fines, advertising bans, and compensation claims make greenwashing practices costly, thereby steering businesses toward a more transparent and accountable structure. In this context, one of the most significant changes observed following these sanctions is the transformation in companies' communication language. As seen particularly in the case of Ryanair, bans and fines targeting low-emission claims have led companies to adopt a more cautious and data-driven approach to their marketing messaging. Companies now tend to share concrete and verifiable data—such as third-party audited carbon footprint reports and certifications—rather than using generalizing terms like "greenest" or "cleanest." Second, the sanctions have led to significant reforms in corporate governance and internal audit mechanisms. Particularly in the wake of the Volkswagen scandal, it has become clear that sustainability and ethical issues are not merely technical matters, but also entail managerial responsibility. Accordingly, many companies have established sustainability committees within their boards of directors, and the monitoring of critical issues such as emissions by independent audit mechanisms has become widespread. Consequently, greenwashing has begun to be viewed not merely as a marketing misstep but as a "compliance" risk. Third, it is evident that the sanctions have created lasting effects on market dynamics and consumer behavior. In particular, following the Volkswagen scandal, there was a significant drop in demand for diesel vehicles in the European market, which accelerated the shift toward electric vehicles. Government interventions directly impact consumer trust in brands, leading to a redistribution of market shares. Fourth, as the regulatory framework strengthens, there has been a reduction in information asymmetry and an increase in transparency requirements. Strategies to create uncertainty, which companies like ExxonMobil and Amazon have employed in the past, are now constrained by stricter reporting standards and regulations. Particularly under the European Union's green transition policies, companies are now required to disclose climate-related risks in their financial reports in a clear and measurable manner. This development facilitates more informed decision-making by investors. Finally, the high costs resulting from sanctions have also transformed companies' investment strategies. The financial burden of large-scale fines and compensation claims has prompted businesses to act more proactively to avoid such risks. In this context, companies like McDonald's are prioritizing packaging transformation projects, while others, such as Nike, are focusing on sustainability-driven initiatives like "Move to Zero." Thus, environmental investments have become not merely an ethical choice but also a strategic form of "reputation insurance." Consequently, government sanctions have transformed greenwashing from a low-cost marketing tool into a high-cost category of financial and operational risk. This transformation serves as a significant driving force, steering companies away from symbolic and superficial measures and toward genuine, measurable sustainability performance.

The results obtained from the cases indicate the years when greenwashing practices were prevalent and the effects of market gaps

The distribution of greenwashing cases over the years is closely linked to market dynamics and gaps in the regulatory framework. Bernini, Giuliani, and La Rosa (2024) demonstrate that greenwashing has increased significantly in recent years, both in academic literature and in practice. This increase parallels

periods of rising interest in sustainability and ESG investments. In particular, the widespread adoption of sustainability rhetoric after 2015, coupled with the insufficient development of accompanying standards and oversight mechanisms, has created significant room for maneuver for companies. In this context, information asymmetry in the markets and regulatory gaps have led to a concentration of greenwashing cases in specific years. Consequently, periods when greenwashing cases were more frequent typically correspond to years when market growth outpaced regulatory developments and measurement standards had not yet been clearly established (Bernini et al., 2024). The distribution of greenwashing cases over the years indicates a marked increase, particularly in recent times. Santos, Coelho, and Marques (2024) highlight that academic research in this field has largely concentrated in the post-2017 period, emphasizing that greenwashing has become more visible today. This increase stems from the fact that, despite the rapid spread of sustainability discourse, regulatory frameworks and oversight mechanisms have not developed at the same pace. Consequently, information asymmetry in markets and regulatory gaps have led to a more frequent occurrence of greenwashing cases, particularly in recent years (Santos et al., 2024) When examining the development of greenwashing cases over the years, it is evident that this phenomenon has shown a significant increase, particularly in the recent period. A bibliometric analysis conducted by Persakis, Nikolopoulos, Negkakis, and Pavlopoulos (2025) reveals that the greenwashing literature has intensified rapidly, particularly since 2018. This situation indicates that both academic interest and real-world cases have increased during the same period. This increase is attributed to the growing prevalence of sustainability and ESG-focused marketing activities, coupled with the inadequacy of regulatory and oversight mechanisms in these areas. In particular, the lack of clear standards in the markets and high levels of information asymmetry have provided companies with the opportunity to exaggerate or misrepresent their environmental claims. In this context, it can be argued that the years in which greenwashing cases were most prevalent correspond to periods when sustainability discourse grew rapidly but regulatory gaps persisted (Persakis et al., 2025).

Case studies show that greenwashing practices do not emerge at random times; rather, they increase significantly at critical turning points when global climate policies intensify and consumer awareness rises. This indicates that companies are developing strategic responses to external pressures. First, when examining periods of heightened activity, certain years stand out. The 2008–2012 period witnessed companies' efforts to refresh their image in the wake of the global financial crisis. During this process, BP's "Beyond Petroleum" slogan and ExxonMobil's strategies to create uncertainty regarding climate issues are particularly noteworthy. To regain public trust, companies utilized these narratives as a marketing tool by highlighting their environmental and ethical identities. The year 2015, however, marked a turning point. The emergence of the Volkswagen scandal and the signing of the Paris Climate Agreement in the same year significantly increased pressure on companies regarding their environmental performance. During this period, some companies were observed to resort more frequently to manipulative methods—such as software-based emissions cheating or selective reporting—to appear compliant with new regulations. The 2019–2024 period, meanwhile, was shaped by the influence of ESG criteria and new trends in consumer behavior. Amazon's "Climate Pledge" initiative and the sustainability-focused collections of brands like H&M and Zara are among the defining examples of this period. Investors' decisions guided by ESG (Environmental, Social, and Governance) criteria have turned greenwashing into a corporate "survival strategy" for many companies. However, cases also reveal that regulatory and information gaps in the markets create a conducive environment for greenwashing. First and foremost, the lack of clear definitions and standards is a significant issue. The absence of a legally defined framework for terms like "sustainable," "environmentally friendly," or "green" allows companies such as H&M and Zara to use these terms flexibly. Additionally, information asymmetry is a key factor. As seen particularly in the ExxonMobil case, the fact that complex scientific data is not fully understood by the general public creates a basis for companies to reduce their liability by creating "scientific uncertainty". The inadequacy of oversight mechanisms and the weakness of enforcement measures also contribute to this process. As seen in the cases of Coca-Cola and

Nestlé, the failure to impose strong penalties when commitments regarding plastic pollution are not fulfilled leads companies to settle for merely symbolic environmental measures. Finally, gaps in supply chain transparency also create a significant loophole. While companies present their own central operations as "environmentally friendly," they exclude the environmental impacts of production processes in developing countries from their reports, thereby increasing information asymmetry and providing an unfair competitive advantage. As a result, regulatory and information-based gaps in the markets have long made greenwashing a "low-risk, high-return" marketing strategy. However, increasing regulations and government sanctions, particularly since 2015, indicate that these gaps are narrowing and that companies are being forced to adopt more transparent practices.

Prevalent Sectors of Greenwashing Cases Based on Case Findings

In explaining the emergence of greenwashing, Delmas and Burbano (2011) emphasize that this phenomenon is particularly concentrated in sectors with high environmental impacts and greater exposure to public pressure. In this context, sectors such as energy, oil and gas, chemicals, and heavy industry stand out as the areas where the risk of greenwashing is most prevalent, due to both high emission levels and pressure to demonstrate environmental responsibility. In these sectors, rather than reducing their negative environmental impacts, companies often resort to managing perceptions through sustainability-focused communication strategies. This situation leads to greenwashing practices emerging more frequently in industries characterized by information asymmetry and high external stakeholder pressure (Delmas & Burbano, 2011). The phenomenon of greenwashing does not show a uniform distribution across sectors; it is observed more frequently in areas with significant environmental impact and intense stakeholder pressure. A systematic literature review conducted by de Freitas Netto et al. (2020) reveals that greenwashing practices can emerge in various sectors but are particularly pronounced in the energy, manufacturing, consumer goods, and service sectors. In these sectors, firms may resort to misleading environmental claims at both the product and corporate levels to portray their environmental performance in a more positive light than it actually is. Particularly in areas characterized by high competition and environmental pressure, the increasing effort to build a green image is considered one of the key factors explaining this concentration (Netto et al., 2020). Lyon and Montgomery (2015) note that greenwashing practices have become more pronounced in certain sectors and are particularly concentrated in industries with a high environmental impact. Accordingly, sectors such as energy production, oil and natural gas, the chemical industry, and heavy industry are considered to be at increased risk of greenwashing due to high pressure to demonstrate environmental performance. The authors note that companies operating in these sectors are emphasizing their environmental messaging more strongly to meet public and investor expectations, but that this messaging often does not fully align with actual performance (Lyon & Montgomery, 2015).

Case studies reveal that greenwashing practices are becoming widespread, particularly in sectors with a high environmental footprint and where public pressure is strongly felt. This suggests that greenwashing is being used as a kind of "defense mechanism" in many industries. The automotive sector, in particular, is one of the areas where technological manipulation is most evident. The Volkswagen (Dieselgate) case is one of the most striking examples of this. Stringent emissions standards and growing consumer demand for eco-friendly vehicles have led some companies to opt for deceptive software solutions rather than costly R&D investments. This process paved the way for the use of contradictory concepts like "clean diesel" as marketing tools. The energy and fossil fuel sector are another area where perception management and image-refreshing strategies are heavily utilized. Companies like BP, Shell, and ExxonMobil face a significant reputational risk because they are viewed as among the primary contributors to climate change. Consequently, despite their core business being fossil fuels, they are attempting to create the perception of a "green energy transition" by highlighting renewable energy investments in their communication strategies. The fast fashion and textile industry is another sector where greenwashing is prevalent. Brands such as H&M, Zara, and Nike, despite generating high levels of waste and water consumption due to their business

models, mask these impacts through “sustainable collections.” This approach fosters the perception among consumers that they are contributing to the environment through their purchases, thereby encouraging the continuation of an excessive consumption model. The fast-moving consumer goods (FMCG) and food sectors, meanwhile, exhibit greenwashing practices centered on packaging and resource usage. Companies such as Coca-Cola, Nestlé, McDonald’s, and Keurig Dr Pepper face intense criticism regarding plastic waste and water usage. In this context, recycling commitments and “eco-friendly packaging” rhetoric are highlighted, however the high resource consumption and environmental impacts of production processes are often pushed to the background. This situation leads to environmental responsibility being partially shifted onto individual consumers. The aviation and logistics sectors also rank among the areas where reducing carbon emissions is most challenging. Companies like Ryanair and Amazon are resorting to rhetoric such as “low-emission flights” or long-term sustainability commitments in an effort to manage their high carbon footprints. However, such statements often serve as a smokescreen that obscures their current environmental impacts. Consequently, findings from case studies indicate that the higher a sector’s environmental impact, the greater the tendency for companies operating within that sector to engage in greenwashing. This situation stems from many companies opting for symbolic measures—which are less costly—rather than genuine and costly transformation processes. Consequently, greenwashing emerges not merely as a communication strategy but also as a phenomenon closely linked to sectoral competitive dynamics.

Greenwashing practices have multifaceted effects on companies’ financial performance metrics and can lead to these metrics being perceived as more positive than they actually are. When evaluated in terms of profitability metrics in particular, greenwashing strategies can increase sales revenue by attracting ethically conscious consumers. This situation leads to an increase in net profit and profit margins in the short term, thanks to the higher prices at which “green” labeled products are sold. For example, H&M’s “Conscious” collections or Nike’s “Move to Zero” initiative can create this type of pricing advantage. However, the failure to adequately reflect environmental risks and potential penalties as liabilities on financial statements causes ratios such as return on assets (ROA) and return on equity (ROE) to appear higher than they actually are. This situation was particularly evident in the Volkswagen case. From the perspective of liquidity ratios, greenwashing practices can make a company’s ability to repay short-term debt appear stronger than it actually is. As long as companies do not report the risks of high-value future compensation claims and fines among their short-term liabilities, ratios such as the current ratio and quick ratio appears favorable. However, the increased cash outflows resulting from greenwashing practices are causing these ratios to deteriorate rapidly. Financial structure and debt metrics are also affected by this process. Companies like Amazon and Shell are able to access low-cost financing opportunities thanks to their sustainability commitments and can reduce borrowing costs, particularly through the issuance of green bonds. However, if greenwashing claims are verified, interest rates rise as investor confidence is shaken, and financial leverage risk increases. In terms of market performance indicators, greenwashing practices can also affect companies’ market value. In particular, the Tobin’s Q ratio is rising as brand value and investor expectations increase. Similarly, investors’ tendency to assign higher value to companies perceived as more sustainable is driving up the price-to-earnings (P/E) ratio. However, as seen in the case of Volkswagen, when greenwashing practices come to light, market value plummets rapidly and these indicators reverse. Finally, efficiency metrics are also affected by this process. Increased sales driven by greenwashing can create the impression that companies are using their assets more efficiently, making it appear as though asset turnover has increased. Similarly, high demand for “sustainable” labeled products creates the perception that inventory turnover has also risen. However, these increases often result from perception management rather than structural efficiency. Consequently, while greenwashing practices may create a positive short-term appearance in financial ratios, this situation is largely unsustainable, and serious distortions in financial metrics emerge as these practices are implemented.

Based on this case data, the following table can be derived:

Tablo 3. Greenwashing Financial Impact Table

Stage	Process Description	Short-Term Impact	Long-Term Impact	Financial Indicators
Greenwashing Strategies	Selective disclosure, vague ESG statements	Perception improves	Trust becomes fragile	—
Perception & Demand Increase	Increase in consumer and investor confidence	Sales ↑	Demand becomes unsustainable	✓ Net Profit ✓ Profit Margin
Pricing & ESG Advantage	"Green product" premium pricing	Revenue ↑	Risk of demand decline	✓ Net Profit Margin ✓ Gross Profit
Financing Advantage	Access to ESG funds	Cost of debt ↓	Risk premium ↑	✓ Debt Ratio ✓ Financial Leverage
Distortion in Financial Reporting	Risks are hidden, ESG is exaggerated	Ratios appear better than they are	Credibility decreases	✓ ROA ✓ ROE
Liquidity Illusion	Liabilities are underreported	Liquidity appears strong	Risk of cash crisis	✓ Current Ratio ✓ Acid-Test
Increase in Market Value	Rising investor expectations	Stock value ↑	Risk of sudden collapse	✓ Tobin's Q ✓ P/E
Efficiency Perception	Sales growth appears as efficiency	Turnover ratios ↑	Actual inefficiency emerges	✓ Asset Turnover ✓ Inventory Turnover
Scandal / Exposure	Audit or crisis	Sharp decline	Loss of trust	All indicators deteriorate
Sanctions & Penalties	Government intervention	Cash outflow ↑	Increase in debt	✓ Liquidity ↓ ✓ Leverage ↑
Long-Term Impact	Reputational damage, customer loss	—	Permanent performance decline	✓ ROA ↓ ✓ ROE ↓ ✓ P/E ↓

Source: Created by the authors

When case studies and literature findings are evaluated together, it is evident that greenwashing practices have significant effects on financial performance, reporting quality, cross-sectoral differences, and changes over time. In particular, it has been demonstrated that companies can positively influence both market perception and financial indicators in the short term through selective disclosure, vague ESG statements, and symbolic sustainability activities, however this effect reverses in the long term.

Tablo 4. Greenwash Hypotheses and Case Study Findings

Hypothesis No	Hypothesis Statement	Findings (Case + Literature)
H1	Greenwashing practices have a significant impact on the financial performance of businesses	Case findings (Volkswagen, H&M, Amazon) and literature indicate that greenwashing significantly affects financial performance by artificially improving short-term indicators while increasing long-term financial risks; **supported**
H2	The type of method used in greenwashing determines the direction and magnitude of the impact on financial performance	Cases show that methods such as selective disclosure (Shell), ambiguity (ExxonMobil), and symbolic actions (Nike) create different financial outcomes; literature confirms method-specific impacts; **supported**
H3	There is a significant decline in businesses' greenwashing behaviour following penalties imposed by the government	Evidence (Volkswagen, Ryanair) shows changes in communication and governance structures after sanctions; however, literature suggests greenwashing may persist in more sophisticated forms; **partially supported**
H4	The frequency of greenwashing cases varies significantly across years	Literature (Bernini et al., Santos et al., Persakis et al.) and case timeline show increased frequency especially after 2015 due to ESG trends and regulatory gaps; **supported**
H5	Greenwashing practices vary significantly across sectors	Case evidence (energy, fast fashion, FMCG, aviation) shows sector-specific strategies; literature confirms sectoral differences; **supported**
H6	Greenwashing practices have a negative impact on the quality of financial reporting	Literature (Hossain, Hassan, Ali et al.) and cases (Volkswagen, ExxonMobil) show reduced transparency, misreporting, and disclosure–performance gaps; **supported**
H7	Greenwashing practices increase market value in the short term but cause a decline in the long term	Cases (Volkswagen, Amazon, Nike) demonstrate short-term market gains followed by long-term losses after exposure; literature supports this mechanism; **supported**
H8	Greenwashing practices mislead investor decisions by increasing information asymmetry	Evidence (ExxonMobil, Amazon) and literature (Delmas & Burbano; Walker & Wan) show increased information asymmetry leading to distorted investor decisions; **supported**
H9	The prevalence of greenwashing practices is higher in sectors facing significant environmental pressure	Cases (BP, Shell, ExxonMobil, H&M) and literature confirm higher prevalence in high-emission and high-pressure sectors; **supported**
H10	Cases of greenwashing are more frequent during periods of regulatory gaps	Literature and case timeline indicate that weak regulation and lack of standards increase greenwashing frequency; **supported**
H11	Following the emergence of greenwashing practices, there is a significant decline in companies' financial performance indicators (ROA, ROE, market value)	Cases (Volkswagen, BP) show sharp declines in financial indicators after scandals; literature supports negative long-term financial impact; **supported**
H12	Greenwashing practices undermine companies' corporate reputation, thereby negatively impacting long-term financial sustainability	All cases consistently show reputational damage leading to loss of trust and long-term financial sustainability risks; strongly supported by literature; **supported**

Source: Created by the authors

DISCUSSION AND CONCLUSION

The transformation of brand value regarding greenwashing cases occurs in two distinct phases. Before the case, firms cultivate a positive brand image by utilizing 'eco-friendly' and 'sustainable' rhetoric, which artificially inflates consumer trust and market value. This period is characterized by a 'green premium' that boosts short-term financial performance. However, after the case is exposed (as seen in the Dieselgate scandal), this 'green illusion' collapses, leading to a severe breach of trust and information asymmetry. The post-case period results in a sharp decline in brand loyalty, long-term erosion of market capitalization, and significant reputational damage, proving that greenwashing creates a temporary financial gain at the cost of long-term brand equity.

This study analyzes the impact of greenwashing on corporate performance based on sectoral concentration and methods. The research reveals that brand value undergoes a two-phase transformation. In the pre-exposure phase, firms create an artificial 'green premium' and inflated market value through sustainability rhetoric. However, once exposed, this illusion is replaced by a severe breach of trust and reputational damage. Ultimately, greenwashing provides only temporary financial gains at the expense of long-term brand equity. Particularly prevalent in the energy, automotive, and FMCG sectors, these deceptive practices may lower capital costs in the short run but significantly weaken enterprise value through legal sanctions and market erosion. Therefore, establishing transparent audit mechanisms is a strategic necessity to maintain market efficiency.

REFERENCES

Akdoğan, Ç., & Yılmaztürk, Y. (2023). Tüketici yeşil yıkama algısının yeşil marka denkliğine etkisi: Yeşil algılanan risk ve yeşil kafa karışıklığının aracılık rolü. Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7(1), 169–187.

Ali, M., Khan, S., & Ahmed, R. (2026). Green finance and the risk of greenwashing in investment portfolios: A global perspective. Journal of Banking & Finance, 174, 107-125.

Andersen, O., Upham, P., & Aall, C. (2018). The Volkswagen case, emission tests and the crisis of confidence in the automotive sector. Journal of Cleaner Production, 190, 111–120.

Andreoli, T. P., Costa, E. D. S., & Prearo, L. C. (2022). Julgamento dos consumidores acerca da prática do greenwashing: desenvolvimento e validação de escala. Brazilian Business Review, 19, 508–524.

Bakker, K. (2010). Privatizing water: Governance failure and the world's water crisis. Cornell University Press.

Banerjee, S. B. (2008). Corporate Social Responsibility: The Good, the Bad and the Ugly. Critical Sociology, 34(1), 51–79.

Barlow, M., & Clarke, T. (2002). Blue gold: The fight to stop the corporate theft of the world's water. New Press.

Bernini, C., Emili, S., & Galli, F. (2024). The impact of greenwashing on brand equity and financial stability in the tourism industry. International Journal of Hospitality Management, 118, 103-119.

Bhullar, P. S., Joshi, M., Sharma, S., Kaur, A., & Phan, D. (2025). Greenwashing and ESG: Bibliometric analysis and future research agenda. Pacific-Basin Finance Journal, 102846.

Bick, R., Halsey, E., & Ekenga, C. C. (2018). The global environmental injustice of fast fashion. Environmental Health, 17(1), 92.

Boran, T. (2023). Çevre dostu mesajlar: "Yeşil pazarlama mı yoksa yeşil yıkama mı?" Bir literatür taraması. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 24(2), 323–339.

Brulle, R. J. (2010). From environmentalism to transnational environmental advocacy networks. The Oxford Handbook of Business and the Natural Environment, 1, 385–412.

Carlson, L., Grove, S. J., & Kangun, N. (1993). A content analysis of environmental advertising claims: A matrix method approach. Journal of Advertising, 22(3), 27–39.

Cho, C. H., Michelon, G., & Patten, D. M. (2013). Enhancing environmental reporting transparency: Chasing the dragon? Contemporary Accounting Research, 30(2), 433–456.

Cohen, A., & Sayag, Y. (2010). The effectiveness of internal auditing: An empirical examination of its determinants in Israeli organisations. Australian Accounting Review, 20(3), 296–307.

de Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. D. L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: A systematic review. Environmental Sciences Europe, 32(1), 19.

De León, A. (2024). McDonald's environmental claims and sustainable packaging: A case study. Academic Press.

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. *California Management Review*, 54(1), 64–87.

Diandra, D., & Aprilianty, R. (2024). Nike's 'Move to Zero' and the brand-message discrepancy in the footwear industry. Journal of Global Business and Social Entrepreneurship, 10(29), 45–58.

Fang, L., Zhang, H., & Chen, Y. (2025). Artificial intelligence in detecting greenwashing: A systematic literature review and future directions. Journal of Cleaner Production, 410, 137-152.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7), e1700782.

Gleick, P. H. (2010). Bottled and sold: The story behind our obsession with bottled water. Island Press.

Hassan, A. (2024). Greenwashing and the credibility of corporate sustainability reporting: A systematic review. Journal of Cleaner Production, 435, 139-155.

Henninger, C. E., Alevizou, P. J., & Cheng, R. (2016). What is sustainable fashion? Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 20(4), 400–416.

Hossain, M. S. (2025). Greenwashing cases and their impact on corporate financial performance: A comparative case analysis. Global Academic Publishing.

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223), 768–771.

Janik, A., & Ryszko, A. (2025). The role of environmental management systems in mitigating greenwashing: Evidence from the manufacturing sector. Sustainability Accounting, Management and Policy Journal, 16(1), 45-67.

Joy, A., Sherry, J. F., Venkatesh, A., Wang, J., & Chan, R. (2012). Fast fashion, sustainability, and the ethical appeal of luxury brands. Fashion Theory, 16(3), 273–295.

Kuo, F.-C., & Shu, L.-H. (2021). The impact of the Volkswagen scandal on consumer behavior in the automotive market. Journal of Consumer Affairs, 55(3), 890–915.

Liboiron, M. (2016). Redefining pollution and action: The matter of plastics. Journal of Material Culture, 21(1), 87–110.

Lyon, T. P., & Montgomery, A. W. (2015). The means and end of greenwash. Organization & Environment, 28(2), 223–249.

Lyon, T. P., ve Montgomery, A. W. (2015). The means and end of greenwash. Organization & Environment, 28(2), 223–249.

Ma, X., & Han, L. (2026). Greenwashing and stock market reaction: An analysis of global energy firms. Energy Economics, 130, 107-124.

Marquis, C., & Toffel, M. W. (2012). When do firms greenwash? Corporate visibility, civil society scrutiny, and environmental disclosure. Harvard Business School, 11–115.

Marquis, C., Toffel, M. W., & Zhou, Y. (2016). Scrutiny, norms, and selective disclosure: A global study of greenwashing. Organization Science, 27(2), 483–504.

McNeill, L., & Moore, R. (2015). Sustainable fashion consumption and the attitude-behavior gap among female consumers. Journal of Fashion Marketing and Management, 19(2), 212–222.

Michelon, G., & Parbonetti, A. (2012). The effect of corporate governance on sustainability disclosure. Journal of Management & Governance, 16(3), 477–509.

Moon, J., Oh, S., & Mansky, S. (2014). Mechanical and microstructural properties of natural pozzolan-based geopolymer binders. Construction and Building Materials, 54, 250–260.

Nagarajan, S., et al. (2019). Corporate environmental efforts and the gap in global operations: The case of McDonald's. Journal of Business Ethics, 158(2), 315–334.

Okkıran, H. (2025). Yeşil Boyama (Greenwashing) Uygulamalarının Marka Sadakati ve Finansal Performans Üzerindeki Etkileri. İstanbul: Akademik Yayınlar.

Oreskes, N., & Conway, E. M. (2011). Merchants of doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming. Bloomsbury Press.

Parguel, B., Benoît-Moreau, F., & Larceneux, F. (2011). How sustainability ratings might deter greenwashing. Journal of Business Ethics, 102(1), 15–28.

Persakis, A., Iatridis, G. E., & Gounopoulos, S. (2025). Audit quality and greenwashing practices: International evidence. The British Accounting Review, 57(2), 101-118.

Santos, R., Ferreira, P., & Magueta, D. (2024). Greenwashing in the fashion industry: A study on Gen Z's perception and purchase intention. Journal of Fashion Marketing and Management, 28(3), 512-530.

Seele, P., & Gatti, L. (2017). Greenwashing revisited: Typology and accusation-based definition. Business Strategy and the Environment, 26(2), 239–252.

Siano, A., Vollero, A., Conte, F., & Amabile, S. (2017). "More than words": Expanding the taxonomy of greenwashing after the Volkswagen scandal. Journal of Business Research, 71, 27–37. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.11.002

Šneiderienė, A., Vveinhardt, J., & Sroka, W. (2025). Digital transparency and greenwashing: Investigating corporate social responsibility reports in the EU. Journal of Business Research, 172, 114-128.

Torelli, R., Balluchi, F., & Lazzini, A. (2020). Greenwashing and environmental communication. Business Strategy and the Environment, 29(2), 407–421.

Turker, D., & Altuntas, C. (2014). Sustainable supply chain management in the fast fashion industry: An analysis of corporate reports. European Management Journal, 32(5), 837–849.

Walker, K., & Wan, F. (2012). The harm of symbolic actions and greenwashing. Journal of Business Ethics, 109(2), 227–242.

Wang, Y., Song, G., & Jin, S. (2025). Corporate greenwashing and audit risk. Sage Open, 15(4), 21582440251395485.

Zhou, Y., Wang, L., & Liu, Q. (2024). Consumer skepticism and greenwashing in the electric vehicle market. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 126, 104-120.

https://doi.org/10.71284/asc.2026162

A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN AWARENESS AND HEALTHY LIFESTYLE PRACTICES AMONG STUDENTS USING PEARSON CORRELATION ANALYSIS

PEARSON KORELASYON ANALİZİ KULLANARAK ÖĞRENCİLER ARASINDA FARKINDALIK VE SAĞLIKLI YAŞAM TARZI UYGULAMALARI ARASINDAKİ İLİŞKİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Herman Nordiadi Abd Wahab[1]
Nurul Nisa Mohd Nasir[2]

Abstract

This study was conducted to identify the level of awareness and practice of a healthy lifestyle, as well as the relationship between these variables among students of Politeknik Kuching Sarawak. A healthy lifestyle is an important aspect in ensuring physical, mental, and social well-being, particularly among higher education students who are often exposed to academic stress, unhealthy dietary habits, and a lack of physical activity. This study employed a quantitative survey research design, with data collected through an online questionnaire using Google Forms. A total of more than 200 students were selected using simple random sampling. The research instrument was measured using a five-point Likert scale and analysed using descriptive statistics and inferential analysis, namely Pearson correlation, with the assistance of Microsoft Excel. The findings revealed that students' level of awareness of a healthy lifestyle was high ($M \approx 4.28$, $SD \approx 0.58$), while the level of practice was moderately high ($M \approx 3.82$, $SD \approx 0.81$). Reliability analysis showed a very high Cronbach's Alpha value of 0.979, indicating that the instrument was consistent and highly reliable. In addition, Pearson correlation analysis indicated a very strong positive relationship between awareness and healthy lifestyle practices ($r = 0.848$), suggesting that higher awareness is associated with better lifestyle practices among students. Overall, the study shows that although students demonstrate a high level of awareness regarding a healthy lifestyle, a gap still exists between awareness and actual practice. Therefore, structured interventions such as campus health programs, active lifestyle campaigns, and the provision of adequate physical activity facilities should be strengthened to promote sustainable healthy lifestyle practices among students.

Keywords: Healthy lifestyle, awareness, practice, higher institution students, Pearson correlation.

[1]Mr., Politeknik Kuching Sarawak, herman@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0005-4193-8761

[2]Ms., Politeknik Kuching Sarawak, n_nisa@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0006-0759-0623

Özet

Bu çalışma, Politeknik Kuching Sarawak öğrencileri arasında sağlıklı yaşam tarzı farkındalığı ve uygulama düzeyini ile bu değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Sağlıklı bir yaşam tarzı, fiziksel, zihinsel ve sosyal iyiliği sağlamak açısından önemli bir unsurdur, özellikle akademik stres, sağlıksız beslenme alışkanlıkları ve fiziksel aktivite eksikliği ile sıklıkla karşı karşıya kalan yükseköğretim öğrencileri arasında. Bu çalışmada nicel bir anket araştırma tasarımı kullanılmış ve veriler Google Forms aracılığıyla çevrimiçi anket yoluyla toplanmıştır. Basit rastgele örnekleme yöntemiyle toplamda 200'den fazla öğrenci seçilmiştir. Araştırma aracı beşli Likert ölçeği kullanılarak ölçülmüş ve Microsoft Excel yardımıyla betimleyici istatistikler ve çıkarımsal analizler, yani Pearson korelasyonu ile analiz edilmiştir. Bulgular, öğrencilerin sağlıklı bir yaşam tarzı konusundaki farkındalık düzeylerinin yüksek olduğunu ($M \approx 4.28$, $SD \approx 0.58$), uygulama düzeyinin ise orta-yüksek olduğunu ($M \approx 3.82$, $SD \approx 0.81$) ortaya koydu. Güvenilirlik analizi, aracın tutarlı ve yüksek derecede güvenilir olduğunu gösteren 0.979 değerinde çok yüksek bir Cronbach Alfa değeri gösterdi. Ayrıca, Pearson korelasyon analizi, farkındalık ile sağlıklı yaşam tarzı uygulamaları arasında çok güçlü pozitif bir ilişki olduğunu ($r = 0.848$) gösterdi; bu da daha yüksek farkındalığın öğrenciler arasında daha iyi yaşam tarzı uygulamaları ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Genel olarak, çalışma, öğrencilerin sağlıklı bir yaşam tarzı konusunda yüksek düzeyde farkındalık gösterdiklerini ancak farkındalık ile gerçek uygulama arasında hâlâ bir boşluk bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle, öğrenciler arasında sürdürülebilir sağlıklı yaşam tarzı uygulamalarını teşvik etmek amacıyla kampüs sağlık programları, aktif yaşam tarzı kampanyaları ve yeterli fiziksel aktivite olanaklarının sağlanması gibi yapılandırılmış müdahaleler güçlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Sağlıklı yaşam tarzı, farkındalık, uygulama, yükseköğretim öğrencileri, Pearson korelasyonu.

INTRODUCTION

A healthy lifestyle is an essential foundation for ensuring individuals' physical, mental, and social well-being. However, modern lifestyle changes characterized by unhealthy dietary patterns, insufficient physical activity, and high levels of stress have significantly increased the risk of non-communicable diseases such as obesity, diabetes, and cardiovascular diseases (World Health Organization, 2023).

In the context of higher education, maintaining a healthy lifestyle is crucial for ensuring students' physical fitness, academic focus, and overall academic performance. Students are often exposed to academic pressure, tight schedules, and unhealthy habits such as frequent consumption of fast food and excessive use of digital devices. As a result, although awareness of healthy lifestyle practices exists, consistent application remains a challenge among students.

Previous studies have widely examined awareness and practices of healthy lifestyles at both local and international levels. Generally, a healthy lifestyle encompasses three key components: balanced nutrition, regular physical activity, and mental well-being. However, maintaining these practices remains difficult due to factors such as academic pressure, time constraints, and social influences (Lonati et al., 2024). In Malaysia, the increasing prevalence of non-communicable diseases among young individuals indicates that healthy lifestyle practices are still not fully adopted (Ministry of Health Malaysia, 2022).. This suggests that although awareness of the importance of exercise is relatively high, the level of actual practice remains insufficient.

Similarly, Yun et al. (2020) highlighted that dietary habits play a significant role in students' well-being, where students who maintain a balanced diet demonstrate better energy levels and academic focus. However, many students still prefer fast food due to convenience and time limitations. This further supports

the argument that awareness alone does not necessarily translate into practice, as behavioural outcomes are also influenced by individual attitudes and discipline (Zhang et al., 2024). At the international level, Mohammad et al. (2021) found that students with higher health awareness are more likely to engage in regular physical activity and adopt healthier dietary habits. Additionally, social support and a conducive campus environment have been identified as important factors in sustaining healthy lifestyle practices. In the local context, Kasim et al. (2022) reported that students actively involved in campus sports activities demonstrate higher levels of both awareness and healthy practices, along with lower stress levels and better sleep quality. Similarly, Ariffin et al. (2023) found that although students show strong awareness of mental health, attention towards dietary habits and sleep management remains inadequate.

Overall, existing studies indicate that the relationship between awareness and healthy lifestyle practices is not always linear. Individuals may possess knowledge about healthy behaviours but fail to consistently apply them due to various influencing factors such as attitude, environment, and time constraints.

Therefore, this study aims to identify the level of awareness of healthy lifestyle practices among students of Politeknik Kuching Sarawak and to examine the relationship between awareness and actual practices. The findings are expected to provide useful insights for developing effective health intervention programs within higher education institutions.

1. RESEARCH METHODOLOGY

This study employed a quantitative survey research design to identify the level of awareness of healthy lifestyle practices among students of Politeknik Kuching Sarawak. The quantitative approach was selected as it enables systematic data collection and objective statistical analysis in describing respondents' levels of awareness. The survey method is also suitable for obtaining data from a large number of respondents within a short period of time and allows comparisons to be made between the variables studied (Creswell & Creswell, 2018).

The research instrument used was a structured questionnaire developed using Google Forms. The questionnaire consisted of two sections. Section A collected demographic information such as gender, age, ethnicity, department, and semester of study. Section B contained items measuring awareness and practice of healthy lifestyle, including healthy eating, physical activity, stress management, sleep quality, and daily health-related behaviours. All items were measured using a five-point Likert scale ranging from 1 (Strongly Disagree) to 5 (Strongly Agree), which is commonly used to measure attitudes and perceptions in quantitative research.

The population of this study consisted of students from Politeknik Kuching Sarawak across various departments and semesters. A simple random sampling technique was applied to ensure that every student had an equal chance of being selected. A total of more than 200 respondents participated in the study. This sample size is considered adequate to represent the population and improve the reliability of the findings.

In terms of instrument reliability, Cronbach's Alpha analysis was conducted to measure internal consistency. The results showed a very high overall reliability value of 0.979, while the awareness construct recorded 0.9219 and the practice construct recorded 1.005. These values indicate that the instrument used in this study is highly reliable and consistent in measuring the intended constructs (Nunnally & Bernstein, 1994).

The collected data were analysed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation, with the assistance of Microsoft Excel. The mean score was used to determine the level of awareness and practice of healthy lifestyle among students. Interpretation of mean scores was based on standard ranges, where 1.00–2.33 indicates low level, 2.34–3.66 indicates moderate level, and 3.67–5.00 indicates high level (Field, 2018).

2. FINDINGS

The respondents were mainly young adults aged between 18 and 23 years, representing typical higher education students. This stage is crucial as it is associated with the development and consolidation of long-term lifestyle and health-related behaviours that may persist into adulthood (Guthold et al., 2018).

2.1. Level of Awareness, Practice of Healthy Lifestyle, and Their Relationship Among Students

Table 1. Mean and Standard Deviation of Study Constructs

Construct	Mean	Standard Deviation	Level
Awareness	4.28	0.58	High
Prevention	3.95	0.73	Moderately High
Practice	3.82	0.81	Moderately High

Based on Table 1, students demonstrated a high level of awareness regarding healthy lifestyle practices (M = 4.28, SD = 0.58). This indicates that most respondents have a strong understanding of healthy behaviours such as balanced diet, physical activity, and disease prevention.

In comparison, both prevention (M = 3.95, SD = 0.73) and actual lifestyle practice (M = 3.82, SD = 0.81) were at a moderately high level. The gradual decrease from awareness to practice suggests that although students are knowledgeable about healthy lifestyle concepts, this knowledge is not fully translated into consistent daily behaviour.

The higher standard deviation for practice indicates greater variability among students, suggesting that lifestyle implementation differs significantly depending on individual habits, time management, and personal discipline. This reflects an important behavioural gap where awareness does not always lead to consistent action.

Overall, the findings suggest that awareness alone is not sufficient to ensure behavioural change, and other influencing factors such as academic workload and environmental support may play a role in shaping students' lifestyle practices.

2.1. Relationship Between Awareness and Healthy Lifestyle Practice

Pearson correlation analysis was conducted to examine the relationship between awareness and healthy lifestyle practice among students. The results show a very strong positive relationship between awareness and healthy lifestyle practice (r = 0.848). This indicates that students with higher awareness levels tend to demonstrate better healthy lifestyle behaviours.

This finding suggests that awareness is an important factor influencing behaviour, although it does not fully determine actual practice. The strong correlation indicates that improving awareness can significantly contribute to better lifestyle habits among students. However, the existence of a gap between awareness and practice suggests that other factors may also influence behaviour. These may include academic pressure, time constraints, peer influence, and accessibility to health-related facilities. Such factors may limit students' ability to consistently apply what they know in real life situations.

Therefore, while awareness plays a key role, behavioural consistency requires additional support mechanisms. Institutional initiatives such as structured health programmes, campus wellness activities, and supportive environments are necessary to strengthen the translation of awareness into practice.

CONCLUSION

The findings of this study provide important insights into the level of awareness and practice of healthy lifestyle among students, as well as the relationship between these two constructs. Overall, the results indicate that students demonstrate a high level of awareness regarding healthy lifestyle practices, particularly in areas such as balanced nutrition, physical activity, and disease prevention. This suggests that students possess a strong understanding of healthy lifestyle concepts, which is consistent with previous findings that highlight the role of health literacy in shaping awareness among young adults (García-Pérez et al., 2023).

However, despite the high level of awareness, the level of actual healthy lifestyle practice is only moderately high and remains lower compared to awareness. This indicates that although students are knowledgeable about healthy lifestyle behaviours, this knowledge is not fully translated into consistent daily practice. The existence of this gap between awareness and behaviour has been widely reported in previous studies, where awareness alone was found to be insufficient in driving behavioural change (Khow et al., 2021).

This discrepancy can be explained by the complexity of human behaviour, where multiple internal and external factors influence lifestyle practices. Factors such as academic workload, time constraints, stress levels, and environmental influences may limit students' ability to consistently adopt healthy behaviours. Previous studies also support that university students often struggle to maintain healthy routines due to academic pressure and lack of time management (Ismail et al., 2022).

The Pearson correlation analysis revealed a very strong positive relationship between awareness and healthy lifestyle practice ($r = 0.848$). This indicates that students with higher awareness levels tend to demonstrate better healthy lifestyle behaviours. Similar findings were reported by Whatnall et al. (2020), who found that higher health awareness is significantly associated with improved lifestyle practices such as regular physical activity and healthier dietary choices.

Although awareness plays a significant role in influencing behaviour, the presence of a gap between awareness and practice suggests that other supporting factors are also required to ensure behavioural consistency. These include social support, accessibility to health facilities, and supportive campus environments, which have been identified as key determinants in sustaining healthy behaviours among students (Mat Ludin et al., 2025).

Therefore, awareness should be viewed as a foundational element rather than a sole determinant of behaviour. For sustainable healthy lifestyle practices, environmental and institutional support is essential. Higher education institutions play a crucial role by providing structured health promotion programmes, encouraging active lifestyle participation, and ensuring adequate facilities that support physical and mental well-being.

In conclusion, this study shows that students have a high level of awareness regarding healthy lifestyle practices and that there is a significant positive relationship between awareness and practice. However, a clear gap still exists between knowledge and actual behaviour. Continuous efforts are therefore needed to strengthen healthy lifestyle practices among students through integrated approaches involving education, behavioural support, and environmental enhancement. Future studies are recommended to explore additional influencing factors such as psychological motivation, peer influence, and accessibility to health resources in order to develop more effective intervention strategies.

REFERENCES

Arifin, S., Abdullah, S. S., Abdullah, E., & Mohamed, N. (2023). The prevalence of mental health among Malaysian university students. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 13*(12), 391–400. https://doi.org/10.6007/IJARBSS/v13-i12/19796

García-Pérez, L., Villodres, G. C., & Muros, J. J. (2023). Differences in healthy lifestyle habits in university students as a function of academic area. *Journal of Public Health, 45*(2), 513–522. https://doi.org/10.1093/pubmed/fdac120

Ismail, L. C., Osaili, T. M., Mohamad, M. N., Hashim, M., Stojanovska, L., Al Daour, R., Nader, D., Alrayis, H., Alzaabi, N. S., Elbarag, L., Binkhadim, S., Jarrar, A. H., Al Dhaheri, A. S., & Hasan, H. (2022). Psychosocial factors affecting dietary habits of university students: A cross-sectional study. *Heliyon, 8*(6), e09768. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09768

Kasim, N. A., Sainan, S. N., & Raja, R. N. (2022). Relationship between physical activity and happiness among students of faculty of sport science and recreation in UiTM Seremban. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, *12*(10), 524-530.

Khow, Y. Z., Lim, T. L. Y., Ng, J. S. P., Wu, J., Tan, C. S., Chia, K. S., ... & Seow, W. J. (2021). Behavioral

impact of national health campaigns on healthy lifestyle practices among young adults in Singapore: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, *21*(1), 1601.

Lonati, E., Cazzaniga, E., Adorni, R., Zanatta, F., Belingheri, M., Colleoni, M., Riva, M. A., Steca, P., & Palestini,

P. (2024). Health-related lifestyles among university students: Focusing on eating habits and physical activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 21*(5), 626. https://doi.org/10.3390/ijerph21050626

Mat Ludin, A. F., Mohamed Tahir, A. R., Ahmad, F. M., Zin, N. S., Ahmad, N., Ismail, N. M., ... & Ishak, I. (2025). Stress, self-regulation, and physical activity towards quality of life among senior year health science undergraduates. *Jurnal Intelek*, *20*(1), 2-11.

Ministry of Health Malaysia. (2022). National health and morbidity survey 2022: Non-communicable diseases.

Kementerian Kesihatan Malaysia. https://www.moh.gov.my

Mohammad, M., Chowdhury, M. A. B., Islam, M. N., Ahmed, A., Zahan, F. N., Akter, M. F., ... & Uddin, M. J. (2021). Health awareness, lifestyle and dietary behavior of university students in the northeast part of Bangladesh. *International journal of adolescent medicine and health*, *33*(2), 20180105.

Whatnall, M. C., Patterson, A. J., Brookman, S., Convery, P., Swan, C., Pease, S., & Hutchesson, M. J. (2020). Lifestyle behaviors and related health risk factors in a sample of Australian university students. Journal of American College Health, 68(7), 734–741. https://doi.org/10.1080/07448481.2019.1611580

World Health Organization. (2023). Noncommunicable diseases and lifestyle risk factors among adolescents and young adults. World Health Organization. https://www.who.int

Yun, T. C., Ahmad, S. R., & Quee, D. K. S. (2018). Dietary Habits and Lifestyle Practices among University Students in Universiti Brunei Darussalam. *The Malaysian journal of medical sciences : MJMS*, *25*(3), 56–

66. https://doi.org/10.21315/mjms2018.25.3.6

Zhang, Z., Abdullah, H., Ghazali, A. H. A., D'Silva, J. L., Ismail, I. A., & Huang, Z. (2024). The influence of health awareness on university students' healthy lifestyles: The chain mediating role of self-esteem and social support. *Plos one*, *19*(10), e0311886.

https://doi.org/10.71284/asc.2026163

ENHANCING EFFICIENCY AND TRANSPARENCY IN ASSET DISPOSAL MANAGEMENT THROUGH A WEB-BASED SYSTEM

Nurul Nisa Mohd Nasir[1]
Herman Nordiadi Abd Wahab[2]

Abstract

The management of asset disposal in educational institutions remains inefficient due to reliance on manual documentation, fragmented information, and limited accessibility to updated records. This study presents the design, development, and evaluation of eSmartDispose, a low code web-based asset disposal management system developed for Politeknik Kuching Sarawak (PKS). The system was developed using a developmental research approach integrating Agile principles to support iterative improvement and user centered design. The development process involved requirements analysis, system design based on Google Workspace integration, system development, and evaluation through User Acceptance Testing (UAT). The system integrates Google Sites, Google Forms, Google Sheets, and Google Drive to provide a centralized, accessible, and real time platform for managing asset disposal activities. The findings indicate that eSmartDispose significantly improves operational efficiency, data accessibility, and process transparency. The system reduced report generation time from several days to less than one hour and minimized errors associated with manual documentation. User evaluation results show a high level of acceptance, with a mean score of 4.73 and a Cronbach's Alpha value of 0.94, indicating strong reliability and usability. This study demonstrates that low code web-based solutions can effectively address administrative challenges in asset disposal management while requiring minimal technical resources. The implementation of eSmartDispose contributes to institutional digital transformation by enhancing efficiency, reducing paper usage, and strengthening governance practices. The system also offers a scalable model that can be adapted by other educational institutions facing similar operational constraints.

Keywords: eSmartDispose, web-based system, asset disposal management, digital transformation, Agile development, system usability.

[1]Ms., Politeknik Kuching Sarawak, n_nisa@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0006-0759-0623
[2]Mr., Politeknik Kuching Sarawak, herman@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0005-4193-8761

INTRODUCTION

The management of institutional assets plays a crucial role in ensuring efficiency, accountability, and transparency within educational organizations. This process includes several stages such as acquisition, utilization, maintenance, and disposal. Among these, asset disposal is often the most complex phase, as it involves proper documentation, verification, and compliance with institutional and regulatory procedures. Despite its importance, many institutions continue to rely on manual and fragmented systems, which lead to operational inefficiencies and data inconsistencies (Purnawan, 2025).

At Politeknik Kuching Sarawak (PKS), the asset disposal process is still largely dependent on manual documentation and decentralized information management. This has resulted in several practical challenges faced by users. For instance, staff often experience difficulties in accessing the correct disposal forms and documents, as there is no centralized platform to manage and distribute updated information. In many cases, outdated versions of documents are used, leading to errors and repeated submissions. This situation not only delays the disposal process but also contributes to unnecessary paper usage due to incorrect or duplicated documentation.

In addition, users frequently encounter confusion regarding the submission process, particularly in identifying the correct links or channels for form submission. The absence of a standardized system further complicates the process of compiling data from multiple departments, as information is stored separately and must be manually consolidated. This fragmented approach reduces overall efficiency, increases administrative workload, and limits transparency in tracking asset disposal activities.

In line with the digital transformation agenda promoted by the Malaysian Administrative Modernisation and Management Planning Unit (MAMPU) (2021), public institutions are encouraged to adopt digital governance solutions to improve data integrity, accessibility, and operational efficiency. However, many existing digital systems require advanced technical expertise and significant development resources, making them less feasible for institutions with limited technical capacity. Therefore, there is a need for a practical and cost effective solution that can be easily developed and implemented within the institutional context.

To address these challenges, this study focuses on the design and development of eSmartDispose, a web based asset disposal management system developed using a low-code approach. The system is built using Google Sites as the main interface, integrated with Google Forms, Google Sheets, and Google Drive to support data collection, storage, and reporting. This integration enables the creation of a centralized and accessible platform that simplifies the asset disposal workflow without requiring complex programming or infrastructure.

This study adopts a developmental research approach to systematically design, develop, and evaluate the eSmartDispose system. The primary objective is to provide a structured and user friendly solution that improves document accessibility, ensures data consistency, reduces manual workload, and enhances transparency in asset disposal management. The findings are expected to contribute to the development of practical digital solutions for educational institutions and support ongoing efforts toward public sector digital transformation.

1. MATERIALS AND METHODS

This study adopted a developmental research design integrating the Research and Development (R&D) approach with Agile development principles. The objective was to systematically design, develop, and implement a functional asset disposal management system that addresses real operational challenges at Politeknik Kuching Sarawak (PKS). Developmental research is widely used in system design studies to produce practical solutions through iterative design and evaluation processes (Richey & Klein, 2014). The development process consisted of five main phases, namely requirements analysis, system design, system development, testing, and evaluation.

1.1. Requirements Analysis

The requirements analysis phase was conducted to identify the actual problems faced by users in managing asset disposal processes at PKS. Data were collected through informal interviews and discussions with disposal officers, department coordinators, and administrative staff. In addition, existing documents such as disposal forms, reports, and internal guidelines were reviewed to gain a deeper understanding of the current practices. This approach is consistent with requirement elicitation practices in information system development, which emphasize user involvement and contextual analysis (Laudon & Laudon, 2020).

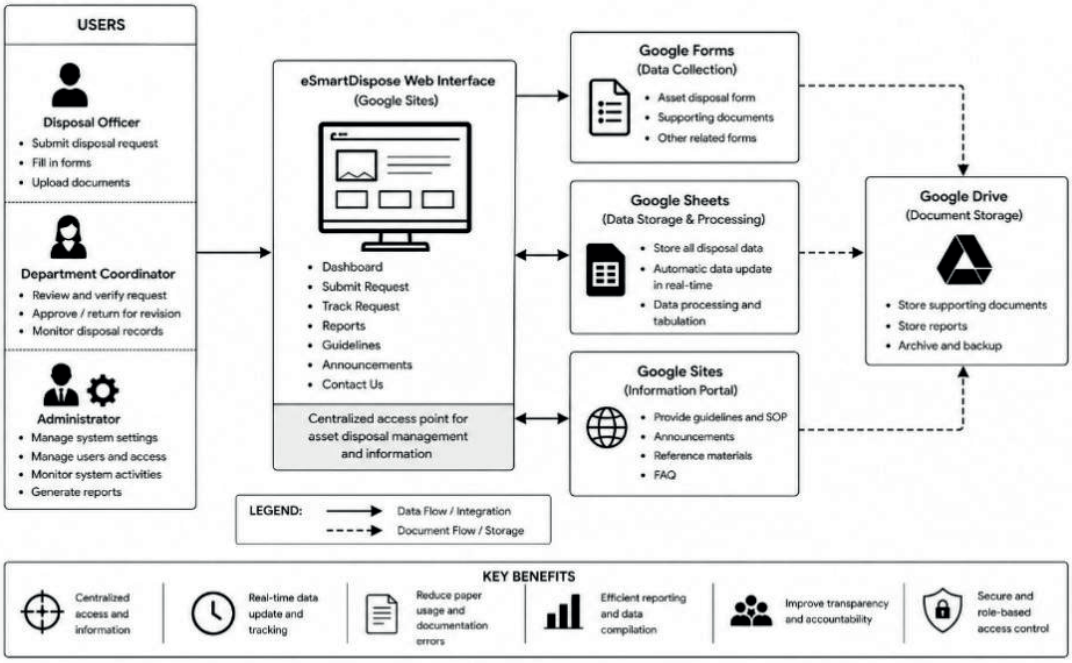
The analysis revealed several critical issues, including difficulties in accessing the correct and updated disposal forms, the frequent use of outdated documents leading to repeated submissions, and confusion regarding submission channels and links. Furthermore, inefficiencies were observed in compiling data from multiple departments, and excessive paper usage was identified due to documentation errors. These issues were subsequently translated into system requirements, emphasizing the need for centralized access, real time data updates, simplified submission processes, and automated reporting functionalities.

1.2. System Design and Framework

The eSmartDispose system was designed using a low-code web based architecture based on the Google ecosystem. The system framework integrates several tools to form a centralized and accessible platform. Google Sites was used as the main user interface and centralized access point, while Google Forms was utilized for asset registration and disposal submission. The system data were stored and managed using Google Sheets as the primary data repository and Google Drive was used to store reports and supporting documents.

This architecture eliminates the need for complex programming and allows seamless integration between data input, storage, and reporting. The use of low-code platforms has been increasingly recognized as an effective approach for rapid system development, particularly in organizational contexts with limited technical resources (Sahay et al., 2020; Prinz et al., 2021). As illustrated in Figure 1, the system architecture demonstrates how users interact with the centralized interface and how data flows across the integrated platforms.

Figure 1. System architecture of eSmartDispose based on Google Workspace integration



1.3. System Workflow Process

The system workflow was designed to streamline the asset disposal process and ensure consistency across departments. In this workflow, disposal officers submit asset disposal requests through Google Forms, and the submitted data are automatically recorded in Google Sheets. Department coordinators then review and verify the submitted information before approval. Once approved, the records are updated and tracked in real time, and reports are generated and stored in Google Drive. All information is made accessible through Google Sites as a centralized dashboard.

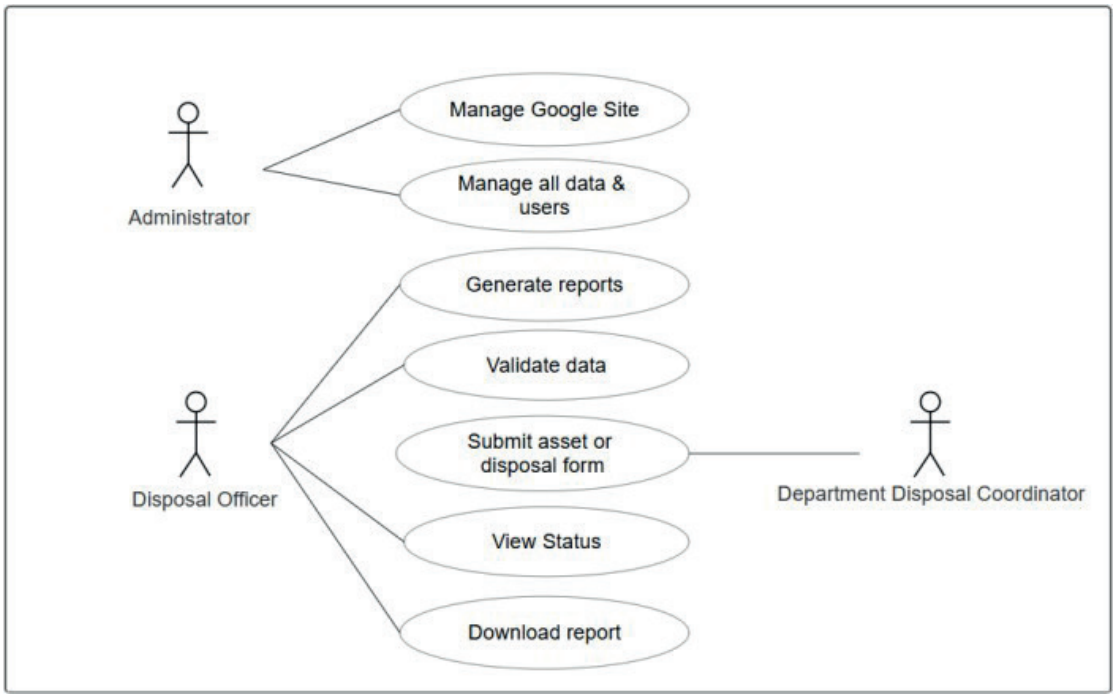
This workflow reduces manual intervention and ensures that all data are consistently updated and easily accessible. Workflow-based system design has been shown to improve process efficiency and reduce operational errors in administrative systems (Dumas et al., 2018).

1.4. User Roles and Access Control

To ensure proper control and accountability, the system was designed with role-based access levels consisting of three main user groups. The administrator is responsible for managing the system interface, maintaining the data structure, and monitoring overall system usage. The department disposal coordinator plays a role in reviewing, verifying, and approving disposal requests within their respective departments while the disposal officer is responsible for submitting asset disposal information through the system.

Each role is assigned specific access permissions to maintain data integrity and prevent unauthorized modifications. As shown in Figure 2, the user access hierarchy defines the responsibilities and permission levels of each role within the system.

Figure 2. Use case of eSmartDispose



1.5. System Development

The system was developed iteratively using Agile principles, allowing continuous improvement based on user feedback. Agile development emphasizes flexibility, rapid iteration, and close collaboration with users, making it suitable for systems that evolve based on changing requirements (Pressman & Maxim, 2020). Development activities focused on configuring the structure of Google Sites, designing forms in Google Forms, and organizing data flow within Google Sheets.

The development process emphasized the creation of a centralized interface for easy navigation, the design of standardized forms for consistent data entry, and the structuring of data storage for efficient tracking and reporting. This approach enabled rapid system development without requiring advanced programming expertise.

1.6. System Testing and Evaluation

System testing was conducted to ensure functionality, usability, and reliability. User Acceptance Testing (UAT) was performed involving ten users consisting of disposal officers and department coordinators. A structured questionnaire using a five-point Likert scale was employed to evaluate ease of use, system efficiency, data accuracy, and overall user satisfaction. This method is commonly used in system evaluation studies to assess user perception and system usability.

The reliability of the instrument was assessed using Cronbach's Alpha, which yielded a value of 0.94, indicating high internal consistency (Hair et al., 2019). Feedback obtained from users was further utilized to refine the system through iterative improvements, ensuring that the final version of eSmartDispose meets user requirements and operational expectations.

2. RESULT AND DISCUSSION

The development and implementation of the eSmartDispose system have successfully addressed the operational challenges associated with manual asset disposal management at Politeknik Kuching Sarawak (PKS). The findings are discussed in relation to system functionality, process improvement, data management, usability, and overall system impact within the institutional context.

2.1. System Functionality and Process Improvement

The eSmartDispose system was developed as an integrated platform that centralizes asset disposal activities through a single access point using Google Sites. The system effectively resolves the previously identified issues related to fragmented documentation, unclear submission processes, and difficulty in accessing updated forms.

Through the integration of Google Forms and Google Sheets, the system enables real time data submission and automatic record updates. This eliminates the need for manual data entry and reduces dependency on physical documents. Users are now able to access standardized forms directly through a centralized interface, ensuring consistency in data submission across departments.

In addition, the system simplifies the workflow by providing a structured and guided process for asset disposal, which significantly reduces confusion among users and ensures that all required information is properly recorded. This finding is consistent with previous studies indicating that web based systems improve process standardization and reduce operational complexity in organizational environments (Simamora & Marbun, 2025).

2.2. Improvement in Data Management and Accessibility

One of the key outcomes of the system implementation is the improvement in data accessibility and management. Previously, asset disposal data were stored in separate files across different departments, making it difficult to compile and track information efficiently.

With eSmartDispose, all data are centrally stored and synchronized within Google Sheets, allowing authorized users to access up to date information in real time. Supporting documents and reports are systematically stored in Google Drive, further enhancing document organization and retrieval.

This centralized approach improves transparency and enables better monitoring of asset disposal activities. It also supports audit processes by ensuring that all records are properly documented and easily traceable. These findings align with prior research which highlights that centralized digital systems significantly enhance data consistency and facilitate auditing processes in organizational settings (Laudon & Laudon, 2020).

2.3. Reduction of Manual Workload and Paper Usage

The implementation of eSmartDispose has significantly reduced manual workload and reliance on paper-based documentation. Previously, users were required to print, complete, and resubmit physical forms, often resulting in repeated submissions due to errors or outdated formats.

By digitizing the entire process, the system minimizes paper usage and eliminates redundant documentation. Users can now submit and update information electronically, thereby reducing administrative burden and improving overall efficiency. This transformation reflects the broader shift toward sustainable digital practices in organizational management, where digital systems contribute to both operational efficiency and environmental sustainability (Sahay et al., 2020).

2.4. System Reliability and Operational Impact

The system demonstrated stable performance during testing and actual implementation, with no major technical issues reported. The use of cloud-based tools ensures data availability and accessibility across departments without the need for dedicated infrastructure.

In terms of operational impact, the system significantly improved processing efficiency. The time required to generate disposal reports was reduced from approximately three to five working days under the manual process to less than one hour using the system. This represents a substantial improvement in administrative efficiency and responsiveness, consistent with findings in digital transformation studies that highlight the role of automation in reducing processing time and minimizing human error (Rakhman et al., 2025).

User evaluation further supports the effectiveness of the system. A high overall mean score of 4.73 (SD

= 0.47) indicates strong agreement among users that the system is easy to use, accessible, and capable of improving productivity. These findings suggest that the system successfully meets its intended objectives in enhancing usability, accessibility, and work performance. The results are also consistent with the Technology Acceptance Model (TAM), which emphasizes perceived usefulness and ease of use as key determinants of user acceptance of new technologies.

Furthermore, the system enhances accountability by providing a structured and transparent process for asset disposal. All activities are recorded systematically, enabling better tracking, verification, and audit readiness.

2.5. Comparative Discussion

Compared to existing digital asset management systems, the eSmartDispose system offers several practical advantages, particularly in terms of simplicity, accessibility, and cost effectiveness. Unlike conventional systems that require complex programming, database configuration, and dedicated server infrastructure, eSmartDispose is developed using a low code approach based on widely available Google Workspace tools.

This approach allows the system to be developed and deployed rapidly without requiring advanced technical expertise. In addition, the integration of Google Sites, Google Forms, and Google Sheets provides a seamless workflow that supports real time data processing and centralized information management.

From an institutional perspective, the system is highly adaptable and scalable, making it suitable for organizations with limited technical and financial resources. These characteristics demonstrate that eSmartDispose is not only effective in improving asset disposal management but also practical for broader implementation in similar educational institutions.

CONCLUSION

This study has successfully designed, developed, and implemented the eSmartDispose system, a web based asset disposal management platform aimed at improving operational efficiency, data accuracy, and transparency at Politeknik Kuching Sarawak (PKS). By adopting a developmental research approach and leveraging a low code development strategy, the system was developed using integrated tools such as Google Sites, Google Forms, Google Sheets, and Google Drive to create a centralized and accessible platform for managing asset disposal processes.

The implementation of eSmartDispose effectively addressed key challenges associated with the previous manual system, including difficulties in accessing updated documents, inconsistencies in record-keeping, confusion in submission processes, and inefficiencies in compiling data across departments. The system successfully streamlined the workflow by providing a structured, real time, and user friendly environment that reduces manual intervention and minimizes errors.

Findings from the system evaluation further support its effectiveness, with high user acceptance reflected in strong usability scores and consistent positive feedback across dimensions of interface design, accessibility,

and work productivity. These results demonstrate that the system not only meets its functional objectives but also enhances user experience and facilitates daily administrative tasks.

From a practical perspective, the use of a low-code platform offers a cost effective and scalable solution that can be easily implemented in institutions with limited technical resources. This approach highlights the potential of leveraging existing cloud-based tools to support digital transformation initiatives without the need for complex system development.

Despite its strengths, this study acknowledges several limitations. The system relies on stable internet connectivity and user familiarity with digital tools. Continuous training and system maintenance are required to ensure sustained performance and user adoption. Future enhancements may include the integration of mobile accessibility, advanced data analytics, and automated decision-support features to further improve system capabilities.

In conclusion, the eSmartDispose system represents a practical and effective solution for digital asset disposal management in educational institutions. The study contributes to the advancement of low code system development practices and provides a replicable model for organizations seeking to enhance efficiency, transparency, and governance in administrative processes.

REFERENCES

Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). Introduction To Business Process Management. In Fundamentals of Business Process Management (pp. 1-33). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hair, J. F., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Black, W. C. (2019). Multivariate Data Analysis (8th ed.). England: Pearson Prentice.

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). Management Information Systems: Managing The Digital Firm (16th ed.).

Pearson.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). Software engineering: A Practitioner's Approach (9th ed.). McGraw-Hill.

Prinz, N., Rentrop, C., & Huber, M. (2021). Low-Code Development Platforms–A Literature Review. In AMCIS 2021, Digital Innovation and Entrepreneurship, Virtual Conference, August 9-13, 2021.

Purnawan, R. (2025). Systematic Literature Review: Asset Management System for Educational Institutions. Technovasia: Journal of Technology & Computer Research in Innovation, Science, and Applications, 1(2), 1-16.

Sahay, A., Indamutsa, A., Di Ruscio, D., & Pierantonio, A. (2020, August). Supporting The Understanding And Comparison Of Low-Code Development Platforms. In 2020 46th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA) (pp. 171-178). IEEE.Simamora, D. M., & Marbun, R. C. (2025). Strategic Information Management: Enhancing Organizational Efficiency through Effective Data Governance and Digital Transformation. INTEGRATIF: Journal of Management Information Systems, 1(1), 38-47.

Rakhman, A., Bakhar, M., & Afriliana, I. (2025). Towards Digital Transformation In Administrative Inventory Control: A Web-Based System Development Study. International Journal of Science Technology & Management, 6(3), 385–393. https://doi.org/10.46729/ijstm.v6i3.1308

Richey, R. C., & Klein, J. D. (2014). Design And Development Research: Methods, Strategies, And Issues.

Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203826034.

Unit Pemodenan Tadbiran dan Perancangan Pengurusan Malaysia (MAMPU). (2021). Pelan Strategik Pendigitalan Sektor Awam 2021–2025. https://www.mampu.gov.my

Dunbar, R. (1997). *Grooming, gossip, and the evolution of language*. Harvard University Press.

Elder, D., & Enke, J. L. (1991). The structure of gossip: Opportunities and constraints on collective expression among adolescents. *American Sociological Review, 56*(4), 494-508.

https://doi.org/10.71284/asc.2026164

STUDENTS' ENTREPRENEURIAL INTEREST AND ITS RELATIONSHIP WITH PARTICIPATION IN ENTREPRENEURIAL ACTIVITIES AND PROGRAMS

WEB TABANLI BİR SİSTEM ÜZERİNDEN *VARLIK YOK ETME YÖNETİMİNDE VERİMLİLİĞİ VE ŞEFFAFLIĞI ARTIRMA*

Nurul Nisa Mohd Nasir[1]
Herman Nordiadi Abd Wahab[2]

Abstract

This study aims to examine students' entrepreneurial interest and its relationship with their participation in entrepreneurial activities and programs. In recent years, entrepreneurship has become an increasingly important career pathway among students due to its potential in generating income and creating employment opportunities. Understanding the factors that influence entrepreneurial interest is essential for enhancing entrepreneurship education in higher learning institutions. A quantitative research design was employed using a survey questionnaire distributed to students. The data were analysed using descriptive statistics (mean and standard deviation) and Pearson correlation analysis to determine the level of entrepreneurial interest and the relationships between variables. The findings show that students' entrepreneurial interest is at a moderate level (M = 3.46), while participation in entrepreneurial activities (M = 3.60) and programs (M = 3.67) is at moderate to high levels. Pearson correlation analysis reveals a strong positive relationship between entrepreneurial interest and participation in entrepreneurial activities (r = 0.803), and a strong positive relationship between entrepreneurial interest and entrepreneurial programs (r = 0.658). These results indicate that greater involvement in entrepreneurial activities and programs is associated with higher entrepreneurial interest among students. The study highlights the importance of practical and experiential entrepreneurship exposure in enhancing students' motivation and readiness to become entrepreneurs. Therefore, higher learning institutions should strengthen entrepreneurship-based activities and programs to further cultivate entrepreneurial interest among students.

Keywords: Entrepreneurial interest, entrepreneurship activities, entrepreneurship programs, students, Pearson correlation.

Özet

Bu çalışma, öğrencilerin girişimcilik ilgisini ve bu ilginin girişimcilik faaliyetleri ve programlarına katılım ile olan ilişkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Son yıllarda, girişimcilik gelir yaratma ve istihdam fırsatları oluşturma potansiyeli nedeniyle öğrenciler arasında giderek daha önemli bir kariyer yolu haline gelmiştir. Girişimcilik ilgisini etkileyen faktörleri anlamak, yükseköğretim kurumlarında girişimcilik eğitimini geliştirmek için önemlidir. Öğrencilere dağıtılan bir anket soruları kullanılarak nicel bir araştırma tasarımı uygulanmıştır. Veriler, girişimcilik ilgi düzeyini ve değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için

[1]Ms., Politeknik Kuching Sarawak, n_nisa@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0006-0759-0623
[2]Mr., Politeknik Kuching Sarawak, herman@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0005-4193-8761

tanımlayıcı istatistikler (ortalama ve standart sapma) ve Pearson korelasyon analizi kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular, öğrencilerin girişimcilik ilgisinin orta düzeyde olduğunu (O = 3,46) gösterirken, girişimcilik faaliyetlerine (O = 3,60) ve programlarına (O = 3,67) katılımın orta-yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Pearson korelasyon analizi, girişimcilik ilgisi ile girişimcilik faaliyetlerine katılım arasında güçlü pozitif bir ilişki (r = 0.803) ve girişimcilik ilgisi ile girişimcilik programları arasında güçlü pozitif bir ilişki (r = 0.658) olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, girişimcilik faaliyetlerine ve programlarına daha fazla katılımın öğrenciler arasında daha yüksek girişimcilik ilgisi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Çalışma, öğrencilerin motivasyonunu ve girişimci olma hazırbulunuşluğunu artırmada pratik ve deneyimsel girişimcilik maruziyetinin önemini vurgulamaktadır. Bu nedenle, yükseköğretim kurumları, öğrenciler arasında girişimcilik ilgisini daha da geliştirmek için girişimcilik temelli faaliyetleri ve programları güçlendirmelidir.

Anahtar Kelimeler: Girişimcilik ilgisi, girişimcilik faaliyetleri, girişimcilik programları, öğrenciler, Pearson korelasyonu.

INTRODUCTION

In an increasingly challenging economic era, graduates of higher education institutions face difficulties in securing employment despite possessing diploma and degree qualifications. The high level of competition in the job market, along with the mismatch between graduates' skills and industry requirements, has caused many graduates to struggle in obtaining permanent employment. This situation makes entrepreneurship an increasingly relevant career alternative for graduates to generate their own income and reduce dependence on existing job opportunities. In addition, entrepreneurship also has the potential to create more employment opportunities for society, thereby helping to reduce the unemployment rate. Recent studies show that entrepreneurship plays an important role in economic development and unemployment reduction through the formation of entrepreneurial intentions among higher education students (Nguyen et al., 2024).

In this regard, educational institutions play an important role in nurturing entrepreneurial interest among students before they complete their studies. Various entrepreneurship programmes have been introduced such as seminars, workshops, entrepreneurship courses, as well as sales activities and mini business projects. Early exposure through these programmes is believed to increase students' awareness of business opportunities and develop entrepreneurial thinking. Studies have found that entrepreneurship education and institutional support have a significant influence on self-efficacy and students' entrepreneurial intentions (Anjum et al., 2023). In addition, participation in entrepreneurship programmes has also been found to increase students' aspirations to choose entrepreneurship as a career after graduation (Pham and Le, 2023).

Apart from formal programmes, student involvement in entrepreneurial activities such as business competitions, product sales, and small business projects also provides practical experience. This hands-on experience helps students understand the process of running a business and increases their confidence to venture into entrepreneurship. Practical based activities are also seen as more effective in cultivating students' interest because they are given the opportunity to directly apply their knowledge. Recent research shows that active student involvement in entrepreneurial activities has a significant relationship with the formation of entrepreneurial intentions (Motta and Galina, 2023). In fact, other studies also emphasize that inspiration, awareness, and entrepreneurial skills gained through activities and programmes can increase students' tendency to start a business (Wardana et al., 2020).

However, the level of inclination among students to become entrepreneurs after graduation still varies, as some students tend to prefer salaried employment rather than starting their own businesses. Studies also show that factors such as individual attitude, perceived behavioral control, and entrepreneurship education significantly influence entrepreneurial intentions among university students (Asimakopoulos et al., 2019). Therefore, it is important to assess whether participation in entrepreneurship programmes and activities is able to increase students' interest in becoming successful entrepreneurs in the future and create more employment opportunities.

Based on these needs, this study examines the extent to which students show interest in becoming entrepreneurs after graduation, as well as evaluates their level of involvement in entrepreneurship programmes and activities provided. This study also explores whether participation in entrepreneurship programmes is related to students' interest in becoming entrepreneurs, and determines whether the entrepreneurial activities they participate in are able to enhance students' inclination towards choosing entrepreneurship as a future career. This approach is important in understanding the role of educational institutions in producing graduates who are not only job seekers but also capable of creating job opportunities through entrepreneurship.

1. RESEARCH METHODOLOGY

This study employed a quantitative approach using a survey research design to assess students' level of interest in entrepreneurship as well as the relationship between interest and involvement in entrepreneurship programmes and activities. The quantitative approach was chosen because it is suitable for collecting data in large quantities and allows systematic statistical analysis to identify patterns and relationships between research variables.

The respondents of the study consisted of 291 students from Politeknik Kuching Sarawak, selected using the simple random sampling technique. The sample included students from Semester 1 to Semester 6 across various academic programmes. This method was used to ensure that every student had an equal chance of being selected as a respondent, thereby enhancing the representativeness of the sample and reducing selection bias.

The research instrument used was a questionnaire developed based on the research objectives and previous studies. The questionnaire was divided into three main sections, excluding the demographic section. The first section measured students' level of interest in becoming entrepreneurs after graduation. The second section assessed students' involvement in entrepreneurial activities such as sales, business projects, and competitions. The third section evaluated students' participation in entrepreneurship programmes such as seminars, workshops, and courses.

All items in the questionnaire were measured using a five-point Likert scale ranging from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). The Likert scale is widely used in social research due to its ability to measure respondents' perceptions and attitudes in a simple and systematic manner.

The content validity of the instrument was verified by experts in entrepreneurship and educational research to ensure the suitability of the items in relation to the study objectives.

To ensure the reliability of the instrument, a reliability analysis was conducted using Cronbach's Alpha coefficient. The Cronbach's Alpha value obtained was 0.97, indicating a very high level of reliability.

This suggests that the items in the questionnaire are consistent and suitable for measuring the research constructs. According to Hair et al. (2019), Alpha values above 0.70 are considered acceptable, while values above 0.90 indicate excellent reliability. Although an extremely high Alpha value may sometimes indicate item redundancy, in this study, the value reflects the consistency of the measured constructs and the appropriateness of the items in comprehensively assessing the dimensions of interest, activities, and entrepreneurship programmes.

The collected data were analyzed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) software. Descriptive analysis such as mean scores was used to determine the level of each research construct. In addition, inferential analysis using Pearson correlation was conducted to identify the relationship between students' interest and their involvement in entrepreneurial activities and participation in entrepreneurship programmes. Pearson correlation was used because the data obtained were at interval scale and suitable for measuring linear relationships between research variables. The correlation coefficient (r) was used to determine the strength and direction of the relationship between variables, where values between 0.60 to 0.79 indicate a strong relationship and values above 0.80 indicate a very strong relationship (Pallant, 2020).

In terms of research ethics, respondents were informed about the purpose of the study and the confidentiality of their information was fully ensured. Participation was voluntary, and the collected data were used solely for academic purposes. The unit of analysis for this study was individual students.

Overall, this research methodology enabled the researcher to obtain valid and reliable data to assess students' level of interest and identify factors influencing their inclination to choose entrepreneurship as a career after graduation

2. RESULT AND DISCUSSION

Based on Table 1, the mean value for students' interest in becoming entrepreneurs after graduation is 3.46, which indicates a moderate level. This value suggests that although students show a positive inclination towards entrepreneurship, they still do not have a high level of confidence in choosing entrepreneurship as their main career. This moderate level indicates that students may still view entrepreneurship as a secondary option after salaried employment. This situation can be associated with business risk factors, lack of capital, and concerns about income instability. In addition, students may also have limited exposure to successful young entrepreneurs, which reduces their confidence in entering this field. Recent studies have found that a moderate level of interest among students usually occurs when practical experience and entrepreneurial support are still insufficient to build strong confidence in entrepreneurship as a career (Anjum et al., 2023).

Table 1. Mean and Level of Research Constructs

Construct	Mean	Level
Entrepreneurial Interest	3.46	Moderate
Entrepreneurial Activities	3.60	Moderate High
Entrepreneurship Programmes	3.67	High

Next, the mean value for involvement in entrepreneurial activities is 3.60, which indicates a moderately high level. This finding shows that students are relatively active in participating in entrepreneurship-related activities such as sales, competitions, and mini business projects. This involvement is important because practical-based activities provide opportunities for students to apply their knowledge and understand the real challenges of the business world. However, although the level of involvement in activities is moderately high, the mean value for students' interest is still lower. This indicates that the activities conducted may not yet be consistent or continuous enough to develop a higher level of interest. Short-term activities may provide temporary exposure but are not sufficient to build long-term commitment towards an entrepreneurial career. This finding is consistent with Silesky-Gonzalez et al. (2025), who stated that entrepreneurial activities need to be implemented continuously and based on real experiences in order to significantly increase students' interest.

In addition, participation in entrepreneurship programmes recorded the highest mean value, which is

3.67. This indicates that students frequently participate in programmes such as entrepreneurship seminars, courses, and workshops. Although programme participation is high, students' interest remains at a moderate level. This difference suggests that entrepreneurship programmes may place more emphasis on theoretical aspects rather than practical experience. Programmes in the form of lectures or sharing sessions without hands-on activities may have less impact on shaping students' interest. Wardana et al. (2025) found that entrepreneurship education that focuses solely on theory has a lower effect on entrepreneurial intention compared to experiential-based approaches.

Table 2. Pearson Correlation between Variables

Variables	r	Strength
Interest – Activities	0.803	Very Strong
Interest – Programmes	0.658	Strong
Interest – Family Background	0.228	Weak

The Pearson correlation analysis in Table 2 shows a very strong positive relationship between students' interest and involvement in entrepreneurial activities, with a value of r = 0.803. This correlation indicates that involvement in entrepreneurial activities is a very important factor in increasing students' interest in becoming entrepreneurs. Statistically, a value above 0.80 indicates a very strong relationship, meaning that changes in involvement in entrepreneurial activities are closely associated with changes in students' level of interest. This shows that students who are more active in entrepreneurial activities tend to have higher interest in choosing entrepreneurship as a career. Activities such as real business projects, product sales, and business simulations provide direct experience that enhances students' confidence. This finding supports Mahfud et al. (2020), who found that practical experience has a strong relationship with entrepreneurial intention among students.

In addition, the relationship between students' interest and participation in entrepreneurship programmes shows a value of r = 0.658, indicating a strong positive relationship. Although this relationship is strong, the value is lower compared to the relationship between interest and entrepreneurial activities. This indicates that entrepreneurship programmes also contribute to increasing students' interest, but their impact is not as strong as practical activities. Entrepreneurship programmes play a greater role in increasing awareness and knowledge, while practical activities help build confidence and real experience. This difference in correlation values shows that experiential learning approaches are more effective in fostering entrepreneurial interest. Nguyen et al. (2024) also stated that practical experience is a key factor influencing students' decisions to choose entrepreneurship as a career.

Overall, findings based on mean values show that students have a good level of exposure to entrepreneurship, but their interest in becoming entrepreneurs remains moderate. However, correlation analysis shows that involvement in entrepreneurial activities has a very strong influence on students' interest, followed by participation in entrepreneurship programmes. This indicates that to more effectively increase students' interest, educational institutions should emphasize continuous practical entrepreneurial activities. This approach not only increases students' interest but also helps produce graduates who are ready to become entrepreneurs and create future job opportunities.

CONCLUSION

Overall, this study shows that students' interest in entrepreneurship is at a moderate level however, it still has strong potential to be enhanced through a more experiential-based educational approach. The findings indicate that involvement in entrepreneurial activities is the most influential factor in shaping students' entrepreneurial interest, followed by participation in entrepreneurship programmes, while family background shows the least influence.

In addition, correlation analysis reveals a very strong relationship between entrepreneurial interest and involvement in entrepreneurial activities, as well as a strong relationship between interest and participation in entrepreneurship programmes. In contrast, the relationship with family background is weak, suggesting that the educational environment plays a more significant role than family influence in shaping students' entrepreneurial interest.

Therefore, these findings highlight the importance of strengthening entrepreneurship education through practical and experiential learning approaches. Institutions should place greater emphasis on hands-on activities such as business simulations, entrepreneurship competitions, student startup projects, and incubation programmes in order to enhance students' interest and readiness to pursue entrepreneurship as a career.

In conclusion, this study demonstrates that the development of entrepreneurial interest is primarily driven by exposure, practical experience, and continuous institutional support rather than individual or family background alone.

REFERENCES

Anjum, T., Farrukh, M., Heidler, P., & Díaz Tautiva, J. A. (2021). Entrepreneurial intention: Creativity, entrepreneurship, and university support. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 7(1), 11. https://doi.org/10.3390/joitmc7010011

Asimakopoulos, G., Hernández, V., & Miguel, J. P. (2019). Entrepreneurial intention of engineering students: The role of social norms and entrepreneurial self-efficacy. Sustainability, 11(16), 4314. https://doi.org/10.3390/su11164314

Mahfud, T., Triyono, M. B., Sudira, P., & Mulyani, Y. (2020). The Influence of Social Capital and Entrepreneurial Attitude Orientation on Entrepreneurial Intentions: The Mediating Role Of Psychological Capital. European Research on Management and Business Economics, 26(1), 33–39. https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2019.12.005

Motta, V. F., & Galina, S. V. R. (2023). Experiential Learning in Entrepreneurship Education: A Systematic Literature Review. Teaching and Teacher Education, 121, 103919.

https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103919

Nguyen, T. T., & Phan, H. T. T. (2024). Entrepreneurship Environments and Entrepreneurial Intention: The Role of Self-Efficacy and Role Model. International Journal of Engineering Business Management, 16. https://doi.org/10.1177/18479790241275925

Pallant, J. (2020). SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using IBM SPSS. London: McGraw-Hill, Open University Press. https://doi.org/10.4324/9781003117452

Pham, H. H., & Le, T. L. (2023).). Entrepreneurial Education and Entrepreneurial Intention Among Higher Education Students in Vietnam: Do Entrepreneurial Self-Efficacy and Family Support Matter? Higher Education, Skills and Work-Based Learning, 13(2), 403–422. https://doi.org/10.1108/HESWBL-10-2022-0213

Silesky-Gonzalez, E., Lezcano-Calderón, Y., & Mora-Cruz, A. (2025). Effects Of Education for Entrepreneurship and Entrepreneurial Intention in University Students. International Entrepreneurship and Management Journal, 21, 26. https://doi.org/10.1007/s11365-024-01039-4

Wardana, L. W., Narmaditya, B. S., Wibowo, A., Mahendra, A. M., Wibowo, N. A., Harwida, G., & Rohman, A.

N. (2020). The İmpact Of Entrepreneurship Education And Students' Entrepreneurial Mindset: The Mediating Role Of Attitude And Self-Efficacy. Heliyon, 6(9), e04922. https://doi.org/10.1016/j.heliyon 2020.e04922

https://doi.org/10.71284/asc.2026165

ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION: EVIDENCE FROM PAKISTAN

Samra Subhani[1]
Masood Ahmad Khan[2]
Anisa Shamim[3]
Umair Rafiq[4]

Abstract

Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative force in digital marketing by enabling automation, personalization, predictive analytics, and enhanced customer engagement. This review paper synthesizes existing literature to examine the role of Artificial Intelligence in transforming digital marketing practices, with a particular focus on Pakistan as an emerging economy. The study highlights the growing adoption of AI driven tools such as chatbots, recommendation systems, and marketing automation platforms, which have significantly improved customer experience and operational efficiency. Evidence from Pakistan indicates increasing investment in Artificial Intelligence technologies, with a notable rise in chatbot adoption and automation usage across industries. However, the integration of Artificial Intelligence remains constrained by infrastructural limitations, lack of technical expertise, data privacy concerns, and organizational resistance. This paper provides a comprehensive overview of Artificial Intelligence applications, benefits, challenges, and future prospects in Pakistan's digital marketing landscape. The study concludes that while Artificial Intelligence holds immense potential for marketing transformation, strategic policy support, digital literacy, and technological infrastructure are critical for its effective implementation in developing economies.

Keywords: Artificial intelligence, digital marketing, pakistan, consumer behavior, marketing analytics, automation.

[1] Assist. Prof. Dr., National Business School The University of Faisalabad, samrasubhani.nbs@tuf.edu.pk

[2] Lecturer, Business Administration University of Agriculture Faisalabad Constituent College Burewala, masoodahmadkhan60@yahoo.com

[3] Lecturer, Economics Department of Economics Government College University Faisalabad, Anisarizwan511@gmail.com

[4] Lecturer, Agribusiness University of Agriculture Faisalabad Constituent College Burewala, umairrafiq096@gmail.com

INTRODUCTION

The rapid advancement of digital technologies has fundamentally reshaped the global marketing landscape, shifting traditional practices toward more data driven, interactive, and customer centric approaches. Among these technological advancements, Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative force, enabling organizations to analyze vast volumes of data, automate decision making processes, and deliver personalized customer experiences at scale (Davenport et al., 2020; Huang & Rust, 2021).

Artificial Intelligence refers to the ability of machines and computer systems to perform tasks that typically require human intelligence, such as learning, reasoning, problem solving, and decision making (Russell & Norvig, 2021). In the context of marketing, AI technologies including machine learning, natural language processing, and predictive analytics are increasingly being utilized to optimize marketing strategies, enhance customer engagement, and improve overall business performance (Chaffey & Ellis Chadwick, 2019).

The integration of AI into digital marketing has led to a paradigm shift from mass marketing to precision marketing. Traditionally, marketing strategies relied heavily on broad segmentation and standardized messaging. However, AI enables hyper personalization by analyzing consumer data in real time, allowing firms to deliver tailored content, product recommendations, and targeted advertisements (Grewal et al., 2021). This shift has significantly enhanced customer satisfaction, engagement, and loyalty, making AI a critical component of modern marketing ecosystems.

Globally, organizations across industries are increasingly adopting AI driven marketing tools such as chatbots, recommendation systems, programmatic advertising platforms, and automated content generation systems. These technologies not only improve operational efficiency but also enable firms to respond dynamically to changing consumer preferences and market conditions (Jarek & Mazurek, 2019; Davenport et al., 2020). As a result, AI has become a key driver of competitive advantage in digital markets.

In emerging economies like Pakistan, the role of AI in digital marketing is gaining increasing attention due to rapid digitalization and growing internet penetration. According to Kemp (2023), Pakistan has witnessed significant growth in internet users, social media adoption, and mobile connectivity, creating a favorable environment for digital marketing innovation. Businesses in sectors such as e-commerce, banking, telecommunications, and retail are increasingly leveraging AI technologies to enhance customer engagement and streamline marketing operations.

Despite these advancements, the adoption of AI in Pakistan remains at a relatively nascent stage compared to developed economies. Several structural and institutional challenges, including limited technological infrastructure, lack of skilled human capital, data privacy concerns, and financial constraints, hinder the widespread implementation of AI driven marketing solutions (Pakistan Telecommunication Authority, 2022; Khan et al., 2022). Moreover, small and medium enterprises (SMEs), which constitute a significant portion of Pakistan's economy, often face additional barriers due to resource limitations and low digital maturity.

Furthermore, the growing use of AI in marketing raises important ethical and regulatory concerns, particularly regarding data privacy, algorithmic bias, and transparency. As AI systems increasingly rely on consumer data for decision-making, ensuring responsible and ethical use of such data has become a critical challenge for policymakers and organizations alike (Huang & Rust, 2021).

Given these dynamics, there is a need for a comprehensive review of existing literature to understand the role of AI in transforming digital marketing in Pakistan. While several studies have examined AI applications in developed markets, limited research has focused specifically on emerging economies, where contextual factors significantly influence technology adoption and outcomes.

Therefore, this study aims to bridge this gap by critically reviewing the literature on AI driven digital

marketing transformation, with a particular focus on Pakistan. The paper seeks to explore key applications of AI in marketing, assess its impact on consumer behavior and business performance, identify challenges in its adoption, and highlight future research directions. By doing so, the study contributes to a deeper understanding of how AI can be effectively leveraged to drive marketing innovation in developing economies.

1. LITERATURE REVIEW

The integration of Artificial Intelligence (AI) into digital marketing has been widely discussed in literature as a transformative development that is reshaping how firms interact with consumers and make strategic decisions. AI technologies, including machine learning, natural language processing, and deep learning, enable marketers to process large volumes of structured and unstructured data, thereby enhancing decision making capabilities and improving marketing efficiency (Davenport et al., 2020; Russell & Norvig, 2021). Unlike traditional marketing approaches that rely on historical data and static segmentation, AI facilitates real time analysis and adaptive learning, allowing organizations to respond dynamically to consumer needs and market trends (Huang & Rust, 2021).

A key area of focus in the literature is the application of AI in marketing automation and customer engagement. AI-powered chatbots and virtual assistants have become increasingly prevalent in digital marketing strategies, enabling firms to provide instant and personalized responses to customer inquiries. These tools significantly reduce operational costs while improving service quality and customer satisfaction (Jarek & Mazurek, 2019). Studies suggest that chatbots enhance customer experience by offering 24/7 availability and consistent interaction, which is particularly important in highly competitive digital environments. Moreover, AI driven automation tools allow marketers to streamline repetitive tasks such as email marketing, social media posting, and campaign management, thereby increasing efficiency and productivity (Chaffey & Ellis Chadwick, 2019).

Another critical dimension of AI in digital marketing is personalization and recommendation systems. Personalization has become a central component of modern marketing strategies, as consumers increasingly expect tailored experiences. AI algorithms analyze consumer behavior, preferences, and browsing patterns to deliver customized content, product recommendations, and targeted advertisements (Grewal et al., 2021). Research indicates that personalized marketing significantly enhances customer engagement, satisfaction, and purchase intention. For instance, recommendation systems used by e-commerce platforms improve conversion rates by presenting relevant products to users, thereby increasing both sales and customer loyalty (Huang & Rust, 2021). However, some scholars argue that excessive personalization may raise privacy concerns and lead to consumer discomfort, highlighting the need for a balanced approach (Martin & Murphy, 2017).

The role of AI in predictive analytics has also been extensively examined in the literature. Predictive analytics involves the use of AI and machine learning models to forecast future consumer behavior based on historical data. This capability allows marketers to anticipate customer needs, optimize pricing strategies, and design more effective marketing campaigns (Davenport et al., 2020). AI driven analytics also enable real time decision making, allowing firms to adjust their marketing strategies in response to changing market conditions. Furthermore, AI is increasingly being used in content creation, where algorithms generate marketing copy, social media posts, and even visual content, thereby reducing the time and effort required for content development (Chaffey & Ellis Chadwick, 2019).

In addition to enhancing marketing efficiency, AI has a significant impact on consumer behavior. Studies indicate that AI-driven marketing strategies influence how consumers search for information, evaluate alternatives, and make purchase decisions (Khan et al., 2022). The use of AI in digital platforms, such as social media and e-commerce websites, has altered consumer expectations, with users increasingly seeking personalized, fast, and seamless experiences. In emerging markets, including Pakistan, younger

and digitally literate consumers are particularly receptive to AI-based marketing practices. This shift in consumer behavior underscores the importance of AI in shaping modern marketing ecosystems.

The literature also highlights the positive impact of AI adoption on marketing performance. AI technologies improve return on investment (ROI) by enabling more accurate targeting, reducing marketing costs, and increasing campaign effectiveness (Huang & Rust, 2021). Firms that leverage AI for marketing analytics and automation report higher levels of customer engagement, improved conversion rates, and enhanced competitive advantage (Davenport et al., 2020). However, the extent of these benefits depends on the organization's ability to effectively integrate AI into its existing marketing processes and infrastructure.

Despite the numerous advantages associated with AI, several challenges and barriers to its adoption have been identified in the literature. One of the primary challenges is the lack of technological infrastructure, particularly in developing countries, where limited access to advanced technologies can hinder AI implementation (Pakistan Telecommunication Authority, 2022). Additionally, the shortage of skilled professionals with expertise in AI and data analytics poses a significant obstacle to adoption (Khan et al., 2022). Data privacy and security concerns also represent a major challenge, as AI systems rely heavily on consumer data for decision making. Scholars have emphasized the need for robust regulatory frameworks to address these concerns and ensure ethical use of AI in marketing (Martin & Murphy, 2017).

In the context of Pakistan, the literature suggests that AI adoption in digital marketing is still in its early stages but is growing rapidly due to increasing digitalization and market competition. The expansion of internet access, mobile connectivity, and social media usage has created new opportunities for businesses to leverage AI-driven marketing strategies (Kemp, 2023). Industries such as e-commerce, banking, and telecommunications are at the forefront of AI adoption, using technologies such as chatbots, recommendation systems, and predictive analytics to enhance customer engagement and operational efficiency. However, small and medium enterprises (SMEs) often face significant challenges due to limited financial resources and technological capabilities.

Furthermore, existing studies indicate that organizational resistance to change and lack of awareness about AI technologies also hinder adoption. Many firms are reluctant to invest in AI due to uncertainty about its benefits and high implementation costs. This highlights the need for increased awareness, training, and government support to promote AI adoption in digital marketing.

Overall, the literature demonstrates that AI has the potential to significantly transform digital marketing by improving efficiency, personalization, and decision-making. However, the successful implementation of AI depends on addressing technological, organizational, and ethical challenges. While substantial research has been conducted in developed markets, there remains a gap in understanding the specific dynamics of AI adoption in emerging economies such as Pakistan. This study seeks to address this gap by providing a comprehensive review of AI-driven digital marketing transformation in the Pakistani context.

2. RESEARCH METHODOLOGY

This study employs a systematic literature review (SLR) approach to examine the role of Artificial Intelligence (AI) in digital marketing transformation, with particular emphasis on Pakistan as an emerging economy. A systematic literature review is a structured and rigorous method used to identify, evaluate, and synthesize existing research on a specific topic, ensuring transparency, reliability, and comprehensiveness (Tranfield et al., 2003). This approach is particularly suitable for the present study as it enables the integration of findings from diverse academic and industry sources to develop a holistic understanding of AI-driven marketing transformation.

The research design is qualitative in nature and is based entirely on secondary data. The study draws upon published academic literature, including peer-reviewed journal articles, conference proceedings, industry reports, and policy documents related to AI and digital marketing. A structured search strategy was

adopted to identify relevant studies from major academic databases such as Google Scholar, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SpringerLink. To maintain the quality and relevance of the review, clear inclusion and exclusion criteria were established. The study included peer-reviewed journal articles and conference papers published between 2015 and 2024, focusing on AI applications in marketing and digital marketing, particularly in the context of emerging economies. Articles published in English and those providing theoretical or empirical insights into AI driven marketing practices were considered. Conversely, studies that were not directly related to AI or marketing, duplicate publications, non-academic sources without significant scholarly contribution, and outdated studies (except for seminal works) were excluded from the review.

The study selection process followed a systematic screening procedure. Initially, a broad pool of articles was identified through keyword searches. Subsequently, titles and abstracts were reviewed to assess their relevance to the research objectives. In the next stage, full text articles were examined in detail to ensure their alignment with the scope of the study. This step by step filtering process resulted in a refined set of high-quality studies that formed the basis of the analysis.

The selected literature was analyzed using a thematic analysis approach, which involves identifying and interpreting recurring patterns and themes within the data (Braun & Clarke, 2006). The studies were categorized into key thematic areas, including AI applications in digital marketing, personalization and consumer behavior, marketing performance outcomes, adoption trends in Pakistan, and challenges associated with AI implementation. This thematic synthesis enabled the study to identify common findings, highlight differences across studies, and uncover research gaps in the existing literature.

To ensure the reliability and validity of the findings, several measures were taken. Only credible and peer-reviewed sources were included to maintain academic rigor. A transparent and systematic selection process was followed to minimize bias, and findings were cross-checked across multiple studies to ensure consistency (Tranfield et al., 2003). Despite these efforts, the study has certain limitations. It relies solely on published literature and may not capture unpublished research or recent industry developments. Additionally, the focus on English-language publications may exclude relevant studies in other languages. Furthermore, given the rapidly evolving nature of AI technologies, some emerging trends may not be fully reflected in the existing body of literature.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The findings of this systematic review indicate that Artificial Intelligence (AI) has emerged as a key driver of digital marketing transformation, significantly enhancing marketing efficiency, customer engagement, and decision making processes. Across the reviewed studies, AI applications such as chatbots, recommendation systems, predictive analytics, and marketing automation tools are consistently identified as the most influential technologies reshaping digital marketing practices (Davenport et al., 2020; Huang & Rust, 2021). These tools enable organizations to process large volumes of consumer data, allowing for real-time interactions and highly personalized marketing strategies.

One of the most prominent results is the role of AI in enabling hyper personalization. The literature demonstrates that AI driven personalization significantly improves customer satisfaction, engagement, and purchase intention by delivering tailored content and product recommendations (Grewal et al., 2021). In the context of Pakistan, this trend is particularly evident among younger, digitally active consumers who increasingly expect customized and seamless online experiences. Businesses utilizing AI-based personalization techniques report higher conversion rates and improved customer retention, highlighting its strategic importance in competitive markets.

Another key finding relates to the impact of AI on marketing performance and operational efficiency. AI technologies facilitate automation of repetitive tasks, optimize marketing campaigns, and enhance targeting accuracy, leading to improved return on investment (ROI) and cost efficiency (Davenport et al., 2020). In Pakistan, sectors such as e-commerce, banking, and telecommunications are actively leveraging AI tools to streamline marketing operations and improve service delivery. However, the extent of performance improvement varies depending on the level of technological integration and organizational readiness.

The review also reveals that AI is significantly transforming consumer behavior and decision-making processes. AI-driven platforms influence how consumers search for information, evaluate alternatives, and make purchasing decisions. Personalized recommendations, targeted advertisements, and AI enabled customer support systems contribute to a more interactive and engaging consumer journey (Khan et al., 2022). This transformation is particularly pronounced in emerging markets like Pakistan, where rapid digital adoption is reshaping consumer expectations and preferences.

Despite these positive outcomes, the findings highlight several challenges and barriers to AI adoption in digital marketing. Key issues include inadequate technological infrastructure, limited availability of skilled professionals, high implementation costs, and data privacy concerns (Pakistan Telecommunication Authority, 2022; Martin & Murphy, 2017). In Pakistan, small and medium enterprises (SMEs) face greater difficulties in adopting AI due to resource constraints and lack of technical expertise. Additionally, organizational resistance to change and limited awareness of AI capabilities further hinder its widespread implementation.

The discussion also underscores important ethical considerations, particularly regarding data privacy, transparency, and algorithmic bias. As AI systems rely heavily on consumer data, concerns about misuse of personal information and lack of regulatory frameworks pose significant risks. Addressing these issues is essential for building consumer trust and ensuring sustainable adoption of AI in marketing practices.

Overall, the results suggest that while AI has substantial potential to transform digital marketing in Pakistan, its impact is moderated by contextual factors such as infrastructure, skills, and regulatory environment. The findings align with global literature but also highlight unique challenges faced by emerging economies. Therefore, a balanced approach that combines technological advancement with policy support, capacity building, and ethical governance is necessary to fully realize the benefits of AI-driven digital marketing.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This systematic literature review concludes that Artificial Intelligence (AI) plays a transformative role in reshaping digital marketing practices by enhancing automation, personalization, predictive analytics, and customer engagement. The reviewed studies consistently demonstrate that AI driven tools such as chatbots, recommendation systems, and marketing automation platforms significantly improve marketing efficiency, decision-making, and customer experience (Davenport et al., 2020; Huang & Rust, 2021). In the context of Pakistan, AI adoption in digital marketing is steadily increasing, particularly in sectors such as e-commerce, banking, and telecommunications, where firms are leveraging AI to improve targeting accuracy and operational performance.

However, the study also reveals that AI integration in Pakistan remains at a developing stage due to several structural and organizational challenges. These include inadequate technological infrastructure, limited digital skills, high implementation costs, and concerns related to data privacy and security (Pakistan Telecommunication Authority, 2022; Martin & Murphy, 2017). Moreover, small and medium enterprises (SMEs) face greater difficulties in adopting AI due to financial and technical constraints. Despite these challenges, the overall evidence suggests that AI has strong potential to transform the digital marketing landscape in Pakistan if appropriate supportive measures are implemented.

There is a need to strengthen digital infrastructure and technological capacity. Investment in high-speed

internet, cloud computing systems, and AI enabled platforms is essential to support widespread adoption of AI technologies across industries. Without a strong digital foundation, the benefits of AI cannot be fully realized. Organizations should focus on skill development and capacity building. Universities, training institutes, and industry stakeholders should collaborate to develop AI and digital marketing-related training programs. Enhancing human capital will help bridge the current skills gap and enable businesses to effectively utilize AI tools in marketing practices. policymakers should develop a clear regulatory framework for AI and data governance. Issues related to data privacy, ethical use of consumer information, and algorithmic transparency must be addressed to build trust among consumers and ensure responsible use of AI technologies in marketing.

REFERENCES

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Chaffey, D., & Ellis-Chadwick, F. (2019). *Digital marketing: Strategy, implementation and practice* (7th ed.). Pearson.

Davenport, T. H., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science, 48*(1), 24–42. https://doi.org/10.1007/s11747-019-00696-0

Grewal, D., Hulland, J., Kopalle, P. K., & Karahanna, E. (2021). The future of technology and marketing: A multidisciplinary perspective. *Journal of the Academy of Marketing Science, 49*(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s11747-020-00765-1

Huang, M.-H., & Rust, R. T. (2021). Artificial intelligence in service. *Journal of Service Research, 24*(1), 3–19. https://doi.org/10.1177/1094670520902266

Jarek, K., & Mazurek, G. (2019). Marketing and artificial intelligence. *Central European Business Review, 8*(2), 46–55. https://doi.org/10.18267/j.cebr.213

Kemp, S. (2023). *Digital 2023: Pakistan*. DataReportal. https://datareportal.com

Khan, M. A., Rehman, S. U., & Ali, T. (2022). Impact of artificial intelligence on consumer behavior in developing markets. *Journal of Marketing Analytics, 10*(3), 145–158.

Martin, K. D., & Murphy, P. E. (2017). The role of data privacy in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science, 45*(2), 135–155. https://doi.org/10.1007/s11747-016-0495-4

Pakistan Telecommunication Authority. (2022). *Annual report 2022*. https://www.pta.gov.pk

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management, 14*(3), 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

https://doi.org/10.71284/asc.2026166

MECHANICAL AND PHYSICAL CHARACTERISATION OF RUBBERISED CEMENT BLOCKS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION APPLICATIONS

Yap Tek Hong[1]
Verawaty Ismail[2]
Nurul Khairunnisa Su[3]
Choong Chee Guan[4]

Abstract

Millions of tyres are dumped away each year, and very few are recycled, contributing to the worldwide environmental disaster caused by improper disposal of old tyre rubber. This study looks into the possibility of using used tyre rubber as a part of natural aggregates in cement-based products. The goal is to solve the waste disposal problem and promote sustainable building methods. Determining how waste tyre rubber impacts the functionality of ventilation blocks and cement bricks is the primary research project. Assessing important characteristics, including density, water absorption, and compressive strength, when different proportions of leftover tyre rubber are added to cement mixtures is the aim of this study. Experimental methods were used to create cement brick samples by combining cement, silica sand, and rubber in various ratios (1:6:0, 1:5.5:0.5, 1:5:1, 1:4.5:1.5, 1:4:2, 1:3.5:2.5, 1:3:3, 1:2:4, 1:1:5, and 1:0:6). Using common instruments, including a universal testing machine, comprehensive mechanical and stability evaluations were conducted to evaluate the material's qualities in compliance with JKR brick specifications. The results have shown that the compressive strength and the density of the brick samples decrease with the increase in the cement, sand and waste rubber ratio. The brick aggregate strength and density drop with cement, sand and waste rubber content up to 1:1:5; however, at the rate of 1:4:2, the water absorption of the aggregate declines to 4.14% and starts to increase with the weight ratio of waste rubber. The results stated that a combination of that 1:5.5:0.5 weight ratio of cement, sand, and waste tyre rubber was found to be the ideal ratio for producing sustainable ventilation blocks utilising waste tyre rubber after extensive testing and research. This combination, which had an average compressive strength of 2.82 MPa and a density of 1.754 g/cm³, provided a balance between material performance and environmental sustainability. The percent of water absorption range is 8.4%. The brick aggregate strength and density drop with cement/sand/waste rubber content up to 1:1:5; however, at the rate of 1:4:2, the water absorption of the aggregate declines to 4.14%. The findings show that while adding scrap tyre rubber increases water absorption, it reduces the amount of density and compressive strength. This research emphasises the possibility optionally; it emphasises the importance of more research into sustainable construction materials, opening the door for industrial innovation and advancing the circular economy.

Keywords: Waste tire rubber, ventilation block, compressive strength, density, water absorption.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: yap@ptss.edu.my

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: verawaty@ptss.edu.my

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: khairunnisa.su@ptss.edu.my

[4]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e-mail: dr.choong@ptss.edu.my

INTRODUCTION

Millions of tyres are regularly disposed of, making waste tyre disposal an important global problem for the environment. Every year, an estimated 1.5 billion tyres, or more than 17 million tonnes of garbage, are disposed of annually worldwide. Inadequate management of these tyres can result in serious health and environmental risks (Laftah et al., 2025). Traditionally, waste rubber, i.e., end-of-life (EOL) tyres, was dumped in landfills where they can form a hazardous ecosystem as potentially harmful substances used during the manufacture of tyres, such as antioxidants and antiozonants (Jagadale et al., 2015). By 2030, it is projected that as many as five billion tyres may be disposed of annually, predominantly in landfills. Serious environmental concerns result from this, such as unintentional fires and contaminated soil and water (Gomez et al., 2025). Many rubber product manufacturing units discharge their wastewater on land, in rivulets and in runnels, which pollutes drinking water resources, land for irrigation, air and ultimately the whole environment (Jagadale et al., 2015).

Figure 1. Disposal of tyre at Arau, Perlis, Malaysia



Recycling waste in industry offers a sustainable solution to minimise the environmental impact of waste. Incorporating recycled waste tyres into concrete is one such approach, contributing to green concrete production and aligning with sustainability objectives (Ghaleh & Asadi, 2025). Tyres are suitable for such applications because they are permeable, well-insulated, shock-absorbent, noise-absorbent, and durable; have appropriate physical, mechanical, and dynamic properties; have good abrasion resistance; and are cheap (Helmy et al., 2023).

Farasat et al. (2013) review analyses research on scrap tyre rubber as a partial substitute for natural aggregates in concrete, presenting it as an eco-friendly solution for solid-waste management. Incorporating rubber waste can lessen landfill disposal and pollution while conserving natural resources. Studies reveal that rubberised concrete typically improves air content, workability, thermal insulation, and impact resistance but shows reduced compressive and flexural strength. Although it may not suit high-strength applications, rubberised concrete is practical for lightweight, non-structural, and insulation-related uses, addressing environmental issues linked to scrap tyres.

Wakili et al. (2018) explore the use of modified waste tyre rubber chips as a partial substitute for coarse aggregate in concrete to address environmental concerns from natural aggregate depletion and tyre disposal. Testing involved concrete mixes with 0%, 10%, 20%, and 30% rubber replacement, revealing that while higher rubber content typically decreased workability, density, and strength, the modified rubber mix at 10% replacement (MCR10) achieved the highest compressive strength of 25.0 N/mm², outperforming both control and unmodified mixes. The improved physical modification of rubber chips enhances cement paste bonding and mitigates strength loss, indicating potential for sustainable construction in non-structural and semi-structural applications.

Helmy et al. (2023) investigate the use of pulverised waste tyre rubber blended with cement in clay soil to produce sustainable compressed earth bricks (CEBs). Different mixtures of waste tyre rubber (0-10%) and cement (0, 5%, and 10%) were tested for density, compressive strength, and water absorption after 28 days of curing. The study found that while increased waste tyre rubber reduces compressive strength, the addition of cement improves strength and decreases water absorption. The optimal mix for performance includes approximately 7.5% cement and 6% waste tyre rubber, achieving a compressive strength of 5.3 MPa and water absorption of 16%. This research indicates that waste tyre rubber can be effectively utilised in CEB production, promoting sustainable waste management and durable construction materials.

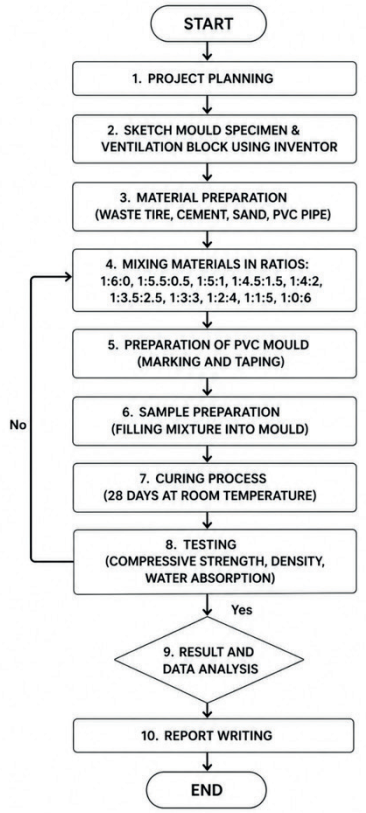
Wakili et al. (2018) study and explore the production of interlocking concrete paving blocks by substituting fine aggregate with crushed waste tyre rubber to tackle environmental issues from tyre disposal. Various concrete mixtures (0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% rubber) were assessed for compressive strength over 7, 14, and 28 days. Findings reveal a decrease in compressive strength with increasing rubber content due to inferior bonding and greater porosity. Nonetheless, the research indicates that rubberised concrete is suitable for non-structural uses, such as sidewalks and parks, while promoting waste reduction and sustainable construction through lower concrete density.

Hence, a sustainable, creative solution that permits discarded tyres to be recycled or repurposed in a way that lessens or eliminates their detrimental effects on the environment must be found. Therefore, the aim of this research is to evaluate how these different combinations affect crucial properties, including compressive strength, density, and water absorption. Samples will be prepared in accordance with these ratios, mechanical characteristics will be measured using conventional tests, and the findings will be analysed to determine the best combinations for increased functioning without compromising the structure’s strength. This work focuses on ten different weight ratios in compositions between the cement, sand and tyre rubber. The compressive strength, water absorption and density tests were performed on the brick specimens, and the properties are measured and characterised.

1. METHODOLOGY

The flowchart for the design of the experiment, as in Figure 2, shows the steps used to complete this project from the start until the end

Figure 2. Process Design of Experiment



1.1. Raw Materials

In order to produce sustainable cement bricks, this project uses cement, silica sand, and waste tyre rubber as vital raw materials. Tyre waste was collected from car workshop areas in Arau, Perlis, cleaned, sun-dried, and then shredded using a granulator machine into particles that were 3–8 mm angular. Then, the shredded rubber was sieved using a vibratory sieve shaker machine to identify the sieving size in the British Metric series (BS410:1976). The shredded rubber was then stored in sealed plastic bags at room temperature until it was used in the experiments.

Figure 3. Process Design of Experiment

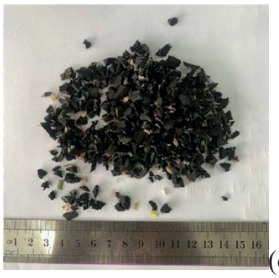
Preparing Of Raw Material For Sampling (a) Shredding Process (b) Sieving Process And (c) Particle Of Waste Rubber



(a)



(b)



(c)

1.2. Preparation of Waste Tire Rubber Concrete Sample

In the mixing process, hand mixing was used. The sample was prepared using cement, sand and waste tyre rubber. The water is added to ensure the mixtures are incorporated with the waste tyre rubber. The cement was mixed with sand and waste tyre rubber by weight ratio, which varies from 1:6:0, 1:5.5:0.5, 1:5:1, 1:4.5:1.5, 1:4:2, 1:3.5:2.5, 1:3:3, 1:2:4, 1:1:5, and 1:0:6 (cement: sand: rubber). The following shows the weight for cement: sand: rubber.

Table 1. Ratios Of Cement, Sand, And Rubber (By Weight In kg)

Cement (kg)	Sand (kg)	Rubber (kg)
1 (1.50 kg)	6.0 (9.00 kg)	0.0 (0.00 kg)
1 (1.00 kg)	5.5 (5.50 kg)	0.5 (0.50 kg)
1 (1.60 kg)	5.0 (8.00 kg)	1.0 (1.60 kg)
1 (1.00 kg)	4.5 (4.50 kg)	1.5 (1.50 kg)
1 (1.20 kg)	4.0 (4.80 kg)	2.0 (2.40 kg)
1 (1.00 kg)	3.5 (3.50 kg)	2.5 (2.50 kg)
1 (0.85 kg)	3.0 (2.55 kg)	3.0 (2.55 kg)
1 (0.75 kg)	2.0 (1.50 kg)	4.0 (3.00 kg)
1 (0.60kg)	1.0 (0.60 kg)	5.0 (3.00 kg)
1 (0.60 kg)	0.0 (0.00 kg)	6.0 (3.60 kg)

The mixing process took place by hand drill mixer for 10 minutes (Bosch CSB 550 RE, Germany). The moulding process is used to prepare the brick in a uniform, sharp and consistent manner. A PVC mould was designed to produce the sample with a length of 152.40 mm and a diameter of 76.20 mm, which is capable of fabricating specimens according to ASTM C39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2001). After that, the mixtures of cement, sand and waste tyre rubber were poured into the PVC mould. The surface of the mould is finished using a trowel, and the mixtures were allowed to harden and cure into solids at room temperature for a period of 28 days. The samples are mechanically tested for compression strength, water absorption, and density after curing in order to evaluate their performance and suitability for use in ventilation block construction and applications.

Figure 4. Preparing Of Sample (a) Weigh The Waste Tire According To The Ratio. (b) Mixing Process (c) Casting of Mixture Into Mould and (d) Samples Concrete



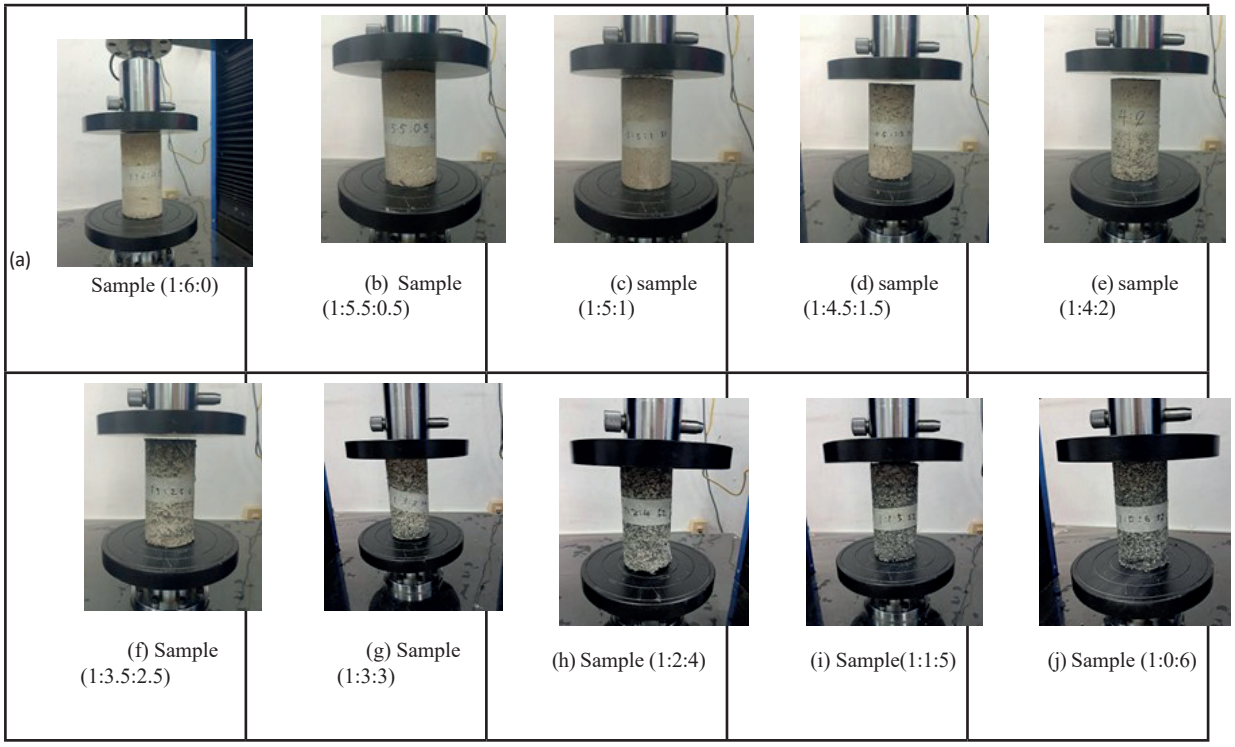
(a) (b) (c) (d)

1.3. Compression Test Of Concrete Samples

To obtain the compressive behaviour of concrete samples, samples were prepared for the compression test. The compression test determines how a material reacts when it is compressed, squashed, crushed or flattened under a compressive load. The test was conducted using a Servotec Fully Automatic Universal Testing

machine (Twin Column) (Model TT 6000 X (100 kN)) (Made in Malaysia). All the concrete specimens are tested through three samples one by one, and the load at crushing was noted. The compressive strength was taken for each sample, and average values were measured. The specimens were analysed with dimensions according to ASTM C39.

Figure 5. Compressive Strength Test On Concrete Samples



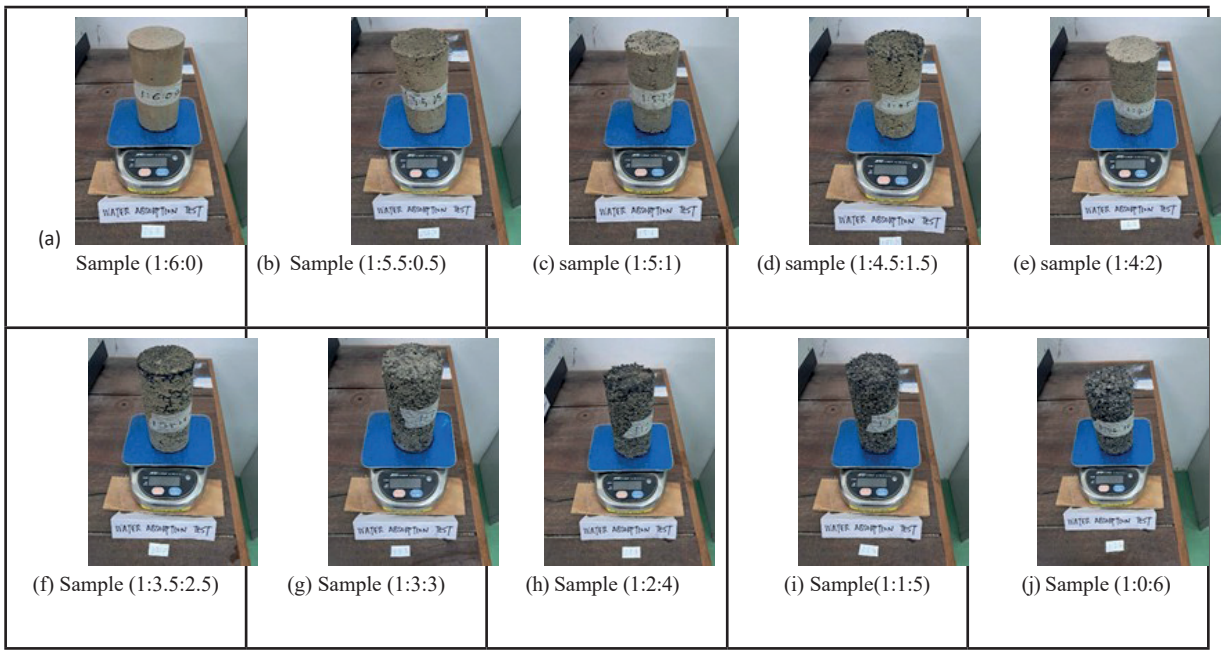
1.4. Water Absorption Test

The water absorption test determines the water absorption in per cent by weight of RHA brick. The samples were dried in the sun. After that, weigh the cool brick with a digital balance (W1). The test was carried out at room temperature by immersing the dry brick in clean water for 24 hours. The brick was removed and wiped out with a cloth from water and weight immediately (W2). The difference shown in the weights is the water absorbed by the brick. The difference between the dry and wet bricks' percentages was calculated.

Water absorption in percent (%) = (W2 – W1) x 100.

Eq 1

Figure 6. Water Absorption Test On Concrete Samples



(a) Sample (1:6:0) (b) Sample (1:5.5:0.5) (c) sample (1:5:1) (d) sample (1:4.5:1.5) (e) sample (1:4:2)

(f) Sample (1:3.5:2.5) (g) Sample (1:3:3) (h) Sample (1:2:4) (i) Sample(1:1:5) (j) Sample (1:0:6)

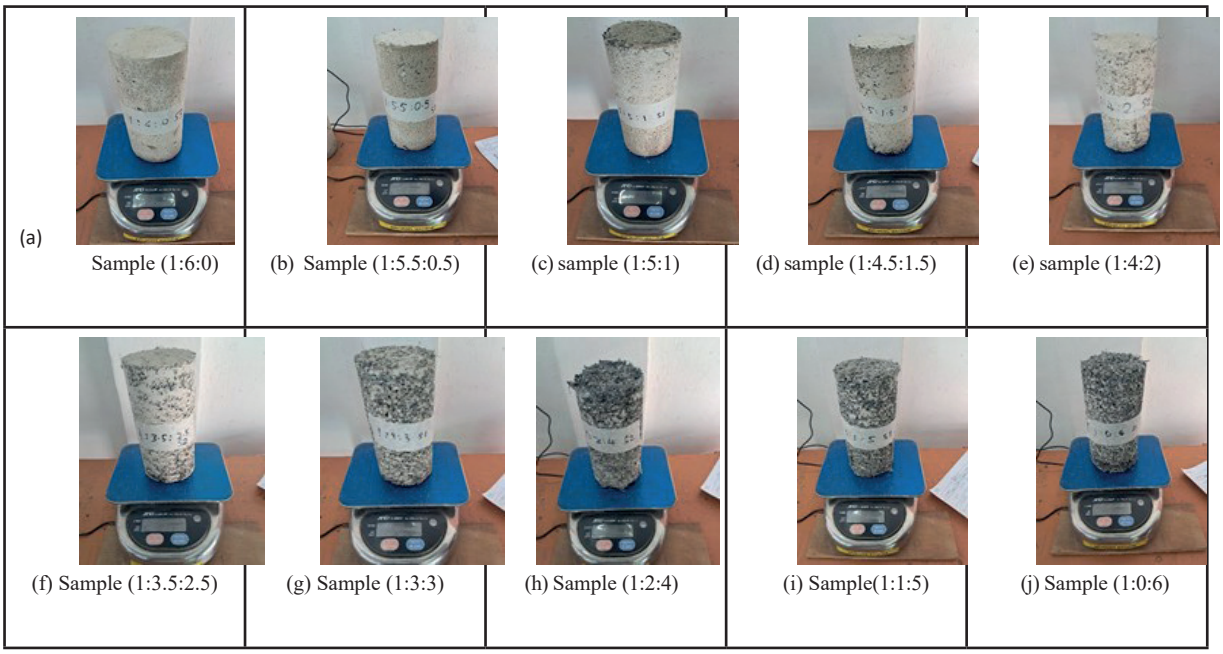
1.5. Density Test

The density test measures the mass per unit volume for RHA brick, which was determined by the digital balance. The density of an RHA brick is determined using its weight in the air (Wa) and in water (Ww), where the densities of air (negligible) and water (ρw) are equal to 0.9975 g/cm³. The volume of the RHA brick is determined from the difference between the weight of the brick in air and the weight in water. Then the calculation of brick density, ρc, is:

Brick density, ρc (g/cm3) = (Wa)/[(Wa – Ww)/ ρw]

= (ρw Wa)/ (Wa – Ww) Eq 2

Figure 7. Density Test On Concrete Samples



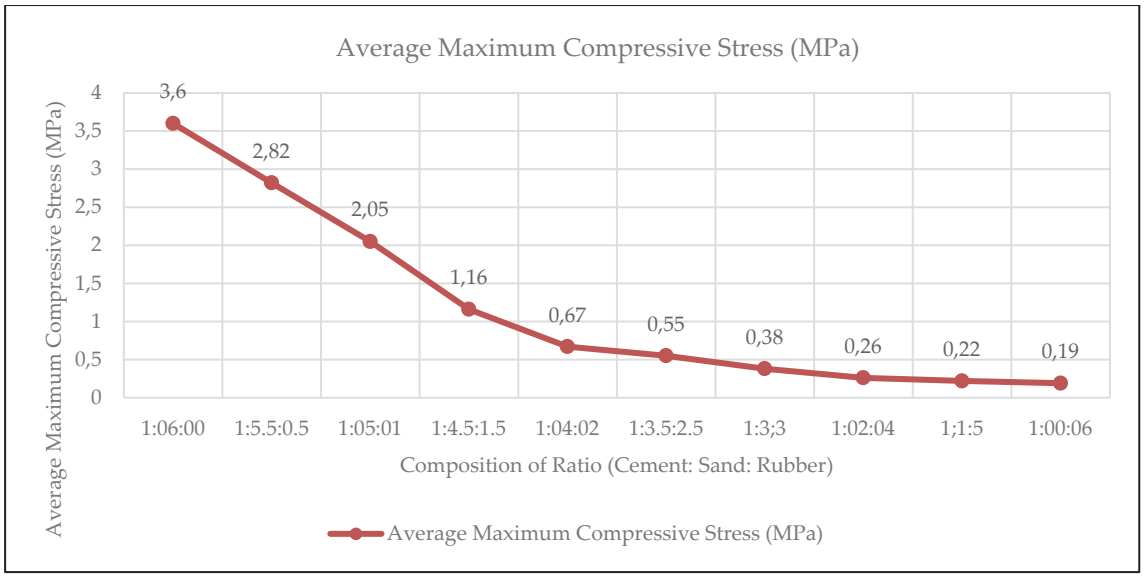
2. RESULTS AND DISCUSSION

Analysing data is crucial to evaluate waste tyre rubber's performance in cement-based products by methodically looking at their mechanical and physical characteristics

2.1. Compression Test

Figure 8 shows the result of variation of the compression stress for various concrete samples produced.

Figure 8. Maximum Stress From Compression Test of The Samples



The results of the compressive test reveal a clear trend whereby the compressive strength of the bricks decreases with a rise in the percentage of used tyre rubber. For instance, the control sample, which contained 60% sand and 10% cement (0% rubber), performed the best with a peak stress of 3.60 MPa and an average

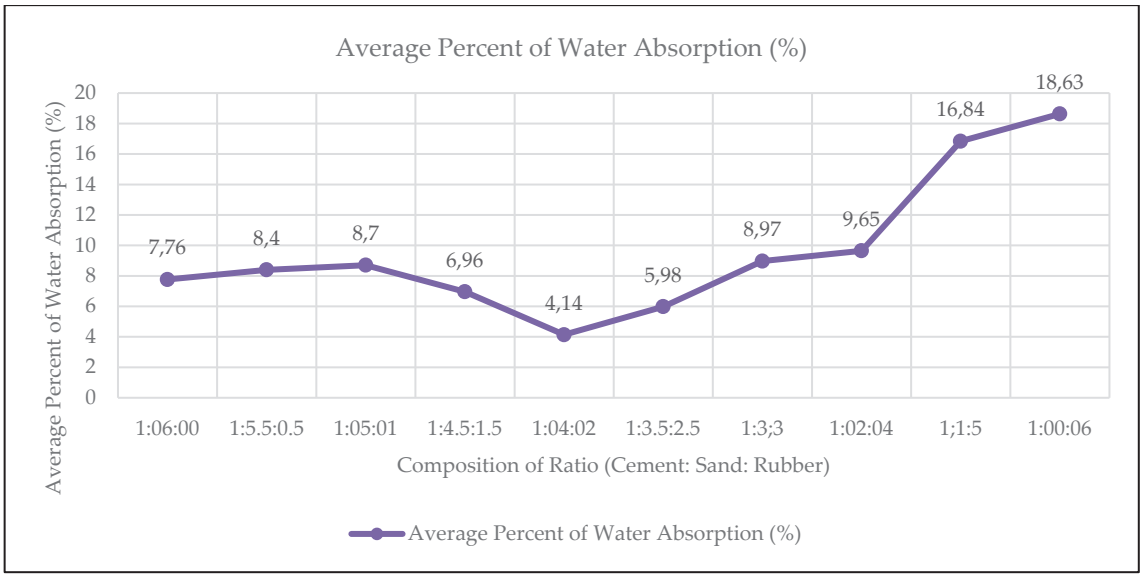
load of 16.41 kN. Conversely, the 60% rubber sample had considerably lower strength, withstanding only 0.851 kN and a peak stress of 0.19 MPa. This shows that although rubber waste can be added to the production of bricks, too much of it undermines the structural integrity of the material, and thus it cannot be used in load-bearing situations. The results are in accordance with the Jabatan Kerja Raya Malaysia (2005) standards, which dictate that there are particular cement-sand ratios that need to be followed to ensure adequate compressive strength, such as the 5.2 N/mm² minimum for brick.

Because even little differences across samples of the same composition (S1, S2, S3) might affect findings, the observed variances in strength may be due to changes in mixing or curing. As a filler, rubber lowers density and reduces the brick's ability to support loads. Restricting rubber content to 5–10% may be the best way to combine sustainability and performance while still providing structural performance and environmental benefits. This process ensures conformity to building regulations while promoting reuse of waste material. According to the Jabatan Kerja Raya Malaysia (2005) criteria for compressive strength and material proportions, precise calibration of the rubber proportion is necessary in practice to preserve the brick's integrity for practical reasons.

2.2. Water Absorption Test

Figure 9 shows the result of variation of the water absorption test for various concrete samples produced.

Figure 9. Average Percent of Water Absorption (%)



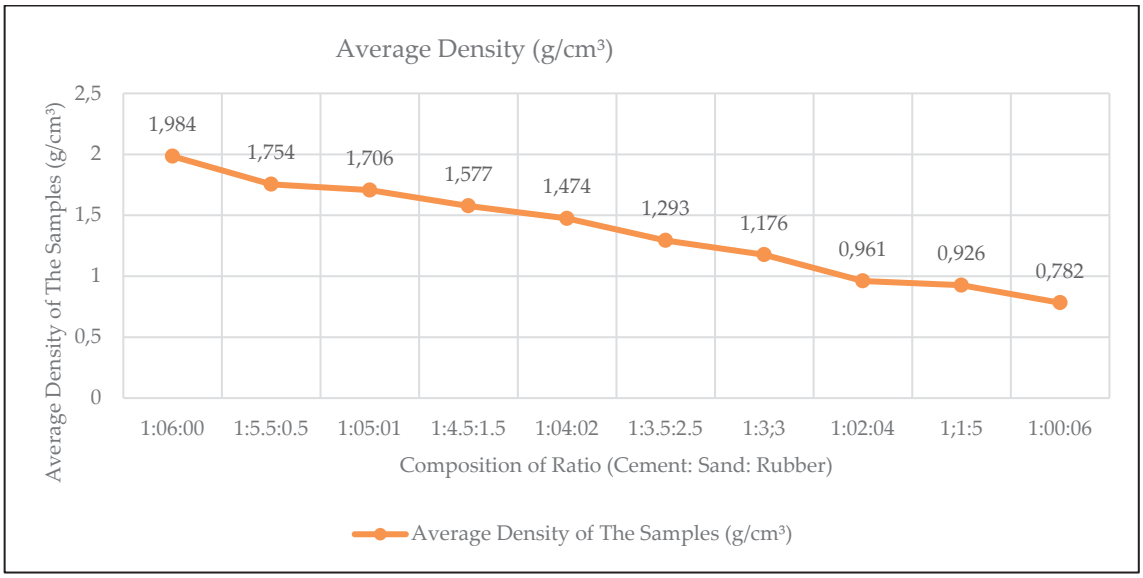
The water absorption test values show vast variations depending upon the proportion of cement, sand, and rubber in the bricks. The sample with the ratio of 1:01:05 (cement: sand: rubber) showed maximum water absorption of 18.63%, which is beyond the acceptable limit of construction materials. According to international standards such as ASTM C67 and BS EN 771-1, the maximum allowable water absorption of load-bearing bricks should not exceed 20%, since increased absorption leads to reduced durability, frost attack, and efflorescence. The control sample (1:06:00, no rubber) had a relatively low absorption of 7.76%, indicating that traditional cement-sand mixtures provide more water resistance. However, with increasing rubber content, absorption levels were inconsistent, with some intermediate rubber mixtures (e.g., 1:5.5:0.5 at 8.4%) being within acceptable ranges. This suggests that low rubber content (≤10%) may not necessarily compromise water resistance, but higher rubber ratios risk being above standard levels.

The erratic trend of water absorption, where some of the rubber-modified samples (e.g., 1:3.5:2.5 at 6.96%) performed better than others, can be attributed to differences in pore structure introduced by the hydrophobic character of rubber and its non-homogeneous distribution within the mix. While rubber can lower density and improve thermal insulation, its porous-free character could introduce inhomogeneous pathways for water entry. For current application, having rubber content less than 10% (as in the 1:5.5:0.5 ratio) could strike a balance between sustainability and compliance with global standards. At higher levels, the material could not meet durability requirements, particularly in wet or freeze-thaw environments. These findings underscore the need for stringent quality control in mix design to ensure rubberized bricks meet both environmental goals and structural performance standards.

2.3. Density Test

Figure 10 shows the result of variation of the density test for various concrete samples produced.

Figure 10. Average Density of Samples by Different Ratio



Based on the results of the density test, it is obvious that the brick's density reduces as the amount of waste tire rubber increases. The 60% rubber sample had the lowest density at 0.782 g/cm³, while the control sample (10% cement, 60% sand) had the highest density at 1.948 g/cm³. It demonstrates how rubber lowers the bricks' total density because it is lighter than sand. It is normal for the density to reduce gradually as the amount of rubber increases, since rubber particles are less heavy and take up more volume than sand, making the finished product lighter.

However, the data also shows some variations, such as the unexpected mass reduction for certain samples (like Samples 6 and 7), which might be a sign of different material distribution or differences in the mixing procedure. The general pattern, regardless of these variations, demonstrates that the use of rubber reduces density, which may be useful for situations that call for lightweight building materials. This needs to be balanced with the previously noted reduction in compressive strength, though, because worse structural performance is frequently associated with lower density. Finding the ideal rubber composition for practical application is a requirement to meet functional and sustainability criteria.

2.4. Sample Product of Ventilation Block

Figure 11 shows the ventilation block samples produced based on the optimal combination of cement, sand, and waste tyre rubber.

Figure 11. Samples of Ventilation Block



The ventilation block samples produced, as shown in Figure 11, correspond to the optimal mix proportion of 10% cement, 55% sand, and 5% waste tyre rubber identified from the experimental results. This sample demonstrates a balanced combination of mechanical and physical properties, with an average compressive strength of 2.82 MPa and a density of 1.754 g/cm³. The visual appearance and structural integrity of the samples further support the experimental findings, indicating that the selected mix ratio provides sufficient strength while maintaining reduced density. Compared to samples with higher rubber content, the optimal sample exhibits fewer surface defects and better cohesion, which contributes to improved performance. These observations suggest that the selected mix proportion is suitable for practical applications, particularly in lightweight properties and sustainability are prioritised.

CONCLUSION

The achievement of all the objectives and specifications listed in the previous chapters serves as evidence of the project's success. 10% cement, 55% sand, and 5% waste tire rubber were found to be the ideal ratio for producing sustainable ventilation blocks utilizing waste tire rubber after extensive testing and research. This combination, which had an average compressive strength of 2.82 MPa and a density of 1.754 g/cm³, provided a balance between material performance and environmental sustainability. The lower compressive strength of rubber bricks compared to regular cement bricks is a significant disadvantage, especially when the rubber content is higher (e.g., 60% rubber resulted in a strength of just 0.19 MPa). At these ratios, however, the water absorption rates for samples containing 15–25% rubber were lower (4.14–6.96%) than the control (7.76%), suggesting better water resistance. In non-load-bearing applications where sustainability and weight reduction are more important than structural strength, such as ventilation blocks or inexpensive walls, this indicates that the material is appropriate. The rubber bricks' density dropped gradually as the amount of rubber increased, from 1.948 g/cm³ (0% rubber) to 0.782 g/cm³ (60% rubber). This inexpensive feature may be useful in some building situations, but it needs to be carefully balanced with the need for strength. This suggestion offers a workable alternative for sustainable building while addressing important environmental issues like tire disposal and pollution by using wasted tire rubber. The results point to the possibility of additional optimization, such as investigating treatments or additions to improve the mechanical qualities of rubber cement products. In conclusion, this study advances environmentally friendly construction materials and helps in global efforts for sustainable development.

REFERENCES

ASTM International. (2005). Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile (C67). *ASTM International.*

British Standards Institution. (1976). Sieves for testing—Wire mesh, perforated plate and needle screens: Test sieves (BS 410:1976). *British Standards Institution.*

Farasat, S., Shah, A., Naseer, A., & Rehan, R. (2013). Use of rubber waste in concrete to reduce environmental pollution: An overview. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(1), 32–36.

Ghaleh, M. B., & Asadi, P. (2025). *Life cycle assessment-based method for the environmental and mechanical evaluation of waste tire rubber concretes*. 1–16.

Gomez, C., Ronald, L., Andry, P., & Jonathan, R. F. (2025). Literature review: *Rubber waste in tire manufacturing. Journal of Physics: Conference Series*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/3028/1/012036

Helmy, S. H., Tahwia, A. M., Mahdy, M. G., Elrahman, M. A., Abed, M. A., & Youssf, O. (2023). The use of recycled tire rubber, crushed glass, and crushed clay brick in lightweight concrete production: *A review. Construction and Building Materials*

Jabatan Kerja Raya Malaysia. (2005). *Standard specifications for building works* (2005 ed.).

Jagadale, S. C., Rajkumar, K., Chavan, R. P., Shinde, D. N., & Patil, C. L. (2015). Environmental concern of pollution in the rubber industry. *International Journal of Science and Research*, 4(1), 187–191.

Laftah, W. A., Aizan, W., & Abdul, W. (2025). Material advances study on waste tire rubber. *Materials Advances*, 6, 4992–5010. https://doi.org/10.1039/D5MA00463B

https://doi.org/10.71284/asc.2026167

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA SOSYAL İLİŞKİLERİN DÖNÜŞÜMÜ: TOPLUMSAL BAĞLANMA, İLETİŞİM PRATİKLERİ VE KİMLİK ÜZERİNE KURAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

THE TRANSFORMATION OF SOCIAL RELATIONSHIPS IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A THEORETICAL ASSESSMENT OF SOCIAL ATTACHMENT, COMMUNICATION PRACTICES, AND IDENTITY

Sıdıka Sibel Bayyiğit[1]

Özet

Yapay zekâ, yalnızca teknolojik bir araç olmanın ötesine geçerek bireylerin gündelik deneyimlerini, toplumsal etkileşim örüntülerini ve sosyal gerçeklik algısını yeniden biçimlendiren köklü bir dönüşüm dinamiğine dönüşmüştür. Bu dönüşüm; eğitim, çalışma yaşamı ve iletişim pratikleri gibi toplumsal alanların tamamına nüfuz ederek bireyleri hem uyum hem de yeniden konumlanma süreçlerine zorlamaktadır. Söz konusu zorunluluk, toplumların teknolojik değişimlerle kurduğu tarihsel ilişki bağlamında yeniden ele alınmayı gerektirmektedir. Tarihsel perspektiften bakıldığında, Sanayi Devrimi ve kapitalist üretim ilişkilerinin dönüşümünden dijital çağın başlangıcına uzanan süreçte her büyük teknolojik kırılmanın toplumsal yapıları ve ilişki biçimlerini derinden etkilediği görülmektedir. Yapay zekâ ise bu kırılmalar arasında kendine özgü bir nitelik taşımaktadır. Önceki teknolojiler ağırlıklı olarak üretim ve iletişim süreçlerini dönüştürürken, yapay zekâ insan bilişini, karar verme mekanizmalarını ve anlamlandırma pratiklerini de kapsayan çok boyutlu bir dönüşümü beraberinde getirmektedir. Bu durum, mevcut toplumsal kurumların ve ilişki örüntülerinin yalnızca dönüşümünü değil, kimi zaman ortadan kalkmasını da gündeme taşımaktadır. Toplumsal ilişkiler bağlamında yapay zekânın en belirgin etkisi, iletişim pratiklerinin içeriği ve biçimi üzerinde kendini göstermektedir. Yapay zekâ destekli içerik üretimi, iletişimde standardizasyonu artırırken özgünlük ve duygusal ifade gibi unsurların aşınmasına yol açabilmektedir. Bu durum, Erving Goffman'ın toplumsal performans kuramı çerçevesinde, bireyin "sahne arkası"nın giderek yapay sistemlere devredilmesi olarak yorumlanabilir. Sosyolojik açıdan bir diğer kritik mesele ise, toplumsal bağlanma örüntülerinin dönüşümüdür. Yapay zekâ, bireylerin sosyal gereksinimlerini insan yerine yapay sistemler aracılığıyla karşılamasına zemin hazırlayabilir. Bu durum, Émile Durkheim'ın toplumsal dayanışma kavramı bağlamında, ilişkilerin yüzeyselleşmesi riskini gündeme getirmektedir. Bu çerçevede çalışma, yapay zekânın sosyal ilişkiler üzerindeki etkilerini toplumsal dönüşüm kuramları ve sosyolojik kavramsal araçlarla sistematik biçimde ele almayı; iletişim, bağlanma ve kimlik inşası süreçlerindeki değişimlere dair kuramsal bir perspektif geliştirmeyi amaçlamaktadır. Söz konusu perspektifin, yapay zekâ çağında insanın ve toplumun geleceğine ilişkin daha bütünlüklü bir anlayış geliştirilmesine katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, sosyal ilişkiler, iletişim pratikleri, dijitalleşme, sosyal dönüşüm.

[1] Öğr. Gör. Dr., Marmara Üniversitesi Rektörlük, sibel.bayyigit@marmara.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-5717-0957

Abstract

Artificial intelligence (AI) has evolved beyond being merely a technological tool and has become a profound force of transformation that reshapes individuals' everyday experiences, patterns of social interaction, and perceptions of social reality. This transformation permeates all areas of social life, including education, work, and communication practices, compelling individuals to engage in processes of adaptation and repositioning. Such a necessity requires reconsideration within the broader historical context of how societies have interacted with technological change. From a historical perspective, it can be observed that every major technological rupture—from the Industrial Revolution and the transformation of capitalist production relations to the emergence of the digital age—has deeply influenced social structures and forms of human interaction. Artificial intelligence, however, possesses a distinctive character among these technological shifts. While previous technologies primarily transformed production and communication processes, AI introduces a multidimensional transformation that also encompasses human cognition, decision-making mechanisms, and meaning-making practices. Consequently, not only the transformation but, in some cases, the disappearance of existing social institutions and relational patterns has become a subject of discussion. In the context of social relations, one of the most visible effects of AI is observed in the content and form of communication practices. AI-assisted content generation may increase standardization in communication while simultaneously eroding elements such as authenticity and emotional expression. Within the framework of Erving Goffman's theory of social performance, this development can be interpreted as the gradual transfer of the individual's "backstage" to artificial systems. Another critical sociological issue concerns the transformation of social bonding patterns. Artificial intelligence may facilitate the fulfillment of individuals' social needs through artificial systems rather than through human interaction. From the perspective of Émile Durkheim's concept of social solidarity, this situation raises concerns regarding the potential superficialization of social relationships.

Accordingly, this study aims to systematically examine the effects of artificial intelligence on social relations through the lens of theories of social transformation and sociological conceptual frameworks. It seeks to develop a theoretical perspective on changes in communication, social bonding, and identity construction processes. Such a perspective is expected to contribute to a more comprehensive understanding of the future of individuals and society in the age of artificial intelligence.

Keywords: Artificial intelligence, social relations, communication practices, digitalization, social transformation.

GİRİŞ

Dijitalleşme ile birlikte iletişim biçimleri, insanlar arasındaki bağlanma türleri ve kimlik algısı aynı anda dönüşen bir yapı haline gelmiştir. Geleneksel toplumlarda iletişim daha çok yüz yüze, süreklilik içeren ve güçlü toplumsal bağlar üreten bir yapıya sahipken; günümüzde iletişim ağ temelli, hızlı ve parçalı bir karakter kazanmıştır. Bu dönüşüm bağlanma biçimlerini de etkilemiştir. Aile, arkadaşlık ve topluluk ilişkileri daha esnek, geçici ve çoklu bağlantılar üzerinden kurulmaktadır. İnsanlar artık aynı anda birçok dijital ağda yer alarak farklı sosyal çevrelere bağlanabilmekte, bu da daha "zayıf ama yaygın" bağlar üretmektedir. Zygmunt Bauman'ın "akışkan modernite" yaklaşımı bu durumu açıklamak için önemlidir; çünkü modern dünyada ilişkiler artık kalıcı değil, değişken ve yeniden kurulabilir yapıdadır. Kimlik açısından bakıldığında ise birey, sabit bir öz olmaktan çıkıp sürekli yeniden üretilen bir "temsil" haline gelmiştir. Stuart Hall kimliği "sürekli oluş halinde bir süreç" olarak tanımlarken, dijital iletişim ortamları bu süreci hızlandırmakta ve görünür kılmaktadır. Sosyal medya, bireyin kimliğini farklı platformlarda farklı biçimlerde sunmasına imkân tanıyarak "çoklu kimlik" pratiklerini yaygınlaştırmaktadır. Ayrıca Erving Goffman'ın performans yaklaşımı, bireyin dijital ortamlarda kimliğini bir "sahneleme" olarak kurduğunu gösterir. Sonuç olarak

iletişim, bağlanma ve kimlik artık birbirinden ayrı değil; dijital ağlar içinde birlikte dönüşen, esnekleşen ve sürekli yeniden kurulan bir yapıya dönüşmüştür.

1. KURAMSAL ÇERÇEVE VE YÖNTEM

Bu çalışma, yapay zekânın toplumsal etkilerini iletişim, toplumsal bağlanma ve kimlik inşası ekseninde inceleyen nitel bir kuramsal araştırma olarak tasarlanmıştır. Araştırmada ampirik veri toplama süreci yürütülmemiş; bunun yerine mevcut literatür, kuramsal yaklaşımlar ve güncel raporlar üzerinden doküman analizi yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın veri kaynaklarını; sosyoloji, medya çalışmaları ve yapay zekâ alanlarında yayımlanmış akademik makaleler, kitaplar ve uluslararası kurum raporları (OECD, Microsoft, TÜİK gibi) oluşturmaktadır. Bu kaynaklar amaçlı örnekleme yaklaşımıyla seçilmiş ve yapay zekânın toplumsal etkilerini açıklamada kuramsal derinlik sağlayacak çalışmalar tercih edilmiştir.

Analiz sürecinde tematik analiz yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda elde edilen literatür üç temel tema altında sınıflandırılmıştır:

1. İletişim pratiklerinin dönüşümü
2. Toplumsal bağlanma ve etkileşim biçimlerinin değişimi
3. Kimlik inşasının dijitalleşmesi

Bu temalar, Erving Goffman, Émile Durkheim, Zygmunt Bauman, Anthony Giddens ve Manuel Castells gibi sosyolojik kuramcıların yaklaşımları ile ilişkilendirilerek yorumlanmıştır. Böylece çalışma, yalnızca betimleyici bir literatür aktarımı değil, aynı zamanda kuramsal sentez içeren eleştirel bir analiz niteliği taşımaktadır.

Araştırmanın temel amacı, yapay zekâ teknolojilerinin toplumsal yapılar üzerindeki etkilerini çok katmanlı bir perspektiften değerlendirerek, dijital çağda ortaya çıkan yeni sosyal ilişkilenme biçimlerini kuramsal olarak açıklamaktır.

2. ARAŞTIRMA AMACI VE ÖNEMİ

Bu araştırmanın temel amacı, yapay zekâ teknolojilerinin bireylerin iletişim pratikleri, toplumsal bağlanma biçimleri ve kimlik inşası süreçleri üzerindeki etkilerini sosyolojik kuramlar çerçevesinde bütüncül bir yaklaşımla analiz etmektir. Çalışma, yapay zekâyı yalnızca teknolojik bir araç olarak değil, aynı zamanda toplumsal ilişkileri yeniden yapılandıran yapısal bir dönüşüm unsuru olarak ele almaktadır.

Bu kapsamda araştırma; Erving Goffman'ın dramaturjik yaklaşımı, Émile Durkheim'ın toplumsal dayanışma kuramı, Zygmunt Bauman'ın akışkan modernite yaklaşımı, Anthony Giddens'ın refleksif kimlik kavramı ve Manuel Castells'in ağ toplumu teorisi üzerinden yapay zekâ çağında ortaya çıkan yeni sosyal dinamikleri açıklamayı hedeflemektedir.

Araştırmanın önemi, yapay zekânın toplumsal yaşam üzerindeki etkilerini yalnızca teknik veya ekonomik boyutlarıyla değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel dönüşümler bağlamında ele almasıdır. Bu çalışma, dijitalleşme sürecinde iletişimin hızlanması ve bilgiye erişimin kolaylaşması gibi olumlu yönlerin yanı sıra; sosyal ilişkilerin yüzeyselleşmesi, otantiklik kaybı ve kimlik belirsizliği gibi potansiyel riskleri de kuramsal bir çerçevede tartışmaktadır.

Bu yönüyle çalışma, yapay zekâ ve toplum ilişkisine dair literatürde yer alan teknik odaklı yaklaşımlara karşılık, sosyolojik ve eleştirel bir perspektif sunmayı amaçlamakta ve dijital çağda insan–teknoloji etkileşiminin yeniden düşünülmesine katkı sağlamaktadır.

Araştırma ayrıca, yapay zekânın bireylerin benlik sunumlarını ve sosyal ilişkilerini nasıl dönüştürdüğünü açıklayarak, gelecekteki toplumsal yapıların anlaşılmasına yönelik kuramsal bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

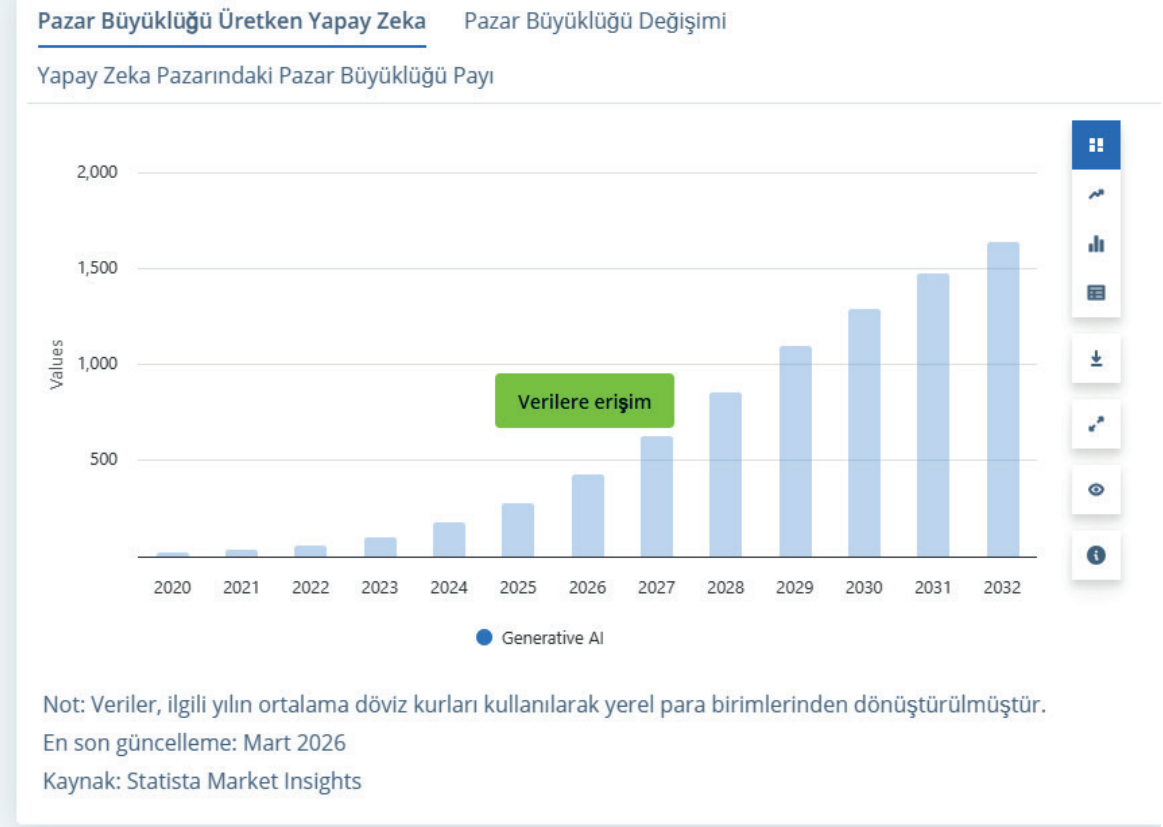
3. TARİHSEL PERSPEKTİF

Yapay zekânın toplumsal etkilerini anlamak, teknolojik gelişimin tarihsel kırılmalarıyla birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Modern toplumun dönüşümü üç temel aşamada ele alınabilir: sanayi toplumu, bilgi toplumu ve algoritmik toplum. Sanayi Devrimi ile birlikte üretim ilişkileri köklü biçimde değişmiş, Karl Marx'ın ifadesiyle toplumsal yapılar "katı olan her şeyin buharlaştığı" bir dönüşüm sürecine girmiştir (Marx & Engels, 2002). Max Weber ise bu dönemi rasyonelleşme ve bürokratikleşme süreçleriyle açıklayarak modern toplumu "demir kafes" kavramıyla betimlemiştir. Bu aşamada toplum, üretim merkezli ve mekanik iş bölümüne dayalı bir yapı kazanmıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte iletişim teknolojilerinin gelişmesi, toplumsal yapının bilgi ve ağ temelli bir forma dönüşmesine yol açmıştır. Marshall McLuhan'ın "araç mesajdır" yaklaşımı, teknolojinin yalnızca bir araç değil, toplumsal algıyı yeniden şekillendiren bir yapı olduğunu ortaya koymuştur (McLuhan, 2003). Manuel Castells ise bu dönemi "ağ toplumu" olarak tanımlayarak, bilgi akışının ve dijital ağların toplumsal gücün merkezine yerleştiğini vurgulamıştır (Castells, 1996). Günümüzde ise yapay zekâ, bu tarihsel dönüşümün yeni aşamasını temsil etmektedir. Yapay zekâ yalnızca üretim ve iletişim süreçlerini değil, aynı zamanda insan bilişini, karar verme mekanizmalarını ve anlam üretim süreçlerini de dönüştürmektedir. Bu durum, toplumu sadece bilgiye dayalı bir yapıdan çıkararak, algoritmaların yönlendirdiği "hesaplamalı bir toplumsallık" aşamasına taşımaktadır. Bu bağlamda yapay zekâ, önceki teknolojik kırılmalardan farklı olarak yalnızca toplumsal yapıları değil, insanın düşünme ve karar verme süreçlerini de yeniden şekillendiren bütüncül bir dönüşüm olarak değerlendirilmektedir.

3.1. Teknolojik Değişimin Toplumsal Yapılara Etkisi

Yapay zekânın toplum üzerindeki etkilerini anlamak için, teknoloji ve sosyal yapı arasındaki etkileşimlerin incelenmesi gerekmektedir. YZ, bilgiye erişim ve iletişimin hızını artırırken, günlük ilişkileri de dönüştürmeye başlamıştır. Sosyal medya platformları ve akıllı cihazlar, bireylerin etkileşim biçimlerini değiştirirken, kişisel bağlantıları zayıflatma veya yüzeyselleştirme risklerini de beraberinde getirmiştir. Yapay zekâ bu performansı nasıl değiştiriyor? Performans artık algoritmik olarak şekilleniyor. Sosyal medya + AI öneri sistemleri ile hangi içeriklerin görünür olacağını belirler. Sonuç olarak ise insanlar kendilerini algoritmaya göre sunmaya başlar ("neyi paylaşsam daha çok görünür olur?" Yapay zekâ performansı "optimize eder" Metin yazdırma (bio, post, mail) Görsel üretme (profil, içerik) Performans artık sadece bireyin değil, insan + AI ortak üretimi ile artık ön sahne büyüyor, arka sahne küçülüyor. AI ile her şey düzenlenebilir, filtrelenebilir "kusursuz" kimlik sunumu kolaylaşır. Daha yapay ama daha kontrollü performanslar yaratır.

Tablo 1. Yapay Zeka Pazar Büyüklüğü Payı



Grafikte, üretken yapay zekâ (Generative AI) pazarının 2020–2032 arasında çok hızlı büyüyeceği gösteriliyor.

2020–2023: Pazar hâlâ küçük ama istikrarlı bir artış var.

2024–2027: Büyüme hızlanıyor, özellikle 2025 sonrası ciddi sıçrama başlıyor.

2028–2032: Üstel (exponential) büyüme dikkat çekiyor; pazar değeri birkaç katına çıkıyor.

2025 civarında pazar birkaç yüz milyar seviyesine yaklaşıyor.

2030'dan sonra büyüme daha da ivmeleniyor.

2032'de pazarın 1.5 trilyon+ seviyesine ulaşması bekleniyor.

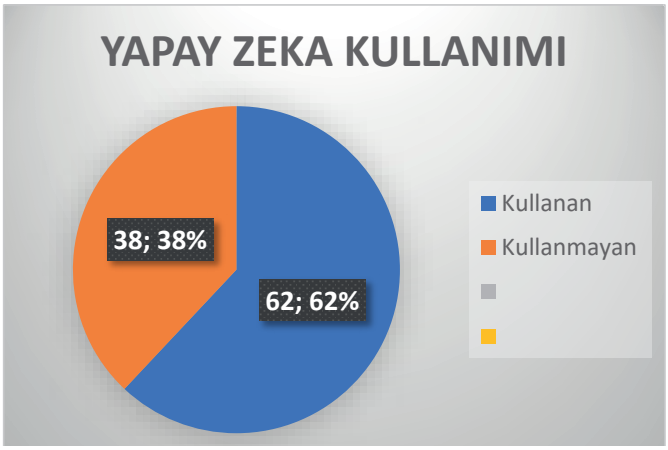
Şirketler için: AI yatırımları artık "opsiyonel" değil, rekabet için kritik.

Çalışanlar için: AI becerileri ciddi değer kazanıyor.

Girişimler için: Özellikle 2025–2030 arası "altın dönem" olabilir

Güncel veriler, yapay zekâ ve dijital teknolojilerin hem iletişim pratiklerini hem de toplumsal ilişkileri nicel olarak dönüştürdüğünü açıkça göstermektedir. 2024–2025 küresel raporlarına dayanmaktadır. Bu veriler, dijital teknolojilerin yalnızca kullanım düzeyinde değil, sosyal ilişkilerin niteliğinde de belirgin bir dönüşüm yarattığını görülmektedir. Bu çalışma, yapay zekânın yalnızca teknolojik değil, sosyolojik bir dönüşüm olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Dünya genelinde yapay zekâ kullanım oranları.



Veriler çeşitli küresel yapay zekâ kullanım raporlarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Çeşitli küresel raporlar, yapay zekâ kullanımının dünya genelinde hızla yaygınlaştığını göstermektedir.

Yapay zeka kullanım oranları ile ilgili verileri baktığımızda (ortalama veriler) ulaştığımız rakamlar şu an için kullanmayan oranın diğer verilere göre giderek azalacağı yönündedir. Yapay zekânın kaçınılmaz bir dönüşüm yarattığı ve yüzeyselleşme - otantiklik kaybı risklerinin yanısıra yeni iletişim biçimleri gibi fırsatlar sunduğu görülmektedir. Burada ortaya çıkan soru insan ilişkileri güçlenecek mi, zayıflayacak mı? Sorusudur.

Tablo 3. Türkiye'de Yapay Zeka Kullanım Verileri (2025 TÜİK Raporu)

Büyüklük grubuna göre yapay zeka teknolojisi kullanan girişimlerin oranı, 2021-2025
Proportion of the enterprises using artificial intelligence by size group, 2021-2025

(%)

Çalışan sayısına göre büyüklük grubu Size class breakdown	2021	2022	2023	2024	2025
Toplam-Total	**2,7**	**3,5**	**5,5**	**4,4**	**7,5**
10-49	2,3	2,8	4,9	3,5	6,6
50-249	3,6	5,5	6,5	6,7	9,6
250+	9,6	17,5	18,5	22,3	24,1

TÜİK, Yapay Zeka İstatistikleri, 2025
TurkStat, Artificial Intelligence Statistics, 2025
Kaynak: TÜİK, Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2021-2025
Source: TurkStat, Survey on Information and Communication Technology (ICT) Usage in Enterprises, 2021-2025

İşletmelerde Kullanım: Yapay zekâ teknolojisi kullanan girişimlerin oranı %7,5 seviyesine çıktı.

Kurumsal Düzeyde Kullanım: Kurumsal düzeyde YZ kullanımı 2021'de %14,5 iken, 2025 yılında %39,2'ye yükseldi.

Bireysel Kullanım: Türkiye'de her 5 kişiden 1'i (%19,2) üretken yapay zekâ kullanıyor.

Cinsiyet ve Yaş Dağılımı: Erkeklerde kullanım oranı %20,4 iken, kadınlarda %17,9'dur. 16-24 yaş grubunun yaklaşık %40'ı YZ'den yararlanırken, 25-34 yaş grubunda bu oran %30 civarındadır. Kullanım

Alanları (İşletmeler): Küçük işletmelerde YZ en çok satış-pazarlama (%48,3), Ar-Ge (%41,2) ve finans-muhasebe (%37,0) alanlarında kullanılıyor. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan "Yapay Zekâ İstatistikleri, 2025" bültenine göre, Türkiye'de üretken yapay zekâ kullanan bireylerin oranı %19,2 olarak belirlenmiştir. İşletmeler açısından değerlendirildiğinde ise yapay zekâ teknolojilerinden herhangi birini kullanan girişimlerin oranı 2021 yılında %2,7 iken 2025 yılında %7,5'e yükselmiştir. Yapay zekâ kullanımının özellikle büyük ölçekli işletmelerde ve bilgi-iletişim sektöründe daha yaygın olduğu görülmektedir. (TÜİK, 2025)

3.2. Sanayi Devrimi'nden Dijital Çağa: Kırılmalar ve Dönüşümler

Sanayi Devrimi ile başlayan modernleşme süreci, toplumsal yapıda köklü bir dönüşüm yaratmıştır. Karl Marx'ın ifadesiyle bu dönem, "katı olan her şeyin buharlaştığı" bir tarihsel kırılmaya işaret etmekte (Marx & Engels, 2002), üretim ilişkilerinin sanayi kapitalizmi etrafında yeniden örgütlenmesine yol açmaktadır. Bu dönüşüm sürecinde Max Weber'in "demir kafes" kavramsallaştırması, modern toplumun rasyonelleşme ve bürokratikleşme üzerinden giderek daha sistematik ve kontrol edilebilir bir yapıya büründüğünü ortaya koymaktadır. 20. yüzyıla gelindiğinde, teknolojik gelişmeler yalnızca üretim süreçlerini değil, iletişim biçimlerini de dönüştürmüştür. Marshall McLuhan'ın "araç mesajdır" yaklaşımı, teknolojinin nötr bir araç olmadığını; aksine toplumsal algıyı, düşünme biçimlerini ve kültürel yapıyı doğrudan şekillendiren bir unsur olduğunu vurgulamaktadır (McLuhan, 2003). Bu bağlamda iletişim teknolojileri, toplumun örgütlenme biçiminde yeni bir aşamaya geçişi mümkün kılmıştır. Dijital çağ ile birlikte Manuel Castells'in "ağ toplumu" kavramı, toplumsal yapının merkezi olarak bilgi akışını ve dijital ağları işaret etmektedir (Castells, 1996). Bu dönemde güç, fiziksel üretimden ziyade bilgiye erişim, veri akışı ve ağlar üzerindeki kontrol üzerinden tanımlanmaktadır. Yuval Noah Harari ise bu dönüşümü daha ileri bir aşamaya taşıyarak, verinin ve algoritmaların insan davranışlarını yönlendiren yeni bir güç yapısı oluşturduğunu vurgulamaktadır (Harari, 2015). Bu tarihsel süreklilik içerisinde yapay zekâ, sanayi toplumundan dijital topluma uzanan dönüşümün en ileri aşaması olarak değerlendirilmektedir. Çünkü yapay zekâ yalnızca bilgi üretimini değil, aynı zamanda karar verme süreçlerini ve bilişsel işlevleri de algoritmik sistemlere devrederek toplumsal yapıyı yeniden şekillendirmektedir.

4. İLETİŞİM PRATİKLERİNİN DÖNÜŞÜMÜ

Yapay zekâ destekli içerik üretimi yaygınlaşıyor. İletişimde hız ve verimlilik artıyor. Dil ve ifade standartlaşabiliyor. Özgünlük ve duygusal derinlik tartışmalı hale geliyor. Yapay zekâ, iletişimi sadece hızlandırmıyor, aynı zamanda yeniden şekillendiriyor. Artık mesajlar, metinler ve hatta duygusal ifadeler bile algoritmalar tarafından üretilebiliyor. Bu durum bir yandan iletişimi daha erişilebilir hale getirirken, diğer yandan dilin standartlaşmasına yol açabiliyor. Burada önemli bir tartışma ise; iletişim daha mı etkili oluyor, yoksa daha mı yüzeyselleşiyor? Çünkü yapay zekâ destekli metinler çoğu zaman "doğru" ama her zaman "özgün" olmayabiliyor. Bu durumu Erving Goffman'ın yaklaşımıyla düşünürsek, bireylerin iletişimde sergilediği performansın arka planı artık kısmen yapay sistemlere devrediliyor.

4.1. Goffman'ın Toplumsal Performans Kuramı Bağlamında Analiz

Erving Goffman'a göre toplumsal yaşam, bireylerin belirli roller üstlenerek başkaları üzerinde belirli izlenimler oluşturmaya çalıştığı bir "sahne"ye benzemektedir. Goffman'ın dramaturjik yaklaşımında bireyler, sosyal yaşam içerisinde kimliklerini performans yoluyla sunar. Bu bağlamda "ön sahne", bireyin toplum karşısında sergilediği kontrollü kimlik sunumunu ifade ederken; "arka sahne", bireyin daha doğal ve denetimsiz davranışlarını içerir (Goffman, 2021).

Yapay zekâ destekli dijital teknolojiler, bu performans süreçlerini önemli ölçüde dönüştürmektedir. Sosyal medya algoritmaları ve yapay zekâ tabanlı öneri sistemleri, hangi içeriklerin görünür olacağını belirleyerek bireylerin kendilerini sunma biçimlerini doğrudan etkilemektedir. Böylece bireyler, dijital ortamda daha fazla görünürlük elde edebilmek amacıyla kendilerini algoritmik beklentilere uygun biçimde sunmaya yönelmektedir.

Yapay zekâ yalnızca iletişim süreçlerini kolaylaştırmakla kalmamakta; aynı zamanda bireyin kimlik sunumunu düzenleyen aktif bir unsur hâline gelmektedir. Metin üretimi, görsel düzenleme, profil oluşturma ve içerik tasarımı gibi süreçlerde yapay zekâ desteğinin yaygınlaşması, bireyin performansını daha kontrollü ve optimize edilebilir bir yapıya dönüştürmektedir. Bu durum, bireyin dijital ortamda daha kusursuz ve düzenlenmiş bir kimlik sunmasına olanak tanırken, gerçek benlik ile sunulan benlik arasındaki mesafenin artmasına da neden olabilmektedir.

Dolayısıyla yapay zekâ, Goffman'ın dramaturjik yaklaşımını yeni bir boyuta taşımaktadır. Kimlik sunumu artık yalnızca bireysel bir performans değil; insan ve algoritma arasındaki ortak üretim sürecine dönüşmektedir. Bu süreç, bireyin görünürlüğünü artırırken, aynı zamanda otantiklik ve kimlik gerilimi gibi yeni toplumsal sorunları da gündeme getirmektedir.

5. TOPLUMSAL BAĞLANMANIN YENİDEN İNŞASI

Sosyal ihtiyaçlar yapay sistemlerle karşılanabiliyor. İnsan–insan etkileşimi azalabilir. Dijital ve yapay ilişkiler artıyor. Yüzeyselleşme riski ortaya çıkıyor. Dijital teknolojiler ve yapay zekâ destekli sistemlerin yaygınlaşması, toplumsal bağların niteliğini dönüştürmektedir. Sherry Turkle'a göre bu süreç, bireylerin sürekli bağlantı halinde olmasına rağmen duygusal anlamda daha yalnız hale gelmesine yol açmaktadır (Turkle, 2011). Benzer şekilde Robert Putnam, modern toplumlarda sosyal sermayenin giderek zayıfladığını ve yüz yüze ilişkilerin azaldığını vurgulamaktadır (Putnam, 2000). Barry Wellman ise bu dönüşümü "ağ bireyciliği" olarak tanımlayarak, toplumsal bağların artık grup temelli değil, bireysel ve parçalı ağlar üzerinden kurulduğunu belirtir (Wellman, 2001).

5.1. İnsan ve Yapay Sistemler Arasındaki İlişkiler

Yapay zekâ destekli sistemlerin yaygınlaşması, toplumsal bağlanma biçimlerini dönüştürerek bireyler arasındaki etkileşim alanına yeni bir boyut eklemiştir. Bu süreçte bireyler yalnızca insanlarla değil, sohbet botları, sanal asistanlar ve yapay etkileşim sistemleriyle de iletişim kurabilmektedir. Bu durum, toplumsal ilişkilerin niteliğine ilişkin temel bir soruyu gündeme getirir: Yapay sistemlerle kurulan bu etkileşimler gerçek bir toplumsal bağlanma mı üretmektedir, yoksa yalnızca işlevsel bir etkileşim simülasyonu mu oluşturmaktadır? Émile Durkheim'ın toplumsal dayanışma yaklaşımı açısından değerlendirildiğinde, bu ilişkilerin karşılıklılık ve ortak bilinç temelli klasik toplumsal bağlardan ayrıştığı görülmektedir. Yapay sistemlerle kurulan etkileşimler daha çok bireysel ihtiyaçların karşılanmasına yönelik, işlevsel ve tek yönlü bir nitelik taşımaktadır. Bu nedenle bu ilişkiler, geleneksel dayanışma biçimlerinden farklı olarak, duygusal derinlikten ziyade operasyonel bir etkileşim yapısı üretmektedir. Bu bağlamda yapay zekâ, toplumsal bağlanmayı ortadan kaldırmaktan ziyade yeniden yapılandırmakta; ancak bu yeniden yapılanma süreci ilişkilerin yoğunluğunu azaltarak daha yüzeysel etkileşim biçimlerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır.

5.2. Toplumsal Dayanışma ve Yüzeyselleşme Riski

Yapay zekâ destekli dijital sistemlerin yaygınlaşması, toplumsal ilişkilerin niteliğinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Özellikle bireylerin sosyal ihtiyaçlarını dijital platformlar ve yapay sistemler aracılığıyla karşılamaya başlaması, insan ilişkilerinin yapısını yeniden şekillendirmektedir. Bu süreç, iletişim ağlarının genişlemesini sağlasa da ilişkilerin derinliği ve sürekliliği açısından bazı riskleri beraberinde getirmektedir. Émile Durkheim'ın toplumsal dayanışma yaklaşımı çerçevesinde değerlendirildiğinde, toplumsal düzenin temelinde bireyler arasındaki karşılıklılık, ortak bilinç ve aidiyet duygusu yer almaktadır. Ancak yapay zekâ ile kurulan ilişkiler çoğunlukla tek yönlü, işlevsel ve simülatif bir karakter taşımaktadır. Bu nedenle söz konusu ilişkiler, geleneksel anlamda toplumsal dayanışma üretmekten ziyade bireysel ihtiyaçların geçici olarak karşılanmasına dayalı yeni bir bağımlılık biçimi oluşturabilmektedir. Bu durum, toplumsal ilişkilerin giderek daha yüzeysel hale gelmesi riskini ortaya çıkarmaktadır. Dijital ortamda kurulan hızlı ve geçici bağlar, bireyler arasında güçlü sosyal ilişkiler geliştirilmesini zorlaştırabilmektedir. Özellikle yapay

zekâ destekli iletişim sistemleri, bireyin yalnızlık hissini kısa süreli olarak azaltabilse de uzun vadede gerçek sosyal etkileşimin yerini tam anlamıyla dolduramamaktadır. Bununla birlikte yapay zekâ destekli sistemler, bireyin kendisini sürekli görünür kılmasına ve performansını düzenlemesine olanak tanımaktadır. Bu süreçte bireyler, daha kontrollü ve kusursuz kimlik sunumları oluşturmaya yönelmekte; böylece gerçek benlik ile dijital ortamda sunulan benlik arasındaki fark büyüyebilmektedir. Sonuç olarak yapay zekâ, toplumsal ilişkilerde hem yeni iletişim olanakları üretmekte hem de otantiklik kaybı, kimlik gerilimi ve yüzeyselleşme gibi sorunları beraberinde getirmektedir.

6. KİMLİK İNŞASI SÜREÇLERİ

Kimlik dijital ortamda yeniden üretilen dinamik bir yapıya dönüşmektedir. Yapay zekâ, benlik sunumunu doğrudan etkileyerek "gerçek benlik" ile "sunulan benlik" arasındaki ayrımı giderek bulanıklaştırmaktadır. Bu süreçte kimlik artık sabit bir öz olmaktan ziyade, sürekli yeniden kurulan ve performatif olarak inşa edilen bir yapıya dönüşmektedir. Yapay zekâ, bireylerin kendilerini ifade etme biçimlerine doğrudan müdahil olmakta; içerik üretimi, görsel düzenleme ve metin oluşturma süreçlerinde bireyin yerini kısmen devralabilmektedir. Bu durum, sunulan kimliğin bireye mi yoksa algoritmik sistemlerin yönlendirmesine mi ait olduğu sorusunu gündeme getirmektedir. Anthony Giddens'ın "refleksif kimlik" kavramı bu bağlamda önem kazanmaktadır; çünkü birey kimliğini sürekli olarak yeniden değerlendirirken, yapay zekâ bu sürecin teknik ve yapısal bir bileşeni haline gelmektedir. Manuel Castells'in "ağ toplumu" yaklaşımına göre ise dijitalleşme, kimliği sabit bir yapı olmaktan çıkararak ağlar üzerinden sürekli yeniden üretilen parçalı bir forma dönüştürmektedir. Kimlik üzerine yapılan klasik sosyolojik açıklamalar da bu dönüşümü desteklemektedir. Stuart Hall kimliği "sürekli oluş halinde bir süreç" olarak tanımlarken, Erving Goffman bireylerin kimliği gündelik yaşamda bir performans olarak sunduğunu vurgular. Zygmunt Bauman ise "akışkan modernite" kavramıyla kimliğin kalıcı olmaktan çıkıp değişken ve geçici bir yapıya büründüğünü ileri sürer. Bu yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde kimlik, toplumsal koşullar ve etkileşim ağları içinde sürekli yeniden üretilen bir süreç olarak anlaşılmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler, bireyin bu performatif kimlik inşa sürecini yalnızca desteklemekle kalmamakta, aynı zamanda yönlendirmektedir. Bu durum kimlik sunumunu daha kontrollü ve optimize edilebilir hale getirirken, gerçek benlik ile sunulan benlik arasındaki mesafenin artmasına da yol açabilmektedir. Böylece kimlik performansı bireysel olmaktan çıkarak insan ve algoritma etkileşiminin ortak ürünü haline gelmektedir. Öte yandan sosyal medya ortamları, kimliğin görünürlüğünü artırarak bu süreci hızlandırmaktadır. Bireyler dijital platformlarda profil, paylaşım ve etkileşimler aracılığıyla kimliklerini sürekli yeniden üretmektedir. Bu durum kimliği hem daha görünür hem de daha kırılgan hale getirmektedir. Sonuç olarak dijital çağda kimlik, sabit bir yapı olmaktan çıkarak sürekli performe edilen, yeniden kurulan ve teknolojik sistemlerle birlikte şekillenen dinamik bir süreç haline gelmiştir.

SONUÇ

Yapay zekâ teknolojileri, yalnızca teknik ve ekonomik alanlarda değil; aynı zamanda iletişim biçimleri, toplumsal bağlanma süreçleri ve kimlik inşası üzerinde de köklü dönüşümler yaratmaktadır. Bu çalışma, yapay zekânın bireysel ve toplumsal yaşam üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir sosyolojik çerçevede ele almıştır. Erving Goffman'ın dramaturjik yaklaşımı bağlamında değerlendirildiğinde, dijital ortamlarda bireyin kimlik sunumu giderek algoritmalar tarafından yönlendirilen ve optimize edilen bir performansa dönüşmektedir. Bu süreç, "ön sahne" ile "arka sahne" arasındaki ayrımın belirginliğini azaltarak kimlik sunumunu daha kontrollü ancak daha yapay bir yapıya dönüştürmektedir. Émile Durkheim'ın toplumsal dayanışma yaklaşımı açısından bakıldığında ise yapay zekâ destekli etkileşimlerin, geleneksel anlamda karşılıklılık ve derinlik içeren toplumsal bağlar üretmekten ziyade, işlevsel ve geçici ilişki biçimlerini yaygınlaştırdığı görülmektedir. Bu durum, sosyal ilişkilerin niteliğinde dönüşüme yol açarak bağların daha yüzeysel ve kısa süreli hale gelmesine zemin hazırlamaktadır. Kimlik inşası bağlamında ise Stuart Hall, Anthony Giddens ve Zygmunt Bauman'ın kuramsal yaklaşımları doğrultusunda kimliğin artık sabit bir yapı olmaktan çıkarak sürekli yeniden üretilen, esnek ve değişken bir sürece dönüştüğü görülmektedir.

Yapay zekâ ve sosyal medya teknolojileri bu süreci hızlandırarak bireyin kendisini ifade etme biçimlerini yeniden şekillendirmektedir. Bununla birlikte algoritmik sistemler ve yapay içerik üretim araçları, bireyin görünürlüğünü artırırken aynı zamanda "gerçek benlik" ile "sunulan benlik" arasındaki mesafenin genişlemesine neden olabilmektedir. Deepfake teknolojileri, yapay kimlikler ve veri temelli öneri sistemleri, gerçeklik algısının sınırlarını bulanıklaştırarak kimlikte belirsizlik alanları oluşturmaktadır.

Sonuç olarak yapay zekâ, toplumsal yaşamda hem fırsatlar hem de riskler barındıran çok katmanlı bir dönüşüm alanı yaratmaktadır. İletişim süreçlerini hızlandırması ve bilgiye erişimi kolaylaştırması önemli avantajlar sunarken; aynı zamanda sosyal ilişkilerde derinlik kaybı, kimlikte belirsizlik ve otantiklik tartışmaları gibi yeni toplumsal sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yapay zekânın etkilerinin yalnızca teknolojik boyutta değil, sosyolojik ve kültürel bağlamda da ele alınması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Andreu-Perez, J., Deligianni, F., Ravi, D., & Yang, G.-Z. (2018). Artificial intelligence and robotics: A review. *Frontiers in Robotics and AI, 5*, Article 1. https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00001

Bauman, Z. (2000). *Liquid modernity*. Polity Press.

Castells, M. (1996). *The rise of the network society*. Blackwell.

Durkheim, É. (1982). *The rules of sociological method*. Free Press.

Durkheim, É. (1986). *The division of labor in society*. Free Press.

Giddens, A. (1991). *Modernity and self-identity: Self and society in the late modern age*. Stanford University Press.

Goffman, E. (2021). *The presentation of self in everyday life*. Penguin. (Original work published 1959)

Hall, S. (2018). Cultural identity and diaspora. In J. Rutherford (Ed.), *Identity: Community, culture, difference* (pp. 222–237). Lawrence & Wishart.

Harari, Y. N. (2015). *Homo Deus: A brief history of tomorrow*. Harvill Secker.

Marx, K., & Engels, F. (2002). *The communist manifesto*. Penguin. (Original work published 1848)

McLuhan, M. (2003). *Understanding media: The extensions of man*. Gingko Press. (Original work published 1964)

Microsoft. (2025). *Global AI adoption report 2025*. https://www.microsoft.com

OECD. (2026). *AI use by individuals surges across the OECD*. https://www.oecd.org

Putnam, R. D. (2000). *Bowling alone: The collapse and revival of American community*. Simon & Schuster.

Reeves, B., & Nass, C. (1996). *The media equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places*. Cambridge University Press.

Russell, S., & Norvig, P. (2009). *Artificial intelligence: A modern approach* (3rd ed.). Pearson.

Thompson, K. (2004). *Émile Durkheim*. Routledge.

Turkle, S. (2011). *Alone together: Why we expect more from technology and less from each other*. Basic Books.

Turkle, S. (2015). *Reclaiming conversation: The power of talk in a digital age*. Penguin Press.

TÜİK. (2025). *Yapay zekâ istatistikleri*. https://www.tuik.gov.tr

Wellman, B. (2001). Physical place and cyberplace: The rise of personalized networking. *International Journal of Urban and Regional Research, 25*(2), 227–252.

https://doi.org/10.71284/asc.2026168

PRODUCTION AND CHARACTERISATION OF COCONUT SHELL-BASED BIOMASS BRIQUETTES AS AN ALTERNATIVE FUEL

Yap Tek Hong[1]
Nurul Khairunnisa Su[2]
Verawaty Ismail[3]
Choong Chee Guan[4]

Abstract

Using agricultural waste, such as coconut shells, to make briquettes offers a practical substitute for traditional fuels as Malaysia looks for sustainable energy options. This study examines the production and performance properties of biomass briquettes derived from coconut shells, which are an abundant agricultural by-product. The main goal of this study is to analyse the mechanical strength, combustion characteristics, and environmental impact of coconut shell briquettes. A hydraulic press was used for briquetting, along with carbonization and raw material preparation as part of the experimental method. The tests conducted include density test, grain fineness distribution, combustion test, and compression test to evaluate the physical and combustion properties of the briquettes. The use of starch as a binding agent in a predetermined ratio, a consistent drying process, and constant ambient humidity are important assumptions. According to the research, coconut shell briquettes are an efficient and eco-friendly fuel source with high calorific value and a lower carbon footprint compared to commercial wood charcoal. These findings suggest that briquettes made from coconut shells can serve as a sustainable alternative to conventional biomass fuels. Future research should focus on optimizing binder composition and exploring scalability for industrial applications. The adoption of these renewable fuels could support waste management and green energy initiatives in Malaysia.

Keywords: Agricultural waste, sustainable, coconut shell, energy, renewable.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, yap@ptss.edu.my

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, khairunnisa.su@ptss.edu.my

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, verawaty@ptss.edu.my

[4]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, dr.choong@ptss.edu.my

INTRODUCTION

Coconut shells are frequently seen as agricultural trash even though they can be reused. In Malaysia, agricultural waste disposal in landfills was more than 1.2 million tonnes per year. By 2015, the expected amount of solid waste discharged in landfills was 2.843 million tonnes, or 7,986.47 tonnes per day. Approximately 80,000 tonnes of coconut waste are thrown annually, accounting for 6.7% of total agricultural waste (Rosli & Jumali, 2022). Uncontrolled dumping and open burning are improper disposal techniques that pollute the environment. Particulate matter (PM2.5) and carbon monoxide (CO), two dangerous pollutants released by open burning, deteriorate air quality and increase the risk of respiratory illnesses in the surrounding population (Department of Environment Malaysia, 2021). Furthermore, methane emissions from the buildup of these agricultural leftovers in landfills exacerbate climate change. Coconut husk and shells are considered promising biomass fuels and reliable sources of charcoal due to their continuous year-round availability as a permanent crop (Yerima & Grema, 2018).

Researchers and policy makers are looking at creative ways to use agricultural wastes because of growing concerns about waste management and environmental sustainability. Making biomass briquettes, a compressed biofuel from organic waste, is one promising strategy. Because of their excellent energy efficiency, affordability, and environmental advantages, biomass briquettes have gained widespread recognition. Biomass briquettes are a good substitute for fossil fuels since they produce fewer emissions and have a better calorific value than conventional firewood or charcoal (Sulaiman et al., 2020).

In the study by Sabo et al. (2020), biomass briquettes were produced from coconut shells and corncobs, exploring their combustion performance using binders like starch and Gum Arabic. Results indicated that coconut shell briquettes outperformed corncob briquettes in heat generation and combustion efficiency. Specifically, coconut briquettes required less time to boil water, produced a higher calorific value of 24.04 kcal/kg when bonded with Gum Arabic, and demonstrated superior water resistance. Conversely, corncob briquettes had a higher ash content, greater volatile matter at 19.30% (starch) and 13.33% (Gum Arabic), and a moisture content of 24.24%, which negatively impacted their combustion efficiency. Ultimately, the findings suggest that coconut shell briquettes, especially with Gum Arabic, are a more effective solid fuel compared to their corncob counterparts, due to their enhanced thermal properties and lower combustion inefficiencies.

Dalimunthe et al. (2020) demonstrate that converting coconut and peanut shell waste into biomass briquettes offers a sustainable alternative fuel, as evidenced by acceptable emission levels, reduced ignition time, and improved combustion efficiency through the incorporation of biomass materials.. The research highlights the urgent need for alternative energy sources in light of dwindling petroleum supplies. It began with a literature review to assess the advantages and manufacturing processes of biomass briquettes. Key tests performed included heat, water content, ash content, and volatile matter assessments. Results indicated that emissions of natural gas were within acceptable limits, with CO at 0-30 ppm, H2S at 0-3.6 ppm, and undetectable NOx levels. Notably, introducing 30% biomass reduced ignition time and decreased unburned briquettes or bottom ash by 68.68%. The study's findings are significant for communities and stakeholders involved in bio briquette technology, offering a viable solution to the challenges posed by reliance on petroleum-based fuels.

The study by Rahman et al. (2023) investigates the production of briquette charcoal from coconut and palm shells as a renewable energy source in response to rising environmental concerns related to fossil fuel usage. It emphasizes biomass, particularly from agricultural waste, as a sustainable and economically viable energy solution. The primary objectives include assessing the combustion and mechanical properties of coconut shell-derived briquette charcoal to evaluate its suitability as a fossil fuel substitute. The research ensures compliance with ASTM standards and reports critical characteristics, including a burning duration of 360 minutes at 788 °C, an ignition duration of 40 seconds, a calorific value of 4787 kcal/kg, and low ash

(3.48%) and moisture (9.32%) content. Notably, the addition of an organic binder, comprising cassava starch and water, improves the briquette's physical and combustion properties. Ultimately, this study highlights the potential of coconut shells as an eco-friendly alternative to traditional fossil fuels, contributing to environmental sustainability.

To address the increasing accumulation of coconut waste in landfills due to rising consumption and improper disposal practices, this study aims to assess the economic and technological viability of converting coconut shells into biomass briquettes. This involves evaluating the briquettes' potential as a sustainable substitute for fossil fuels by looking at their energy efficiency, combustion characteristics, and environmental impact. To address waste management, air pollution, and energy security concerns and support Malaysia's shift to a low-carbon, circular economy, the project also intends to investigate the economic feasibility of biomass briquettes for small-scale companies and rural communities.

Thus, this project was conducted to:

(i) To design and fabricate a drum kiln for the carbonization of coconut shells;

(ii) To fabricate briquettes by recycling coconut shells; and

(iii) To promote and characterize the properties of coconut shells briquettes as an alternative to traditional charcoal and firewood.

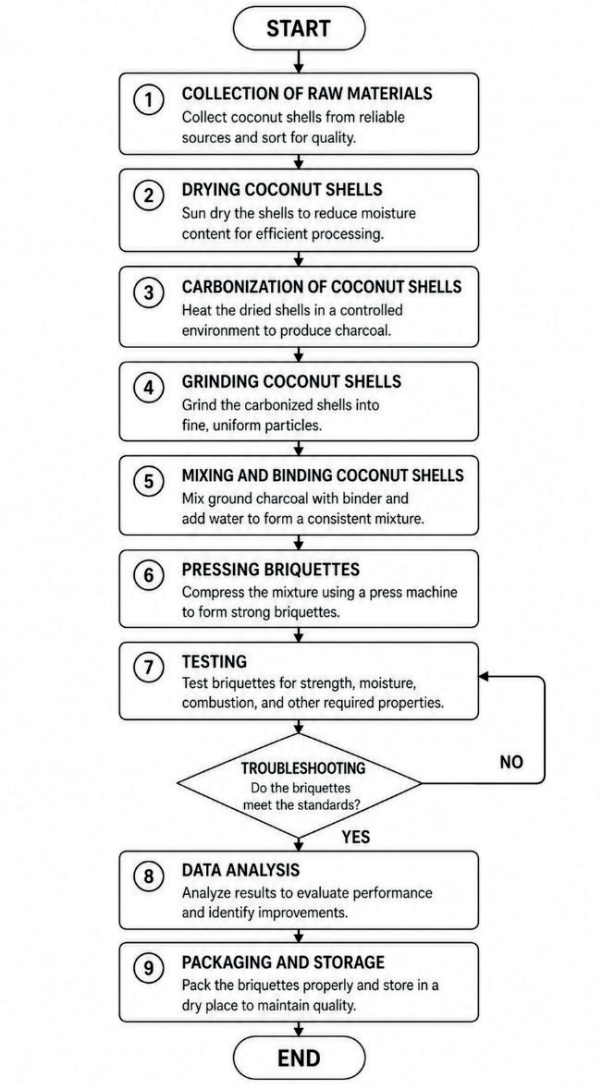
1. METHODOLOGY

Coconut shells were selected as the raw material because they are readily available as agricultural waste and have the potential to be a carbon-rich feedstock. The preparation of the raw material, carbonisation, crushing, binder preparation, mixing, briquetting, drying, and storing were some of the crucial steps in the process. Every step was meticulously planned to guarantee the creation of briquettes with a high calorific value, low moisture content, and superior mechanical strength.

The use of cassava starch and bentonite clay as binders aimed to enhance the briquettes' durability and bonding strength while promoting environmental sustainability by avoiding synthetic adhesives. The process is also practical and repeatable in rural areas since it uses low-cost, simple methods and equipment suitable for community-based or small-scale briquette production.

The flowchart for the design of the experiment, as in Figure 1, shows the steps used to complete this project from the start until the end.

Figure 1. Design and Development Flowchart



The following subsections list the specific steps for each stage as well as the tools and equipment needed for the fabrication process. as shown in Figure 2. A drum kiln was first fabricated to serve as the carbonization unit for converting coconut shells into charcoal. The kiln was designed from a used steel drum, fitted with air vents, an exhaust outlet, and a top cover to control the carbonization process. The kiln was tested and confirmed to operate efficiently, capable of maintaining sufficient heat for long-duration burning.

Figure 2 shows the fabricated drum kiln used for carbonizing the coconut shells with the following specifications:-

(i) The kiln has a 580 mm diameter and 1139 mm total height, with a 500 mm upper cover section.

(ii) It includes a fuel inlet pipe at the bottom for controlled burning, where diesel is poured to maintain continuous combustion.

(iii) The top cover is removable and sealed with mud during operation to prevent air leakage and ensure controlled pyrolysis.

(iv) The overall design promotes efficient heat retention and uniform carbonization of the coconut shells, converting raw shells into high-quality charcoal within approximately 8 hours.

Figure 2. Design of Drum Kiln



1.1. The Design and Development of Briquettes

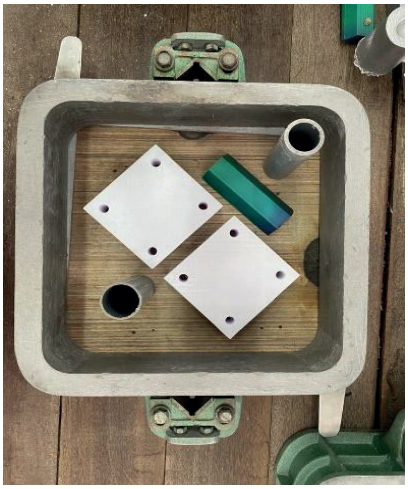
The preparation of materials for the coconut shell briquette project involved several key stages, beginning with the collection of raw materials, followed by the fabrication of the drum kiln, mould, and plunger, and then the carbonization, crushing, mixing, pressing, and curing of the briquettes. The main raw material used in this project was coconut shells, collected from local sources such as household and small industrial waste. Additional materials included cassava starch and bentonite clay, which were used as natural binders. All materials were cleaned and dried to remove any moisture or impurities before use. These raw materials were chosen for their availability, low cost, and eco-friendly nature, aligning with the project's goal to create sustainable biomass fuel.

Figure 3. Coconut Shells.



A briquette mould and plunger were fabricated using the sand-casting method. The mould was designed in a solid hexagonal shape (no hollow) to produce compact, dense briquettes with high structural strength. The plunger was designed to fit precisely into the mould cavity, ensuring even pressure distribution during compaction. This design helped prevent cracks and deformation during pressing and drying.

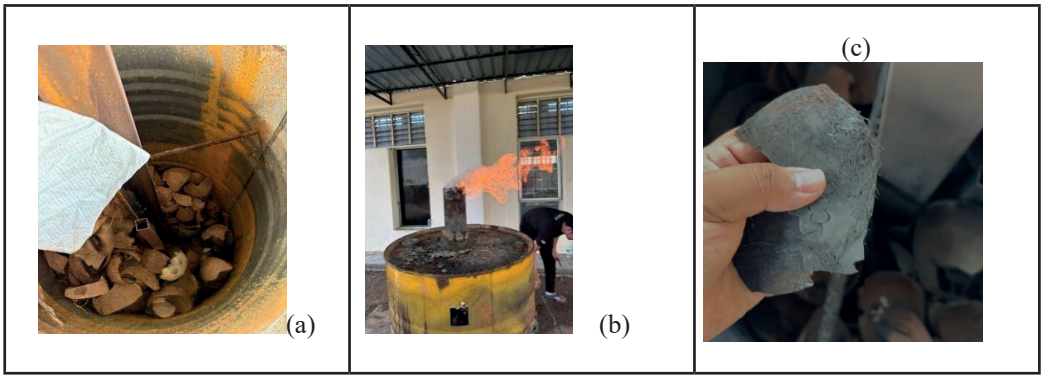
Figure 4. Briquette Mould And Plunger



A total of 30 kg of clean and dry coconut shells were loaded into the fabricated drum kiln. After filling, the lid was secured tightly, and all openings or gaps were sealed using mud collected from a paddy field to ensure minimal air entry during the carbonization process. To maintain continuous heating, diesel oil was poured into the container at the bottom of the kiln, providing a steady fuel source throughout the burning period. The carbonization process was carried out for approximately 8 hours, during which the coconut shells were slowly pyrolyzed under limited oxygen conditions. After the process was completed, the kiln was left to cool down naturally before removing the charcoal.

Figure 5. Carbonization Process

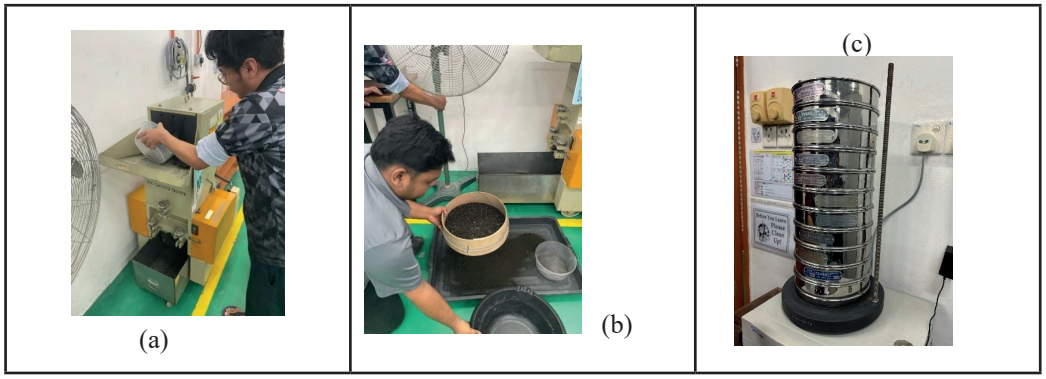
Preparing of Briquttes Sampling (a) Dry Coconut Sheel, (b) Burning Process and (c) carbonized coconut shells



After cooling, the carbonized coconut shells were crushed using an electric blender to break them into fine powder. The unburned or uncarbonized shells were discarded to ensure consistent material quality. A grain fineness test was then performed using a 100 g sample of dry, charred coconut shell powder. The sample was placed in a sieve shaker machine equipped with various mesh sizes to separate the particles according to size distribution.

Figure 6. Carbunized Coconut Shell Powder

Preparing of shell powder (a) Crushing Process, (b) Sieving Process and (c) Grain Fineness Test

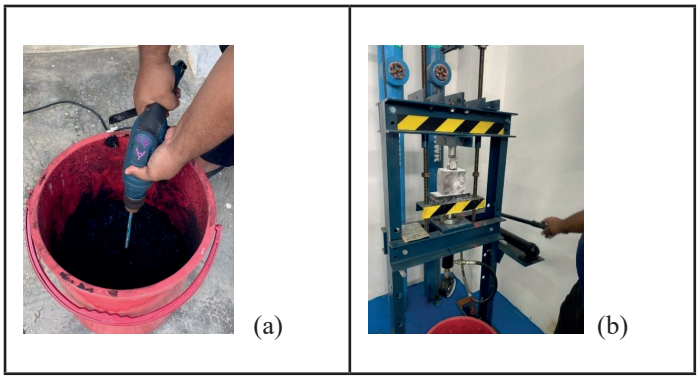


The sieving process allowed the determination of the particle fineness and uniformity, which are critical for achieving high density and good mechanical strength in the final briquettes. Only the finest fraction (around 1 mm size) was selected for the mixing and pressing process, ensuring strong interparticle bonding during compaction. The binder used in this experiment consisted of tapioca starch and bentonite clay, serving as natural binding agents to enhance the mechanical strength of the briquettes.

After achieving a uniform mixture of charred coconut shell powder and binders, the mixture was prepared for the briquette-forming process. Approximately 80 g of the prepared mixture was weighed accurately for each briquette to ensure consistency in size and mass across all samples. The weighed mixture was then placed into the solid hexagonal mould, which had been previously fabricated using the sand-casting method. The mould was designed without a hollow centre to produce dense, solid briquettes with enhanced mechanical strength. After pressing, the briquettes were carefully ejected from the mould and placed on a tray for drying. Each briquette was inspected visually to ensure there were no cracks, deformities, or uneven surfaces, confirming good compaction and binder performance.

Figure 7. Briquettes Preparation

Preparing of Briquettes (a) Mixing Process, and (b) Compression Process



The pressed briquettes were first sun-dried for about 1 hour to remove surface moisture. They were then placed in an oven at 60°C for 2 hours to achieve stable drying. After oven drying, the briquettes were left at room temperature for 24 hours for curing, ensuring complete hardening and moisture stabilization before testing as shown in Figure 8.

Figure 8. Examples of Dried Briquettes



2. RESULTS AND DISCUSSION

The experiment aimed to evaluate the quality and performance of coconut shell briquettes produced using cassava starch and bentonite clay as natural binders in a 1:1 ratio. An 80 g briquette weight was tested to evaluate its density, combustion behaviour, and mechanical strength. All samples were compacted using a hydraulic press operating at 3.5 bar pressure to ensure uniform compaction and shape.

2.1. Grain Fineness Distribution

A 100 g sample of dried, charred coconut shell powder was weighed and placed on the top sieve of a nest of ISO standard sieves mounted on a vibrator. The sieving process was performed for a fixed period to ensure uniform particle separation according to mesh size. After sieving, the weight of the sample retained on each sieve was measured. The percentage retained on each sieve was calculated using:

Percentage Retained (%) = (Weight Retained (g)/Total Sample Weight (g)) × 100 Eq 2

Table 2: Grain Fineness Distribution

Sieve Size (mm)	% Retained	Cumulative % Retained
4.00	3%	3%
2.80	2%	5%
2.00	30%	35%
1.40	16%	51%
1.00	15%	66%
0.50	28%	94%
0.212	5%	99%
0.125	1%	100%
0.075	0%	100%
0.038	0%	100%
Pan	0%	100%

The sieve analysis was performed using a 100 g sample of charred coconut shell powder to determine its particle size distribution before mixing with binders:-

(i) The highest material retention occurred at 2.00 mm (30%) and 0.50 mm (28%), indicating that most particles were in the medium to fine range.

(ii) Smaller proportions (15–16%) were retained between 1.00 mm and 1.40 mm, representing moderately coarse particles.

(iii) Only 6% of the material passed through the 0.50 mm sieve and was retained at 0.212 mm and

(iv) 0.125 mm, showing a limited amount of very fine particles.

(v) The minimal fine residue indicates that the crushing process using the electric blender was effective in producing uniformly sized charcoal particles.

This particle distribution is ideal for briquette fabrication because it promotes strong bonding between particles and the tapioca–bentonite binder mixture.

2.2. Density Test

The mass of an item per unit volume is a fundamental property of matter known as density. If two items have the same volume but different densities, the object with the greater density will weigh more than the similarly shaped object with the lower density. Knowing the density of an object can help you figure out the composition of a sample of unknown material.

Density (p) = Mass (m) / Volume (V) Eq 1

Table 1. Density Test

Sample	Final Weight (g)	Volume (cm^3)	Density (g/cm^3)
1	62	59.19	1.05
2	60	59.19	1.01
3	58	59.19	0.98
4	60	59.19	1.01
Average	—	—	1.01

The density of the four briquette samples ranged between 0.98 g/cm^3 and 1.05 g/cm^3, with an average density of 1.01 g/cm^3. This indicates that the briquettes produced are compact and well-pressed, showing consistent results across all samples. The small variation between samples is likely due to slight differences in moisture retention and binder distribution during the mixing and curing processes.

2.3. Combustion Test

A single pressed briquette (80 g) was used for the combustion test. The briquette was ignited using a small flame, and the ignition time, burning duration, and temperature were recorded. Temperature readings were measured at intervals using a handheld infrared temperature gun (non-contact type). The test continued until the briquette burned completely and extinguished naturally.

Table 3. Combustion Test

Parameter	Observation
Sample Mass	80 g
Ignition Time	40 seconds
Burning Duration	120 minutes (2 hours)
Maximum Temperature	450°C
Minimum Temperature	87°C
Smoke Emission	Low
Ash Content	Approximately 5.0%

The fabricated briquette demonstrated strong combustion capability, maintaining a steady burn for approximately 2 hours before self-extinguishing. The maximum temperature of 450°C indicates that the briquette was capable of generating sufficient heat for domestic cooking or small-scale heating applications. The lowest temperature recorded (87°C) occurred near the end of the combustion period, when the briquette had mostly turned to ash and residual embers. The temperature variation from 450°C to 87°C shows that the briquette burned gradually and consistently, releasing energy over a long duration instead of rapid, unstable burning. This stable combustion behaviour was likely due to:

(i) The high density (1.35 g/cm³) slowed the rate of oxidation.

(ii) The fine particle distribution improves uniform burning.

(iii) The binder combination (cassava starch + bentonite clay) held the structure firmly and allowed even heat release.

The low smoke emission and moderate ash content (≈5%) confirm clean combustion efficiency, indicating nearly complete oxidation of carbon. Overall, the briquette exhibited excellent thermal performance, steady flame temperature, and clean burning characteristics, proving its potential as a renewable biofuel source for household and light industrial applications.

2.4. Compression Test

Compression-testing machines are a particular kind of universal testing machine (UTM) designed to determine the strength and deformation behaviour of materials under compression. The equipment in the picture below is a Testronz 100kN Servotec Fully Automatic variant that can precisely apply compressive force to test specimens like cement blocks or concrete. It is possible to forecast how a material will act when utilized for its intended purpose by measuring the force applied to a specimen until a particular weight or distance is reached or until the specimen cracks or breaks. When measuring the strength and load-bearing ability of building materials, this equipment is important.

Table 4. Compression Test

Sample	Mass (g)	Force at Failure (kN)	Compressive Strength (MPa)
1	80	1.056	0.622
2	80	1.344	0.794
3	80	0.442	0.266
4	80	0.784	0.538
Average	—	—	0.550

A compression test was conducted on four briquette samples of equal mass (80 g) to determine their mechanical strength and durability under load. The results show that the compressive strength values range between 0.266 MPa and 0.794 MPa, with an average of approximately 0.55 MPa.

(i) The variation in compressive strength among the samples can be attributed to:

(ii) Minor inconsistencies in binder distribution during mixing,

(iii) Differences in particle size packing,

(iv) And slight irregularities in compaction during pressing at 3.5 bar.

A compressive strength in this range indicates that the briquettes are mechanically stable enough for handling, transport, and stacking without significant breakage. Although higher strength could further improve durability, excessive compression may reduce porosity and negatively affect combustion efficiency.

CONCLUSION

Overall, the experimental findings prove that coconut shell briquettes produced using tapioca starch and bentonite clay (1:1) as natural binders have good density, clean combustion properties, and sufficient mechanical strength. The combination of fine charcoal particles and balanced binder ratio ensured strong adhesion, longer burning duration, and minimal smoke emission. These characteristics make the fabricated briquettes a sustainable and eco-friendly alternative fuel, supporting Malaysia's efforts toward renewable energy development and waste biomass utilization.

The overall performance analysis of the fabricated coconut shell briquettes demonstrates that the product possesses good physical, thermal, and mechanical characteristics suitable for use as an alternative solid fuel source. From the density test, the average value of 1.02 g/cm³ indicates a highly compact structure achieved through uniform pressure during molding at 3.5 bar. The consistent volume and minimal weight loss after drying and curing confirm that moisture was effectively removed, which enhances combustion efficiency and prevents excessive smoke production.

The grain fineness distribution revealed that most particles were retained at the 1.00 mm sieve size, representing fine to medium-sized particles. This distribution ensured strong bonding between the charcoal powder and the binder mixture of cassava starch and bentonite clay. The fine particles filled the void spaces between larger particles, resulting in a denser and more cohesive briquette.

During the combustion test, the briquettes burned steadily for approximately two hours, reaching a maximum temperature of 450°C. This indicates efficient carbonization and good air circulation within the briquette. The combustion process produced minimal smoke and ash, confirming that the binder and raw material combination supported clean and complete burning.

The compression test results showed compressive strengths ranging between 0.266 MPa and 0.794 MPa, with an average of 0.55 MPa. This demonstrates that the briquettes have sufficient mechanical strength for handling, transport, and storage without disintegration.

Overall, the coconut shell briquettes exhibit balanced performance combining high density, efficient combustion, and acceptable strength. These characteristics prove that the briquettes are viable, eco-friendly, and cost-effective for household and small industrial fuel applications in Malaysia's green energy efforts (EN 1860-2:2005).

Table 5: Overall Performance Summary

Test Type	Parameter / Observation	Results	Remarks / Discussion
Density Test	Sample Mass After Drying & Curing (g)	62, 60, 58, 60	Samples lost moisture after drying and curing, indicating effective water removal.
	Volume (cm^3)	59.19	Constant for all samples (Hexagonal-solid briquette).
	Average Density (g/cm^3)	1.02	High density improves heat retention and burning duration.
Grain Fineness Distribution	Major Retained Fraction	1.00 mm (15 g, 40%)	Most particles are fine-medium size, ensuring good binder mixing and compact structure.
	Range	0.125–4.00 mm	A wide size range improves particle interlocking and briquette strength.
Combustion Test	Ignition & Burning Duration	~2 hours total burn time	Long burn time due to dense structure and efficient binder ratio.
	Temperature Range	87°C – 450°C	High peak temperatures show good carbon content and clean combustion.
Compression Test	Force at Failure (kN)	0.442 – 1.344	Increasing force improved strength due to better compaction.
	Compressive Strength (MPa)	0.266 – 0.794 (avg. 0.55 MPa)	Sufficient for safe handling, storage, and transport.
Overall Evaluation	—	—	Briquettes exhibit good density, strong bonding, efficient combustion, and acceptable mechanical strength for practical use.

RECOMMENDATIONS

The compressive strength of the produced briquettes ranged from 0.266 MPa to 0.794 MPa, which is below the typical benchmark value of ≥ 1 MPa, indicating that further optimisation is required to improve the mechanical strength of the briquettes.

Future research should investigate increasing the compaction pressure beyond the current pressing pressure of 3.5 bar, as higher compaction pressure may reduce internal voids, improve particle interlocking, and produce denser briquettes with better structural integrity. Different pressure levels such as 5 bar, 7.5 bar, and 10 bar are recommended for future studies to determine the optimum compaction pressure for maximising compressive strength.

In addition, the binder formulation should be further improved by exploring alternative binders such as gum Arabic, molasses, lignin-based binders, paper pulp, or higher starch-to-clay ratios. These alternative binders may enhance adhesion between coconut shell charcoal particles and improve briquette durability.

Particle size distribution should also be optimised by using finer and more uniform charcoal particles, as smaller particles can fill internal voids more effectively and strengthen bonding during compaction. Furthermore, extending the curing period to 48–72 hours may allow more complete hardening and moisture stabilisation before testing.

Overall, optimisation of compaction pressure, binder composition, particle size distribution, and curing duration is recommended to improve the compressive strength of coconut shell briquettes and help future samples achieve or exceed the 1 MPa benchmark.

REFERENCES

Dalimunthe, Y. K., Kasmungin, S., Sugiarto, E., Sugiarti, L., & Lagrama, A. (2021). Making briquettes from waste of coconut shell and peanut shell as alternative energy sources. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology, 4*(2), 196–209. https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v4i2.7417

Department of Environment Malaysia. (2021). *Annual report on air quality and pollution control*. Ministry of Environment and Water Malaysia.

European Committee for Standardization. (2005). *Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing—Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes—Requirements and test methods (EN 1860-2:2005)*.

Jabatan Kerja Raya Malaysia. (2005). *Standard specifications for building works* (2005 ed.).

Rahman, K. A., Leman, A. M., & John, F. I. T. (2023). The production of briquette charcoal from coconut shell and palm shell as a renewable energy source. *International Journal of Technical Vocational and Engineering (IJTVET), 4*(1).

Rosli, T. M., & Jumali, S. S. (2022). Mycoremediation of coconut shell (*Cocos nucifera*) with *Ganoderma lucidum*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1059*, 012025. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1059/1/012025

Sabo, M. N., Aji, M. M., Yaumi, A. L., & Mustafa, B. G. (2022). Preparation and characterization of biomass briquettes produced from coconut shell and corncobs. *Arid Zone Journal of Basic and Applied Research, 1*(1), 47–54.

Sulaiman, F., Abdullah, N., Gerhauser, H., & Shariff, A. (2020). An outlook of biomass briquettes in Malaysia: Production and sustainability potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 120*, Article 109109. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109109

Yerima, I., & Grema, M. Z. (2018). The potential of coconut shell as biofuel. *The Journal of Middle East and North Africa Sciences, 4*(8), 11–15.

https://doi.org/10.71284/asc.2026169

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PERFORMANCE MANAGEMENT SYSTEMS: A REVIEW OF EMERGING PRACTICES

Samra Subhani[1]
Masood Ahmad Khan[2]
Anisa Shamim[3]
Ghulam Jeelani[4]
Umair Rafiq[5]

Abstract

Artificial Intelligence is increasingly transforming Human Resource Management, particularly in the domain of performance management systems. Traditional performance appraisal methods have long been criticized for subjectivity, bias, inconsistency, and delayed feedback. In response, organizations are adopting Artificial Intelligence driven performance management systems that leverage machine learning, predictive analytics, and real-time data processing to improve evaluation accuracy and decision making. This review paper synthesizes existing literature on the emerging role of Artificial Intelligence in performance management systems, focusing on its applications, benefits, and challenges. The findings indicate that AI enhances objectivity, enables continuous performance monitoring, supports data driven feedback, and improves employee development planning. However, concerns related to algorithmic bias, data privacy, transparency, and employee trust remain significant barriers to successful implementation. The study concludes that while Artificial Intelligence offers substantial potential to modernize performance management, its effectiveness depends on ethical governance, human oversight, and organizational readiness. This review contributes to the growing literature by providing a structured understanding of Artificial Intelligence driven performance management practices and identifying key research gaps for future studies.

Keywords: Artificial intelligence, performance management, performance appraisal, HR analytics, machine learning, employee evaluation, HRM transformation.

[1] Assist. Prof. Dr., National Business School The University of Faisalabad, samrasubhani.nbs@tuf.edu.pk

[2]Lecturer, Business Administration University of Agriculture Faisalabad Constituent College Burewala, masoodahmadkhan60@yahoo.com

[3] Lecturer, Economics Department of Economics Government College University Faisalabad, Anisarizwan511@gmail.com

[4] Relationship Associate Corporate & Investment Banking Group, UBL, Ghulam.jeelani@ubl.com

[5] Lecturer, Agribusiness University of Agriculture Faisalabad Constituent College Burewala, mairrafiq096@gmail.com

INTRODUCTION

Performance management systems (PMS) are a critical component of Human Resource Management (HRM), responsible for evaluating employee performance, providing feedback, and supporting organizational decision-making regarding promotions, compensation, and training. Traditionally, performance appraisal systems have relied heavily on supervisor judgment, which has often led to subjectivity, inconsistency, and bias in evaluations. These limitations have created a growing need for more objective, data driven, and transparent performance evaluation mechanisms.

In recent years, Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative technology in HRM, significantly reshaping how organizations manage employee performance. AI refers to the simulation of human intelligence in machines that are capable of learning from data, identifying patterns, and making predictions (Russell & Norvig, 2021). Within performance management systems, AI technologies such as machine learning, predictive analytics, and natural language processing are being used to automate performance tracking, analyze employee behavior, and generate real time feedback.

The integration of AI into performance management has shifted organizations from traditional periodic evaluation systems to continuous performance monitoring models. Instead of relying solely on annual or semi-annual appraisals, AI enabled systems allow for ongoing data collection and analysis of employee performance indicators. This enables managers to provide timely feedback and make more informed decisions regarding employee development and organizational productivity (Davenport et al., 2020).

Furthermore, AI driven performance management systems are increasingly being adopted to reduce human bias in evaluation processes. By standardizing performance metrics and using data driven algorithms, AI has the potential to enhance fairness and consistency in employee assessments (Huang & Rust, 2021). However, the use of AI in HRM also raises concerns regarding transparency, ethical decision-making, and the risk of algorithmic bias embedded in training data.

Given these developments, it is essential to critically review existing literature to understand how AI is transforming performance management systems, what benefits it offers, and what challenges organizations face in its implementation. This paper therefore aims to provide a comprehensive review of emerging AI practices in performance management and identify key gaps for future research.

1. LITERATURE REVIEW

The application of Artificial Intelligence in performance management systems has gained increasing attention in recent HRM literature. Studies suggest that AI is reshaping performance evaluation by introducing automation, real-time analytics, and predictive capabilities into traditional appraisal processes (Jarek & Mazurek, 2019). AI enabled systems collect continuous employee performance data from multiple sources, including work outputs, digital interactions, and behavioral patterns, enabling organizations to generate more comprehensive performance insights.

A major development highlighted in the literature is the shift from periodic performance appraisals to continuous performance management. AI systems allow organizations to track employee performance in real time and provide immediate feedback, which enhances employee learning and productivity (Davenport et al., 2020). This continuous feedback loop is considered more effective than traditional annual reviews, as it allows for timely correction and development.

Another significant theme in the literature is the use of AI for performance evaluation objectivity. Traditional appraisal systems are often influenced by human biases such as recency bias, halo effect, and personal favoritism. AI-based systems aim to reduce these biases by relying on structured data and algorithmic decision-making models. Research suggests that AI can improve consistency in evaluations and enhance perceived fairness among employees (Huang & Rust, 2021). However, some studies caution that AI systems

may still inherit biases from historical data used in training algorithms, potentially reinforcing inequality rather than eliminating it.

AI is also widely used in predictive performance analytics. Machine learning models are capable of identifying patterns in employee behavior and predicting future performance outcomes. This allows organizations to proactively manage talent, identify high performers, and design targeted training programs. Predictive analytics also supports strategic HR decisions such as promotions, succession planning, and workforce optimization (Russell & Norvig, 2021).

Despite these advantages, literature highlights several challenges associated with AI in performance management systems. One of the major concerns is data privacy, as AI systems require extensive employee data collection, which raises ethical and legal issues. Employees may also perceive AI driven evaluations as impersonal or intrusive, leading to reduced trust in HR systems. Additionally, the lack of transparency in AI algorithms often referred to as the "black box problem" makes it difficult for employees and managers to understand how performance decisions are made (Martin & Murphy, 2017).

Recent studies also emphasize the importance of human oversight in AI based performance management. While AI can support decision-making, it cannot fully replace managerial judgment, particularly in evaluating qualitative aspects of performance such as creativity, teamwork, and leadership. Therefore, a hybrid approach combining AI analytics with human interpretation is recommended for effective performance management. Overall, the literature suggests that AI has significant potential to enhance performance management systems, but its success depends on ethical implementation, transparency, and organizational readiness.

2. RESEARCH METHODOLOGY

This study adopts a Systematic Literature Review (SLR) approach to examine the emerging role of Artificial Intelligence (AI) in Performance Management Systems (PMS). A systematic literature review is a structured and transparent method used to identify, evaluate, and synthesize existing research on a specific topic in a reproducible manner (Tranfield et al., 2003; Snyder, 2019). This approach is appropriate for the present study as it enables a comprehensive understanding of how AI is transforming performance management practices across organizations.

The research design is qualitative and secondary data based, relying on previously published academic studies, conference papers, and relevant industry reports. The objective is to synthesize existing knowledge rather than generate primary empirical data. This allows the study to identify patterns, themes, and gaps in the literature related to AI driven performance management systems. The literature search was conducted using major academic databases, including Google Scholar, Scopus, Web of Science, SpringerLink, and ScienceDirect. To ensure the quality and relevance of selected studies, specific inclusion and exclusion criteria were applied. The inclusion criteria consisted of peer-reviewed journal articles and conference papers published between 2015 and 2025, focusing on AI applications in performance management, HR analytics, or related HRM functions. Only studies written in English and those providing theoretical or empirical insights were included. Studies unrelated to AI, duplicate publications, and non-academic sources without scholarly rigor were excluded from the review.

The study selection process followed a multi-stage screening approach. In the first stage, titles and abstracts of retrieved articles were reviewed to assess relevance. In the second stage, full-text articles were examined to ensure alignment with the research objectives. After applying inclusion and exclusion criteria, a refined set of high-quality studies was selected for detailed analysis.

The selected literature was analyzed using a thematic analysis technique, which involves identifying, organizing, and interpreting recurring themes within the data (Braun & Clarke, 2006). The key themes identified in this study include: AI applications in performance evaluation, continuous performance

monitoring systems, predictive HR analytics, employee perception of AI systems, and ethical concerns such as bias, transparency, and data privacy. This thematic synthesis helped in comparing findings across studies and identifying research gaps in AI-based performance management. To ensure reliability and validity, only peer-reviewed and credible academic sources were included. A transparent and structured review process was followed to minimize selection bias. Additionally, findings from multiple studies were cross-verified to ensure consistency and strengthen the credibility of conclusions (Snyder, 2019).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The systematic review of existing literature reveals that Artificial Intelligence (AI) is significantly transforming Performance Management Systems (PMS) by shifting traditional evaluation practices toward more data driven, continuous, and objective approaches. Across the reviewed studies, AI technologies such as machine learning algorithms, predictive analytics, and natural language processing are consistently identified as key enablers of modern performance management practices (Davenport et al., 2020; Huang & Rust, 2021). These technologies allow organizations to collect and analyze real-time employee performance data, improving the accuracy and timeliness of performance evaluations.

One of the most prominent findings is the shift from traditional periodic performance appraisals to continuous performance management systems. The literature indicates that AI enables organizations to monitor employee performance continuously through digital tools and analytics dashboards. This real time feedback mechanism improves employee learning and development by allowing immediate corrective actions and ongoing performance improvement. Compared to annual or semi-annual appraisal systems, AI driven continuous performance management is considered more effective in enhancing productivity and engagement.

Another key result is that AI contributes to greater objectivity and consistency in performance evaluation. Traditional appraisal systems are often criticized for human biases such as halo effect, recency bias, and favoritism. AI based systems attempt to reduce these biases by relying on structured data and standardized evaluation metrics. Studies suggest that algorithm based assessments can enhance fairness and improve employee trust in evaluation systems when implemented transparently (Huang & Rust, 2021). However, the literature also notes that AI systems may still reflect hidden biases present in training data, meaning that complete elimination of bias is not guaranteed.

The review further highlights the growing use of predictive analytics in performance management. Machine learning models are increasingly being used to predict employee performance trends, identify high-potential employees, and detect early signs of underperformance. This predictive capability supports strategic HR decisions such as promotions, training needs identification, and succession planning. Organizations benefit from improved workforce planning and more efficient talent management processes as a result of these AI applications.

Another important finding relates to the enhancement of employee development and feedback mechanisms**.** AI driven systems provide personalized feedback based on continuous performance tracking. This enables organizations to design tailored training programs and development plans aligned with individual employee needs. As a result, AI contributes not only to evaluation but also to employee growth and skill enhancement, making performance management more development oriented rather than purely evaluative.

Despite these advantages, the literature identifies several challenges and limitations associated with AI adoption in performance management systems. One of the most critical concerns is data privacy and employee surveillance, as AI systems rely heavily on continuous monitoring of employee activities. This raises ethical questions regarding how much employee data should be collected and how it should be used. Employees may perceive AI based monitoring as intrusive, which can negatively affect trust and morale.

Another significant challenge is the issue of algorithmic transparency and explainability. Many AI systems operate as "black boxes," making it difficult for employees and managers to understand how performance scores or decisions are generated. This lack of transparency can lead to skepticism and resistance toward AI driven HR systems. Additionally, concerns about algorithmic bias remain prominent, as AI models trained on historical data may unintentionally reinforce existing inequalities in the workplace.

The discussion also highlights that successful implementation of AI in performance management depends heavily on organizational readiness and human AI collaboration. The literature consistently emphasizes that AI should not replace human judgment but rather support it. Managers still play a crucial role in interpreting qualitative aspects of performance such as creativity, teamwork, leadership, and emotional intelligence areas where AI has limited capability.

Overall, the results suggest that AI has strong potential to enhance Performance Management Systems by improving efficiency, accuracy, and fairness. However, its effectiveness is highly dependent on ethical implementation, transparency, employee acceptance, and proper integration with human managerial oversight. The findings align with global HRM literature, which views AI as a complementary tool rather than a complete replacement for human decision making in performance evaluation systems.

CONCLUSION

The systematic literature review concludes that Artificial Intelligence (AI) is playing a transformative role in reshaping Performance Management Systems (PMS) by shifting traditional appraisal methods toward more continuous, data-driven, and objective evaluation practices. The reviewed literature consistently demonstrates that AI enhances performance management through real-time monitoring, predictive analytics, and automated feedback systems, which collectively improve decision making accuracy, employee development, and organizational efficiency (Davenport et al., 2020; Huang & Rust, 2021).

The study also highlights that AI based performance management systems help reduce common biases associated with traditional appraisal methods, such as favoritism, recency effects, and subjectivity. By standardizing evaluation criteria and relying on data driven insights, AI contributes to greater consistency and fairness in employee assessments. Additionally, AI supports strategic human resource functions such as talent identification, succession planning, and personalized training and development.

However, despite these advantages, the review identifies several critical challenges that limit the full adoption of AI in performance management systems. These include concerns related to data privacy, algorithmic transparency, ethical implications, and potential bias in AI algorithms. Moreover, employee resistance and lack of trust in automated evaluation systems remain significant barriers to implementation. The literature also emphasizes that AI systems cannot fully replace human judgment, particularly in assessing qualitative aspects of performance such as creativity, leadership, and teamwork.

Overall, the findings suggest that AI should be viewed as a supportive tool rather than a replacement for human managers in performance evaluation processes. The most effective performance management systems are likely to emerge from a hybrid approach that combines AI driven analytics with human oversight and interpretation. Future research should focus on developing explainable AI models, improving ethical frameworks, and exploring employee perceptions of AI based performance evaluation systems to ensure sustainable and responsible adoption in HRM practices.

REFERENCES

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Chaffey, D., & Ellis-Chadwick, F. (2019). *Digital marketing: Strategy, implementation and practice* (7th ed.). Pearson.

Davenport, T. H., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing and human resource management. *Journal of the Academy of Marketing Science, 48*(1), 24–42. https://doi.org/10.1007/s11747-019-00696-0

Grewal, D., Hulland, J., Kopalle, P. K., & Karahanna, E. (2021). The future of technology and marketing: A multidisciplinary perspective. *Journal of the Academy of Marketing Science, 49*(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s11747-020-00765-1

Huang, M.-H., & Rust, R. T. (2021). Artificial intelligence in service and human resource systems. *Journal of Service Research, 24*(1), 3–19. https://doi.org/10.1177/1094670520902266

Jarek, K., & Mazurek, G. (2019). Marketing and artificial intelligence: Applications in management and HR analytics. *Central European Business Review, 8*(2), 46–55. https://doi.org/10.18267/j.cebr.213

Martin, K. D., & Murphy, P. E. (2017). The role of data privacy in marketing and HR analytics systems. *Journal of the Academy of Marketing Science, 45*(2), 135–155. https://doi.org/10.1007/s11747-016-0495-4

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management, 14*(3), 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

https://doi.org/10.71284/asc.2026170

AI-DRIVEN BUSINESS MODEL DISRUPTION: IS ANTHROPIC'S TRANSFORMATION A CONTEMPORARY FORM OF CREATIVE DESTRUCTION?

YAPAY ZEKA KAYNAKLI İŞ MODELİ YIKIMI: ANTHROPIC'İN DÖNÜŞÜMÜ YARATICI YIKIMIN ÇAĞDAŞ BİR BİÇİMİ Mİ?

Seda Güğerçin[1]

Abstract

This study examines how AI-driven business model disruption is reflected in professional and industry discourse. Employing a qualitative case study design, the research synthesizes diverse data sources, including corporate disclosures and international media coverage. The data were analyzed using qualitative content analysis, and the analysis was structured around five analytical dimensions: task substitution, role transformation, business model displacement, cross-industry absorption, and power shifts. The findings indicate that Anthropic is framed as transcending product-level competition and as reconfiguring both organizational and sectoral architectures. AI systems are portrayed as transforming not only task execution, but also role definitions and business model structures. This transformation is described as being accelerated by standardization mechanisms and infrastructural investments, which facilitate cross-sector expansion while shifting control dynamics toward platform-based ecosystems. Overall, while these patterns are consistent with the logic of Schumpeterian creative destruction, the findings suggest that AI-driven transformation is discursively constructed in ways consistent with business model disruption. It is shaped by the general-purpose nature of the technology and the scaling logic of platform-based ecosystems.

Keywords: Artificial intelligence, ai-driven business model disruption, creative destruction, platform ecosystems, anthropic.

[1]Asst. Prof., Iskenderun Technical University, seda.gugercin@iste.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8338-7903

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) has increasingly been framed as a transformative force across industries, primarily due to its capacity to enhance efficiency, automate processes, and improve decision-making quality (Issaa, 2024). However, the dominant perspective in the literature has largely remained confined to performance-related outcomes, such as productivity gains, cost reduction, and optimization (Ismanov et al.,2024, Yi & Ayangbah, 2024). While these contributions are significant, they offer a limited understanding of AI's broader impact on organizational and economic systems.

In contrast, recent developments in generative AI and agent-based systems suggest that AI may extend beyond incremental improvements and begin to reshape the underlying logic of business models (Davenport et al., 2020; Farayola et al., 2023; Iansiti & Lakhani, 2020). While this transformation resonates with Schumpeterian creative destruction (Uctu et al., 2024), AI-driven disruption appears to operate through a unique dynamic that combines substitution with the incorporation of activities and actors into platform-based ecosystems. To capture the manifestation of this transformation, how AI developments are interpreted and made sense of by market actors is also regarded as an important area of inquiry. In this context, the following research question emerges: How is AI-driven transformation framed within professional ecosystems through discursive mechanisms?

This study addresses this question by focusing on Anthropic as a focal case, specifically examining the market and discursive responses to a sequence of closely timed AI tools and workflow-based solutions introduced by Anthropic in early 2026. By analyzing the discourse generated in response to these developments, the study explores how AI-driven transformation is reflected and interpreted in real time through professional and industry discourse.

Adopting a qualitative case study design, the study employs qualitative content analysis to examine corporate disclosures and international media coverage. The analysis focuses on five emerging dimensions: task substitution, role transformation, business model displacement, cross-industry absorption, and power shifts. The findings suggest that AI adoption should be approached not only as a tool for efficiency, but as a strategic driver with implications for business models and competitive positioning.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

The conceptual framework of this study is built on three interrelated perspectives: general-purpose technologies, business model innovation, and platform-based ecosystems. Together, they provide a framework for understanding how AI-driven transformation unfolds at multiple levels. This integrated approach is consistent with broader discussions of technological change as a systemic and multi-level transformation process (Bresnahan & Trajtenberg, 1995). This framework is complemented by a socio-technical framing of AI-driven transformation, in which technological change is interpreted through organizational sensemaking and ecosystem-level narratives.

First, AI can be conceptualized as a general-purpose technology due to its wide applicability across sectors and its ability to generate complementary innovations. General-purpose technologies typically produce systemic effects, influencing not only individual firms but also entire industries (Bresnahan & Trajtenberg, 1995; Brynjolfsson et al., 2021). However, unlike earlier technologies, contemporary AI systems possess autonomous and adaptive capabilities, allowing them to actively participate in organizational processes. In this sense, AI exhibits core characteristics such as versatility, scalability, and the capacity to generate innovations, enabling rapid diffusion across domains and creating systemic transformation rather than localized change (Brynjolfsson et al., 2021; Eloundou et al., 2023).

Second, the study also draws on the literature on business model innovation, which emphasizes changes in the logic of value creation and capture. Business model disruption occurs when new technologies enable alternative configurations that challenge existing structures (Christensen et al., 2015; Teece, 2018). In the

context of AI, this disruption is not limited to new products or services but extends to the reorganization of entire value chains. AI-driven disruption differs from traditional technological change by combining substitution and integration. While some business models are displaced, others are reconfigured within broader technological systems, resulting in hybrid structures. Such dynamics can be interpreted within the broader logic of technological restructuring, where innovation simultaneously generates new value while rendering existing structures obsolete (Jorzik et al., 2024).

Finally, platform-based ecosystem theory provides insights into how AI-driven transformation scales across organizational boundaries. Platforms enable the integration of diverse actors, facilitate interoperability, and create network effects that accelerate adoption. As AI becomes embedded within such ecosystems, control over key infrastructural elements becomes a critical source of competitive advantage (Gawer & Cusumano, 2014). This process reinforces the platformization of markets, where technological integration, value creation, and competitive dynamics increasingly converge within interconnected ecosystems in which cooperation and competition coexist. These dynamics also reflect broader patterns of knowledge recombination and absorption across organizational boundaries.

2. METHOD

2.1. Research Aim and Significance

The primary aim of this study is to examine how AI-driven business model disruption is framed and interpreted in response to a sequence of closely timed AI tools and workflow-based solutions within professional and industry discourse, with a particular focus on the case of Anthropic. Specifically, it seeks to understand which dimensions of AI-driven transformation are most prominently articulated, particularly in relation to organizational roles, value creation mechanisms, and industry structures. The study is significant because it shifts the focus from performance-based outcomes to the ways in which AI-driven transformation is constructed and understood in real time. By doing so, it contributes to an understanding of how emerging AI capabilities are perceived to reshape organizations and ecosystems, offering insights into the broader implications of AI-driven change.

2.2. Case Selection and Rationale

The study adopts a single-case design, with Anthropic selected as the focal case through purposive sampling. This selection is based on the company's strategic relevance in the contemporary AI landscape. Anthropic is an artificial intelligence research and development company that focuses on building reliable, interpretable, and controllable AI systems (Anthropic, n.d.). The company develops large language models and AI agents designed to perform complex cognitive and operational tasks across a wide range of domains. Anthropic's core mission is centered on AI safety and alignment. The company prioritizes the development of systems that are trustworthy, steerable, and aligned with human intentions. To this end, it treats AI safety as a systematic research domain, integrating advances in interpretability, reinforcement learning from human feedback, and policy-oriented analysis into its development processes.

The company's activities span three interconnected domains. First, it conducts frontier AI research, contributing to the development of large-scale models and safety techniques. Second, it translates this research into deployable products, most notably its Claude family of AI systems, which are offered through Application Programming Interfaces (APIs), enterprise tools, and platform integrations. Third, it engages with policymakers, industry actors, and civil society organizations to shape governance frameworks for responsible AI deployment. From an organizational and strategic perspective, Anthropic functions not merely as a product developer but as an infrastructural actor within the broader AI ecosystem. Its models and tools are integrated into various platforms and services through partnerships with major technology providers, enabling the diffusion of AI capabilities across industries.

A key motivation for selecting Anthropic as the focal case stems from a sequence of closely timed developments in early 2026 that highlighted the company's broader strategic impact. Beginning with the launch of Claude Cowork in mid-January 2026 (Anthropic, 2026a), followed by the release of open-source workflow plugins on GitHub (including legal-oriented tools) in late January, and subsequently the announcement of Claude Code Security in February (Anthropic, 2026b), these developments generated a strong market response, particularly in the legal, software, and professional services sectors. Accordingly, Anthropic provides a relevant case for analyzing how such developments are interpreted in relation to business models and platform-based competition.

Beyond these developments, Anthropic constitutes a particularly suitable case for three main reasons. First, the company operates at the frontier of generative AI development, particularly through large language models and agent-based capabilities, positioning it as a key actor in shaping the evolution of AI-driven systems. Second, Anthropic is not limited to product-level innovation but actively contributes to the development of integration capabilities and infrastructural components that enable the embedding of AI across multiple domains. This positions the firm within broader platform-based ecosystems rather than as a standalone technology provider. Third, the company's rapid scaling through strategic partnerships and infrastructure investments reflects the broader dynamics of ecosystem expansion and centralization observed in AI-driven markets.

Taken together, Anthropic can be considered an information-rich case, as well as a forward-looking example of how AI may reconfigure business models and industry structures. The case does not aim to provide statistical generalizability; rather, it enables analytical understanding by identifying mechanisms and patterns that may be transferable to similar contexts (Yin, 2018). More specifically, Anthropic can be interpreted as a pioneer case in which AI-driven transformation is observable in an advanced form, thereby offering insights into the potential trajectory of other firms operating within platform-based ecosystems.

2.3. Research Method

This study employs a qualitative case study design to examine the discourse surrounding Anthropic's market impact in early 2026. Consistent with the study's aim, the analysis focuses on how AI-driven transformation is framed within professional and industry discourse.

2.3.1. Data Collection

The dataset consists of 13 purposively selected documents, comprising international news media coverage (e.g., BBC, The Guardian) and corporate disclosures, providing a multi-perspective view of the early 2026 developments surrounding Anthropic's AI tools and workflow-based solutions. These secondary sources were combined to capture diverse perspectives on these developments, reflecting both firm-level developments and broader ecosystem-level interpretations.

2.3.2. Data Analysis

The data analysis was conducted using MAXQDA Analytics Pro (Version 26.2.1) software. The selected documents were integrated into the system and anonymized by assigning identifiers (e.g., S1–S13). An initial coding scheme was developed based on key themes derived from prior research and conceptual contributions on AI-driven organizational change and platform-based business model innovation (e.g., Brynjolfsson et al., 2021; Iansiti & Lakhani, 2020). These dimensions, task substitution, role transformation, business model displacement, cross-industry absorption, and power shifts, provided the deductive framework for the analysis (Elo & Kyngäs, 2008). Subsequently, multiple data-driven codes were generated within these themes. This approach facilitated the classification of data in alignment with the conceptual framework, while allowing for the continuous refinement of categories and the emergence of sub-codes through an iterative coding process. This iterative cycle involved revisiting previously coded segments to ensure conceptual consistency as the coding scheme evolved. In a further stage, similar codes were grouped and

integrated into intermediate categories, resulting in a hierarchical coding structure (theme–category–code). This structure enabled a more in-depth and systematic analysis of AI-driven transformation across the identified themes in the Anthropic case. To enhance the reliability of the analysis, the coding process was conducted in a systematic and transparent manner using MAXQDA software. The coding scheme and the resulting codes were reviewed by an experienced academic, and coding consistency was evaluated through comparative examination. In addition, the data were revisited throughout the analysis, and previously coded segments were re-examined as the coding structure evolved in order to ensure conceptual consistency.

3. FINDINGS

Based on the analysis of the data, an initial set of codes was generated through an iterative coding process guided by the predefined themes. In total, 107 codes were identified. These codes were then systematically examined and grouped into 22 higher-order categories based on their conceptual similarities. To support the analysis and enhance transparency, visualization techniques such as frequency analysis, the code matrix browser, and code mapping were employed.

3.1. Code Frequency Analysis

The frequency analysis reveals a concentration of codes within specific thematic dimensions. Among the five themes, Power Shifts accounts for the largest share, representing 46.75% of the total coded segments. Within this theme, the most frequently observed categories are market and system destabilization (12.43%) and risk and uncertainty escalation (11.24%), followed by governance and regulatory tension (8.88%), crisis and catastrophic framing (5.92%), power reconfiguration (4.73%), and institutional response and mobilization (3.55%). Additionally, Business Model Displacement represents 22.49% of the coded segments. The most prominent categories within this theme include business model transformation (5.33%) and workflow disruption and replacement (4.14%), followed by market and industry impact (2.37%) and platformization and packaging logic (2.37%).

Task Substitution accounts for 21.30% of the total codes. Within this theme, automation and autonomy (8.88%) and capability enhancement (5.92%) are the most frequently coded categories, followed by labor substitution/displacement (2.96%), productivity and value creation (2.37%), and task delegation (1.18%). In comparison, Role Transformation (8.88%) and Cross-Industry Absorption (8.28%) represent relatively smaller portions of the dataset. Under role transformation, categories include skill and capability transformation (3.55%), role uncertainty and work transformation (1.78%), supervision and control challenges (1.78%), and human–AI work configuration (1.78%). Within cross-industry absorption, boundary expansion (2.96%), cross-sector diffusion (2.96%), and ecosystem integration (2.37%) are identified.

Table 1. Frequency Distribution of Themes and Categories

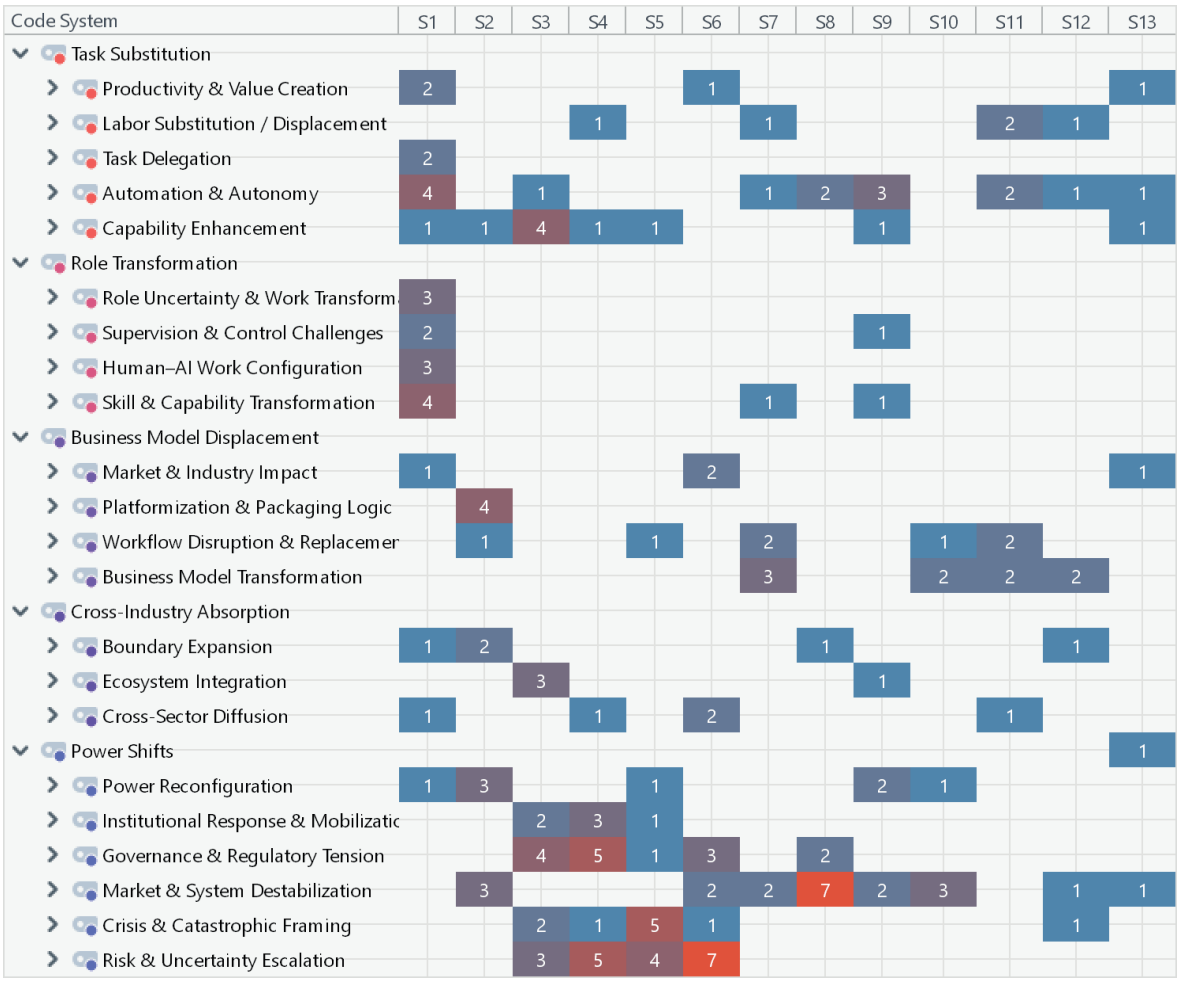
Themes and Categories	Frequency	Percentage
Power Shifts	79	46.75
Market & System Destabilization	21	12.43
Risk & Uncertainty Escalation	19	11.24
Governance & Regulatory Tension	15	8.88
Crisis & Catastrophic Framing	10	5.92
Power Reconfiguration	8	4.73
Institutional Response & Mobilization	6	3.55
Task Substitution	36	21.30
Automation & Autonomy	15	8.88
Capability Enhancement	10	5.92
Labor Substitution / Displacement	5	2.96
Productivity & Value Creation	4	2.37
Task Delegation	2	1.18
Business Model Displacement	38	22.49
Business Model Transformation	9	5.33
Workflow Disruption & Replacement	7	4.14
Market & Industry Impact	4	2.37
Platformization & Packaging Logic	4	2.37
Role Transformation	15	8.88
Skill & Capability Transformation	6	3.55
Role Uncertainty & Work Transformation	3	1.78
Supervision & Control Challenges	3	1.78
Human–AI Work Configuration	3	1.78
Cross-Industry Absorption	14	8.28
Boundary Expansion	5	2.96
Cross-Sector Diffusion	5	2.96
Ecosystem Integration	4	2.37

3.2. Distribution of Codes Across Sources

The code matrix analysis (Figure 1) illustrates the distribution and density of the identified themes across the 13 primary sources. The results show that several themes are represented across multiple documents, with varying levels of concentration. The theme of Power Shifts appears most widely distributed across sources. Categories such as market and system destabilization and risk and uncertainty escalation appear in multiple documents, with higher code frequencies observed in sources such as S1, S2, and S7. For Task Substitution, categories including automation and autonomy and capability enhancement are distributed across several documents, with differing frequencies. Similarly, Business Model Displacement is represented across multiple sources, particularly through the category of business model transformation.

In comparison, Role Transformation and Cross-Industry Absorption appear in a more limited number of documents and are characterized by lower overall code frequencies. These themes are present in selected sources, including S1, S5, and S13. Overall, the matrix shows variation in the distribution of codes across sources, with some documents containing higher concentrations of specific categories, while others exhibit more limited or dispersed coding patterns.

Figure 1. Code Distribution Across Sources (S1–S13)



DISCUSSION AND CONCLUSION

This study examined how AI-driven business model disruption is framed within professional and industry discourse, focusing on the case of Anthropic. The analysis was guided by five dimensions derived from the initial coding scheme, which were further elaborated through data-driven coding: task substitution, role transformation, business model displacement, cross-industry absorption, and power shifts.

The findings indicate that AI-driven transformation is predominantly framed at a systemic level, with a strong emphasis on power dynamics, instability, and structural reconfiguration. The prominence of the Power Shifts theme suggests that AI is interpreted not merely as an efficiency-enhancing tool, but as a force associated with changes in control, governance, and market structures. This finding aligns with the platform-based ecosystem perspective (Iansiti & Lakhani, 2020). Furthermore, the high prevalence of crisis-related and risk-oriented categories indicates that AI-driven transformation is framed not only as structural change but also as a source of systemic uncertainty.

At the same time, Business Model Displacement and Task Substitution indicate that disruption is articulated through changes in value creation mechanisms and work processes. This aligns with recent evidence showing that AI impacts are most visible at the task level, where automation and augmentation reshape how work is performed (Brynjolfsson et al., 2021; Eloundou et al., 2023). In contrast, the relatively limited presence of Role Transformation suggests that broader occupational changes are less prominent in the

discourse surrounding these developments.

Taken together, these patterns reflect a multi-level transformation spanning tasks, firms, and ecosystems. In this sense, the findings are consistent with the logic of Schumpeterian creative destruction, where existing structures are destabilized and new configurations emerge. However, the transformation as reflected in the discourse appears to be mediated by platform-based infrastructures, combining disruption with integration rather than pure replacement. This also reflects the interconnected nature of AI diffusion across domains, indicating that changes in one area can extend beyond firm boundaries and may be transferred to broader ecosystem-level contexts. From a managerial perspective, the findings suggest that AI adoption should be approached not only as a tool for efficiency, but as a strategic driver with implications for business models and competitive positioning.

By analyzing how AI-driven transformation is interpreted across multiple sources, the study provides a structured account of its multi-level framing within professional and industry discourse. In this respect, it offers an alternative perspective for both scholars interested in AI-driven transformation and practitioners operating in industry contexts. Despite its contributions, the study is limited by its single-case design. Additionally, the findings are based on discourse-level data and do not directly capture actual organizational transformations or market outcomes. Future research could extend this study by examining multiple cases, adopting longitudinal approaches to track the evolution of discourse over time, and integrating discourse-based analysis with firm-level or quantitative data to better understand the relationship between perceived and actual AI-driven transformation.

REFERENCES

Anthropic. (n.d.). *Company overview*. Retrieved March 9, 2026, from https://www.anthropic.com/company

Anthropic. (2026a, January). *Introducing Anthropic Labs*. https://www.anthropic.com/news/introducing-anthropic-labs

Anthropic. (2026b, February). *Claude Code Security*. https://www.anthropic.com/news/claude-code-security

Bresnahan, T. F., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies "Engines of growth"? *Journal of Econometrics*, *65*(1), 83–108. https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T

Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2021). The productivity J-curve: How intangibles complement general purpose technologies. *American Economic Journal: Macroeconomics*, *13*(1), 333–372. https://doi.org/10.1257/mac.20180386

Christensen, C. M., Raynor, M. E., & McDonald, R. (2015). *What is disruptive innovation?* Harvard Business Review, 93(12), 44–53.

Davenport, T. H., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *48*(1), 24–42. https://doi.org/10.1007/s11747-019-00696-0

Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, *62*(1), 107–115. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x

Eloundou, T., Manning, S., Mishkin, P., & Rock, D. (2023). GPTs are GPTs: An early look at the labor market impact potential of large language models. *arXiv preprint*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.10130

Farayola, O. A., Abdul, A. A., Irabor, B. O., & Okeleke, E. C. (2023). Innovative business models driven by AI technologies: A review. *Computer Science & IT Research Journal*, *4*(2), 85-110.

Gawer, A., & Cusumano, M. A. (2014). Industry platforms and ecosystem innovation. *Journal of Product Innovation Management*, *31*(3), 417–433. https://doi.org/10.1111/jpim.12105

Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2020). *Competing in the age of AI: Strategy and leadership when algorithms and networks run the world*. Harvard Business Review Press.

Ismanov, I., Qayumov, N., Mukhamadjonova, D., & Akhmadaliyev, B. (2024, April). AI and cost management: Strategies for reducing expenses and improving profit margins in business. In *2024 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS)* (Vol. 1, pp. 1-7). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICKECS61492.2024.10616761

Issaa, A. B. I. (2024). Exploring the transformative impact of AI across industries and its role in shaping global advancements. *Universal Journal of Future Intelligence: Innovations and Artificial Intelligence (UJFIIAI). Tanmeah Bassmah TBP*, *1*(1), 1-8.

Jorzik, P., Klein, S. P., Kanbach, D. K., & Kraus, S. (2024). AI-driven business model innovation: A systematic review and research agenda. *Journal of Business Research*, *182*, 114764. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114764

Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, *51*(1), 40–49. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.06.007

Uctu, R., Tuluce, N. S. H., & Aykac, M. (2024). Creative destruction and artificial intelligence: The transformation of industries during the sixth wave. *Journal of Economy and Technology*, *2*, 296-309. https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.09.004

Yi, Z., & Ayangbah, S. (2024). The impact of AI innovation management on organizational productivity and economic growth: An analytical study. *International Journal of Business Management and Economic Review*, *7*(3), 61-84.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage.

https://doi.org/10.71284/asc.2026171

AİLE HEKİMLİĞİNDE ÖKSÜRÜĞE YAKLAŞIM

APPROACH TO COUGH IN FAMILY MEDICINE

Mehmet Murat Şahin[1]
Ufuk Karadavut[2]
Merve Sitem Şahin[3]
İlkay Bedia Karadavut[4]

Özet

Öksürük, havalanma ile ilgili yolların en önemli korunma mekanizmalarından biri olmasına karşın, hastaların hekime ve acil servise en çok başvurma sebebidir. Öksürük, normal şartlarda akciğer ve hava yollarının birikmiş sekresyonlar, aspire edilmiş partiküller, mukozal enflamasyon sonrası oluşmuş veya inhale edilmiş irritan maddelerden temizlenmesini kolaylaştırır ve böylece akciğerin solunum fonksiyonunu devam ettirmesini sağlar. Sigara içenlerde hiç içmeyenlere veya sigarayı bırakmış olanlara oranla kronik öksürük prevalansı 3 kat fazladır. Kronik öksürük etyolojisinde hava kirliliği de önemli bir etkendir. Zaman zaman öksürük sebebiyle kadınlarda üriner inkontinans, yaşlı hastalarda kot kırıkları, senkop atakları, rektal prolapsus ve subkonjonktival hemorajiler komplikasyon olarak gelişebilmektedir. Çocuk öksürükleri genellikle viral enfeksiyonlarla alakalıdır ve bunların da çoğu tipik olarak kendiliğinden iyileşir. Gripal bir enfeksiyonu takip eden öksürük; okul çağı çocuklarının %35-40'ında 10 güne kadar, solunum yolu enfeksiyonu sonrasında okul öncesi çocukların %10'unda 25 güne kadar uzayabilir. Ayrıca irritan gazlar, hava kirliliği, sigara dumanına maruz kalma, nem gibi çevresel faktörler çocuklarda öksürük sebebidir. Akut öksürük 3 haftanın altında, subakut öksürük 3-8 hafta arası, kronik öksürük 8 haftayı geçen öksürükler olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda; sebebi belirlenen kronik öksürükler spesifik öksürük, tedaviye cevap vermeyen öksürükler refrakter öksürük, her şeye rağmen etiyolojisi belirlenemeyenler de kronik idiyopatik öksürük şeklinde adlandırılmıştır. İyi anamnez ve fizik muayene tanıda önemlidir. Anamnezde kilo kaybı, ailede astım öyküsü, çalıştığı iş sahası, öksürüğün kuru veya balgamlı olması, süresi, rengi ve görüntüsü, beraberinde hemoptizi, göğüs ağrısı, ateş ve terleme varlığı, sigara alışkanlığı, pasif sigara maruziyeti, evcil hayvan (kedi, kuş vs.) teması, yabancı cisim aspirasyon öyküsü, tansiyon ilacı kullanımı sorulmalıdır. Akut öksürük, kendini sınırlayan bir hastalığın belirtisi olmak dışında yaşamı tehdit eden bir hastalığın da belirtisi olabilir. Akut öksürüğün en yaygın sebepleri üst solunum yolu enfeksiyonu, sinüzit, pnömoni, bronşit ve bronşiolittir, Sol kalp yetmezliği, astım atakları, irritan maruziyeti, yabancı cisim aspirasyonu ve nadiren akciğer embolisi gibi yaşamı tehdit eden durumlarda da görülür. Kronik/uzamış öksürüğün net bir tanımı yoktur. Genellikle 8 haftadan uzun sürerse kronik öksürük olarak tanımlanmaktadır. Toplumun %12'sinde kronik öksürük olduğu tahmin edilmektedir. Öksürük tanısal yaklaşımında klinisyenin deneyimi ve öngörüsü ciddi rol oynamaktadır. Standart protokollerde bekle, izle, tekrar değerlendir safhaları olsa bile hekimin tecrübesi dahilinde hastanın erken değerlendirilmesi ve tedavi edilmesinin öksürük süresini azalttığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öksürük, sigara, akciğer, anamnez, fizik muayene.

[1]Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi Aile Hekimliği Anabilim Dalı, murat.sahin@karabuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8223-2731

[2]Prof. Dr., Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıp Bilişimi ve Biyoinfromatik Anabilim Dalı, ufukkaradavut@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5362-7585

[3] Dr., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, mervebiyomedikal@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3966-4333

[4] Araştırma Görevlisi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, ilkaybedia.karadavut@ibu.edu.tr, https://orcid.org/0009-0003-0570-9721

Abstract

Although coughing is one of the most important protective mechanisms for the airways, it is the most common reason for patients to seek medical attention and visit emergency rooms. Under normal circumstances, coughing facilitates the clearing of accumulated secretions, aspirated particles, and irritants resulting from mucosal inflammation or inhalation from the lungs and airways, thus enabling the lungs to maintain their respiratory function. The prevalence of chronic cough is three times higher in smokers than in non-smokers or former smokers. Air pollution is also a significant factor in the etiology of chronic cough. Occasionally, cough can lead to complications such as urinary incontinence in women, rib fractures in elderly patients, syncope attacks, rectal prolapse, and subconjunctival hemorrhages. Coughs in children are generally related to viral infections, most of which typically resolve on their own. A cough following a flu-like infection can last up to 10 days in 35-40% of school-aged children, and up to 25 days in 10% of preschool children following a respiratory infection. Environmental factors such as irritant gases, air pollution, exposure to cigarette smoke, and humidity are also causes of coughs in children. Acute cough is defined as cough lasting less than 3 weeks, subacute cough as cough lasting between 3-8 weeks, and chronic cough as cough lasting more than 8 weeks. In recent years, chronic coughs with an identified cause have been termed specific cough, coughs that do not respond to treatment have been called refractory cough, and those whose etiology cannot be determined despite all efforts have been called chronic idiopathic cough. A thorough history and physical examination are crucial for diagnosis. The history should include questions about weight loss, family history of asthma, occupation, whether the cough is dry or productive (with phlegm), its duration, color, and appearance, the presence of accompanying hemoptysis, chest pain, fever, and sweating, smoking habits, exposure to passive smoking, contact with pets (cats, birds, etc.), history of foreign body aspiration, and use of blood pressure medication. Acute cough can be a symptom of a self-limiting illness, but it can also be a symptom of a life-threatening condition. The most common causes of acute cough are upper respiratory tract infections, sinusitis, pneumonia, bronchitis, and bronchiolitis. It can also occur in life-threatening conditions such as left heart failure, asthma attacks, irritant exposure, foreign body aspiration, and rarely, pulmonary embolism. There is no single definition of chronic/prolonged cough. It is generally defined as a cough that lasts longer than 8 weeks. It is estimated that 12% of the population suffers from chronic cough. Clinician experience and foresight play a significant role in the diagnostic approach to cough. Even though standard protocols include wait, observe, and reassess phases, early assessment and treatment, within the physician's experience, have been shown to reduce the duration of cough.

Keywords: Cough, smoking, lung, medical history, physical examination.

GİRİŞ

Öksürük, havalanma ile ilgili yolların en önemli korunma mekanizmalarından biri olmasına karşın, hastaların hekime en çok başvurma sebebidir (Morice, 2002; İğde, 2016). Göğüs hastalıkları uzmanına yeni başvurularda tek semptom olarak öksürük, %10-38 sıklığındadır. Öksürük, acil servis başvurularında da ilk sebeptir. ABD'de yıllık maliyeti 3,6 milyon dolardır (Bolser, 2006; Irwin et al., 2006). Toplumda yapılan çalışmalarda ortalama prevalans %12 olup, %9-33 arasında değişen oranlar bildirilmiştir (Morice et al., 2007).

Öksürük, normal şartlarda akciğer ve hava yollarının birikmiş sekresyonlar, aspire edilmiş partiküller, mukozal enflamasyon sonrası oluşmuş veya inhale edilmiş irritan maddelerden temizlenmesini kolaylaştırır ve böylece akciğerin solunum fonksiyonunu devam ettirmesini sağlar. Bu durum istemli ya da istemsiz olabilir (Erdoğan). Öksürük refleksi, akciğer ve hava yollarını inhale edilmiş yabancı cisimler ve sekresyonlardan arındıran önemli bir koruma mekanizmasıdır. Öksürük semptomu ise göğüs hastalıkları polikliniklerine en yaygın başvuru sebebidir. Erişkinlerde görülme sıklığı %3,3-12 arasındadır. Sigara kullanımı ile doğrudan ilişkilidir (Özdilekcan, 2018). Sigara içenlerde hiç içmeyenlere veya sigarayı bırakmış olanlara oranla kronik öksürük prevalansı 3 kat fazladır (Lai et al., 2013). Kronik öksürük etyolojisinde hava kirliliği de önemli bir etkendir. Erişkinlerde kronik öksürük sekiz haftadan fazla süren öksürükleri betimlemek için kullanılır. Kronik öksürük, yalnız başına rahatsız edici bir semptom, hayat kalitesini bozan bir etken olarak karşımıza çıkar. Zaman zaman öksürük sebebiyle kadınlarda üriner inkontinans, yaşlı hastalarda kot kırıkları, senkop atakları, rektal prolapsus ve subkonjonktival hemorajiler komplikasyon olarak gelişebilmektedir (French et al., 1998).

Öksürük, karakteristik bir sesle beraber, genel olarak kapalı bir glottise karşı, zorlu ekspulsif bir manevradır. Ölümcül aritmilerde hem uyarıcı etki göstererek hem de kalbin normal ritme dönmesini sağlayarak koruyucu bir refleks görevi üstlenir. Fakat enfeksiyonların yayılmasına sebep olmak şeklinde istenmeyen zararlı etkileri de mevcuttur.

Öksürük solunum yolu hastalıklarında en sık ve en önemli semptomlardan biridir. Çocuklarda hastaneye en sık başvurma sebebidir. Ailelerde sıkıntıya yol açan bir bulgudur. Etkinlikleri kanıtlanmamış olan birçok ilacın kullanılması yüzünden önemli sağlık harcamalarına sebep olur (Argüder, 2012). Çocuk öksürükleri genellikle viral enfeksiyonlarla alakalıdır ve bunların da çoğu tipik olarak kendiliğinden iyileşir. Gripal bir enfeksiyonu takip eden öksürük; okul çağı çocuklarının %35-40'ında 10 güne kadar, solunum yolu enfeksiyonu sonrasında okul öncesi çocukların %10'unda 25 güne kadar uzayabilir. Ayrıca irritan gazlar, hava kirliliği, sigara dumanına maruz kalma, nem gibi çevresel faktörler çocuklarda öksürük sebebidir (Hay et al.., 2003; Fuentes-Leonarte et al., 2009).

Akut öksürük 3 haftanın altında, subakut öksürük 3-8 hafta arası, kronik öksürük 8 haftayı geçen öksürükler olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda; sebebi belirlenen kronik öksürükler spesifik öksürük, tedaviye cevap vermeyen öksürükler refrakter öksürük, her şeye rağmen etiyolojisi belirlenemeyenler de kronik idiyopatik öksürük şeklinde adlandırılmıştır (Morice, 2006; Gibson et al., 2010; Pratter, 2006).

Öksürük vagal bir refleks olup X. kraniyal sinir olan nervus vagusun innerve ettiği tüm alanlara ait patolojiler öksürüğe yol açabilir. Farinksten başlayıp terminal bronşiollere kadar uzanan refleksin afferent dalları üst ve alt hava yollarının siliyer epiteli boyunca dağılmıştır (Morice, 2006). İrritan partiküller, yabancı cisimler ve dıştan bası ile bu reseptörler uyarılır. Diğer stimüle edici ajanlar ise bradikinin, kapsaisin, asit partikülleri, nikotin ve prostaglandin E'dir (Belvisi et al., 2011).

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Öksürük Refleks Anatomisi

Her öksürük komplike bir reflekstir. İlk olarak öksürük reseptörlerinin uyarılmasıyla öksürük refleksi başlar. Afferent lifler vasıtasıyla uyarı önce santral yolağa, buradan da efferent lifler ile efektör yapılara iletilir. Öksürük oluşumuyla da refleks tamamlanır.

1.2. Reseptörler

Reseptörler havayolunda olan ve olmayanlar şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Öksürük reseptörleri alt hava yolları dışında histolojik olarak yalnızca farinkste gösterilmiştir. Histolojik çalışmalarla respiratuar yapı boyunca havayolu reseptörlerinin epitelin içinde olduğu gösterilmiştir. Fakat diğer bölgelerin de mekanik olarak uyarılmalarıyla öksürük yanıtının oluştuğu görülmektedir. Gösterilemese de, havayolları dışında öksürük reseptörlerinin, plevra, dış kulak yolu, diyafram, timpanik membranlar, mide ve perikardda var olduğu kabul edilmektedir (İğde, 2016). Reseptörler öksürük refleksini başlatan uyarı sonrası ileti liflerine göre 3'e ayrılmaktadır.

- A lifleri: Hızlı adapte olan reseptörler (Rapidly Adapting Receptors=RAR) miyelinize Aδ lifleridir. Öksürük refleksinin başlamasında bu reseptörlerin uyarılması asıl öneme sahiptir. Akciğerleri örten epitelin içinde ya da hemen altında olup, mekanik değişikliklere duyarlıdır (Widdicombe, 2001).
- C-lifleri: C-lifleri havayolu savunma refleksinde önemli role sahiptir. Hem kimyasal uyaranlara (sülfür dioksit, kapsaisin, bradikinin vb.) hem de mekanik uyaranlara (eşik düzeyi RAR'lara göre daha yüksek) duyarlıdır (Canning et al., 2004).
- Yavaş Aktive Olan Reseptörler: Bunlar klasik uyaranlara reaksiyon göstermemektedir. Yapılan deneyler sonucu bu reseptörlerin öksürüğü başlatıcı değil de öksürük refleksini kolaylaştırıcı etkiye sahip olduğu düşünülmektedir (Hanáček, 1984). Öksürük refleksini başlatan reseptörleri n.vagus, n.trigeminus, n.glossofaringeus ve n.frenikusun, innerve ettiği deneysel araştırmalarla ortaya konmuştur. Fakat 20 yıldır yapılan deneysel çalışmaların ışığında günümüzde öksürüğün tamamen vagal bir fenomen olduğu kanaati yaygındır (Tatar, 1994).

Nervus vagusun

- Süperior laringeal dalları: larinksi inerve eder.
- Pulmoner dalı: trakea, bronşlar ve plevranın uyarılmasını sağlar.
- Diyafragma dalları: kalp ve özofagus inervasyonunu sağlar.
- Auriküler dalı (Arnold siniri): eksternal kulak yolu ve timpanik membranı inerve eder.
- Mide dalları: mide inervasyonunu sağlar.
- Diyafragma Dalları: kalp ve özofagusu innerve eder. Afferent sinirler hem uyarıları öksürük merkezine taşır hem de havayolu submukozasındaki bezleri uyararak mukus sekresyonu artışını sağlar. Bu şekilde kimyasal irritanlara karşı bariyer oluşturduğu gibi havayollarından yabancı cisimlerin arındırılmasını da kolaylaştırmaktadır (Coleridge, 1986). N.vagus harici öksürük istemli olarak da başlatılabildiğinden veya baskılanabildiğinden, daha yüksek merkezlerden de afferent uyarılma olabileceği düşünülmektedir. Görüldüğü gibi havayolları dışında n.vagusun uyarıldığı tüm bu anatomik bölgeler öksürük refleksinin oluşmasında önemli olabilir ve öksürük semptom olarak yüzlerce hastalıkla birlikte bulunabilir.

Uyarıları öksürük merkezine taşıyan afferent sinirler ayrıca havayolundaki submukozal bezleri uyararak mukozal sekresyonu da artırmaktadır. Bu sayede hem kimyasal irritanlara bariyer oluşturmakta hem de yabancı cisimlerin havayollarından arındırılmasını kolaylaştırmaktadır. Öksürük vagal sinir dışında istemli olarak başlatılabildiği veya baskılanabildiği için, daha yüksek merkezlerden de afferent uyarılma olabileceği düşünülmektedir. Havayolları dışında nervus vagusun uyarıldığı tüm bu anatomik bölgeler öksürük refleksi oluşumunda önemli olabilir ve öksürük semptom olarak yüzlerce hastalıkla birlikte bulunabilir (İğde, 2016).

1.3. Patogenez

Obstruktif havayolu hastalıklarında öksürük, ekspirasyon esnasında glottis kapalıyken gerçekleşen zorlu bir manevra ile karakterizedir. Çoğunlukla hızlı ve derin bir inspirasyonu takiben glottis kapanır. Ekspirasyon esnasında abdominal ve torasik kasların kasılmasıyla intratorasik basınç yükselir, peşinden glottis aniden açılır ve hava, daralmış olan hava yollarından patlayıcı tarzda atılır (çoğunlukla 100-200 mmHg arasında). Üst solunum yolu menşeli öksürükte derin inspiriyum gerekmez ve çoğunlukla akciğerlerdeki partiküllerin atılması sağlanır. Normalde, eşit basınç noktası büyük hava yollarında mevcuttur ancak havayolu hastalığında daha distaldeki küçük hava yolları etkilenebilir. Öksürük refleksi, öksürük reseptörlerinin kimyasal, enflamatuvar, termal ve mekanik uyarılmasıyla oluşur. Öksürük, refleks olarak medulla oblongatadaki öksürük merkezince (medulla+nucleus tractus solitarus) veya istemli olarak beyin korteksince kontrol edilebilir. Artmış öksürük refleksi; solunum sistemi hastalıkları ve antihipertansif olarak anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörleri kullanımında, azalmış öksürük refleksi; uyku, anestezikler, koma, serebrovasküler yaralanma, antipsikotik ilaçlar, serebrovasküler hastalık, folat ve B12 vitamini eksikliğinde görülebilir. Mekanik uyarılara hassas, miyelinli, hızlı adaptasyon sağlayan öksürük reseptörleri, larinks, trakea ve bronşlarda bulunur. Bu reseptörlerin sayısı karinadan itibaren distale doğru bronş dallanma zonlarında azalır. Öksürük reseptörleri ayrıca plevra, perikard, özofagus, diyafram, mide, paranazal sinüsler ve dış kulak yolunda da mevcuttur. Kimyasal uyaranlara yavaş adaptasyon sağlayan miyelinsiz C tipi sinir liflerinden salınan nöropeptidler (taşikinin ve kalsitonin gene-related peptide), havayolu sistemlerinde bradikinin (BK) ve substans-p (SP) artışına neden olur. Bu nöropeptidler öksürük reseptörleri vasıtasıyla medulla oblongatadaki öksürük merkezini uyarır ve böylece öksürük refleksi tetiklenir. ACE inhibitörleri, SP ve BK yıkımını engelleme suretiyle öksürüğe neden olur. Öksürük refleksinin afferent yolu n.glossofarengeus (IX. kraniyal sinir) ile farinkste, n.trigeminus (V. kraniyal sinir) ile burun ve paranazal sinüslerde, n.vagus (X. kraniyal sinir) ile larinks, trakea, bronşlar, mide ve dış kulak yolunda, ve n.frenikus ile diyafram ve perikardda bulunur. Öksürük refleksinin efferent yolu ise spinal motor nöronlar ile ekspiratuvar kaslar ve pelvik sfinkterler, n.vagus ile larinks, trakea ve bronşlar ve n.frenikus ile diyafram ile gerçekleşir (Mülazimoğlu & Kayacan, 2017).

1.4. Tanı

İyi anamnez ve fizik muayene (FM) tanıda önemlidir. Anamnezde kilo kaybı, ailede astım öyküsü, çalıştığı iş sahası, öksürüğün kuru veya balgamlı olması, süresi, rengi ve görüntüsü, beraberinde hemoptizi, göğüs ağrısı, ateş ve terleme varlığı, sigara alışkanlığı, pasif sigara maruziyeti, evcil hayvan (kedi, kuş vs.) teması, yabancı cisim aspirasyon öyküsü, tansiyon ilacı kullanımı sorulmalıdır.

Kuru öksürük; en sık postnazal drip, sigara kullanımı, ACE inhibitörleri, astım, viral üst solunum yolu enfeksiyonu (ÜSYE), pnömotoraks, gastro-özofageal reflü hastalığı (GÖRH), dış kulak yolu hastalıkları, plevra, mediasten, interstisyel akciğer hastalıkları ve psikojenik nedenlerle olur.

Balgamlı öksürük; en sık bronşektazi, pnömoni, tüberküloz, akciğer absesi ve kronik bronşitte görülür. Akciğer kanserinde önce kuru sonra balgamlı öksürük görülür. Pozisyonla ilişkili öksürük; dolaşım yetmezliği, alerji, mediasteni tutan sarkoidoz ve akciğer kanserleri, GÖRH, özofagus divertikülü ve diafram hernilerinde görülür. Sabah saatlerinde olan öksürük; sinüzit, sigara maruziyeti, rinit, amfizem, bronşektazi ve astımda görülür. Öksürüğün ayrıca günün hangi saatlerinde, hangi mevsimlerde olduğu, nöbetler halinde ve hemoptizi ile birlikte olup olmadığı sorgulanmalıdır (Ekim & Oğuzülgen, 2020).

1.5. Akut Öksürük

Akut öksürük, kendini sınırlayan bir hastalığın belirtisi olmak dışında yaşamı tehdit eden bir hastalığın da belirtisi olabilir. Akut öksürük şikayeti olan hastaya iyi bir anamnez, FM ve laboratuvar tetkikleri ile teşhis konulur. Akut öksürüğün en yaygın sebepleri üst solunum yolu enfeksiyonu (ÜSYE), sinüzit, pnömoni, bronşit ve bronşiolittir, Sol kalp yetmezliği, astım atakları, irritan maruziyeti, yabancı cisim aspirasyonu ve nadiren akciğer embolisi gibi yaşamı tehdit eden durumlarda da görülür (Songür, 2006). ÜSYE'nin en sık

nedeni soğuk algınlığı olup ateşin eşlik etmediği öksürük, burun akıntısı veya tıkanıklığı, postnazal akıntı (PNA), ses kısıklığı ve boğaz temizleme semptomları ile görülür. İnfluenza enfeksiyonları genellikle kış aylarında ortaya çıkan ateş, kas-eklem ve baş ağrısı ile seyreden soğuk algınlığına göre daha belirgin bir hastalıktır. Akut bronşit genellikle viral, nadiren bakteriyel kökenli olabilir, çoğunlukla ÜSYE semptomlarını takip eder, ikisi arasında bulguya dayalı ayrım imkansızdır. Mikoplazma enfeksiyonlarında ateş, yaygın kas ve baş ağrıları ve astım benzeri semptomlar görülür. Chlamydia pneumoniae ÜSYE benzeri durumlara neden olabilir. Kuru öksürük ana semptomudur (Bilgin).

1.6. Kronik Öksürük

Öksürük etiyolojisi (spesifik ve nonspesifik), süresi (akut, kronik), tetikleyen faktörlerin olup olmaması (beslenme, mevsimsel değişiklikler, aktivite, ısı), karakteri (balgamlı, kuru), zamanı (gece, uykudan uyandıran, persistan, intermittan), kalitesi (kentöz, sert, paroksismal) ve hastanın yaşına göre değerlendirilir. Fakat asıl olarak süreye göre sınıflandırılır, tanı ve tedaviye dönük yaklaşımlar bu temelle şekillenir. Kronik/uzamış öksürüğün net bir tanımı yoktur (Chang, 2006). Genellikle 8 haftadan uzun sürerse kronik öksürük olarak tanımlanmaktadır (Morice, 2008). Toplumun %12'sinde kronik öksürük olduğu tahmin edilmektedir (Ford et al., 2006).

Başlangıçta; anamnez alma, FM, direkt akciğer grafisi ve solunum fonksiyon testi (SFT) altta yatan olası birçok nedenin araştırılmasını sağlar. Bu değerlendirmeler neticesinde ağırlıklı olarak en yaygın görülen hastalıklara odaklanmak gerekir. Öykü almada ilaç kullanımı (özellikle ACE inhibitörü), sigara içimi/maruziyeti, diğer çevresel maruziyetler ve allta yatan ciddi hastalıklara ipucu olabilecek belirtiler (kilo kaybı veya hemoptizi gibi akciğer kanserinden şüphelendirebilecek bulgular) mutlak surette sorgulanmalıdır. Başlangıçta çekilecek direkt akciğer grafisi, bilhassa ilaç kullanım hikayesi, sigara ve/veya irritan maruziyeti olmayan hastalarda akciğer kanseri vb ciddi patolojileri ekarte etme açısından güvenilir bir tetkiktir. Kronik öksürük, sigara içenlerde içmeyenlere göre 3 kat fazla görülmektedir (Zemp, 1999). Sigara kullanan veya sigara dumanına maruz kalan kronik öksürüklü hastalarda ilk aşama sigaranın bırakılması ve 1-2 haftalık sigarasız dönemden sonra tekrar değerlendirme yapılmasıdır (bekle, izle ve tekrar değerlendir) (Pavord, 2008).

Kronik öksürük önemli bir morbidite nedenidir. Sigara içimi miktara bağlı olarak kronik öksürüğün en sık nedenlerinden biridir. Kronik öksürük aynı hastada birden fazla sebebe bağlı olarak oluşabilir. Kronik üst havayolu öksürük sendromu, sigara ve ACE inhibitörü kullanımı yoksa kronik öksürüğün en yaygın nedenidir. Bu sendromda rinit ve sinüzit durumlarında burun ve sinüslerden gelen sekresyonlar farinkse drene olmaktadır. Boğaz temizleme ihtiyacı ile ses kısıklığı vardır. Pediyatrik yaş grubu ve sigara içmeyen erişkinlerde kronik öksürüğün en sık sebebi astımdır. Öksürük reseptörleri lokal bronkokonstruksiyonla uyarılır. Astımda, egzersiz sonrasında, hava kirliliğinde, alerjen inhalasyonunda genellikle geceleri görülen kuru vasıflı öksürük, hışıltılı solunum (wheezing) ve göğüste baskı hissi ile beraberdir. Soğuk algınlığı sonrası 10 günden uzun süren öksürük ve astım tedavisi ile şikayetlerin düzelmesi astımı düşündürür. Öksürük Varyant Astımda (ÖVA) öksürük tek ya da dominant semptom olup FM, SFT ve bronş provokasyon testi (BPT) normaldir. Non-astmatik Eozinofilik Bronşit (NAEB) hastaları çoğunlukla orta yaşlı, sigara kullanmayan, atopik olmayan bireylerdir. ÖVA gibi klasik astımdan farkı nefes darlığı ve wheezingin olmayışıdır. SFT normaldir. BPT pozitifliği, indüklenmiş balgam ve kanda eozinofili (>%3) görülür. GÖRH'da retrosternal yanma, ağza acı-ekşi su gelmesi ya da yutkunmada boğaz ağrısı gibi lokalize özofageal bulgular ya da ses kısıklığı, öksürük gibi ekstra özofageal bulgular görülebilir (Bilgin).

Kronik öksürük, aile hekimliği ve göğüs hastalıkları polikliniklerinde sıkça karşılaşılan, çoğu kronik akciğer hastalıkları ve bazı akciğer dışı hastalıklarda görülebilen bir semptomdur. En sık rastlanan sebepleri arasında Üst Havayolu Öksürük Sendromu (ÜHÖS), astım ve GÖRH yer alır (Irwin, 2000; Pratter, 2006) Kronik öksürüğün %39-75'inde tek bir sebep saptanır ancak bazen birden çok sebep etiyolojide rol alabilir (Irwin et al., 1998; Mason et al., 2010).

1.7. Kronik öksürük nedenleri

A. Üst solunum sistemi kökenli

- ÜHÖS (postenfeksiyöz öksürük, vazomotor rinit, alerjik veya non-alerjik rinit, kronik sinüzit)
- Yabancı cisim
- Tümörler
- Vokal kord disfonksiyonu

B. Alt solunum sistemi kökenli

a. Havayolu hastalıkları

- Bronşektazi
- Kronik bronşit/KOAH

-Eozinofilik bronşit

-Trakeomalazi

-Sık aspirasyon

-Astım

-Kistik fibrozis

b. Parankim hastalıkları

- Kronik interstisyel akciğer hastalıkları
- Pulmoner enfarkt
- Sarkoidoz
- Amfizem/KOAH

c. Tümörler

- Benign havayolu tümörleri
- Alveoler hücreli karsinom
- Bronkojenik karsinom
- Mediastinal tümörler

d. Yabancı cisimler

e. Kronik enfeksiyonlar

- Tüberküloz
- Fungus enfeksiyonları

C. Solunum sistemi dışı kökenli

- GÖRH
- ACE inhibitörü kullanımı

-Kardiyovasküler hastalıklar

-Orta kulak patolojileri

- Nörojenik (vagal hasar)

- Psikojenik

1.8. Öksürük **komplikasyonları**

Santral sinir sistemi (baş ağrısı, senkop, serebral hava embolisi)

Kardiyovasküler (aritmi, bilinç kaybı)

Solunumsal (pnömomediastinum, pnömotoraks, laringeal hasar, subkutan amfizem)

Gastrointestinal (özofagus perforasyonu)

Musküloskeletal (serum kreatin kinazda yükseklik, interkostal kas ağrısı, servikal disk prolapsusu, rektus abdominis kas rüptürü)

Diğer (cerrahi yara iyileşmesinin zorlaşması, depresyon, sosyal etkilenme, üriner inkontinans, peteşi, purpura) (Argüder, 2012).

1.9. Tanısal Yaklaşım

Öksürük tanısal yaklaşımında klinisyenin deneyimi ve öngörüsü ciddi rol oynamaktadır. Standart protokollerde bekle, izle, tekrar değerlendir safhaları olsa bile hekimin tecrübesi dahilinde hastanın erken değerlendirilmesi ve tedavi edilmesinin öksürük süresini azalttığı gösterilmiştir (Chang et al.., 2013). Hastalar ilk etapta detaylı bir hikâye, ayrıntılı FM, direkt akciğer grafisi ve yapılabiliyorsa SFT ile değerlendirilmelidir. Bunlar öksürüğü spesifik ya da nonspesifik sebepler açısından değerlendirmek için kâfidir (De Jongste, 2003; Chang et al., 2001).

1.10. Antitüssifler ve Endikasyonları

Kronik öksürüğün nedenlerinden astım, ÖVA ve eozinofilik bronşitte genellikle inhaler KS'lere yeterli cevap alınırken diğer sebeplere yönelik tedavide sonuç daima yüz güldürmeyebilir. Kronik öksürüğün tedavisi, hayat kalitesi üzerindeki etkisi ve neden olabileceği komplikasyonlar sebebiyle önemlidir. Bu durumlarda spesifik tedaviye ilaveten antitüssif tedaviler önerilmiştir. Ancak bu tedavi metodu, mukus üretiminin olduğu KOAH ve bronşektazi durumlarında mukus birikimini artırıp enfeksiyona yol açabilir. Günümüzde antitüssif etki gösteren santral (morfin, kodein, dekstrometorfan) ve periferik (moguistin ve levodropropizin) etkili ajanlar mevcuttur. Santral etkili ajanların öksürüğü baskıladıkları dozda önemli yan etkiler ortaya çıkabilir. Yavaş salımlı morfinin inatçı öksürüğün kontrolünde iyi tolere edildiği gösterilmiştir (Chung, 2008). Amerikan Göğüs Hekimleri Koleji (ACCP) önerilerinde, akut ya da kronik bronşitte periferal etkili antitüssiflerin kısa süreli olarak öksürüğü rahatlatmak için kullanılabileceği belirtilmiştir (Bolser, 2006).

SONUÇ

Öksürük özellikle yabancı cisim aspirasyonunda cismin veya üst ya da alt solunum yolu enfeksiyonlarında etken patojenin tahliyesi için gerekli olsa da genellikle rahatsız edici bir semptomdur. Aile hekimliği, göğüs hastalıkları, pediatri ve dahiliye polikliniklerinde en sık rastlanan şikayettir. Özellikle tıbbi ilk temas noktası olan aile hekimleri öksürük konusuna hâkim olmalı, gerekli muayene ve tetkikleri yapmalı, duruma göre tedaviyi düzenlemeli veya hastayı ilgili branşa sevk etmelidir.

KAYNAKÇA

Argüder, E. (2012). Kronik öksürüğün tanı ve tedavisi. Solunum Dergisi, 14(3), 117-126.

Belvisi, M. G., Dubuis, E., & Birrell, M. A. (2011). Transient receptor potential A1 channels: insights into cough and airway inflammatory disease. Chest, 140(4), 1040-1047.

Bilgin, C. 20. Öksürük.

Bolser, D. C. (2006). Cough suppressant and pharmacologic protussive therapy: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. Chest, 129(1), 238S-249S.

Canning, B. J., Mazzone, S. B., Meeker, S. N., Mori, N., Reynolds, S. M., & Undem, B. J. (2004). Identification of the tracheal and laryngeal afferent neurones mediating cough in anaesthetized guinea-pigs. The Journal of physiology, 557(2), 543-558.

Chang, A. B., & Glomb, W. B. (2006). Guidelines for evaluating chronic cough in pediatrics: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. Chest, 129(1), 260S-283S.

Chang, A. B., Chang, A., & Asher, M. I. (2001). A review of cough in children. Journal of asthma, 38(4), 299-309.

Chang, A. B., Robertson, C. F., Paul van Asperen, P., Glasgow, N. J., Masters, I. B., Teoh, L., & Morris, P. S. (2013). A cough algorithm for chronic cough in children: a multicenter, randomized controlled study. Pediatrics, 131(5), e1576-e1583.

Chung, K. F. (2008). Currently available cough suppressants for chronic cough. Lung, 186(Suppl 1), 82-87.

Coleridge, H. M., & Coleridge, J. C. G. (1986). Reflexes evoked from tracheobronchial tree and lungs. Handbook of physiology. The respiratory system. Control of breathing, 2, 395-429.

De Jongste, J. C., & Shields, M. D. (2003). Cough• 2: Chronic cough in children. Thorax, 58(11), 998-1003.

Doğan Mülazımoğlu D, Kayacan O. [Approach to chronic cough]. Tuberkuloz ve Toraks. 2017 Sep;65(3):227-236. DOI: 10.5578/tt.57253. PMID: 29135401.

Ekim, N., & Oğuzülgen, K. (2020). Temel akciğer sağlığı ve hastalıkları ders kitabı (3. bs.). Nobel Tıp Kitabevleri.

Erdoğan, D. Öksürük Anatomisi, Çocuk Cerrahisinde Öksürük.

Ford, A. C., Forman, D., Moayyedi, P., & Morice, A. H. (2006). Cough in the community: a cross sectional survey and the relationship to gastrointestinal symptoms. Thorax, 61(11), 975-979.

French, C. L., Irwin, R. S., Curley, F. J., & Krikorian, C. J. (1998). Impact of chronic cough on quality of life. Archives of internal medicine, 158(15), 1657-1661.

Fuentes-Leonarte, V., Tenías, J. M., & Ballester, F. (2009). Levels of pollutants in indoor air and respiratory health in preschool children: a systematic review. Pediatric pulmonology, 44(3), 231-243.

Gibson, P. G., Chang, A. B., Glasgow, N., Holmes, P., Katelaris, P., Kemp, A., & Vertigan, A. (2010). CICADA: Cough in Children and Adults: Diagnosis and Assessment. Australian cough guidelines summary statement.

Hanáček, J., Davies, A., & Widdicombe, J. G. (1984). Influence of lung stretch receptors on the cough reflex in rabbits. Respiration, 45(3), 161-168.

Hay, A. D., Wilson, A., Fahey, T., & Peters, T. J. (2003). The duration of acute cough in pre-school children presenting to primary care: a prospective cohort study. Family practice, 20(6), 696-705.

Irwin, R. S., & Madison, J. M. (2000). The diagnosis and treatment of cough. New England Journal of Medicine, 343(23), 1715-1721.

Irwin, R. S., Baumann, M. H., Bolser, D. C., Boulet, L. P., Braman, S. S., Brightling, C. E., & Tarlo, S. M. (2006). Diagnosis and management of cough executive summary: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. Chest, 129(1 Suppl), 1S.

Irwin, R. S., Boulet, L. P., Cloutier, M. M., Fuller, R., Gold, P. M., Hoffstein, V., & Rubin, B. K. (1998). Managing cough as a defense mechanism and as a symptom: a consensus panel report of the American College of Chest Physicians. Chest, 114(2), 133S-181S.

İğde, M. (2016). Kronik Öksürük ve Klinik Yaklaşım. Klinik Tıp Aile Hekimliği, 8(5), 31-35.

Lai, K., Chen, R., Lin, J., Huang, K., Shen, H., Kong, L., & Zhong, N. (2013). A prospective, multicenter survey on causes of chronic cough in China. Chest, 143(3), 613-620.

Mason, R. J., Broaddus, V. C., Martin, T. R., King, T. E., Schraufnagel, D., Murray, J. F., & Nadel, J. A. (2010). Murray and Nadel's textbook of respiratory medicine E-book: 2-volume set. Elsevier Health Sciences.

Morice, A. H. (2002). Epidemiology of cough. Pulmonary pharmacology & therapeutics, 15(3), 253-259.

Morice, A. H. (2008). Review series: chronic cough: epidemiology. Chronic respiratory disease, 5(1), 43-47.

Morice, A. H., Fontana, G. A., Belvisi, M. G., Birring, S. S., Chung, K. F., Dicpinigaitis, P. V., & Widdicombe, J. (2007). ERS guidelines on the assessment of cough. European respiratory journal, 29(6), 1256-1276.

Morice, A. H., McGarvey, L., & Pavord, I. (2006). Recommendations for the management of cough in adults. Thorax, 61(suppl 1), i1-i24.

Özdilekcan, Ç. (2018). Erişkinlerde Kronik Öksürük: Etyolojik, Tanısal Ve Tedavi İle İlgili Yaklaşımlar. Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(2), 47-51.

Pavord, I. D., & Chung, K. F. (2008). Management of chronic cough. The Lancet, 371(9621), 1375-1384.

Pratter, M. R. (2006). Overview of common causes of chronic cough: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. Chest, 129(1), 59S-62S.

Pratter, M. R., Brightling, C. E., Boulet, L. P., & Irwin, R. S. (2006). An empiric integrative approach to the management of cough: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. Chest, 129(1), 222S-231S.

Songür, N. (2006). Öksürük. In Solunum hastalıkları (pp. 52–56). Poyraz Tıbbi Yayıncılık

Tatar, M. I. L. O. S., Sant′ Ambrogio, G. I. U. S. E. P. P. E., & Sant′ Ambrogio, F. B. (1994). Laryngeal and tracheobronchial cough in anesthetized dogs. Journal of applied physiology, 76(6), 2672-2679.

Widdicombe, J., & Lee, L. Y. (2001). Airway reflexes, autonomic function, and cardiovascular responses. Environmental health perspectives, 109(Suppl 4), 579.

Zemp, E., Elsasser, S., Schindler, C., Kunzli, N., Perruchoud, A. P., Domenighetti, G., & Sapaldıa team. (1999). Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms in adults (Sapaldıa study). American journal of respiratory and critical care medicine, 159(4), 1257-1266.

https://doi.org/10.71284/asc.2026172

DESIGN AND FABRICATION OF PORTABLE DRIED LEAVES SHREDDER MACHINE

Verawaty Ismail[1]
Mohd Hilmi Ariffin[2]
Syarfadila Ezurida Shaari [3]

Abstract

The accumulation of dried leaves in residential, agricultural, and public areas poses a persistent environmental challenge in tropical countries like Malaysia. Inefficient dried leaves disposal methods, such as open burning, contribute significantly to air pollution and greenhouse gas emissions. This study addresses the need for sustainable dried leaves waste management by developing a shredder to transform dried leaves into resources for composting or mulching. The main objective is to design and fabricate a compact, portable dried leaves shredder for small-scale applications in households and communities. The machine was designed and built using a motor-driven rotary blade mechanism, and mobility with wheels, fabricated from locally available, cost-effective materials such as mild steel and steel plate. Powered by a 24V rechargeable battery system, the design emphasizes energy efficiency, easy maintenance, and safety. Testing involved assessing throughput, particle output size distribution, and shredding efficiency. Performance testing revealed a shredding capacity of 0.54 kg/min (32.18 kg/hr), shredding efficiency of 81.7%, and an average particle output size of 10 – 12.5 mm, which is suitable for decomposition and mulching applications. The developed shredder effectively reduces leaf volume and enhances decomposition process, promoting eco-friendly practices by converting organic waste into useful by-products. This work contributes to sustainable waste management practices and supports global sustainability initiatives by reducing reliance on open burning and encouraging resource recovery at community level. It offers practical benefits for small-scale users, including time savings and sustainability.

Keywords: Dried leaves shredder; portable machine; waste management; composting; sustainable agriculture; mechanical design.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, e verawaty@ptss.edu.my

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, ehilmi@ptss.edu.my

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Mukah Sarawak, KM 7.5, Jalan Oya, 96400 Mukah, Sarawak, Malaysia, syarfadila@pmu.edu.my

INTRODUCTION

Dried leaves are a major component of organic waste in both urban and rural environments, especially in tropical countries like Malaysia. Due to the abundance of trees in residential, institutional, and agricultural areas, large volumes of dried leaves accumulate seasonally. The management of agricultural and garden waste, particularly dried leaves, has become an increasing concern due to environmental and sustainability challenges. Improper disposal methods such as open burning or dumping into landfills are still commonly practiced. This contribute significantly to air pollution and greenhouse gas emissions. (Sahani et al., 2014; Jamaludin et al., 2020).

Figure 1. Dried leaves litters and open burning of dried leaves in public areas at Arau, Perlis, Malaysia



According to the Food and Agriculture Organization (2021), organic waste such as dried leaves represents a valuable resource that can be repurposed into organic compost, or mulch when properly processed. Composting is widely recognized as an effective and eco-friendly method for managing dried leaf waste. Studies have shown that leaf-based compost improves soil structure, microbial activity, and nutrient availability, particularly when applied as an organic amendment in agriculture and landscaping (Patil et al., 2021). In mulching applications, shredded leaves help conserve soil moisture, regulate temperature, and suppress weed growth, while gradually releasing nutrients into the soil (Kader et al., 2019; Adekiya et al., 2020). Dried leaf mulching is a widely adopted in sustainable gardening and agricultural practice because it mimics natural nutrient cycling processes found in forest floors (George & Latha, 2020).

While beneficial, dried leaves may take time to decompose and may temporarily tie up nitrogen in the soil if not properly managed. Shredding is a crucial pre-treatment step that reduces the volume of leaves and accelerates decomposition, making it an essential process in sustainable waste management systems. Studies have shown that mechanical shredding significantly improves composting performance by increasing the surface area available for microbial colonization and speeding up the breakdown process (Singh et al., 2018). This supports the role of shredding machines in promoting circular economy practices, where organic waste is transformed into useful agricultural inputs rather than being discarded.

Previous studies on small-scale dried leaves shredders have emphasized the development of cost-effective, efficient, and user-friendly machines suitable for household and small agricultural applications. Sutrisna et al. (2019) designed a dry leaf shredding machine incorporating a multi-blade cutting mechanism and found that increasing blade number significantly improved shredding efficiency and particle size reduction. Similarly, Ganesh et al. (2017) developed a portable organic shredder for agricultural residues, highlighting that compact design and operational simplicity are key factors influencing adoption among small-scale users. Their findings suggest that portability and affordability are critical considerations in the design of shredding machines for rural and domestic use.

Furthermore, Oladejo et al. (2020) reported that shredding performance is strongly influenced by blade configuration and rotational speed, with higher speeds improving material breakdown and processing efficiency. In addition, a study by De La Salle Lipa (2018) demonstrated the feasibility of a pedal-powered leaf shredder, emphasizing sustainable and energy-efficient approaches for organic waste management. More recently, Zhang et al. (2024) proposed an integrated small-scale leaf collection and shredding system, showing improved operational efficiency and highlighting the advantages of combining multiple functions into a single portable unit. Overall, these studies provide valuable insights into the design and performance optimization of small-scale dried leaves shredding machines, particularly in terms of efficiency, portability, and sustainability.

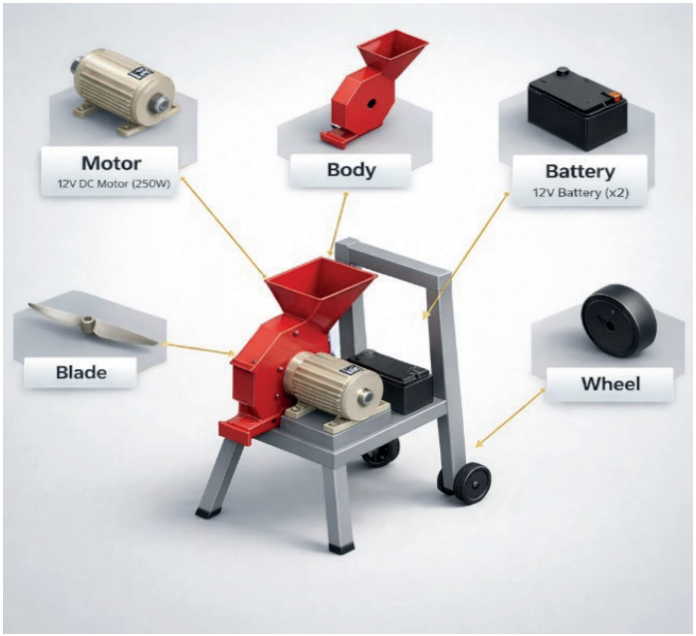
The design and fabrication of a dried leaves shredder machine involve considerations of ergonomics, efficiency, durability, and safety. It is also essential that the machine can operate with minimal maintenance and be powered by an affordable energy source. Developing a dried leaves shredder that meets these criteria not only supports environmental sustainability but also aligns with Malaysia's national goals to reduce organic waste sent to landfills and promote composting at the community level (SWCorp Malaysia, 2021).

1. METHODOLOGY

1.1. Design Method

This project followed a Design Thinking approach, progressing through empathizing, defining, ideating, prototyping, and testing phases. Three designs concept were evaluated using the Pugh Method. Criteria which taken into account include cutting mechanism, power source, mobility, and safety. The chosen design comprises of a rotary blade system powered by DC motor with rechargeable batteries. This is to allow indepedency from grid system. This configuration, illustrated in Figure 2 was selected for its simplicity, eco-friendliness, and enhanced mobility compared to corded AC or petrol-driven models.

Figure 2. Proposed design of Portable Dried Leaves Shredder machine.



1.2. Fabrication and Components

The machine was fabricated using locally sourced materials to ensure affordability and ease of maintenance. The main fame uses 1" x 1" mild steel hollow and 1" angle bars. The hopper and base were fabricated from a 1.2 mm thick mild steel plate. The system comprises of a 24V DC motor with 250W output powered

by two 12V rechargeable batteries. Shredding chamber consist of a hexagon-shaped metal blade housing a sharpened steel blade. The shredding chamber is equipped with removable cover with safety latch to facilitate maintenance and blade replacement. Two 4" wheels were installed to the frame on 2 legs for easy transport. An emergency stop button was also added to enhance safety. Figure 3 shows the completed portable dry leaves shredder.

Figure 3. Completed portable dry leaves shredder machine.



1.3. Testing

1 kg of dry leaves were used in every testruns. The shredder is switched on and leaves are fed into the hopper. The time taken to shred 1 kg of dry leaves and output material weight was recorded and shredded leaves was collected to evaluate the particle size after shredding. The testing were repeated three times.

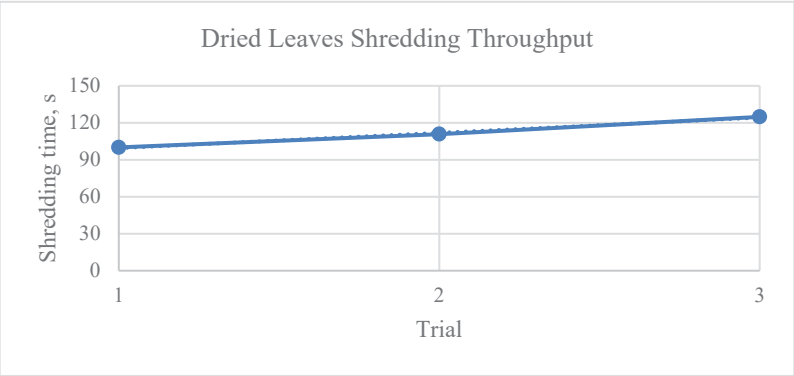
2. RESULTS AND DISCUSSION

The completed portable dried leaves shredding machine was tested to verify the performance and the efficiency. A known mass of dried leaves was fed into the hopper and the time taken to shred sample was recorded. The weight before shredding and weight of shredded dried leaves was also recorded during the testrun.

2.1. Capacity of Shredder

The portable dried leaves shredder machine as shown in Figure 3 was subjected to performance test. The shredder machine shredding rate was measured by recording the time taken by the machine to shred a total of 1 kg dried leaves. Figure 4 shows the time taken to shred 1 kg of dried leaves for 3 trial runs. The results shows consistency of machine performance with an average throughput of 0.54 kg/min or equivalent to 32.18 kg/hr. Although the throughput of this shredded is lower than commercial small scale leaf shredders, this throughput indicates fairly efficient processing capability for a 24V DC motor and a rotary 2-blade system. The shredding throughput demonstrates relatively consistent performance, while variations were likely caused by uneven leaf feeding or leaf distribution.

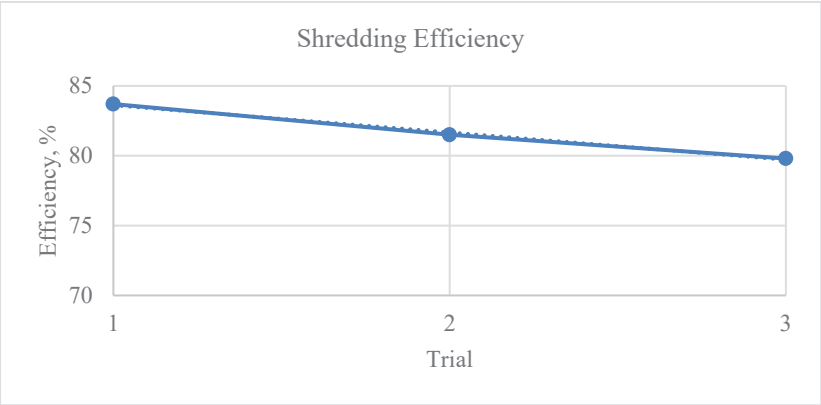
Figure 4. Dried leaves shredding throughput.



2.2. Shredding Efficiency

Shredder efficiency was measured by weighing the input load and output load to evaluate the efficiency of the blade and the enclosure of the shredding mechanism Figure 5. The shredder achieved an average efficiency of 81.7 %, suggesting effective shredding with small to minimal material loss. This shows that the blade design and enclosure successfully retained the shredded leaves.

Figure 5. Shredding efficiency of the shredder machine.



2.3. Particle Size Estimation

Shredded dried leaves particle size was estimated by passing 1000 g of sampel through a nested stack of sieves. Table 1 shows the 1000g sampel retained by various sieve size.

Table 1. Shredded leaves particle sieving analysis.

Sieve Size (mm)	Mass Retained (g)	Percentage Retained %
40	0	0%
20	63	6.3%
12.5	251	25.1%
10	550	55.0%
4.75	5	5%

The particle size of shredded dry leaves was also estimated using visual scaling based on 20 cm x 20 cm container. By comparing the relative size of leaf fragments within the container, the average particle size

was proximated to be 10 mm ± 3 mm. From sieving analysis, the majority of particles (55.0%) were observed to fall within the range of 10 – 12.5 mm, and 25.1% fall in the range of 12.5 – 20 mm, indicating moderate shredding efficiency. Practically, the machine was able to produce shredded particle within the range of 10 – 12.5 mm, which is optimal for composting, while coarser particles of the shredded leaves will be able to be used for mulching purpose. Larger particle sizes are more suitable as they improve soil moisture retention and reduce soil compaction.

CONCLUSION

The design and fabrication of portable dried leaves shredder has successfully achieved its objectives to efficiently process dry leaves litters for small scale leaf waste management. Evaluations of the performance and the efficiency demonstrated that the machine efficiently reduce waste volume and shred dried leaves into smaller particle sizes within the range of 10 – 12.5 mm that are able to accelerate decomposition process. Results also indicate that the shredder performs reliably with 81.7% efficiency under controlled conditions and average throughput of 0.54 kg/min, suitable for domestic or small-scale agricultural applications. This project confirmed that blade design and shredding chamber affects the shredding performance. Although system performed fairly well, some limitations were identified, such as occational jamming and limited capability in handling thicker materials. Overall, the fabricate shredder provides a cost-effective, portable and environmentally-friendly solution for managing dried leaves waste. This project also aligns with global Sustainable Development Goals (SDGs) by mitigating climate change through reduces carbon emissions from open burning and empowering communities with affordable green technology.

REFERENCES

Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., & Simeon, V. T. (2020). Effects of organic mulch materials on soil properties, growth and yield of crops: A review. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 1–9. https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3

De La Salle Lipa. (2018). Pedal-powered leaf shredder: Cycling leaves to organic mulch. *Senior High School Research Paper*.

Food and Agriculture Organization. (2021). Global assessment of agricultural waste and resource recovery. *Rome: FAO*.

Ganesh, R., et al. (2017). Design and fabrication of organic portable shredder machine. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(5), 1–5.

George, J., & Latha, M. S. (2020). Organic mulching for sustainable agriculture: A review. Agricultural Reviews, 41(2), 120–126.

Jamaludin, N. A., Harun, S., & Hassan, N. (2020). Environmental impacts of open burning practices in Malaysia. *Malaysian Journal of Environmental Management*, 21(3), 45–53.

Kader, M. A., Senge, M., Mojid, M. A., & Nakamura, K. (2019). Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed conditions. *Agriculture*, 9(8), 176. https://doi.org/10.3390/agriculture9080176

Oladejo, K. A., et al. (2020). Design and fabrication of a small-scale shredder. *Journal of Production Engineering*, 23(1), 12–18.

Patil, S., Kumar, R., & Rao, P. (2021). Utilization of organic waste for compost production and soil improvement. *Journal of Environmental Management*, 287, 112–118.

Sahani, M., Zainon, N. A., & Latif, M. T. (2014). Air pollution from open burning and its health effects in Malaysia. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 8(3), 123–130.

Singh, A., Rao, P., & Mishra, S. (2018). Effect of mechanical shredding on composting efficiency of organic waste. *Waste Management*, 79, 439–449.

Sutrisna, M., et al. (2019). Design and performance analysis of a dry leaf shredding machine. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 8(2), 45–52.

SWCorp Malaysia. (2021). National solid waste management policy and initiatives. *Putrajaya: Solid Waste and Public Cleansing Management Corporation.*

Zhang, Y., et al. (2024). Development of an integrated small-scale leaf collection and crushing system. *Sustainability*, 16(3), 1120.

https://doi.org/10.71284/asc.2026173

PSYCHOLOGICAL DETERMINANTS OF ACADEMIC INTEGRITY IN THE USE OF GENERATIVE AI IN HIGHER EDUCATION

Ezgi Dagtekin[1]
Ercan Erkalkan[2]

Abstract

This paper examines the psychological determinants that shape academically honest and dishonest uses of generative artificial intelligence (GenAI) in higher education. Rather than treating academic misconduct as a purely technological problem, the study conceptualizes academic integrity as a psychologically mediated decision process influenced by moral reasoning, perceived social norms, policy clarity, academic self-efficacy, AI literacy, performance pressure, and beliefs about authorship. Methodologically, the paper adopts a focused narrative review and conceptual synthesis design. A purposive corpus of 16 core publications, including peer-reviewed studies and policy-oriented texts published between 2022 and March 2026, was assembled through targeted searches using combinations of the keywords generative AI, academic integrity, academic misconduct, moral disengagement, AI literacy, and higher education. The reviewed literature suggests that students do not interpret all forms of AI assistance as cheating. Integrity risk increases when institutional guidance is vague, peer use appears normalized, academic pressure is high, and AI tools are perceived as legitimate substitutes for difficult cognitive labor. By contrast, assignment-level guidance, explicit disclosure norms, ethics-oriented instruction, and authentic assessment design appear to reduce integrity risk more effectively than detection-centered responses alone. Based on these findings, the paper proposes an integrative conceptual model in which institutional context shapes psychological appraisal, and psychological appraisal in turn influences disclosed, borderline, or dishonest GenAI use. The paper concludes that effective responses to GenAI-related integrity problems should combine policy clarity, pedagogy, AI literacy, and student support rather than relying only on prohibition or software-based surveillance.

Keywords: Academic integrity, generative AI, higher education, moral disengagement, AI literacy.

[1] The MacDuffie School, Massachusetts, USA

[2] Dr. Öğr. Üyesi, Department of Electronics and Automation, Marmara University, ercan.erkalkan@marmara.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-9259-7112

INTRODUCTION

Generative artificial intelligence has disrupted long-standing assumptions about authorship, originality, and acceptable assistance in higher education. Large language models can summarize readings, propose structures, paraphrase drafts, generate code, emulate voice, and even fabricate references in ways that blur the boundary between support and substitution. This shift has intensified academic integrity debates because the core issue is no longer limited to plagiarism in its traditional copy-and-paste form. Instead, the concern extends to hidden delegation of cognitive work, opaque collaboration with non-human agents, and the weakening of students' ownership of their submitted work (Perkins, 2023; Roe & Perkins, 2022; Duah & McGivern, 2024).

Recent empirical studies show that students interpret the integrity status of GenAI use unevenly. In an Australian survey, more than one third of students reported using a chatbot to assist with assessment, and many did not automatically view that behavior as an academic integrity breach (Gruenhagen et al., 2024). A broader multicultural study spanning 76 countries similarly found widespread awareness and familiarity with GenAI, but considerable variation in how participants evaluated its legitimacy in academic work (Yusuf et al., 2024). These findings suggest that integrity judgments are not solely determined by formal rules. They are filtered through beliefs about fairness, effort, pressure, and what peers appear to do.

For this reason, an exclusively technological or punitive framing is insufficient. Detection tools, authorship checks, and stricter sanctions may still have a role, but they do not fully explain why students choose disclosure, borderline reliance, or dishonest substitution in the first place. Studies on GenAI-related cheating increasingly point to psychological processes such as moral disengagement, subjective norms, rationalization, perceived utility, and self-efficacy (Zhang et al., 2024; Huang et al., 2025; Theoharakis et al., 2025). Moreover, ambiguity in institutional guidance can function as a silent permissive signal, especially when classroom expectations and university-level policy are misaligned (Gonsalves, 2025; Huang et al., 2025).

The present paper addresses a practically significant question: which psychological determinants most strongly shape academic integrity in the use of GenAI in higher education? The paper makes three contributions. First, it synthesizes recent literature on the psychological drivers of GenAI-related integrity decisions. Second, it proposes an integrative conceptual model linking institutional context, psychological appraisal, and behavioral outcomes. Third, it derives practical implications for policy design, pedagogy, disclosure practices, and assessment design. The central argument is that academic integrity in GenAI use should be understood as a situated decision process in which students evaluate moral cost, perceived normality, personal competence, performance pressure, and the legitimacy of AI assistance before acting.

1. METHOD

This study uses a focused narrative review and conceptual synthesis design. The aim is not to produce a formal systematic review or meta-analysis, but to identify and interpret the psychological determinants that recur across recent literature on academic integrity in the use of GenAI in higher education. This design was selected because the field is rapidly evolving, the available evidence is methodologically heterogeneous, and many relevant publications combine empirical findings with policy interpretation.

1.1. Conceptual Framework

The analysis is grounded in a behavioral ethics perspective. Two complementary theoretical lenses guide the synthesis. First, the Theory of Planned Behavior explains how attitudes, subjective norms, and perceived behavioral control shape intention (Ajzen, 1991). This lens is appropriate because many GenAI-related academic decisions involve anticipatory judgments about whether a specific AI-supported action will be considered acceptable. Second, moral disengagement theory explains how individuals reduce the perceived ethical cost of questionable behavior by minimizing harm, diffusing responsibility, or redefining

misconduct as harmless, necessary, or normal (Bandura, 1999). Together, these perspectives support an interpretation of GenAI misuse as a psychologically mediated and context-sensitive decision rather than a simple rule violation.

1.2. Review Procedure

The literature corpus was developed through targeted searches conducted on Google Scholar, Scopus-indexed journal portals accessible through institutional search, and publisher databases commonly used in education and technology research. Searches were conducted iteratively and finalized in March 2026. Search combinations included the terms generative AI, ChatGPT, academic integrity, academic misconduct, cheating, moral disengagement, AI literacy, authorship, disclosure, and higher education, used in combinations such as "generative AI" AND "academic integrity", "ChatGPT" AND cheating, and "AI literacy" AND higher education. The temporal scope was limited to publications from 2022 to March 2026 because GenAI became a mainstream issue in higher education during this period. Initial screening prioritized peer-reviewed journal articles, conference papers, and policy-oriented reports with direct relevance to integrity, disclosure, acceptable use, policy ambiguity, or psychological drivers of AI use in academic settings.

1.3. Inclusion and Exclusion Criteria

Publications were included if they met three conditions: first, they addressed GenAI use in higher education or closely related academic settings; second, they contained either empirical findings, conceptual analysis, or policy discussion directly relevant to academic integrity; third, they examined at least one psychological, social, or behavioral determinant of AI-related academic conduct. Commentary texts without analytical substance, duplicate records, and publications focused solely on technical model performance without educational or ethical implications were excluded.

1.4. Corpus and Analytical Strategy

The final review corpus consisted of 16 core review texts, including 13 peer-reviewed empirical or conceptual studies and 3 policy or guidance texts. Foundational theoretical sources used to frame the analysis, such as Ajzen (1991), Bandura (1999), and Long and Magerko (2020), informed the conceptual background but were not counted among the 16 core review texts. The sample was purposive rather than random because the objective was conceptual relevance rather than statistical representation. Because the study was designed as a focused narrative review rather than a PRISMA-style systematic review, the search and selection process was iterative and did not rely on a formal record-by-record screening flow with exhaustive counts. Instead, texts were retained until the recurring determinants and intervention themes were sufficiently covered for conceptual synthesis. After full-text reading, each document was coded for recurring determinants such as moral disengagement, perceived normativity, policy clarity, academic self-efficacy, AI literacy, time pressure, and authorship beliefs. In a second coding round, the direction of influence of each factor was examined to determine whether it appeared to increase integrity risk, reduce it, or operate conditionally. The synthesis then grouped the recurring determinants into a conceptual model linking institutional context, psychological appraisal, and behavioral outcome.

2. REVIEW SCOPE AND ANALYTICAL BASIS

Before presenting the substantive determinants in Section 3, this section defines the analytical scope of the review and clarifies how the selected literature was treated as the basis for the conceptual synthesis.

2.1. Purpose and Significance of the Study

The main purpose of the study is to identify the psychological conditions under which GenAI use is more likely to remain academically legitimate or shift toward dishonest reliance. The significance of the topic lies in the fact that institutional responses to GenAI still tend to focus on detection, prohibition, or generic

rule statements, whereas recent research increasingly indicates that students' conduct is shaped by how they interpret the fairness, meaning, legitimacy, and risks of AI use. A psychologically informed account is therefore necessary to explain why the same tool may be used by one student for planning, revision, and language support, yet by another for undisclosed substitution of authorship.

2.2. Review Corpus

The review corpus consists of 16 core texts, including 13 peer-reviewed empirical or conceptual studies and 3 policy or guidance documents. The corpus was constructed purposively to capture methodological variation while preserving close relevance to higher education and academic integrity. The selected texts jointly represent student-centered evidence, policy interpretation, and pedagogical discussion, thereby allowing institutional and individual-level influences to be analyzed together.

2.3. Analytical Strategy

A thematic synthesis strategy was employed. Each document was coded for the presence of specific determinants, including moral disengagement, perceived social normativity, academic self-efficacy, AI literacy, performance pressure, policy awareness, and authorship beliefs. A second analytical round focused on whether each factor appeared to increase integrity risk, reduce it, or exert a conditional effect depending on institutional guidance or assessment design. Priority was given to determinants that recurred across independent sources or that were explicitly linked to behavioral outcomes such as disclosure, covert use, cheating intention, or normalization of AI-assisted work.

3. SYNTHESIZED FINDINGS

The reviewed literature converges on a set of interrelated determinants that shape how students interpret and use GenAI in academic work. These determinants do not operate independently. Instead, they interact through a broader process of psychological appraisal in which institutional context, perceived norms, and personal coping needs influence whether GenAI is used transparently, ambiguously, or dishonestly.

A first recurring determinant is moral disengagement. Studies on GenAI-related misconduct show that students frequently distinguish between serious cheating and more subtle AI-mediated practices, such as undisclosed paraphrasing, rewriting, or idea generation. This gray-zone reasoning allows misconduct to be reframed as efficiency, harmless support, or normal adaptation to a new technological environment. Zhang et al. (2024) show that moral and rational evaluations interact in shaping ChatGPT-based misconduct, while Theoharakis et al. (2025) specifically connect AI engagement to morally disengaged forms of misconduct. Huang et al. (2025) similarly report that personal ethics are central in students' decisions about academic cheating with GenAI.

A second determinant is social influence. GenAI use becomes easier to justify when students believe that everyone is doing it, that instructors tacitly expect AI fluency, or that peer competition rewards speed over process. Ajzen's (1991) framework predicts this pattern, and recent studies confirm it in AI contexts. Huang et al. (2025) found peer influence to be strongly associated with cheating behavior, while Acosta-Enriquez et al. (2025) showed that social influence and integrity perceptions are central to AI uptake in academic settings. The significance of this determinant is that institutions may unintentionally normalize misconduct through silence.

A third determinant is policy clarity and disclosure culture. Research consistently indicates that students do not automatically map formal university rules onto concrete GenAI practices. Duah and McGivern (2024) describe ambiguity around authorial identity and acceptable use, and Gonsalves (2025) shows that non-compliance in AI use declarations is not always straightforward defiance; it may also reflect confusion, inconsistent assessment design, or uncertainty about what exactly counts as reportable use. Importantly, Huang et al. (2025) found classroom-level policies to exert stronger influence than general institutional

policies. This interpretation is consistent with broader discussions emphasizing that operational guidance, not abstract policy language alone, is needed to preserve academic integrity under GenAI conditions (Lund et al., 2025; TEQSA, 2024).

A fourth determinant concerns academic self-efficacy and AI literacy. Students with weak confidence in their ability to start, organize, or complete demanding tasks may treat GenAI as a substitute for effort rather than as support for learning. At the same time, low AI literacy can produce a different risk: students may not understand the limits, biases, or authorship implications of generated content. Long and Magerko (2020) define AI literacy as a set of competencies involving understanding, evaluation, and ethical use. Hill and Hargis (2024) demonstrate that structured ethics instruction can strengthen reflective engagement with these issues.

A fifth determinant is performance pressure and time scarcity. GenAI is especially attractive under conditions of deadline compression, grade anxiety, language insecurity, or excessive workload. Gruenhagen et al. (2024) identify psychosocial conditions associated with chatbot use in assessments, while Yusuf et al. (2024) show that participants across cultures simultaneously recognize the productivity benefits and integrity risks of GenAI. In such contexts, misuse may be driven less by explicit intent to deceive than by perceived necessity.

A final determinant is authorship belief. Academic integrity in GenAI use depends heavily on what students think ownership of work actually means. If authorship is interpreted narrowly as having submitted the file rather than having done the central intellectual work, then extensive undisclosed AI assistance can be framed as acceptable. Perkins (2023) and Bittle and El-Gayar (2025) both emphasize that GenAI challenges inherited definitions of plagiarism and originality. The key integrity question is therefore not simply whether AI was used, but whether the student remains epistemically and authorially responsible for the submitted product.

Across the corpus, moral disengagement, social influence, and policy clarity emerged as the most recurrent and behaviorally proximate determinants. Academic self-efficacy and performance pressure also appeared frequently, typically as enabling conditions that made overreliance on GenAI more likely under stress. By contrast, AI literacy and authorship beliefs were analytically important but less consistently operationalized in empirical terms, which suggests that these two determinants remain especially important targets for future measurement-focused research.

Table 1 summarizes the main psychological determinants identified in the reviewed literature, the mechanisms through which they operate, the integrity risks they create, and the corresponding educational responses.

Table 1. Psychological determinants of academic integrity in GenAI use

Determinant	Psychological mechanism	Typical integrity risk	Suggested educational response
Moral disengagement	Redefining misconduct as harmless efficiency	Undisclosed substitution or paraphrasing	Ethics-focused case analysis and reflective prompts
Peer influence	Normalizing AI use through social comparison	Group-level normalization of covert use	Visible norms, task-specific examples, and classroom dialogue
Policy ambiguity	Uncertainty about what must be disclosed	Non-disclosure and boundary confusion	Assignment-level AI guidance and disclosure templates
Low academic self-efficacy	Delegating difficult cognitive work to the tool	Overreliance on generated drafts	Scaffolded drafting support and feedback checkpoints
Weak AI literacy	Inability to judge limitations, bias, or authorship implications	Fabricated references and shallow acceptance of outputs	AI literacy instruction tied to academic writing
Performance pressure	Using GenAI to cope with time, workload, or grade anxiety	Deadline-driven misuse and rationalization	Workload calibration and staged assessments
Authorship erosion	Submission treated as equivalent to authorship	Loss of ownership of intellectual work	Explicit teaching of authorship and epistemic responsibility

Source: Prepared by the author based on the reviewed literature.

As Figure 1 illustrates, the findings support an integrative conceptual model consisting of three layers. At the first layer, institutional context includes policy clarity, assessment design, disclosure expectations, and visible classroom norms. At the second layer, psychological appraisal includes moral disengagement, perceived normativity, self-efficacy, AI literacy, performance pressure, and authorship beliefs. At the third layer, behavioral outcomes include disclosed support use, borderline reliance, and dishonest substitution. In this model, institutional context does not influence behavior directly in a simple linear fashion; rather, it shapes how students interpret the legitimacy, necessity, and ethical cost of GenAI use.

Figure 1. Integrative conceptual model of academic integrity in the use of GenAI



Source: Prepared by the author based on the reviewed literature.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The synthesis indicates that academic integrity in the use of GenAI is best understood as the outcome of an interaction between institutional context and psychological appraisal. Students do not merely respond to formal rules. They interpret assignment requirements, observe peers, estimate reputational and academic risk, compare effort with reward, and construct a justification for action. Under conditions of policy ambiguity, weak disclosure culture, high workload, and output-centered assessment, psychologically convenient rationalizations become more available, thereby increasing the likelihood of hidden or excessive GenAI reliance.

These findings have three direct implications. First, policy should move from generic prohibition to use-specific guidance. Broad statements that AI may not be used inappropriately are too vague to regulate psychologically ambiguous behaviors such as idea generation, editing, translation, summarization, or code debugging. Second, pedagogy should explicitly teach authorship, disclosure, and epistemic responsibility. Students need examples of acceptable, questionable, and unacceptable uses rather than abstract integrity slogans. Third, integrity work should be paired with AI literacy and academic support. A student who lacks confidence, time, or language resources is more likely to overdelegate to GenAI. This broader response also aligns with holistic framework proposals that combine policy, pedagogy, and student support rather than detection alone (Rasul et al., 2024).

The paper also suggests that integrity research in the GenAI era should widen its methodological focus. Future empirical work could test the proposed model by measuring how moral disengagement, authorship belief, AI literacy, and time pressure jointly predict disclosed and undisclosed AI use across disciplines. Experimental studies could compare assessment designs with and without process-based disclosure mechanisms. Cross-cultural work is also needed, because the review indicates that norms of assistance, collaboration, and fairness vary across institutional settings.

Taken together, the paper contributes in three ways: it synthesizes the recurring psychological determinants of GenAI-related integrity decisions, proposes a three-layer conceptual model linking institutional context, psychological appraisal, and behavioral outcomes, and translates that synthesis into practical implications for policy, pedagogy, disclosure, and assessment design.

The present study has several limitations. It is a focused narrative review rather than a formal systematic review or meta-analysis, and the final corpus was purposively assembled rather than statistically sampled. The evidence base is also still evolving, and some included publications are conceptual or policy-oriented rather than fully empirical. In addition, the review emphasizes higher education and may not fully capture integrity dynamics in secondary education or professional certification contexts. Nevertheless, the study offers a timely conceptual synthesis for a rapidly changing field and identifies clear directions for empirical testing.

REFERENCES

Acosta-Enriquez, B. G., Arbulu Ballesteros, M., Vilcapoma Pérez, C. R., Huamaní Jordan, O., Martin Vergara, J. A., Martel Acosta, R., Arbulu Perez Vargas, C. G., & Arbulú Castillo, J. C. (2025). AI in academia: How do social influence, self-efficacy, and integrity influence researchers' use of AI models? Social Sciences & Humanities Open, 11, 101274.

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179-211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Bandura, A. (1999). Moral disengagement in the perpetration of inhumanities. Personality and Social Psychology Review, 3(3), 193-209. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr0303_3

Bittle, K., & El-Gayar, O. (2025). Generative AI and academic integrity in higher education: A systematic review and research agenda. Information, 16(4), 296. https://doi.org/10.3390/info16040296

Duah, J. E., & McGivern, P. (2024). How generative artificial intelligence has blurred notions of authorial identity and academic norms in higher education, necessitating clear university usage policies. International Journal of Information and Learning Technology, 41(2), 180-193. https://doi.org/10.1108/IJILT-11-2023-0213

Gonsalves, C. (2025). Addressing student non-compliance in AI use declarations: Implications for academic integrity and assessment in higher education. Assessment & Evaluation in Higher Education, 50(4), 592-606. https://doi.org/10.1080/02602938.2024.2415654

Gruenhagen, J. H., Sinclair, P. M., Carroll, J.-A., Baker, P. R. A., Wilson, A., & Demant, D. (2024). The rapid rise of generative AI and its implications for academic integrity: Students' perceptions and use of chatbots for assistance with assessments. Computers and Education: Artificial Intelligence, 7, 100273. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100273

Hill, C., & Hargis, J. (2024). An ethics module on academic integrity and generative AI. New Directions for Teaching and Learning, 1-10. https://doi.org/10.1002/tl.20626

Huang, D., Hash, N., Cummings, J. J., & Prena, K. (2025). Academic cheating with generative AI: Exploring a moral extension of the theory of planned behavior. Computers and Education: Artificial Intelligence, 8, 100424. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100424

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-16). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3313831.3376727

Lund, B. D., Lee, T. H., Mannuru, N. R., & Arutla, N. (2025). AI and academic integrity: Exploring student perceptions and implications for higher education. Journal of Academic Ethics, 23(3), 1545-1565. https://doi.org/10.1007/s10805-025-09613-3

Perkins, M. (2023). Academic integrity considerations of AI large language models in the post-pandemic era: ChatGPT and beyond. Journal of University Teaching and Learning Practice, 20(2). https://doi.org/10.53761/1.20.02.07

Rasul, T., Nair, S., Kalendra, D., Balaji, M. S., de Oliveira Santini, F., Ladeira, W. J., Rather, R. A., Yasin, N., Rodriguez, R. V., Kokkalis, P., Murad, M. W., & Hossain, M. U. (2024). Enhancing academic integrity among students in GenAI era: A holistic framework. International Journal of Management Education, 22(3), 101041. https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.101041

Roe, J., & Perkins, M. (2022). What are automated paraphrasing tools and how do we address them? A review of a growing threat to academic integrity. International Journal for Educational Integrity, 18, 15. https://doi.org/10.1007/s40979-022-00109-w

TEQSA. (2024). The evolving risk to academic integrity posed by generative artificial intelligence. Tertiary Education Quality and Standards Agency.

Theoharakis, V., Mylonopoulos, N., & Papadopoulou, K. (2025). AI's learning paradox: How business students' engagement with AI amplifies moral disengagement-driven misconduct. Studies in Higher Education, 1-18. https://doi.org/10.1080/03075079.2025.2533365

Yusuf, A., Pervin, N., & Román-González, M. (2024). Generative AI and the future of higher education: A threat to academic integrity or reformation? Evidence from multicultural perspectives. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21, 21. https://doi.org/10.1186/s41239-024-00453-6

Zhang, L., Amos, C., & Pentina, I. (2024). Interplay of rationality and morality in using ChatGPT for academic misconduct. Behaviour & Information Technology, 44(2), 491-507. https://doi.org/10.1080/0144929X.2024.2325023

https://doi.org/10.71284/asc.2026174

VERGİ UYUMUNUN ARTIRILMASINDA YAPAY ZEKÂ TABANLI DENETİM MEKANİZMALARI: ULUSLARARASI DENEYİMLER VE POLİTİKA ÇIKARIMLARI

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED AUDIT MECHANISMS IN ENHANCING TAX COMPLIANCE: INTERNATIONAL EXPERIENCES AND POLICY IMPLICATIONS

İsmail Koç[1]
Aydın Bağdat[2]

Özet

Vergi idarelerinde dijitalleşme, büyük veri analitiği ve yapay zekâ uygulamaları, geleneksel denetim anlayışını risk temelli ve veri odaklı bir yapıya dönüştürmektedir. Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ tabanlı denetim mekanizmalarının vergi uyumunun artırılmasındaki rolünü uluslararası ülke deneyimleri çerçevesinde incelemektir. Elektronik belge sistemleri, çoklu veri kaynakları ve risk analizi yaklaşımları sayesinde vergi idareleri; riskli mükellefleri önceliklendirebilmekte, uyumsuzluk örüntülerini erken aşamada tespit edebilmekte ve denetim süreçlerini daha hedefli hâle getirebilmektedir. Bu yönüyle günümüz teknoloji altyapısı, insan emeğine ve geçmişe dönük incelemeye dayalı klasik denetim modelini daha hızlı, önleyici ve veri temelli bir denetim yapısına taşımaktadır. Çalışmada Fransa, Estonya, Japonya ve Türkiye gibi farklı ülke örneklerini karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Araştırma, ikincil verilere dayalı nitel bir doküman analizi olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda OECD ve Avrupa Birliği raporları, ülke vergi idarelerinin kurumsal belgeleri, resmî raporlar ve ilgili akademik çalışmalar değerlendirilmiştir. Bulgular, yapay zekânın vergi denetiminde doğrudan cezalandırıcı veya nihai karar verici bir mekanizma olmaktan çok; risk sinyali üretme, veri eşleştirme, denetim önceliklendirme, kayıt dışı faaliyetleri belirleme ve tahsilat süreçlerini destekleme işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Vergi uyumu, vergi denetimi, yapay zekâ, risk analizi, dijital vergi idaresi.

Abstract

Digitalization, big data analytics, and artificial intelligence applications in tax administrations are transforming the traditional audit approach into a risk-based and data-driven structure. The aim of this study is to examine the role of artificial intelligence-based audit mechanisms in enhancing tax compliance within the framework of international country experiences. Through electronic document systems, multiple data sources, and risk analysis approaches, tax administrations are able to prioritize high-risk taxpayers, detect non-compliance patterns at an early stage, and make audit processes more targeted. In this respect, today's technological infrastructure is shifting the classical audit model, which relies on human labor and retrospective examination, toward a faster, preventive, and data-based audit structure. The study

[1]Sorumlu Yazar, Dr. Öğr.Üyesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ismailkoc@subu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-1944-2274

[2]Doç.Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, aydinbagdat@subu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0183-9866

comparatively examines various country cases, particularly France, the United Kingdom, Estonia, Japan, and Türkiye. The research is designed as a qualitative document analysis based on secondary data. In this context, OECD and European Union reports, institutional documents of national tax administrations, official reports, and relevant academic studies are evaluated. The findings reveal that artificial intelligence in tax auditing functions not as a direct punitive or final decision-making mechanism, but rather as a tool that supports risk signal generation, data matching, audit prioritization, the detection of informal activities, and tax collection processes.

Keywords: Tax compliance, tax audit, artificial intelligence, risk analysis, digital tax administration.

GİRİŞ

Dünyada ekonomik, ticari ve idari faaliyetler hızlı bir dijitalleşme sürecinden geçmektedir. Geleneksel iş ve işlem biçimlerinin yerini giderek dijital tabanlı süreçlerin alması, kamu yönetiminde de önemli bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Devletin en temel gelir kaynaklarından biri olan vergilerin etkin, hızlı ve adil biçimde toplanması, kamu hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu nedenle vergilendirme sürecinde mali verilerin sisteme girişi, muhasebeleştirilmesi, beyanı, tarhı, tebliği, tahakkuku, tahsili ve denetimi gibi aşamaların dijital sistemlerle desteklenmesi hem idari kapasiteyi hem de mükellef hizmetlerinin kalitesini artırmaktadır.

Vergi idareleri açısından dijitalleşme yalnızca işlemlerin elektronik ortama taşınması anlamına gelmemektedir. E-belge, e-defter, elektronik beyanname, dijital vergi dairesi, otomatik veri eşleştirme, büyük veri analitiği, risk analizi ve yapay zekâ tabanlı sistemler, vergilendirme sürecini daha hızlı, izlenebilir ve denetlenebilir hâle getirmektedir. Bu dönüşüm, vergi idarelerinin iş yükünü azaltmakta, personel verimliliğini artırmakta ve denetim kaynaklarının daha riskli alanlara yönlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Böylece klasik denetim anlayışı, geçmişe dönük ve emek yoğun inceleme modelinden; risk temelli, veri odaklı, önleyici ve öngörücü bir denetim yapısına doğru evrilmektedir.

Son yıllarda birçok ülkede yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi dijital araçların vergi denetimi, mükellef uyumu, sahte belge tespiti, kayıt dışı faaliyetlerin belirlenmesi, gümrük kontrolleri ve tahsilat süreçlerinde kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Fransa'da görüntü analiziyle beyan dışı taşınmaz unsurların tespiti, Estonya'da gümrük geçişlerinde X-ray ve ağ temelli risk analizleri, Avustralya'da anomali tespiti ve risk sınıflandırması, Japonya'da makine öğrenmesi destekli risk seçimi ve tahsilat uygulamaları, Türkiye'de ise e-belge altyapısı, Dijital Vergi Dairesi, GİBİ, VDK-RAS ve KURGAN gibi sistemler bu dönüşümün farklı örneklerini oluşturmaktadır. Bu bağlamda yapay zekâ destekli vergi denetimi, yalnızca teknolojik bir yenilik değil; vergi uyumunu artıran, kayıt dışılıkla mücadeleyi güçlendiren, denetim kapasitesini geliştiren ve kamu gelirlerinin güvenliğini destekleyen stratejik bir kamu maliyesi aracı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte yapay zekâ tabanlı sistemlerin kullanımı algoritmik yanlılık, veri gizliliği, şeffaflık, hukuki sorumluluk, mükellef hakları ve insan denetiminin korunması gibi önemli tartışmaları da beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ tabanlı denetim mekanizmalarının vergi uyumunun artırılmasındaki rolü uluslararası ülke deneyimleri çerçevesinde incelemek ve Türkiye açısından politika çıkarımları geliştirilmektedir. Çalışma kapsamında yapay zekâ destekli vergi denetiminin literatür özeti, yapay zekâ ve vergi denetimi ilişki ile ülkeler itibariyle vergi denetiminde yapay zekâ uygulamaları ortaya konulacaktır. Konular, teorik temelli bir tartışma ve ikincil verilere dayanan nitel analiz yöntemleri kullanılarak ele alınacaktır.

1. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ VERGİ DENETİMİNE İLİŞKİN LİTERATÜR

Literatürde vergi denetiminde yapay zekâ kullanımını inceleyen yerli ve yabancı birçok çalışma bulunmaktadır (bkz. Rahayu (2021), Baghdasaryan vd. (2022), Durmuş ve Erdem (2023), Ömercioğlu (2024), Çakmak (2025), Çakır vd. (2025), Kaplan Dönmez (2025), Yelman vd. (2025), Yetkin Ataer (2025), Alrasheedi vd. (2025), Alexopoulos vd. (2025), Battaglini vd. (2025), Choi ve Kim (2025), Choudhary (2025), Asare (2026), Oğuz vd. (2026)). Çalışmaların literatür özetleri aşağıda kronolojik sırayla sunulmuştur.

Rahayu (2021), Endonezya Vergi İdaresi (DGT) örneği üzerinden vergi denetim sistemlerinde yapay zekâ kullanımının tasarımını ve uygulanabilirliğini incelemiştir. Çalışmada, mevcut bilgi ve iletişim teknolojileri altyapısı, yapay zekânın vergi idaresine entegrasyon potansiyeli, bu süreci destekleyen faktörler ve karşılaşılan zorluklar ele alınmıştır. Nitel araştırma yöntemiyle, vergi denetim sistemlerini tasarlayan üç uzmanla yapılan görüşmeler ve kurum belgelerinin analizi kullanılmıştır. Bulgular, yapay zekâ tabanlı sistemlerin uygulanmasında kurumsal uyum ve özel sektör benzeri çalışma tarzına geçiş ihtiyacı gibi sorunlar bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca yapay zekânın vergi idaresine sağlayacağı faydaların henüz tam olarak test edilmemiş olması nedeniyle belirsizlik içerdiği ve kurumun bu teknolojiyi anlamlandırma sürecinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Durmuş ve Erdem (2023), çalışmalarında Vergi İdaresi 3.0 yaklaşımını yapay zekâ perspektifi çerçevesinde ele almıştır. Araştırmada yapay zekâ ile dijitalleşme kavramları arasındaki farklılıklar açıklanmış, çeşitli ülkelerde ve Türkiye'de vergi idarelerinde kullanılan yapay zekâ uygulamaları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yapay zekâ teknolojilerinin vergi idaresinin geleceğinde önemli bir yere sahip olacağı belirtilmiş ve Türk vergi idaresinin geliştirilmesine yönelik politika önerilerine yer verilmiştir. Baghdasaryan vd. (2022), çalışmalarında Ermenistan'daki işletmelerin vergi verileri kullanılarak makine öğrenmesi tabanlı bir vergi sahtekârlığı tahmin modeli geliştirmiştir. Araştırmada özellikle gradient boosting yöntemi kullanılmış ve sınırlı veriye rağmen vergi beyannamelerinden önemli risk göstergeleri elde edilmiştir. Çalışmada geçmişteki vergi usulsüzlükleri, önceki denetimler, yüksek idari gider oranları ve dış ekonomik faaliyetlerin sahtekârlık açısından önemli göstergeler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca araştırma, makine öğrenmesi modellerinin geleneksel kural temelli denetim yöntemlerinden daha başarılı sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Bunun yanında, mükelleflerin tedarikçi ve alıcı ağlarından elde edilen bilgilerin, özellikle yeni kurulan işletmelerde sahtekârlık riskinin belirlenmesinde önemli katkı sağladığı vurgulanmıştır. Ömercioğlu (2024), çalışmasında yapay zekâ teknolojilerinin vergi denetim süreçlerindeki kullanımını ele almıştır. Araştırmada yapay zekânın gelişimi ve işlevsel türleri açıklanmış, Türk vergi hukukundaki denetim yöntemleri ile dijital denetim uygulamaları incelenmiştir. Ayrıca Türkiye'de ve çeşitli ülkelerde kullanılan yapay zekâ destekli vergi denetim sistemlerinin vergi kayıpları ve kayıt dışılığın azaltılmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda ise makine öğrenmesi ve derin öğrenme yeteneklerine sahip sistemlerle gelecekte otonom vergi denetimlerinin mümkün olabileceği değerlendirilmiş, bu süreçte veri güvenliği, veri kalitesi ve mevzuatın sadeleştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Alrasheedi vd. (2025), çalışmalarında yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak vergi dolandırıcılığının tespit edilmesini incelemiştir. Araştırmada, sahte işlemlerin gerçek işlemlere göre çok az sayıda olması nedeniyle dolandırıcılığı belirlemenin zor olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca vergi verilerinin gizliliği nedeniyle gerçek veri setlerine erişim sınırlı olduğundan, araştırmacılar yapay olarak üretilmiş veri setleri kullanmıştır. Çalışmada veriler temizlenmiş, olağandışı kayıtlar belirlenmiş ve yapay veri artırma teknikleriyle model güçlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, olağandışı vergi indirimleri, gelir uyumsuzlukları ve tekrar eden şüpheli işlemlerin sahte kayıtların temel göstergeleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca birden fazla makine öğrenmesi modelinin birlikte değerlendirme yaptığı toplu karar yöntemi, diğer modellere göre daha başarılı sonuç vermiştir. Alexopoulos vd. (2025), çalışmalarında katma değer vergisi (KDV) dolandırıcılığını erken aşamada tespit etmek için makine öğrenmesi ve ağ temelli (network-based) yöntemler geliştirmiştir. Araştırmada Bulgaristan'daki tüm KDV işlem verileri kullanılarak, işletmeler arasındaki fatura ilişkileri bir ağ yapısı olarak modellenmiştir. Bu ağ yapısından elde edilen bilgilerle, sahte işlemlerin tespitinde klasik yöntemlere göre daha yüksek başarı sağlayan bir algoritma tasarlanmıştır.

Çalışma, KDV dolandırıcılığının yaklaşık %50'sini tespit edebildiğini ve özellikle işletmeler arası işlem ağını dikkate almanın tahmin başarısını belirgin şekilde artırdığını göstermiştir. Ayrıca önerilen sistemin otomatik çalıştığı ve vergi beyannameleri sonrası hızlı şekilde uygulanarak kayıpların önlenmesine yardımcı olabileceği vurgulanmıştır. Battaglini vd. (2025), çalışmalarında makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak vergi denetimlerinin etkinliğinin artırılmasını incelemiştir. İtalya'daki şahıs işletmelerine ait idari veriler kullanılarak geliştirilen modelin, denetlenecek mükelleflerin seçiminde insan kararlarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Çalışmada, düşük getirili denetimlerin algoritma destekli seçimlerle değiştirilmesi durumunda tespit edilen vergi kaçakçılığının %39, tahsil edilen verginin ise %29 oranında arttığı ortaya konmuştur. Choi ve Kim (2025), çalışmalarında üretken yapay zekâ kullanarak vergi denetimlerine ilişkin metinsel açıklamaları analiz etmiş ve firmaların denetim dönemlerini belirleyen yeni bir ölçüt geliştirmiştir. Araştırma, vergi denetimlerinin firmaların vergi kaçırma davranışını belirgin şekilde azalttığını ve bu etkinin denetim sonrası dönemde de devam ettiğini göstermiştir. Ayrıca, denetlenmeyen ancak ekonomik olarak bağlantılı firmaların da denetimlerden etkilenerek vergi uyumunu artırdığı; bu dolaylı caydırıcılık etkisinin doğrudan etkinin yaklaşık yarısı ile üçte ikisi arasında olduğu bulunmuştur. Çalışma, özellikle yüksek riskli ve daha az dış denetime tabi firmalarda denetim etkisinin daha güçlü olduğunu da ortaya koymuştur.

Choudhary (2025), çalışmasında makine öğrenmesi tekniklerinin vergi denetimi ve sahtekârlık tespitindeki kullanımını incelemiştir. Araştırmada, geliştirilen hibrit modelin şüpheli işlemleri belirlemede geleneksel yöntemlerden daha başarılı olduğu ve yüksek riskli mükelleflerin seçilmesiyle denetim kaynaklarının daha etkin kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada, yapay zekâ uygulamalarının vergi yönetiminde verimlilik ve doğruluğu artırabileceği, ancak yeni dolandırıcılık yöntemlerine uyum ve etik konular açısından geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çakmak (2025), çalışmasında Türk vergi idaresinin dijital dönüşüm düzeyini inceleyerek dijital vergi idaresi vizyonuna yönelik değerlendirmelerde bulunmuştur. Araştırmada dijital dönüşüm olgunluk modelinden yararlanılarak Türk vergi idaresinin mevcut durumu analiz edilmiş ve dijitalleşme sürecine ilişkin öneriler sunulmuştur. Çalışma sonucunda, Türk vergi idaresinin dijital dönüşüm alanında önemli gelişme gösterdiği ve genel olarak "yerleşik" seviyede bulunduğu belirtilmiştir. Çakır vd. (2025), çalışmalarında vergi inceleme elemanlarının yapay zekâ teknolojilerinin vergi denetim süreçlerinde kullanımına ilişkin algılarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Araştırma, 355 vergi inceleme elemanının katıldığı anket verilerinin SPSS-27 programı ile analiz edilmesiyle yürütülmüştür. Çalışma sonucunda, yapay zekânın mükellef seçimi ve denetim kapsamının belirlenmesinde etkili bulunduğu, ancak inceleme ve raporlama gibi karmaşık süreçlerde insan müdahalesine ihtiyaç duyulduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca katılımcıların yapay zekâya genel olarak olumlu yaklaştığı, fakat teknolojinin tamamen bağımsız şekilde çalışmasına yönelik güven eksikliği taşıdığı belirtilmiştir. Kaplan Dönmez (2025), çalışmasında Türkiye'de dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojilerinin vergi denetimindeki rolünü ve uygulama alanlarını incelemeyi amaçlamıştır. Sonuç olarak yapay zekâ destekli denetim uygulamalarının vergi kayıpları ile kayıt dışı ekonominin azaltılmasına katkı sağladığı, vergi denetimini daha veri odaklı ve proaktif hâle dönüştürdüğü, ancak operasyonel verimlilik açısından geliştirilmesi gereken alanların bulunduğu belirtmiştir. İbiş ve Taytak'ın (2025) muhasebe meslek mensupları üzerine yaptıkları çalışmada, dijitalleşmenin vergi denetimini kolaylaştırdığı ve zaman ile maliyet tasarrufu sağladığı belirtilmektedir.

Yelman vd. (2025), çalışmalarında vergi mahkemelerindeki iş yükünün azaltılmasında yapay zekâ ve robotik hâkimlerin kullanım potansiyelini incelemiştir. Araştırmada yapay zekâ uygulamalarının karar alma süreçlerinde hız, verimlilik ve tutarlılık sağlayabileceği, özellikle tekrarlayan davalarda mahkemelerin iş yükünü hafifletebileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte çalışmada, robotik hâkim uygulamalarının etik, veri güvenliği, mahremiyet ve insan faktörü açısından çeşitli riskler taşıdığı vurgulanmıştır. Ayrıca dünya örnekleri değerlendirilerek Türkiye'de dijital hukuk uygulamalarının yasal sisteme entegrasyonuna yönelik öneriler sunulmuştur. Yetkin Ataer (2025), çalışmasında yapay zekâ teknolojilerinin kamu maliyesi üzerindeki mevcut etkilerini ve gelecekte oluşturacağı dönüşümü incelemiştir. Araştırmada, yapay zekânın yalnızca

kamu hizmetlerinin sunumunda değil, kamu maliyesi ve kamu politikalarının yeniden şekillendirilmesinde de belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında vergi idaresi dâhil olmak üzere kamu gelir ve gider alanlarında yapay zekâ uygulamalarına örnekler verilmiş, bu teknolojilerin etkinlik ve verimliliğe katkısı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kamu kesiminde yapay zekâ kullanımının hızla arttığı ve kamu maliyesinin bu gelişmelere uyum sağlayacak şekilde esnek ve dinamik politikalarla yeniden yapılandırılması gerektiği ifade edilmiştir. Asare (2026), çalışmasında yapay zekâ ve makine öğrenmesinin vergi denetiminde kullanımına ilişkin literatürü incelemiştir. Araştırmada, 1990–2025 yılları arasında yayımlanan 578 akademik çalışma bibliyometrik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, özellikle 2015 sonrası bu alandaki çalışmaların hızla arttığını ve araştırmaların vergi kaçakçılığı tespiti, risk temelli denetim seçimi ile KDV ve e-fatura usulsüzlüklerinin belirlenmesi üzerinde yoğunlaştığını göstermiştir. Çalışmada ayrıca vergi denetiminde geleneksel kural temelli yöntemlerden makine öğrenmesi tabanlı sistemlere geçiş yaşandığı vurgulanmıştır. Bunun yanında, adil ve güvenilir denetim modelleri geliştirilmesi, ülkeler arası iş birliği sağlanması ve ortak değerlendirme standartlarının oluşturulması gerektiği ifade edilmiştir. Oğuz vd. (2026), çalışmalarında yapay zekâ teknolojilerinin vergi denetim süreçlerini dijital dönüşüm bağlamında nasıl yeniden şekillendirdiğini incelemiştir. Araştırmada klasik vergi denetiminin kavramsal çerçevesi ele alınmış, yapay zekânın temel özellikleri ve denetim süreçlerindeki rolü değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı ülke uygulamaları karşılaştırmalı olarak analiz edilerek benzerlikler ve kurumsal farklılıklar ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda yapay zekânın risk odaklı denetimi güçlendirdiği, denetim kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağladığı ve vergi kayıp ve kaçaklarının tespitinde önemli avantajlar sunduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin etkinliğinin veri kalitesi, kurumsal kapasite, dijital altyapı ve insan gözetimi gibi faktörlere bağlı olduğu ifade edilmiştir

2. YAPAY ZEKÂ VE VERGİ DENETİMİ

Ekonomik faaliyetlerin dijitalleşmesi, mükellef işlemlerinin çeşitlenmesi ve belge sistemlerinin elektronikleşmesi karşısında, insan gücüne dayalı klasik denetim yapısı zaman, kapsam ve veri işleme kapasitesi bakımından ciddi sınırlılıklar taşımaktadır (Karabul, 2026: 136). Vergi denetimlerinde dijital teknolojilerin yaygınlaştırılması, emek, zaman ve diğer maliyetlerin azaltılması açısından önemli görülmektedir (Günay, 2025: 11). Yapay zekâ destekli uygulamalar, vergi idarelerinin tarh, tebliğ, tahakkuk ve tahsil süreçlerinde etkinliği artırarak hem zaman hem de personel maliyetlerini azaltarak vergi gelirlerinin etkinliğine ve güvenliğine katkı sağlamaktadır (Yıldız ve Köşer, 2025: 16). Gelişen teknolojilerle gerçek zamanlı vergi verilerinin elde edilmesi hata ve kötüye kullanımların risk odaklı bir yaklaşımla daha hızlı ve doğru tespit edilmesini- izlenebilmesini olanaklı kılarak gerekli denetim sürecini kısa sürede gerçekleştirebilme fırsatı doğurmaktadır (Tolkun ve Tekin, 2021: 36). Yapay zekânın vergi idaresine entegrasyonu, vergi verilerinin daha sistematik ve şeffaf biçimde toplanmasını ve işlenmesini sağlamaktadır (Oğuz vd. 2026: 66). Büyük veri ve risk analizine dayalı yapay zeka gibi yenilikçi vergi denetimi uygulamaları, vergi kapasitesinin artırılmasına ve gelir dağılımında adaletin desteklenmesine hizmet edebilmektedir (Yetkin Ataer, 2025: 351–352). Vergi idareleri tarafından yapay zekânın çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlar arasında (Ilieva, 2025);

- Bilgi işleme,
- Risk değerlendirmesi ve hile/kaçakçılık tespiti,
- Sohbet robotları veya sanal asistanlar aracılığıyla mükellef desteği,
- Veri analizi ve işleme,
- Uyumun sağlanması ve yaptırım/denetim süreçleri yer almaktadır.

Yapay zekâ uygulamaları, vergilendirme süreçlerinde mükellefler bakımından vergi planlaması, kârlılık analizi ve maliyet optimizasyonu; gelir idaresi bakımından ise işlem maliyetlerinin azaltılması (Yereli ve Şahin, 2020: 13) vergi kayıp ve kaçaklarının minimize edilmesi açısından önem taşımaktadır. Yapay

zekâ, hukuk sisteminde otomatik belge inceleme, hukuki araştırma, dijital asistanlık, sözleşme yönetimi, içtihat analizi, e-belge ve çevrim içi yargılama süreçleri gibi alanlarda giderek daha yaygın biçimde kullanılmaktadır (Yelman vd., 2025: 66). Bu yönüyle yapay zekâ, vergi denetimi yanında; Çin, Estonya, Fransa, Hollanda, Almanya ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde yargı süreçlerini hızlandırmak, iş yükünü azaltmak ve karar destek mekanizmalarını güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Yelman vd. 2025: 79–80). Yapay zekâ modelleri, ülkelerin geçmiş harcama kalıplarını ve bütçe gerçekleşmelerini analiz ederek bütçedeki sapmaları erken aşamada tespit edebilmektedir. Brezilya, Slovenya, Hindistan ve İtalya gibi ülkelerde kamu harcamalarının izlenmesi, vergi kaçakçılığı ve usulsüzlüklerin belirlenmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır (Özdemir ve Yelboğa, 2025: 775). Dolayısı ile yapay zekâ modelleri mali organizasyon içerisinde hem harcama denetimlerinde hem de vergi denetimlerinde kamu maliyesine katkı sunan tamamlayıcı bir araç olarak rol üstlenmektedir.

Dijitalleşme ve yapay zekâ, makine ögrenmesi gibi teknoloji araçları vergilendirme sürecinde önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak vergi mevzuatının teknik yapısı ve sık değişmesi, yapay zekânın vergi idarelerinde etkin kullanımını zorlaştırmaktadır. Ayrıca farklı kaynaklardan toplanan kişisel ve mali verilerin siber saldırılar sonucunda ifşa edilme riski, yapay zekâ uygulamalarının önemli dezavantajlarından biridir (Avcı, 2021: 59). Yapay zekâ destekli vergileme süreçlerinde veri güvenliği kadar algoritma tasarımının güvenilirliği de belirleyicidir; hatalı algoritmalar yanlış denetim ve vergilendirme sonuçlarına yol açabilir (Yegen, 2023: 151). Dolayısı ile yapay zekâ tabanlı denetim mekanizmaları kendi kendine karar verse de uzman personel tarafından hem veri işleme doğruluğu hem de mevzuata uygun hareket etmesi bakımından izlenmesi gerekmektedir. Yücel ve Bozdoğanoğlu (2024) vergi denetiminde yapay zekânın hız, risk analizi ve denetim etkinliği açısından önemli fırsatlar sunduğunu; ancak algoritmik önyargı, şeffaflık ve mükellef hakları bakımından bağımsız/üçüncü taraf denetiminin yapılması gerektiğini belirtmektedir.

Günümüzdeki yapay zekâ uygulamalarının vergi denetiminde yoğun şekilde kullanımının kamu idaresi açısından kayıt dışılıkla mücadelede etkili bir yöntem olduğu oldukça açıktır. Muhasebe süreçlerinde e-uygulamaların etkin şekilde kullanımı sonrasında yapay zekâ destekli denetim uygulamalarına geçiş birbirini tamamlayıcı bir etki ortaya koymaktadır.

3. YAPAY ZEKÂ TABANLI DENETİM MEKANİZMALARI: ULUSLARARASI DENEYİMLER

Uluslararası örneklerde yapay zekâ; vergi kaçakçılığının tespiti, sahte belge ve uyumsuzluk risklerinin belirlenmesi, gümrük kontrolleri, kamu alımları, bütçe tahmini ve mükellef hizmetlerinin geliştirilmesi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde uluslararası örnekler; denetim verimliliği, riskli mükelleflerin tespiti, kayıt dışılıkla mücadele, veri kullanımı gibi politika sonuçları açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilecektir. Tablo 1, ülkelerin yapay zekâ destekli denetim uygulamalarını kullanım amacı ve kamu maliyesine katkısı bakımından karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

Tablo 1. Vergi Denetimi ve Kamu Mali Yönetiminde Yapay Zekâ Kullanan Ülke Örnekleri

Ülke	Yapay zekâ uygulaması / girişim	Kullanım amacı	Temel sonuç / katkı
Türkiye	GİBİ Dijital Vergi Asistanı; VDK-RAS; KURGAN; VDK-VİS; VDK-ROS; e-İnceleme; Dijital Vergi Dairesi; e-Fatura, e-Arşiv Fatura, e-Defter, e-İrsaliye, e-Beyanname ve e-Yoklama altyapısı	Mükellef hizmetlerini dijitalleştirmek, gönüllü uyumu artırmak, risk odaklı vergi denetimi yapmak, sahte belge ve kayıt dışılık risklerini erken aşamada belirlemek	GİBİ, yapay zekâ destekli dijital vergi asistanı olarak mükellef sorularını cevaplamakta ve yönlendirme hizmeti sunmaktadır. 2025'in ilk altı ayında 140.733 kullanıcının 342.022 sorusu cevaplandırılmıştır. VDK-RAS, KURGAN, VDK-VİS ve VDK-ROS ise risk analizi, işlem bazlı risk üretimi, vergi istihbaratı ve rapor otomasyonu bakımından dijital vergi denetim kapasitesini güçlendirmektedir. Türkiye bu yönüyle yapay zekâ destekli mükellef hizmetleri ile büyük veri/risk analizi temelli vergi denetimi altyapısını birlikte geliştiren bir örnek olarak değerlendirilebilir.
Estonya	Estonian Tax and Customs Board AI Strategy; Network Fraud Detection; Automated X-Ray Analysis; Amount at Risk; Taxpayer Clustering	Vergi ve gümrük süreçlerinde risk skorlama, ağ temelli hile tespiti, X-ray görüntü analizi ve mükellef kümelendirme	Dijital devlet altyapısı içinde Yapay Zekâ kullanımının risk temelli vergi ve gümrük denetimini destekleyebileceğini göstermektedir.
Fransa	Foncier Innovant; vergi chatbotu; DGFiP yapay zekâ destekli kontrol süreçleri	Hava fotoğrafları üzerinden beyan edilmemiş bina, yüzme havuzu ve taşınmaz değişikliklerini tespit etmek; mükellef sorularını yanıtlamak	Foncier Innovant projesinde algoritmalar, IGN hava fotoğraflarından bina ve havuz konturlarını çıkararak kadastro ve mükellef beyanlarıyla karşılaştırmaktadır. 2022 pilot uygulamada 9 departmanda 20.356 havuz emlak vergisi kapsamına alınmış ve yaklaşık 9,8 milyon avro ek gelir sağlanmıştır. 2023'te ülke geneline yaygınlaştırılan uygulama kapsamında 140.000 mülk sahibi beyanlarını düzeltmeye davet edilmiş ve yaklaşık 40 milyon avro ek emlak vergisi geliri oluşmuştur. (Direction générale des Finances publiques [DGFiP], 2024: 34).
Yunanistan	IAPR yapay zekâ uygulamaları; beyan edilmemiş yüzme havuzlarının coğrafi tespiti; LLM destekli dijital asistan	Vergi kaçakçılığıyla mücadele, uyum sorunlarının tespiti, karmaşık süreçlerin otomasyonu ve beyan sırasında mükellefe destek	Yapay zekâyı araçları vergi kaçakçılığıyla mücadele, uyum sorunlarının belirlenmesi ve denetçilerin gerçek zamanlı tepki verebilmesi için kullanmaktadır.
Brezilya	AI Litigation Project; Alice kamu alımları denetim sistemi	Vergi itiraz dosyalarını gruplandırmak; kamu alımlarında ihale, sözleşme ve ilanları analiz ederek risk ve usulsüzlük tespit etmek	AI Litigation Project, benzer vergi itiraz dosyalarını aynı görevlilere yönlendirmek için denetimli makine öğrenmesi kullanmaktadır; ilk denemelerde %80'in üzerinde duyarlılık ve özgüllük elde edilmiştir. Alice ise kamu alımlarını gerçek zamanlı izleyerek 2023'te yaklaşık 191.000 alımı analiz etmiş ve 4,15 milyar avroluk sözleşmelere ilişkin 203 denetimi tetiklemiştir.
Singapur	IRAS VICA chatbot	Gelir vergisi, kurumlar vergisi, GST, emlak vergisi ve ödeme işlemlerine ilişkin mükellef sorularını yanıtlamak	IRAS VICA chatbot 2021'de devreye alınmış, 2023'te LLM entegrasyonu ile güçlendirilmiştir. 2024 mali yılında yaklaşık 70.000 işlem sorusunu yanıtlayarak 11.666 mükellef saati tasarrufu sağlamıştır.
Avustralya	ATO ön doldurma ve anomali tespiti; myTax; Alex sanal asistan; Paradise Papers analitiği; Department of Veterans' Affairs tahmin sistemleri	Beyan hatalarını azaltmak, mükellefleri anomali konusunda uyarmak, offshore belgeleri analiz etmek ve politika kararlarının mali etkilerini tahmin etmek	OECD'ye göre ATO, işverenler, bankalar ve kamu kurumlarından gelen verilerle beyannameleri önceden doldurmakta; gerçek zamanlı anomali uyarılarıyla hatalı beyan riskini azaltmaktadır. 2023-2024 döneminde 636.000'den fazla uyarı verilmiş ve yaklaşık 78,9 milyon Avustralya doları kamu geliri korunmuştur.

Finlandiya	Mali yönetimde robotik süreç otomasyonu (RPA) ve yapay zekâ	Fatura işleme, mali işlemler ve insan kaynakları süreçlerini otomatikleştirmek	Mali yönetim ve İK süreçlerinde RPA ile yapay zekâyı birlikte kullanarak fatura işleme gibi rutin işlemleri otomatikleştirmekte; ölçeklenebilirlik ve verimliliği artırmaktadır.
Güney Kore	dBrain+	Gerçek zamanlı ekonomik, mali ve finansal verileri analiz etmek; bütçe, fon, borç, kamu alımları ve performans yönetimini desteklemek	dBrain+, 46 kurumdan 63 sistemle entegre çalışan gelişmiş bir kamu mali yönetim bilgi sistemidir. Vergi tahsilatı, kamu alımları, fon transferleri ve mali risk analizlerinde yapay zekâ destekli karar alma kapasitesini güçlendirmektedir.
İsveç	Skatti chatbot; açıklanabilir yapay zekâ ile GSYH tahmini	Vergi sorularını yanıtlamak; makroekonomik tahmin ve mali planlamayı desteklemek	İsveç Vergi İdaresi Skatti chatbotu'nu mükellef hizmetlerinde kullanmaktadır. İsveç Ulusal Mali Yönetim Otoritesi makine öğrenmesi ile GSYH tahmini yapmakta ve modelin değişken etkilerini görselleştirerek şeffaflığı artırdığını belirtmektedir.
Almanya	NRW KI-Modul; KONSENS vergi bilişim altyapısı	Düşük riskli gelir vergisi beyannamelerini örüntü tanıma yoluyla ayırmak; personelin karmaşık dosyalara yönelmesini sağlamak	NRW Maliye Bakanlığı'na göre KI-Modul, mevcut risk yönetim sistemini tamamlamakta; vergi verilerindeki örüntüleri tanıyarak düşük inceleme ihtiyacı olan açık dosyaları otomatik işlemeye yönlendirmektedir. Pilot uygulama Mayıs 2025'te başlamıştır.
Japonya	e-Tax, Mynaportal, makine öğrenmesi, AI Call List, OCR / AI-OCR, dijital fatura ve Peppol	Vergi işlemlerini dijitalleştirmek, riskli mükellefleri belirlemek ve tahsilatı etkinleştirmek	Japonya'da OCR tabanlı ödeme işleme ve sistem destekli tahsilat uygulamaları, vergi idaresinin işlem hızını ve tahsilat etkinliğini artırmıştır. NTA verilerine göre yılda yaklaşık 49,44 milyon vergi ödeme işlemi sistemler aracılığıyla işlenmekte; Temmuz 2023–Haziran 2024 döneminde gecikmiş borçlar için hatırlatma yapılan mükelleflerin yaklaşık %80'i ödeme yapmış veya ödeme taahhüdünde bulunmuştur (National Tax Agency [NTA], 2025: 42).
ABD	IRS Hidden Treasures; kripto varlık analitiği; Palantir destekli vergi hilesi analitiği; CBP sınır ve gümrük gözetimi	Kripto varlık kaynaklı vergi kaçakçılığı, gizli varlıklar, kara para aklama, kimlik hırsızlığı ve sınır/gümrük risklerini tespit etmek	Amerika'da ileri veri analitiği ve dijital araçların suç örüntülerini ve anormallikleri belirlemede giderek daha önemli hâle geldiği belirtilmektedir (Internal Revenue Service Criminal Investigation [IRS-CI], 2026). Ayrıca ABD Gümrük ve Sınır Koruma Kurumu, yapay zekâyı sınır güvenliği, görüntü/video analizi, anomali tespiti ve riskli hareketlerin belirlenmesi amacıyla kullanmaktadır (U.S. Customs and Border Protection [CBP], 2023).
Birleşik Krallık	Brexit sonrası gümrük risk analizi; havaalanı güvenliğinde yapay zekâ destekli görüntü/yüz tanıma	Gümrük uyumu, riskli yük ve sınır güvenliği analizleri	AB raporunda Birleşik Krallık örnekleri daha çok gümrük ve sınır güvenliği bağlamında yer almaktadır. Bu nedenle doğrudan vergi denetimi değil, gümrük/sınır risk yönetimi başlığı altında değerlendirilmelidir.
Suudi Arabistan	Al Hadithah sınır kapısında video analitiği, yüz tanıma ve plaka tanıma	Gümrük geçişlerinde mal ve insan hareketlerini izlemek; güvenlik ve verimliliği artırmak	ZATCA (Zakat, Tax and Customs Authority), 2024'te yapay zekâ ve veri analitiği destekli risk izleme yaklaşımıyla 6,2 milyondan fazla gümrük beyannamesi, 2,5 milyondan fazla konteyner ve 27 milyondan fazla araç/kamyon işlemi yürütmüştür. Aynı yıl ileri teknolojilerle 80.000'den fazla kaçakçılık girişimi engellenmiştir (Saudi Press Agency [SPA], 2025).
İrlanda	Revenue Commissioners voicebot	Vergiyle ilgili telefon ve hizmet taleplerini otomatik yanıtlamak	NLP/NLU ve konuşma teknolojileriyle mükellef hizmetlerini kolaylaştıran bir uygulama olarak yer almaktadır.
Danimarka	Kopenhag Belediyesi müşteri/vatandaş taleplerinin yönlendirilmesi; pandemi destekleri için yapay zekâ kontrolleri	Gelen çağrı ve yazışmaları doğru birime yönlendirmek; destek başvurularında hata ve riskleri belirlemek	NLP, metin madenciliği ve makine öğrenmesiyle vatandaş taleplerinin yönlendirilmesi şeklinde sunulmaktadır.

Norveç	Öğrenci kredisi/hibe usulsüzlüğü için makine öğrenmesi modeli	Yanlış ikamet beyanı yoluyla haksız hibe dönüşümünü tespit etmek	Norveç kamu mali denetiminde makine öğrenmesi yolu ile riskli başvuruların seçilmesinde kullanılmış ve denetim kaynaklarının daha etkili yönlendirilmesini sağlamıştır.
İspanya	Chat botlar/sanal asistanlar; Renta Web hata uyarıları; potansiyel IRPF beyan etmeyenlere yönelik uyarılar; makine öğrenmesi ve üretken yapay zekâ temelli sistemler	Gönüllü vergi uyumunu artırmak; beyan hatalarını azaltmak; eksik beyanları önlemek; vergi ve gümrük kaçakçılığıyla mücadelede idari kapasiteyi güçlendirmek	İspanya'da dijital yardım kanalları 2024 gelir vergisi kampanyasında 1.281.000'den fazla yanıt üretmiş; önleyici uyarılar sonucunda ise yaklaşık 44.900 tamamlayıcı beyan verilerek olası sonraki kontrol, faiz ve ceza süreçlerinin önüne geçilmiştir (Agencia Tributaria, 2025).
Meksika	Intelligent Support Platform / yapay zekâ sanal destek aracı	Kamu programları, destekler, uygunluk ve başvuru süreçleri hakkında kullanıcıları yönlendirmek	OECD'ye göre Meksika, bireyler, işletmeler ve yerel yönetimler için kamu programları ve desteklere ilişkin bilgi sunan yapay zekâ destekli sanal yardım aracını kullanmaktadır.
Avusturya	Predictive Analytics Competence Center (PACC)	Vergi dolandırıcılığı, uyum ihlalleri, riskli mükellef ve işlem tespiti; denetim ve tahsilat süreçlerinde risk temelli karar desteği sağlamak	Avusturya Federal Maliye Bakanlığı bünyesindeki PACC, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve tahmine dayalı analitik yöntemlerle vergi idaresinde modern risk yönetimini desteklemektedir. PACC; Predictive Analytics, Advanced Analytics, Tax Analytics ve Customs Analytics olmak üzere dört alanda çalışmakta; merkezi denetim dosyası seçimi, gerçek zamanlı risk değerlendirmesi, otomatik denetimlerin geliştirilmesi, KDV carousel fraud analizleri, sahte şirketlerin ve haksız yararlanılan desteklerin tespiti gibi alanlarda kullanılmaktadır. 2024 yılında PACC risk modelleriyle yaklaşık 6,6 milyon vergi idaresi vakası ve ayrıca 23,4 milyon uyum ihlali vakası kontrol edilmiş; denetim organlarınca yaklaşık 354 milyon avro ek vergi geliri elde edilmiştir. (Austrian Federal Ministry of Finance, 2026).

Kaynak : Bu tablo; OECD (2025), European Commission–DG REFORM (2023), Gelir İdaresi Başkanlığı (2025), Vergi Denetim Kurulu Başkanlığı (2026), Ministerium der Finanzen des Landes Nordrhein-Westfalen (2025), KONSENS (2026), National Tax Agency (2024, 2025), Internal Revenue Service Criminal Investigation (2026), U.S. Customs and Border Protection (2023), Saudi Press Agency (2025) ve Zakat, Tax and Customs Authority (2025) kaynaklarından yararlanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin vergilendirme sürecini yalnızca denetim aşamasında değil, mali verilerin sisteme girişinden muhasebe kayıtlarına, tarh, tebliğ, tahakkuk, tahsil ve vergi denetimine kadar uzanan bütünsel bir süreç içinde dönüştürme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Uluslararası deneyimler, geleneksel olarak insan emeğine, manuel kontrol süreçlerine ve beyan sonrası incelemeye dayanan vergi yönetiminin giderek dijital sistemler, büyük veri analitiği, risk skorlama ve yapay zekâ destekli karar mekanizmalarıyla yeniden yapılandığını ortaya koymaktadır. Fransa'da uydu görüntüleriyle beyan dışı taşınmaz unsurların tespiti, Estonya'da X-ray ve ağ temelli risk analizleri, Avusturya'da veri girişinde anomali tespit sistemleri, Japonya'da makine öğrenmesi destekli risk seçimi ve tahsilat uygulamaları, bu dönüşümün farklı boyutlarını göstermektedir. Bu çerçevede yapay zekâ, vergi güvenliğini artıran, kayıt dışılığı azaltan, denetim kaynaklarını riskli alanlara yönlendiren ve işlem süreçlerini hızlandıran tamamlayıcı bir kamu maliyesi aracı hâline gelmektedir. Gelecekte vergi sürecinin daha şeffaf, hızlı ve verimli biçimde işlemesi; beyandan tahsilata kadar birçok işlemin saniyeler içinde, dijital sistemler ve otomatik ödeme altyapılarıyla bütünleşik şekilde yürütülmesi beklenmektedir. Ancak bu dönüşümün mali adalet, hukuki güvenlik ve mükellef haklarıyla uyumlu olabilmesi için yapay zekânın nihai karar verici değil, insan denetimini destekleyen açıklanabilir, denetlenebilir ve hesap verebilir bir karar destek mekanizması olarak tasarlanması gerekmektedir.

Türkiye'de vergi denetimi ve vergi uygulamalarında dijitalleşme ve yapay zekâ entegrasyonu bakımından önemli bir dönüşüm sürecinin başladığı görülmektedir. GİBİ Dijital Vergi Asistanı mükellef hizmetleri ve gönüllü uyum boyutunu güçlendirirken; VDK-RAS, KURGAN, VDK-VİS ve VDK-ROS gibi sistemler risk analizi, sahte belgeyle mücadele, vergi istihbaratı ve rapor otomasyonu açısından denetim kapasitesini artırmaktadır. Bu altyapının yalnızca merkezi vergi denetiminde değil, gümrük, emlak vergisi, yerel yönetim gelirleri, bütçe uygulamaları, döner sermaye işletmeleri ve kamu işletmelerinin mali işlemlerinde de kullanılması dijital maliyenin etkinliğini artıracaktır. Özellikle yapay zekâ ve makine öğrenmesi temelli sistemler, personelin rutin iş yükünü azaltarak daha nitelikli analiz ve denetim faaliyetlerine yönelmesini sağlayabilir. Bu nedenle Türkiye açısından temel politika önerisi; mevcut e-belge, e-defter, dijital vergi dairesi ve risk analiz altyapısının yapay zekâ destekli, kurumlar arası entegre, şeffaf ve denetlenebilir bir dijital maliye mimarisine dönüştürülmesidir.

KAYNAKÇA

Alexopoulos, A., Dellaportas, P., Gyoshev, S., Kotsogiannis, C., Olhede, S. C., & Pavkov, T. (2025). A network approach to detect Value Added Tax fraud. Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society, qnaf205.

Alrasheedi, M. A., Ijaz, S., Alrashdi, A. M., & Lee, S. W. (2025). Advanced Tax Fraud Detection: A Soft-Voting Ensemble Based on GAN and Encoder Architecture. Mathematics, 13(4), 642.

Asare, K. N., (2026). Artificial Intelligence in Tax Auditing: A Bibliometric and Thematic Analysis. Economic Sustainability and Business Practices, 3(1), 22–32.

Baghdasaryan, V., Davtyan, H., Sarikyan, A., & Navasardyan, Z. (2022). Improving tax audit efficiency using machine learning: The role of taxpayer's network data in fraud detection. Applied Artificial Intelligence, 36(1), 2012002.

Battaglini, M., Guiso, L., Lacava, C., Miller, D. L., & Patacchini, E. (2025). Refining public policies with machine learning: The case of tax auditing. Journal of Econometrics, 249, 105847.

Choi, G. Y., & Kim, A. G. (2025). Firm-level tax audits: A Generative AI-based measurement. Chicago Booth Research Paper, (23-23).

Choudhary, H. (2025). Hybrid Approach to Tax Fraud Detection using Machine Learning. Available at SSRN 5366577.

Çakır, S., Çıtak, N. & Durak, M. (2025). Vergi denetiminde 3.0 – yapay zekânın gücü ve geleceği: Vergi inceleme elemanlarının görüşü ve bir anket çalışması. Journal of Research in Business, 10(1), 195-223.

Çakmak, E. K. (2025). Dijital Çağda Vergi İdareleri: Türk Vergi İdaresinin Dijital Dönüşüm Olgunluğu. Maliye Dergisi, 188, 215-250.

Durmuş, N. K., & Erdem, İ. A. (2023). Vergi İdaresi 3.0: Yapay zekâ perspektifinden bir inceleme. Maliye Dergisi, 184, 225-253.

Kaplan Dönmez, N. F. (2025). Vergi Denetiminde Yapay Zekânın Rolü ve Uygulama Alanları. JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy, 10(2), 300-325

Oğuz, N.S., Yıldız, S. & Aydınlı, K. (2026). The Transformation of Tax Auditing in the Context of AI. BILTURK, The Journal of Economics and Related Studies,8, 57-81. doi: 10.47103/bilturk.1892613.

Ömercioğlu, A. (2025). Vergi Denetimlerinde Yapay Zekâ Kullanımı Ve Otonom Vergi Denetimi Perspektifi. Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 6(2 Prof. Dr. Mustafa Avcı'ya Armağan), 1439-1465.

Rahayu, S. K. (2021). Utilization of artificial intelligence in tax audit in Indonesia. Management and Accounting Review (MAR), 20(3), 135-157.

Yelman E., Torusdağ M. veTekşan E. (2025). Yapay Zekâ ve Robot Hâkimler: Vergi Mahkemelerinin İş Yüküne Yenilikçi Çözümler, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34 (Özel Sayı), 65-93

Yetkin Ataer, M. (2025). Yapay Zeka ve Türkiye'de Kamu Maliyesinin Değişen Rolü, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34 (Özel Sayı), 341-354

Yıldız, F., & Köşer, Ö. (2025). Yapay zekâ uygulamalarının vergi gelirlerine etkisi. Vergi Raporu, 313, 7–23.

Tolkun, S., & Tekin, A. (2021). Risk odaklı vergi denetim yaklaşımı. International Journal of Applied Economic and Finance Studies, 6(2), 21–36.

İbiş, C., & Taytak, M. (2025). Dijitalleşmenin vergi denetimi üzerindeki etkileri: Muhasebe meslek mensupları üzerine bir araştırma. International Journal of Applied Economic and Finance Studies, 10(2), 64–86

Keskin Çakmak, E. (2025). Dijital çağda vergi idareleri: Türk vergi idaresinin dijital dönüşüm olgunluğu. Maliye Dergisi, 188, 215–250.

Avcı, O. (2021). Vergi tahsilatında yapay zekânın kullanımı ve önemi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 22(1), 51–63. https://doi.org/10.17494/ogusbd.952730

Ilieva, K. (2025). Artificial intelligence usage in EU tax administrations. IBFD EU Tax Focus.

Yereli, A. B. ve Orkunoğlu Şahin, I. F. (2020). Vergi otomasyon sisteminin yapay zekâ ile etkileşimi. Vergi Sorunları Dergisi, (378), 9–16.

Yolal, M. (2026). Kamu maliyesinde dijital devletin yükselişi: Estonya'da dijital yönetişim ve vergilendirme uygulamaları. Gaziantep University Journal of Social Sciences, 25(1), 92–113. https://doi.org/10.21547/jss.1748965

Günay, H. F. (2025). Çeşitli faktörler ışığında Türkiye'de vergi denetim etkinliğinin incelenmesi. The Journal of International Scientific Researches, 10(1), 1–11.

Yegen, B. (2023). Vergilemede yeni bir yaklaşım: Yapay zekâ. Politik Ekonomik Kuram, 7(2), 140–154. https://doi.org/10.30586/pek.1329264

Yelman, E., Torusdağ, M., & Tekşan, E. (2025). Yapay zekâ ve robot hâkimler: Vergi mahkemelerinin iş yüküne yenilikçi çözümler. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34(Özel Sayı), 65–93. https://doi.org/10.35379/cusosbil.1635764

Yetkin Ataer, M. (2025). Yapay zeka ve Türkiye'de kamu maliyesinin değişen rolü. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34(Özel Sayı), 341–354. https://doi.org/10.35379/cusosbil.1696963

Oğuz, N. S., Yıldız, S., & Aydınlı, K. (2026). The transformation of tax auditing in the context of AI. BILTURK, The Journal of Economics and Related Studies, 8, 57–81. https://doi.org/10.47103/bilturk.1892613

Uzun, Y. ve Uzun, F. N. (2025). Algoritmik Denetim Çağında Sayıştay: Yapay Zekâ Destekli Kamu Denetiminin Olanakları ve Sınırları. Sayıştay Dergisi, 36(139), 711-742. DOI: https://doi.org/10.52836/sayistay.1761414

Yücel, A., & Bozdoğanoğlu, B. (2024). Vergi denetimini revize etmek: Algoritmik karar alma süreçlerinde üçüncü taraf kontrolörü olarak insan faktörünün incelenmesi. Denetişim Dergisi, 2024(Ek Sayı), 47–58.

Karabul, Ö. F. (2026). Algoritmik vergisel denetimde ispat yükü. İYYÜHFD, 4(1), 127–149. https://doi.org/10.66012/iyyuhfd.2026.45

Akkaş, F., & Şimşek, H. A. (2022). Vergi idarelerinin dijital dönüşümü: Seçili ülke örnekleri. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 10(134), 394–410. http://dx.doi.org/10.29228/ASOS.64423

OECD. (2025). Governing with artificial intelligence: The state of play and way forward in core government functions. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/795de142-en

KONSENS. (2026). Künstliche Intelligenz in der Steuerverwaltung. Steuer-IT KONSENS. https://www.steuer-it-konsens.de/aktuelles?catid=9&id=95:kuenstliche-intelligenz-in-der-steuerverwaltung&view=article

Ministerium der Finanzen des Landes Nordrhein-Westfalen. (2025, 22 Nisan). Nordrhein-Westfalen setzt als erstes Bundesland auf Künstliche Intelligenz in der Steuerveranlagung. Finanzverwaltung Nordrhein-Westfalen. https://www.finanzverwaltung.nrw.de/uebersicht-rubrik-aktuelles-und-presse/pressemitteilungen/nordrhein-westfalen-setzt-als-erstes

Vergi Denetim Kurulu Başkanlığı. (2026). KURGAN. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı. Erişim tarihi: 30 Mayıs 2026, https://vdk.hmb.gov.tr/kurgan

Vergi Denetim Kurulu Başkanlığı. (t.y.). VDK-VİS: Vergi İstihbarat Sistemi. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı. Erişim tarihi: 30 Mayıs 2026, https://vdk.hmb.gov.tr/vdk-vis

KONSENS. (t.y.). Künstliche Intelligenz in der Steuerverwaltung. Erişim tarihi: 30 Mayıs 2026, https://www.steuer-it-konsens.de/...

OECD. (2025a). Governing with artificial intelligence. OECD Publishing. URL

European Commission, Directorate-General for Structural Reform Support. (2023). Revenue administration's strategy on artificial intelligence: Final report. European Commission.

National Tax Agency. (2024). National Tax Agency report 2024. Government of Japan.

National Tax Agency. (2025). National Tax Agency report 2025. Government of Japan.

Direction générale des Finances publiques. (2024). Rapport d'activité 2023. Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.

National Tax Agency. (2025). National Tax Agency report 2025. https://www.nta.go.jp/english/Report_pdf/2025e_07.pdf.

Internal Revenue Service Criminal Investigation. (2026). IRS-CI annual report 2025 (Publication 3583). U.S. Department of the Treasury, Internal Revenue Service. https://www.irs.gov/pub/irs-pdf/p3583.pdf.

U.S. Customs and Border Protection. (2023, March 24). Artificial intelligence to harness key insights at CBP. https://www.cbp.gov/newsroom/spotlights/artificial-intelligence-harness-key-insights-cbp

Saudi Press Agency. (2025, January 26). ZATCA marks International Customs Day 2025. https://www.spa.gov.sa/en/N2250079.

Agencia Tributaria. (2025, July 2). La Agencia Tributaria ha devuelto ya 9.100 millones de euros a más de 12.500.000 contribuyentes al cierre de la Campaña de Renta. https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/notas-prensa/notas-prensa/2025/julio/2/agencia-tributaria-ha-devuelto-9_100-renta.html.

Austrian Federal Ministry of Finance. (2026). Predictive Analytics Competence Center. Erişim tarihi: 31 Mayıs 2026, https://www.bmf.gv.at/themen/betrugsbekaempfung/einheiten-betrugsbekaempfung/Predictive-Analytics-Competence-Center.html.

https://doi.org/10.71284/asc.2026175

YAPAY ZEKÂ TABANLI MUHASEBE VE VERGİ EĞİTİMİ AÇISINDAN MÜFREDAT ÖNERİSİ GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPING A CURRICULUM PROPOSAL FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED ACCOUNTING AND TAXATION EDUCATION

Aydın Bağdat[1]
İsmail Koç [2]

Özet

Dijitalleşme ile birlikte veri analitiği ve yapay zekâ teknolojilerinin muhasebe ve vergi alanındaki etkilerinin giderek artması karşısında, mevcut eğitim programlarının bu dönüşüme ayak uydurması da önem arz etmektedir. Yükseköğretimde mevcut müfredatların bu dönüşüme ne ölçüde uyum sağladığının sorgulaması ve geleceğe yönelik bir eğitim çerçevesi sunulması mesleki eğitimin gelişimi açısından bir zorunluluktur. Bu kapsamda, öğrencilerin yalnızca teorik bilgiye değil, aynı zamanda teknoloji temelli uygulama becerilerine ve analitik düşünme yetkinliklerine sahip olmalarının gerekliliği vurgulanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ tabanlı muhasebe ve vergi uygulamalarındaki dönüşüm doğrultusunda yükseköğretim düzeyinde güncellenmiş ve bütüncül bir müfredat önerisi geliştirmektir. Araştırmada yöntem olarak nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş ve ikincil veri analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar, üniversitelerin muhasebe ve vergi alanındaki mevcut ders müfredatları, resmi raporlar ve dijital içerikler incelenmiştir. Mevcut müfredatlar karşılaştırmalı olarak analiz edilerek güçlü ve zayıf yönleri ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, yükseköğretimde muhasebe ve vergi eğitimi için; teorik dersler, teknoloji tabanlı uygulama dersleri ve uygulamalı eğitim süreçleri olmak üzere üç temel boyutta müfredat önerisi sunulmaktadır. Önerilen modelde veri analitiği, e-uygulamalar, yapay zekâ uygulamaları, dijital denetim araçları, simülasyon temelli öğrenme ve işyeri uygulamalı eğitim yöntemlerine yer verilmiştir. Geliştirilen müfredat önerisinin öğrencilerin dijital yetkinliklerini artırarak, iş gücü piyasasının beklentilerine daha uyumlu bireyler yetiştirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, muhasebe ve vergi eğitimi, dijitalleşme.

Abstract

With the increasing impact of data analytics and artificial intelligence technologies on accounting and taxation due to digitalization, it is crucial that existing educational programs adapt to this transformation. In higher education, questioning the extent to which existing curricula adapt to this transformation and offering a future-oriented educational framework is a necessity for the development of vocational education. In this context, the necessity for students to possess not only theoretical knowledge but also technology-based application skills and analytical thinking competencies is emphasized. The aim of this study is to develop an updated and holistic curriculum proposal at the higher education level in line with the transformation in

[1]Doç. Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, aydinbagdat@subu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0183-9866

[2]Sorumlu Yazar, Dr. Öğr.Üyesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ismailkoc@subu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-1944-2274

artificial intelligence-based accounting and taxation practices. A qualitative research approach was adopted as the methodology, and secondary data analysis was performed. Accordingly, national and international academic studies, existing accounting and taxation course curricula of universities, official reports, and digital content were examined. Existing curricula were analyzed comparatively, revealing their strengths and weaknesses. Based on the findings, a curriculum proposal is presented for accounting and tax education in higher education, encompassing three main dimensions: theoretical courses, technology-based application courses, and applied training processes. The proposed model incorporates data analytics, e-applications, artificial intelligence applications, digital auditing tools, simulation-based learning, and workplace training methods. It is assessed that the developed curriculum proposal will contribute to the development of individuals who are better aligned with the expectations of the labor market by increasing students' digital competencies.

Keywords: Artificial intelligence, accounting and tax education, digitalization.

GİRİŞ

Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 sürecinin hız kazanmasıyla birlikte yapay zekâ teknolojileri, ekonomik ve sosyal yaşamın pek çok alanında olduğu gibi muhasebe ve vergi uygulamalarında da köklü dönüşümlere yol açmaktadır. Büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve doğal dil işleme gibi yapay zekâ bileşenleri; finansal raporlama, denetim, vergi planlaması ve risk analizi gibi muhasebe mesleğinin temel fonksiyonlarını yeniden şekillendirmektedir. Bu dönüşüm, muhasebe işlemlerini yapan ve vergi bildirimi süreçlerini yürüten muhasebe meslek mensuplarından beklenen bilgi ve becerilerin değişmesine neden olmakta ve geleneksel muhasebe eğitiminin bu yeni gereksinimlere uyum sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır (Kaldırım & Kaldırım, 2024). Bu durum da muhasebe ve vergi eğitiminde bu teknolojilere yönelik teorik ve uygulamalı bilgilere önem verilmesini gerektirmektedir.

Yapay zekâ (AI) uygulamalarının muhasebe süreçlerine entegrasyonu, hata oranlarının azaltılması, işlem hızının artırılması ve daha etkin karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Bu gelişmelerin doğal bir sonucu olarak, muhasebe eğitiminde de yapay zekâ destekli öğrenme araçlarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle üretken yapay zekâ sistemleri, öğrencilerin analitik düşünme, problem çözme ve veri yorumlama becerilerini geliştirmede önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte, veri güvenliği, etik sorunlar ve mesleki yeterliliklerin dönüşümü gibi bazı risk ve zorluklar da söz konusudur (Geçici, 2024).

Son yıllarda yapılan akademik çalışmalar, muhasebe eğitiminde yapay zekâ kullanımının öğrenme süreçlerini yeniden şekillendirdiğini ve eğitimde dijital pedagojik yaklaşımların önem kazandığını ortaya koymaktadır. Özellikle yapay zekâ destekli öğretim modelleri, öğrencilerin aktif öğrenme süreçlerine katılımını artırmakta ve uygulama temelli öğrenme yaklaşımlarını desteklemektedir. Bununla birlikte, mevcut müfredatların büyük ölçüde geleneksel içeriklere dayandığı ve yapay zekâ temelli derslerin sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Türkiye ile diğer ülkeler arasında yapılan karşılaştırmalı çalışmalar da, yapay zekâ içerikli derslerin özellikle uluslararası ve akreditasyona sahip programlarda daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır (Çetin, 2025).

Türkiye'de ön lisans düzeyinde muhasebe ve vergi eğitimi veren programlar, sektöre ara eleman yetiştirme açısından önemli bir rol üstlenmektedir. Ancak bu programların müfredatlarının, hızla değişen dijital iş ortamına ne ölçüde uyum sağladığı önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yapay zekâ temelli uygulamaların iş hayatında yaygınlaşması, bu programlardan mezun olan bireylerin dijital yetkinlikler açısından donanımlı olmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, mevcut müfredatların yapay zekâ perspektifiyle değerlendirilmesi ve geleceğe yönelik ders içeriklerinin geliştirilmesi kritik bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de muhasebe ve vergi eğitimi veren ön lisans programlarında yapay zekâ temalı derslerin mevcut durumunu incelemek ve elde edilen bulgular doğrultusunda geleceğe yönelik müfredat önerileri geliştirmektir. Çalışmada içerik analizi yöntemi kullanılarak üniversitelerin resmi web siteleri, bilgi paketleri, raporları ile ilgili tez ve akademik yayınlar incelenecektir. Çalışmada öncelikle yapay zekânın muhasebe ve vergi alanına etkileri ortaya konularak, muhasebe ve vergi eğitimindeki mevcut durum tartışılmaktadır. Çalışmanın son bölümünde ise, muhasebe ve vergi eğitimi için ders planı önerileri sunulmaktadır.

1. YAPAY ZEKÂ VE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN MUHASEBE VE VERGİ ALANINA ETKİLERİ

Dijital dönüşüm, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler doğrultusunda işletme süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını ifade ederken, bu dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri yapay zekâ teknolojileridir. Yapay zekâ; büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve otomasyon sistemleri aracılığıyla muhasebe ve vergi süreçlerinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Özellikle veri işleme kapasitesinin artması, muhasebe sistemlerinin daha hızlı, doğru ve etkin çalışmasına olanak sağlamaktadır (Sutton et al., 2016).

Muhasebe bilgi sistemlerinde yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, geleneksel muhasebe anlayışı yerini daha analitik ve öngörü temelli bir yapıya bırakmaktadır. Finansal verilerin analiz edilmesi, hata ve hilelerin tespiti ile karar destek sistemlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda yapay zekâ önemli katkılar sunmaktadır (Kokina & Davenport, 2017). Vergi alanında ise dijital dönüşüm, vergi uyum süreçlerinin otomasyonu ve risk analizine dayalı denetim yaklaşımlarının gelişmesiyle kendini göstermektedir. Bu dönüşüm süreci, muhasebe ve vergi mesleklerinin yalnızca teknik bilgiye dayalı bir yapıdan çıkarak teknoloji odaklı ve çok disiplinli bir yapıya evrilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, meslek mensuplarının sahip olması gereken yetkinlikler de önemli ölçüde değişmektedir.

1.1. Muhasebe ve Vergi Alanlarında Yapay Zekâ Uygulamaları

Yapay zekâ uygulamaları muhasebe ve vergi alanlarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle makine öğrenmesi algoritmaları, büyük veri setlerinin analiz edilmesinde ve anlamlı sonuçlar üretilmesinde etkin rol oynamaktadır. Muhasebe süreçlerinde kullanılan otomatik veri giriş sistemleri ve belge tanıma teknolojileri, manuel işlemleri önemli ölçüde azaltarak verimliliği artırmaktadır (Sutton et al., 2016). Denetim süreçlerinde yapay zekâ destekli sistemler, olağandışı işlemleri tespit etme ve risk analizi yapma konusunda önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu sistemler sayesinde denetim süreçleri daha kapsamlı ve etkin hale gelmektedir. Ayrıca, sürekli denetim ve sürekli izleme yaklaşımları da yapay zekâ teknolojileri ile desteklenmektedir (Kokina & Davenport, 2017).

Vergi alanında ise yapay zekâ, mükellef davranışlarının analiz edilmesi, vergi kaçakçılığının tespiti ve risk temelli denetim süreçlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, vergi idarelerinin sınırlı kaynaklarını daha etkin kullanmasına olanak sağlamakta ve kamu gelirlerinin artırılmasına katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, veri güvenliği ve etik konularını da gündeme getirmektedir (Daud et al., 2024). Bunlara ek olarak, dijital asistanlar, web tabanlı uygulamlar ve chatbot uygulamaları muhasebe hizmetlerinin kalitesini artırarak vergi süreçlerini daha erişilebilir hale getirmektedir.

Büyük veri ve yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, muhasebe profesyonellerinin veri analizi yapabilen ve elde edilen sonuçları yorumlayabilen bireyler olmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, programlama bilgisi, veri görselleştirme araçlarının kullanımı ve algoritmik düşünme gibi beceriler giderek daha önemli hale gelmektedir (Richins et al., 2017). Özellikle danışmanlık hizmetlerinin öne çıkması beklenen muhasebe hizmetlerinde finansal okuryazarlık, maliyet muhasebesi, kritik-analitik düşünme, finansal analiz, birkaç yabancı dil bilgisi gibi yetkinlikler meslek mensuplarına avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, dijitalleşme süreci etik ve veri güvenliği konularını da ön plana çıkarmaktadır. Yapay zekâ

sistemlerinin kullanımında şeffaflık, hesap verebilirlik ve veri gizliliği gibi konular, muhasebe mesleğinin temel etik ilkeleri ile birlikte ele alınmalıdır.

2. MUHASEBE VE VERGİ EĞİTİMİNDE MEVCUT DURUM ANALİZİ

Muhasebe mesleğinin ve vergi denetim süreçlerinin manuel uygulamalardan dijital teknoloji odaklı hale gelmesi, muhasebe ve vergi eğitiminde de geleneksel öğretim yaklaşımlarının yerini giderek daha fazla teknoloji temelli ve uygulama odaklı modellerin almasına sebep olmaktadır. Özellikle e-uygulama temelli, işyeri eğitimi odaklı, yapay zekâ ve veri analitiği gibi alanların da müfredata entegrasyonu ile muhasebe ve vergi eğitimi sistematik dönüşüm içerisindedir. Ayrıca bu dönüşümde eğitim programlarının güncel iş gücü piyasası beklentileriyle uyumlu hale getirilmesi de kritik bir rol oynamaktadır.

2.1. Türkiye'de Yükseköğretimde Muhasebe ve Vergi Eğitimi

Türkiye'de muhasebe ve vergi eğitimi, ön lisans düzeyinde özellikle "Muhasebe ve Vergi Uygulamaları" programları, lisans düzeyinde ise "Muhasebe ve Finans Yönetimi" bölümleri aracılığıyla yürütülmekte ve bu programlar iş gücü piyasasına ara eleman ve yönetici yetiştirme açısından önemli bir işlev üstlenmektedir.

Muhasebe eğitimi alanındaki araştırmaların son yıllarda hızla arttığı, ancak yapay zekâ ve ileri dijital teknolojilere yönelik ders içeriklerinin henüz yeterince yaygınlaşmadığı tespit edilmiştir (Kınay & Ciğer, 2025). Yapay zekâ uygulamalarının muhasebe eğitiminde bireyselleştirilmiş öğrenme ve öğrenci performansını artırma potansiyeline rağmen, bu teknolojilerin eğitim programlarına entegrasyonunun henüz başlangıç aşamasında olduğu vurgulanmaktadır (Özdemir et al., 2024).

2.2. Mevcut Programların Güçlü ve Zayıf Yönleri

Muhasebe ve vergi uygulamaları programlarını güçlü yönler açısından değerlendirildiğinde, mevcut programların temel muhasebe bilgisi, bilgisayarlı muhasebe, finansal raporlama ve vergi mevzuatı konularında öğrencilere sağlam bir teorik altyapı sunduğu ifade edilmektedir. Ayrıca uygulamaya yönelik ve sektörde çalışma tabanlı derslerin varlığı, öğrencilerin mesleki pratiğe uyum sağlamasını kolaylaştırmaktadır.

Bununla birlikte, güncel araştırmalar programların en önemli zayıf yönünün dijital beceriler ve yapay zekâ temelli içeriklerin yetersizliği olduğunu ortaya koymaktadır. 2024 yılı literatür incelemesine göre, muhasebe eğitiminde müfredat çalışmalarının önemli bir kısmı hâlâ geleneksel içeriklere odaklanmakta ve veri analitiği, yapay zekâ ve bilgi sistemleri gibi alanlar yeterince temsil edilmemektedir (Natalie vd., 2025).

3. YAPAY ZEKÂ TABANLI MUHASEBE VE VERGİ EĞİTİMİ İÇİN MÜFREDAT ÖNERİLERİ

Yapay zekâ ve dijital dönüşümün muhasebe mesleği üzerindeki etkileri, eğitim programlarının yalnızca güncellenmesini değil, aynı zamanda yeniden tasarlanmasını gerekli kılmaktadır. Güncel literatür, muhasebe eğitiminde yapılacak dönüşümün yalnızca içerik değişikliği ile sınırlı kalmaması gerektiğini; pedagojik yaklaşımlar, uygulama ortamları ve sektör iş birliklerini kapsayan bütüncül bir model gerektirdiğini ortaya koymaktadır (Tan, 2025; Christiani & Widuri, 2025).

Bu bağlamda, yapay zekâ tabanlı muhasebe ve vergi eğitimi için önerilen müfredat modeli üç temel bileşen üzerine kurulmalıdır:

1-Teorik içeriklerin dönüşümü

2- Teknoloji temelli uygulama dersleri

3-Uygulamalı eğitim ve sektör entegrasyonu

3.1. Teorik Ders İçeriklerinin Yeniden Yapılandırılması

Mevcut muhasebe ve vergi müfredatları büyük ölçüde geleneksel içeriklere dayanmakta olup, yapay zekâ ve veri analitiği gibi alanlar sınırlı düzeyde temsil edilmektedir. Ancak güncel çalışmalar, muhasebe eğitiminin teknoloji odaklı kavramsal bir çerçeveye kaydırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda teorik derslerin yeniden yapılandırılmasında aşağıdaki dönüşümler önerilmektedir (Brabete vd. 2024):

- Muhasebe Bilgi Sistemleri → Akıllı Muhasebe Sistemleri (E-muhasebe, AI destekli ERP, otomatik kayıt sistemleri)
- Denetim → Veri Analitiği ve Sürekli Denetim (Makine öğrenmesi ile anomali tespiti, risk modelleme)
- Vergi Hukuku → Dijital Vergilendirme ve Algoritmik Denetim (E-Vergi uygulamaları, e-denetim, risk temelli vergi inceleme sistemleri)
- Maliyet Muhasebesi → Tahmine Dayalı Analitik Modeller

Literatürde, muhasebe öğrencilerinin artık yalnızca teknik bilgi değil, aynı zamanda veri analizi, algoritmik düşünme ve yapay zekâ okuryazarlığı gibi becerilere sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır (Ionela-Corina, 2025). Ayrıca müfredatta aşağıdaki teorik derslerin yer alması önerilmektedir.

- E-Muhasebe
- Veri Analitiği ve Büyük Veri
- Finansal Veri Madenciliği
- Muhasebede Etik ve Yapay Zekâ
- Dijital Dönüşüm ve Endüstri 4.0

3.2. Teknoloji Tabanlı Uygulama Dersleri

Yapay zekâ temelli müfredatın en kritik bileşeni, uygulama odaklı teknoloji dersleridir. Bu doğrultuda önerilen teknoloji tabanlı uygulama dersleri şunlardır:

- Muhasebe Veri Analitiği Laboratuvarı (Python / R ile veri analizi, Veri temizleme, modelleme ve görselleştirme)
- Yapay Zekâ Destekli Denetim Uygulamaları (Anomali tespiti algoritmaları, Sürekli denetim sistemleri, Denetimde makine öğrenmesi uygulamaları)
- ERP ve Akıllı Muhasebe Yazılımları (Bulut muhasebe sistemleri, Otomatik kayıt ve raporlama)
- Dijital Arşivleme Uygulamaları (Cloud, Drive, Dropbox vb. uygulamalar)

Uygulamalı eğitimde aktif öğrenme, proje tabanlı yaklaşım ve simülasyon ortamlarının kullanılmasının öğrenme çıktıları üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

3.3. Uygulamalı Eğitim ve Sektör İş Birliklerinde Yapay Zekâ Teması

Muhasebe eğitiminde yapay zekâ (AI) entegrasyonunun başarısı, yalnızca sınıf içi öğretimle değil, aynı zamanda sektör ile kurulan güçlü iş birlikleriyle mümkündür. Bu kapsamda muhasebe ve vergi uygulamaları programları için önerilen dersler şu şekildedir:

- Zorunlu AI Destekli Staj Programları (Muhasebe ofisleri ve denetim firmalarında, AI tabanlı yazılım kullanan işletmelerde staj)
- Sektör Ortaklı Dersler (Mali müşavirler ve denetçiler tarafından yürütülen dersler, gerçek veri setleri ile vaka analizleri, e-uygulamaların kullanıldığı simülasyon temelli dersler)

• Yapay Zekâ Tabanlı Bitirme Projeleri (Vergi kaçakçılığı tespit modeli geliştirme, Finansal tahminleme algoritmaları, Denetim risk analizi projeleri)

• Üniversite–Sektör–Teknoloji Firması Üçlü Modeli (Yazılım firmaları ile iş birliği, ERP ve AI araçlarının eğitimde kullanımı, ortak sertifika programları, işletmelerde veya ofislerde tam zamanlı mesleki eğitim programları)

Uygulamalı eğitim temelli sektör iş birlikleri öğrencilerin istihdam edilebilirliğini artırmakta ve eğitim çıktılarının sektör beklentileriyle daha uyumlu hale gelmesini sağlamaktadır. Ayrıca muhasebe ve vergi eğitiminde geleceğin yönünün deneyimsel öğrenme, hibrit (teori+uygulama+mesleki eğitim) öğrenme modelleri ve insan–yapay zekâ iş birliği üzerine kurulu olduğu görülmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de ön lisans düzeyinde muhasebe ve vergi eğitimi veren programların yapay zekâ ve dijital dönüşüm bağlamında mevcut durumu analiz edilmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda müfredat geliştirmeye yönelik bütüncül bir model önerilmiştir. Çalışmanın temel amacı, hızla değişen iş gücü piyasası ve teknolojik gelişmeler karşısında muhasebe ve vergi eğitiminin ne ölçüde uyum sağladığını ortaya koymak ve bu doğrultuda uygulanabilir öneriler geliştirmektir. Bu kapsamda gerçekleştirilen içerik analizi, hem ulusal hem de uluslararası literatür bulgularıyla birlikte değerlendirilerek disiplinler arası bir bakış açısı sunulmuştur.

Elde edilen bulgular, Türkiye'de muhasebe ve vergi eğitiminin hâlen büyük ölçüde geleneksel içeriklere dayandığını ve dijital dönüşüm sürecine uyum sağlama konusunda sınırlılıklar içerdiğini göstermektedir. Özellikle yapay zekâ, veri analitiği ve bilgi sistemleri gibi alanların müfredatta yeterince temsil edilmemesi, eğitim programlarının güncel mesleki gereksinimlerin gerisinde kalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, mevcut programlar temel muhasebe bilgisi, finansal raporlama ve vergi mevzuatı gibi alanlarda sağlanan güçlü teorik altyapı, uygulama yeteneği ve mesleki eğitim altyapısı noktasında yeterli görünmektedir. Nitekim mevcut literatür, muhasebe mesleğinin giderek daha fazla veri odaklı ve teknoloji temelli bir yapıya evrildiğini ve bu dönüşümün eğitim programlarına doğrudan yansıması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada önerilen müfredat modeli, bu dönüşüm ihtiyacına yanıt verecek şekilde üç temel bileşen üzerine inşa edilmiştir. Bu bileşenler; teorik ders içeriklerinin güncellenmesi, teknoloji tabanlı uygulama derslerinin artırılması ve sektör iş birlikleriyle desteklenen uygulamalı eğitim modellerinin geliştirilmesidir. Bu model, literatürde öne çıkan teknolojik dönüşümün gerekliliği ve deneyimsel öğrenme teorileri ile uyumlu olup, öğrencilerin yalnızca bilgiye erişen değil, aynı zamanda bu bilgiyi analiz eden ve uygulayan bireyler olarak yetişmesini hedeflemektedir. Özellikle yapay zekâ destekli uygulama dersleri ve sektör entegrasyonu, öğrencilerin iş gücü piyasasına daha donanımlı bir şekilde katılmalarını sağlayacak kritik unsurlar olarak değerlendirilmektedir.

Gelecek çalışmalar açısından değerlendirildiğinde, bu araştırmanın teorik ve içerik analizi temelli bir yaklaşım benimsemesi önemli bir sınırlılık olarak ifade edilebilir. Bu nedenle ilerleyen araştırmalarda, önerilen müfredat modelinin ampirik olarak test edilmesi, öğrenci ve öğretim elemanı görüşlerinin nicel ve nitel yöntemlerle analiz edilmesi ve farklı üniversitelerde uygulanabilirliğinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca, yapay zekâ temelli muhasebe eğitiminin öğrenci performansı, istihdam edilebilirlik ve mesleki yeterlilikler üzerindeki etkilerini ölçen deneysel çalışmaların literatüre önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Brabete, V., Barbu, C.M., Cîrciumaru, D., Goagără, D. & Berceanu, D., (2024). Redesign of Accounting Education to Meet the Challenges of Artificial Intelligence – A Literature Review. Amfiteatru Economic, 26(65), 275-293.

Christiani, D., & Widuri, R. (2025). Artificial intelligence in accounting education: A bibliometric analysis of global research trends (2000–2025). Journal of Applied Finance and Accounting, 12(2).

Çetin, Ö. O. (2025). Muhasebe Eğitiminde Yapay Zekâ Destekli Pedagojik Dönüşüm: Chatgpt Ve Muhasebe Hackathonu Modeli. Journal of Academic Perspective on Social Studies, 1, 1-14. https://doi.org/10.35344/japss.1740894

Daud, D., Kishan, K., & Azhar, Z. (2024). A systematic review on ethical challenges of emerging AI in accounting using the ADO model. International Journal of Research and Innovation in Social Science, VIII (XIX), 87-104.

Geçici, E. (2024). Yapay Zekâ Destekli ChatGPT'nin Muhasebe Eğitimi Alanına Uygunluğu: Fırsatlar ve Zorluklar. İşletme Akademisi Dergisi, 5(2), 96–117. https://doi.org/10.26677/TR1010.2024.1420

Ionela-Corina C. (2025). The impact of artificial intelligence on accounting education. Studies in Business and Economics, 20(3), 107-134. https://doi.org/10.2478/sbe-2025-0046

Kaldırım, Y., & Kaldırım, Z. (2024). İşletme Ve Muhasebe Müfredatında Yapay Zekânın Yeri: Türkiye Ve Diğer Ülke Üniversite Müfredatlarının Karşılaştırmalı Analizi. Muhasebe ve Denetime Bakış, 24(73), 157-176. https://doi.org/10.55322/mdbakis.1500479

Kınay, B., & Ciğer, A. (2025). Artificial intelligence in accounting profession and education: A content and bibliometric analysis (2007–2024). Ömer Halisdemir Üniversitesi İİBF Dergisi, 18(1), 59–83.

Kokina, J. & Davenport, T. H. (2017). The emergence of artificial intelligence: How automation is changing auditing. Journal of Emerging Technologies in Accounting, 14(1), 115–122.

Natalie, T.C., Tim, V.D. & Linda, J.M. (2025). Accounting education literature review (2024). Journal of Accounting Education. 71, June 2025, 100969. https://doi.org/10.1016/j.jaccedu.2025.100969

Özdemir, F. S., Bengü, H., & Turan, E. (2024). Artificial intelligence in accounting education: Identifying learning styles and assessing individual differences. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(2), 417–436.

Richins, G., Stapleton, A., Strickland, C. & Wong, C. (2017). Big data analytics: Opportunity or threat for the accounting profession? Journal of Information Systems, 31(3), 63–79.

Sutton, S. G., Holt, M. & Arnold, V. (2016). The reports of my death are greatly exaggerated: Artificial intelligence research in accounting. International Journal of Accounting Information Systems, 22, 60–73. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2016.07.005

Sutton, Steve G., Holt, Matthew, & Arnold, Vicky. (2016). The reports of my death are greatly exaggerated: Artificial intelligence research in accounting. International Journal of Accounting Information Systems, 22, 60–73. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2016.07.005

Tan, M. (2025). Accounting education in the digital era: Integrating data analytics and AI into curriculum design. Journal of International Education and Development, 9(11), 231–234.

https://doi.org/10.71284/asc.2026176

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA GIDA TÜKETİMİ VE TÜKETİCİ DAVRANIŞLARININ DÖNÜŞÜMÜ

THE TRANSFORMATION OF FOOD CONSUMPTION AND CONSUMER BEHAVIOR IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Erdi Kaflı[1]

Özet

Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte yapay zekâ uygulamaları günlük yaşamın birçok alanında etkili olmaya başlamıştır. Özellikle dijital platformların yaygınlaşması, tüketicilerin satın alma alışkanlıklarında önemli değişimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Gıda tüketimi alanında online market uygulamaları, yemek sipariş platformları ve kişiselleştirilmiş öneri sistemleri tüketici davranışlarını etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Günümüzde tüketiciler çoğu zaman farkında olmadan yapay zekâ destekli sistemlerin sunduğu öneriler doğrultusunda karar verebilmektedir. Bu çalışmada yapay zekâ teknolojilerinin gıda tüketimi ve tüketici davranışları üzerindeki etkileri literatür taraması yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Araştırma kapsamında dijital pazarlama, veri analitiği, öneri sistemleri ve tüketici davranışları üzerine yapılmış yerli ve yabancı akademik çalışmalar değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda yapay zekâ teknolojilerinin tüketicilerin satın alma süreçlerini hızlandırdığı, kişiselleştirilmiş tüketim alışkanlıklarını artırdığı ve dijital platform kullanımını yaygınlaştırdığı görülmüştür. Çalışma sonucunda, yapay zekâ destekli sistemlerin tüketicilere zaman kazandırdığı ve alışveriş sürecini kolaylaştırdığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte tüketici davranışlarının dijital sistemler tarafından yönlendirilmesi, kişisel verilerin kullanımı ve etik sorunlar gibi konuların da önemli tartışma alanları arasında yer aldığı belirlenmiştir. Özellikle gıda sektöründe dijitalleşmenin artmasıyla birlikte tüketim alışkanlıklarının daha veri odaklı bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Sonuç olarak yapay zekâ teknolojilerinin tüketici davranışları üzerindeki etkisinin giderek arttığı ve bu dönüşümün hem işletmeler hem de tüketiciler açısından yeni fırsatlar ortaya çıkardığı değerlendirilmektedir. Bunun yanında yapay zekâ uygulamalarının etik boyutlarının ve uzun vadeli toplumsal etkilerinin gelecekte daha ayrıntılı biçimde incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, gıda tüketimi, tüketici davranışı, dijital pazarlama, veri analitiği.

Abstract

With the rapid development of technology, artificial intelligence applications have started to affect many areas of daily life. Especially the widespread use of digital platforms has led to significant changes in consumers' purchasing habits. In the field of food consumption, online grocery applications, food delivery platforms, and personalized recommendation systems have become some of the main factors influencing consumer behavior. Today, consumers often make purchasing decisions through suggestions presented by AI-supported systems, sometimes without fully realizing it. In this study, the effects of artificial intelligence technologies on food consumption and consumer behavior were examined through a literature review method. Within the scope of the research, national and international academic studies related to digital marketing, data analytics, recommendation systems, and consumer behavior were reviewed. The findings

[1] Haliç Üniversitesi, erdikafli@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-6183-1405

indicate that artificial intelligence technologies accelerate consumers' purchasing processes, increase personalized consumption habits, and contribute to the growing use of digital platforms. The results of the study show that AI-supported systems save time for consumers and make the shopping process more practical. However, issues such as the manipulation of consumer behavior through digital systems, the use of personal data, and ethical concerns have also emerged as important discussion topics. Particularly in the food sector, increasing digitalization has caused consumption habits to become more data-oriented. As a result, it is considered that the influence of artificial intelligence technologies on consumer behavior continues to grow and that this transformation creates new opportunities for both businesses and consumers. At the same time, it is thought that the ethical dimensions and long-term social effects of artificial intelligence applications should be examined in greater detail in future studies.

Keywords: Artificial intelligence, food consumption, consumer behavior, digital marketing, data analytics.

GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte bireylerin günlük yaşam alışkanlıklarında önemli değişimler meydana gelmiştir. Özellikle dijitalleşme sürecinin yaygınlaşması, insanların bilgiye ulaşma biçimlerini, iletişim yöntemlerini ve tüketim davranışlarını doğrudan etkilemiştir. Son yıllarda yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesi ise bu dönüşüm sürecini daha da hızlandırmış ve tüketici davranışlarının veri odaklı sistemler aracılığıyla şekillenmesine neden olmuştur. Bu değişim, özellikle gıda tüketimi alanında dikkat çekici bir biçimde hissedilmektedir.

Geçmiş dönemlerde tüketiciler satın alma kararlarını çoğunlukla kişisel deneyimlerine, ihtiyaçlarına veya çevresel faktörlere göre verirken, günümüzde dijital platformların sunduğu öneri sistemleri karar süreçlerinde belirleyici hale gelmeye başlamıştır. Online market uygulamaları, yemek sipariş platformları ve sosyal medya destekli reklam sistemleri, kullanıcıların geçmiş tercihlerini analiz ederek kişiselleştirilmiş öneriler sunmaktadır. Böylece tüketiciler çoğu zaman farkında olmadan algoritmalar tarafından yönlendirilen bir tüketim sürecinin parçası haline gelmektedir.

Özellikle büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi tabanlı sistemler sayesinde işletmeler, tüketicilerin hangi ürünleri tercih ettiğini, hangi zamanlarda alışveriş yaptığını ve hangi ürünlere yönelme eğiliminde olduğunu analiz edebilmektedir. Bu durum, işletmeler açısından rekabet avantajı sağlarken, tüketicilerin satın alma davranışlarının da yeniden şekillenmesine neden olmaktadır. Gıda sektöründe kullanılan yapay zekâ destekli sistemler yalnızca ürün önerileri sunmakla kalmamakta, aynı zamanda kampanya yönetimi, fiyat optimizasyonu ve kişiselleştirilmiş pazarlama stratejileri gibi alanlarda da etkili şekilde kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojilerinin tüketici davranışları üzerindeki etkileri yalnızca olumlu yönleriyle değerlendirilmemektedir. Bazı araştırmalar, algoritmaların bireyleri belirli ürünlere yönlendirebildiğini ve zaman içerisinde tüketici tercihlerini sınırlayabildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca kişisel verilerin yoğun biçimde kullanılması, gizlilik ve etik konularını da gündeme getirmektedir. Bu nedenle yapay zekâ destekli sistemlerin tüketici davranışları üzerindeki etkilerinin çok yönlü şekilde incelenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin gıda tüketimi üzerindeki etkilerini ve bu süreçte tüketici davranışlarında meydana gelen dönüşümü incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada literatür taraması yöntemi kullanılarak yapay zekâ destekli uygulamaların tüketici karar süreçleri üzerindeki rolü değerlendirilmiş ve gıda sektöründe ortaya çıkan değişimler kavramsal açıdan ele alınmıştır. Ayrıca bu dönüşümün işletmeler, pazarlama stratejileri ve tüketici alışkanlıkları üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

Sonuç olarak, yapay zekâ çağında tüketici davranışlarının yalnızca bireysel tercihler doğrultusunda şekillenmediği, aynı zamanda dijital sistemler ve algoritmalar tarafından da yönlendirildiği görülmektedir. Bu durum hem işletmeler hem de tüketiciler açısından yeni fırsatlar oluştururken, etik ve toplumsal açıdan değerlendirilmesi gereken yeni tartışmaları da beraberinde getirmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte tüketici davranışlarının analiz edilmesi ve yönlendirilmesi, son yıllarda akademik çalışmalarda önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Özellikle dijital pazarlama faaliyetlerinin yaygınlaşması, işletmelerin tüketiciler hakkında daha fazla veri toplamasına olanak sağlamış ve bu durum tüketici davranışlarının daha detaylı biçimde incelenmesine katkıda bulunmuştur. Günümüzde işletmeler, yapay zekâ destekli sistemler sayesinde tüketicilerin ilgi alanlarını, satın alma eğilimlerini ve tüketim alışkanlıklarını analiz ederek daha hedef odaklı pazarlama stratejileri geliştirebilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, tüketici davranışlarının yalnızca bireysel ihtiyaçlarla açıklanamayacağı görülmektedir. Teknolojik gelişmeler, sosyal çevre, dijital medya araçları ve veri odaklı sistemler de tüketici karar süreçlerinde etkili olmaktadır. Özellikle internet kullanımının artmasıyla birlikte bireyler çok yoğun bilgi akışıyla karşı karşıya kalmakta ve bu durum karar verme sürecini daha karmaşık hale getirmektedir. Yapay zekâ destekli öneri sistemleri ise bu bilgi yoğunluğunu azaltarak tüketicilere daha hızlı seçim yapma imkânı sunmaktadır (Solomon, 2018).

Kotler ve Keller'e (2016) göre pazarlama süreçlerinde kullanılan veri analitiği uygulamaları, tüketicilerin satın alma davranışlarının daha öngörülebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Özellikle makine öğrenmesi temelli algoritmalar, kullanıcıların geçmiş davranışlarını analiz ederek gelecekteki satın alma eğilimleri hakkında tahminlerde bulunabilmektedir. Bu durum işletmeler açısından önemli bir rekabet avantajı yaratırken, tüketicilerin de kişiselleştirilmiş hizmetlere daha kolay ulaşmasına katkı sağlamaktadır.

Gıda sektörü açısından değerlendirildiğinde, yapay zekâ uygulamalarının etkisinin oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Online market platformları, mobil yemek sipariş uygulamaları ve dijital alışveriş sistemleri, kullanıcıların önceki tercihlerini dikkate alarak öneriler sunmaktadır. Huang ve Rust'a (2021) göre bu sistemler, tüketicilerin satın alma davranışlarını doğrudan etkileyebilmekte ve tüketim alışkanlıklarının zaman içerisinde değişmesine neden olabilmektedir. Özellikle sık kullanılan dijital platformlarda öneri sistemlerinin sürekli tekrar edilmesi, bireylerin belirli ürünlere yönelmesine zemin hazırlamaktadır.

Bunun yanında, yapay zekâ destekli pazarlama sistemlerinin kişiselleştirme süreçlerini önemli ölçüde geliştirdiği de görülmektedir. İşletmeler, büyük veri analitiği sayesinde tüketicilerin yaş, cinsiyet, ilgi alanı, alışveriş geçmişi ve davranışsal eğilimleri gibi bilgileri analiz ederek daha hedefli reklam çalışmaları gerçekleştirebilmektedir. Bu durum müşteri memnuniyetinin artmasına katkı sağlarken aynı zamanda işletmelerin satış performansını da olumlu yönde etkileyebilmektedir.

Ancak literatürde yapay zekâ teknolojilerinin yalnızca olumlu etkilerinden söz edilmemektedir. Zuboff (2019), özellikle veri temelli sistemlerin bireylerin davranışlarını görünmez şekilde yönlendirebildiğini ifade etmektedir. Tüketicilerin karşılarına çıkan önerilerin hangi kriterlere göre oluşturulduğunu çoğu zaman bilmemesi, algoritmaların şeffaflığı konusunda tartışmalara yol açmaktadır. Bu durum, tüketici özerkliği ve etik sorunlar açısından önemli bir değerlendirme alanı oluşturmaktadır.

Diğer taraftan, yapay zekâ teknolojilerinin sağlıklı beslenme ve sürdürülebilir tüketim üzerinde de etkili olabileceği düşünülmektedir. Bazı uygulamalar kullanıcıları daha sağlıklı ürünlere yönlendirmeyi amaçlarken, bazı sistemler ise tamamen satış artırma odaklı çalışmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarının kullanım amacı, tüketici davranışları üzerindeki etkinin yönünü belirleyen önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

Grewal, Roggeveen ve Nordfält (2017), dijital pazarlama uygulamalarında kullanılan yapay zekâ

sistemlerinin tüketici deneyimini daha kişisel hale getirdiğini ve bunun satın alma ihtimalini artırdığını belirtmektedir. Lemon ve Verhoef'e (2016) göre ise veri odaklı müşteri deneyimi yönetimi, günümüz işletmelerinin en önemli rekabet araçlarından biri haline gelmiştir. Bu durum, yapay zekâ teknolojilerinin yalnızca teknik bir yenilik olmadığını, aynı zamanda tüketici davranışlarını şekillendiren stratejik bir unsur olarak değerlendirildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak literatürde yer alan çalışmalar, yapay zekâ teknolojilerinin tüketici davranışları üzerinde güçlü etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle gıda tüketimi alanında dijital platformların yaygınlaşmasıyla birlikte tüketici tercihleri daha veri odaklı bir yapıya dönüşmeye başlamıştır. Bu dönüşüm, hem işletmeler açısından yeni fırsatlar yaratmakta hem de tüketici davranışlarının etik ve toplumsal boyutlarıyla yeniden değerlendirilmesini gerekli hale getirmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada yapay zekâ teknolojilerinin gıda tüketimi ve tüketici davranışları üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek amacıyla literatür taraması yöntemi tercih edilmiştir. Konunun son yıllarda daha fazla tartışılmaya başlanması ve özellikle dijital platformların günlük yaşam içerisindeki etkisinin artması, bu alandaki akademik çalışmaların incelenmesini gerekli hale getirmiştir. Bu nedenle araştırmada doğrudan saha çalışması yapmak yerine mevcut çalışmalar üzerinden genel bir değerlendirme yapılması uygun görülmüştür.

Çalışma hazırlanırken yapay zekâ, dijital pazarlama, tüketici davranışları ve gıda tüketimiyle ilgili yerli ve yabancı akademik kaynaklardan yararlanılmıştır. Özellikle son yıllarda yayımlanan makaleler, bilimsel yayınlar ve dijital tüketim alışkanlıklarını inceleyen araştırmalar dikkate alınmıştır. Kaynak seçiminde konuyla doğrudan ilişkili çalışmaların kullanılmasına özen gösterilmiş, farklı görüşleri ele alan araştırmaların birlikte değerlendirilmesine dikkat edilmiştir.

Araştırma sürecinde online alışveriş sistemleri, yemek sipariş uygulamaları, öneri algoritmaları ve kişiselleştirilmiş reklam teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu incelemeler sırasında tüketicilerin satın alma davranışlarını etkileyen faktörler değerlendirilmiş ve yapay zekâ destekli sistemlerin tüketim alışkanlıkları üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Özellikle kullanıcı davranışlarının veri analitiğiyle analiz edilmesi ve buna uygun öneriler sunulması, çalışmanın temel inceleme alanlarından biri olmuştur.

Bu araştırmada herhangi bir anket uygulaması ya da deneysel çalışma yapılmamıştır. Çalışmanın temel amacı mevcut literatürde yer alan bilgileri bir araya getirerek konu hakkında genel bir değerlendirme ortaya koymaktır. Bu nedenle araştırma daha çok kavramsal inceleme niteliği taşımaktadır. Literatürde ulaşılan bilgiler karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiş ve ortak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca çalışma hazırlanırken yalnızca yapay zekânın olumlu yönlerine odaklanılmamış, tüketici davranışları üzerindeki olası olumsuz etkiler de dikkate alınmıştır. Özellikle tüketicilerin dijital sistemler tarafından yönlendirilmesi, kişisel verilerin kullanımı ve etik konular literatürde öne çıkan başlıklar arasında yer aldığı için araştırma kapsamında bu konulara da değinilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin tüketici davranışları üzerindeki etkilerini literatür temelli bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın, ilerleyen dönemlerde yapılacak uygulamalı çalışmalara teorik açıdan katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

3. BULGULAR

Literatür incelemesi sonucunda elde edilen bulgular, yapay zekâ teknolojilerinin tüketici davranışları üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle dijital platformların günlük yaşamın bir parçası haline gelmesiyle birlikte tüketicilerin satın alma alışkanlıklarında belirgin değişimler yaşandığı görülmektedir. Gıda tüketimi alanında bu değişim daha hızlı hissedilmekte ve tüketicilerin karar verme süreçleri giderek dijital sistemlerle bağlantılı hale gelmektedir.

İncelenen çalışmalarda, online market uygulamaları ve yemek sipariş platformlarının tüketici davranışlarını doğrudan etkilediği dikkat çekmektedir. Kullanıcıların geçmiş siparişleri, arama geçmişleri ve uygulama içindeki hareketleri analiz edilerek kişiye özel öneriler sunulması, tüketicilerin belirli ürünlere yönelmesini kolaylaştırmaktadır. Özellikle sık kullanılan uygulamalarda aynı ürünlerin veya benzer kampanyaların sürekli karşıya çıkması, satın alma davranışlarını etkileyen önemli unsurlardan biri haline gelmiştir.

Bulgular, tüketicilerin çoğu zaman farkında olmadan algoritmaların yönlendirmesine maruz kaldığını göstermektedir. Örneğin bir kullanıcı yemek sipariş uygulamasına girdiğinde karşısına çıkan "size özel öneriler", "daha önce tercih ettikleriniz" veya "en çok tercih edilen ürünler" gibi başlıklar tüketicinin karar verme sürecini etkileyebilmektedir. Bu durum, tüketici davranışlarının yalnızca ihtiyaçlara göre değil, dijital sistemlerin sunduğu yönlendirmelere göre de şekillendiğini ortaya koymaktadır.

Diğer taraftan yapay zekâ destekli sistemlerin tüketici açısından bazı kolaylıklar sağladığı da görülmektedir. Özellikle zamandan tasarruf sağlaması, ürün karşılaştırmasını kolaylaştırması ve kişiye uygun seçenekleri daha hızlı sunması, tüketicilerin dijital platformları tercih etmesinde etkili olmaktadır. Günümüzde birçok bireyin yoğun çalışma temposu içerisinde hızlı alışveriş yapma isteği, online tüketim alışkanlıklarının yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır.

Araştırmalar ayrıca kişiselleştirilmiş reklam ve kampanya sistemlerinin tüketici davranışlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Özellikle sosyal medya platformlarında kullanıcıların ilgisini çekebilecek içeriklerin öne çıkarılması, satın alma eğilimini artırabilmektedir. Bir ürünün sürekli olarak farklı platformlarda karşıya çıkması, tüketicide o ürüne karşı bir ihtiyaç hissi oluşturabilmektedir. Bu durum, dijital pazarlama stratejilerinin tüketici psikolojisi üzerinde ne kadar etkili hale geldiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerinin bazı tartışmalı yönleri de bulunmaktadır. Özellikle kişisel verilerin yoğun biçimde kullanılması ve tüketici davranışlarının sürekli takip edilmesi, gizlilik konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır. Tüketicilerin hangi verilerinin toplandığını ve bu verilerin nasıl kullanıldığını çoğu zaman tam olarak bilmemesi, güven sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yapay zekâ teknolojilerinin kullanımında etik konuların daha fazla önem kazandığı görülmektedir.

Gıda tüketimi açısından değerlendirildiğinde ise yapay zekâ sistemlerinin hem olumlu hem de olumsuz etkiler oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Bazı uygulamalar tüketicileri daha sağlıklı ürünlere yönlendirebilirken, bazı sistemler ise daha fazla satış yapma amacıyla yüksek kalorili veya popüler ürünleri ön plana çıkarabilmektedir. Bu durum, yapay zekâ teknolojilerinin hangi amaçla kullanıldığının oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak elde edilen bulgular, yapay zekâ teknolojilerinin tüketici davranışlarını yalnızca analiz eden sistemler olmaktan çıktığını ve zamanla tüketim alışkanlıklarını şekillendiren bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Özellikle gıda sektöründe dijitalleşmenin artmasıyla birlikte tüketicilerin karar verme süreçleri değişmekte, alışveriş davranışları daha veri odaklı hale gelmektedir. Bu dönüşüm işletmeler açısından önemli fırsatlar sunarken, tüketici hakları ve etik konular açısından da dikkatli değerlendirilmesi gereken bir süreci ortaya çıkarmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada yapay zekâ teknolojilerinin gıda tüketimi ve tüketici davranışları üzerindeki etkileri literatür temelli olarak incelenmiştir. İncelenen çalışmalar, dijitalleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte tüketici davranışlarının önemli ölçüde değişmeye başladığını göstermektedir. Özellikle yapay zekâ destekli öneri sistemleri, dijital pazarlama uygulamaları ve veri analitiği teknolojileri, tüketicilerin satın alma kararlarında etkili hale gelmiştir.

Gıda sektörü açısından değerlendirildiğinde, online market uygulamaları ve yemek sipariş platformlarının tüketim alışkanlıklarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Tüketicilere sunulan kişiselleştirilmiş

öneriler, kampanyalar ve ürün sıralamaları satın alma davranışlarını yönlendirebilmekte ve tüketim süreçlerini daha hızlı hale getirebilmektedir. Bu durum işletmeler açısından müşteri memnuniyetinin artmasına ve satış performansının gelişmesine katkı sağlarken, tüketiciler açısından da zaman tasarrufu ve kolaylık oluşturmaktadır.

Bununla birlikte araştırma sonucunda yapay zekâ teknolojilerinin yalnızca olumlu etkiler oluşturmadığı da anlaşılmaktadır. Özellikle tüketicilerin dijital sistemler tarafından yönlendirilmesi, kişisel verilerin yoğun biçimde kullanılması ve algoritmaların şeffaf olmaması gibi konular önemli tartışma alanları arasında yer almaktadır. Tüketicilerin çoğu zaman farkında olmadan belirli ürünlere yönlendirilmesi, bireysel tercihlerin ne ölçüde özgür olduğu konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, yapay zekâ teknolojilerinin gelecekte tüketici davranışları üzerindeki etkisinin daha da artacağını göstermektedir. Özellikle mobil teknolojilerin gelişmesi ve dijital platform kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte tüketicilerin satın alma süreçleri daha fazla veri odaklı hale gelmektedir. Bu nedenle işletmelerin yapay zekâ teknolojilerini kullanırken yalnızca ticari kazanç odaklı değil, aynı zamanda etik sorumluluk çerçevesinde hareket etmesi önem taşımaktadır.

Ayrıca yapay zekâ uygulamalarının sağlıklı beslenme ve sürdürülebilir tüketim alanlarında da daha bilinçli şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir. Tüketicilerin daha sağlıklı ürünlere yönlendirilmesi, gereksiz tüketimin azaltılması ve çevre dostu ürünlerin öne çıkarılması gibi uygulamalar gelecekte önem kazanabilecek alanlar arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak yapay zekâ teknolojileri, tüketici davranışlarını etkileyen en önemli dijital unsurlardan biri haline gelmiştir. Özellikle gıda tüketimi alanında yaşanan dijital dönüşüm, tüketim alışkanlıklarının yeniden şekillenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ ve tüketici davranışları arasındaki ilişkinin hem akademik çalışmalar hem de uygulama alanları açısından daha detaylı biçimde incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Davenport, T. H., & Harris, J. G. (2007). *Competing on analytics: The new science of winning*. Harvard Business School Press.

Grewal, D., Roggeveen, A. L., & Nordfält, J. (2017). The future of retailing. *Journal of Retailing, 93*(1), 1–6. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2016.12.008

Huang, M. H., & Rust, R. T. (2021). Artificial intelligence in service. *Journal of Service Research, 24*(1), 3–10. https://doi.org/10.1177/1094670520902266

Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing management* (15th ed.). Pearson.

Lemon, K. N., & Verhoef, P. C. (2016). Understanding customer experience throughout the customer journey. *Journal of Marketing, 80*(6), 69–96. https://doi.org/10.1509/jm.15.0420

Solomon, M. R. (2018). *Consumer behavior: Buying, having, and being* (12th ed.). Pearson.

Wedel, M., & Kannan, P. K. (2016). Marketing analytics for data-rich environments. *Journal of Marketing, 80*(6), 97–121. https://doi.org/10.1509/jm.15.0413

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

https://doi.org/10.71284/asc.2026177

DESTİNASYON SLOGANI GELİŞTİRMEDE NİTEL ARAŞTIRMA VE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

QUALITATIVE RESEARCH AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION IN DESTINATION SLOGAN DEVELOPMENT

Erdi Kurt[1]

Bilsen Bilgili[2]

Özet

Destinasyon pazarlamasında sloganlar, destinasyonların rakiplerinden ayrışmasını ve kalıcı bir imaj oluşturmasını sağlayan kritik araçlardır. Bu çalışma, İstanbul ve Türkiye için slogan geliştirme sürecini nitel yöntemler ve yapay zekâ entegrasyonu ile ele almıştır. Bulgular, geçmişte kullanılan sloganların hedef kitle tarafından bilinmediğini ve destinasyon algısının daha çok kültürel, simgesel ve deneyimsel unsurlar üzerinden şekillendiğini göstermektedir. İnsan odaklı yaratıcı süreçler ile yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar karşılaştırılmış, her iki yöntemin güçlü ve zayıf yönleri tartışılmıştır. Sonuç olarak, destinasyon markalaşması açısından kalıcı ve hedef kitle tarafından benimsenebilecek bir sloganın stratejik önemi vurgulanmış, yaratıcı çalışmalarda insan odaklı çalışmalar ile yapay zeka tabanlı çalışmaların farkı ortaya konulmuştur. Araştırmanın bulgularının ilgili literatüre, destinasyon pazarlaması uygulamalarına, benzer çalışmalarda yapay zekanın kullanımının önemi ve dikkat edilmesi gereken yönlerine ilişkin önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Marka, destinasyon, slogan, yapay zeka, turizm.

Abstract

In destination marketing, slogans are critical tools that enable destinations to differentiate themselves from their competitors and establish a lasting image. This study addresses the slogan development process for Istanbul and Türkiye through qualitative methods and the integration of artificial intelligence. The findings reveal that previously used slogans are largely unknown to the target audience and that destination perception is shaped more by cultural, symbolic, and experiential elements. Human-centered creative processes and artificial intelligence-based approaches were compared, and the strengths and weaknesses of both methods were discussed. As a result, the strategic importance of a memorable slogan that can be adopted by the target audience in terms of destination branding was emphasized, and the differences between human-centered creative approaches and artificial intelligence-based approaches were highlighted. It is believed that the findings of this research will make significant contributions to the relevant literature, destination marketing practices, and the understanding of the importance of using artificial intelligence in similar studies, as well as the aspects that should be taken into consideration.

Keywords: Brand, destination, slogan, artificial intelligence, tourism.

[1] Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Turizm İşletmeciliği A.B.D, erdikurt1@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-9820-8769

[2]Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi Turizm Fakültesi, bilsen.bilgili@kocaeli.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8454-8318

GİRİŞ

Günümüz turizminde turistlerin beklenti ve ihtiyaçlarının sürekli değişim göstermesi, destinasyonların bu yeni taleplere cevap verebilmek için rakiplerinden ayrışmalarını zorunlu hale getirmiştir. Rekabet ortamında öne çıkmak isteyen destinasyonların, hem fiziksel özellikleri hem de algısal değerleri bakımından üstünlük sağlamaları gerekmektedir. Bu doğrultuda destinasyonların, turistlerin zihninde doğru bir marka konumlandırması oluşturarak daha fazla ziyaretçi çekebilmek amacıyla etkili stratejiler geliştirmeleri büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede destinasyonların rekabet avantajı elde etmek için başvurabilecekleri marka araçlarından biri olan sloganlar, destinasyonu rakiplerinden ayırarak turistlerin zihninde kalıcı ve olumlu bir imaj oluşturulmasına katkı sağlamakta ve aynı zamanda destinasyonun bilinirliğinin artırılmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

Günümüz destinasyon pazarlamasında slogan, destinasyonları rakiplerinden ayrıştırmak ve kalıcı bir destinasyon imajı oluşturmak açısından kritik önemde birer araçtır. Aynı zamanda slogan, destinasyon marka değeri yaratma sürecinin de önemli unsurlarından biridir. Ancak, literatürde destinasyon sloganlarının geliştirilmesi ve kullanımı üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmakta, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, uzun vadeli stratejiler gerektiren destinasyon sloganı geliştirme konusuna öncelik verilmediği dikkat çekmektedir. Buradan hareketle, bu çalışmada destinasyon sloganı geliştirme süreci nitel bir yaklaşımla ele alınarak, dünyada bilinen bir destinasyon olan İstanbul için çağrışım modeli ile slogan geliştirmek üzere kritik sözcük öbeklerini belirlemek amaçlanmıştır.

Dünya genelindeki başarılı destinasyon sloganlarının yanı sıra, Türkiye'nin ve özellikle İstanbul'un geçmişten günümüze tanıtım amacıyla kullandığı turizm sloganları tespit edilmiştir. İlk aşamada, ilgili resmî kaynakların incelenmiş ve destinasyon yönetiminde karar verici rolündeki uzmanlar ile görüşmeler yapılarak mevcut sloganlar belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan görüşmeler sonucunda ne İstanbul ne de Türkiye için halihazırda yaygın biçimde kullanılan kabul görmüş sloganların olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla araştırmada, geçmiş dönemlerde ulusal ve uluslararası etkinliklerde kullanılmış sloganlara odaklanılmış, bu etkinliklerde kullanılan sloganlar tespit edilmiştir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Sloganlar, tüketicilere marka hakkında bilgi aktaran, markanın ayırt edici özelliklerini vurgulayan ve tüketicileri satın alma davranışına yönlendiren önemli iletişim araçlarıdır (Kohli vd., 2007). Bu doğrultuda, destinasyonun hedef kitlesine hitap eden, farkındalık oluşturan ve akılda kalıcılığı yüksek bir sloganın geliştirilmesi, destinasyonun markalaşma sürecini hızlandıran güçlü bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Ancak slogan geliştirme sürecinde, destinasyona özgü özelliklerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi ve dikkat çekici, merak uyandıran ifadelerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu durum, slogan geliştirme sürecinin marka oluşturma sürecinin önemli bir parçası olduğunu göstermektedir. Özellikle turizm alanında slogan geliştirmeye yönelik çalışmaların henüz yeterli düzeyde olmadığı, Türkiye'de ise destinasyonların profesyonel marka geliştirme faaliyetlerine son yıllarda daha fazla önem vermeye başladığı görülmektedir. Bu nedenle, önemli maliyetlerin söz konusu olduğu bu tür çalışmaların doğru stratejiler doğrultusunda yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

Dünya genelinde öne çıkan destinasyon sloganları incelendiğinde, Türkiye'de destinasyon markalaşması kapsamında geliştirilen dikkat çekici, iyi konumlandırılmış ve etkili slogan çalışmalarının yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Şehir sloganlarının çoğunlukla yerel yönetimler tarafından düzenlenen ödüllü yarışmalar aracılığıyla belirlenmesi ve yarışmada birinci seçilen sloganların şehir için kullanılmaya başlanması yaygın bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu şekilde belirlenen sloganların uzun vadeli bir kullanım sürecine sahip olmadığı dikkat çekmektedir. Mevcut sloganlar değerlendirildiğinde, büyük ölçüde dünyada öne çıkan sloganlardan esinlenildiği ve izleyici bir stratejinin benimsendiği anlaşılmaktadır. Buna karşın, özgün slogan geliştirmeye yönelik çalışmaların henüz yeni yeni ortaya çıktığı ve başlangıç aşamasında olduğu görülmektedir. Bu durum, sloganların uzun vadeli kullanımını desteklemek

amacıyla sloganların benimsenmesi ve doğru biçimde konumlandırılmasına yönelik stratejiler üzerine daha fazla araştırma yapılmasının yararlı olacağını göstermektedir.

Bir destinasyon markası oluşturma sürecinde, her aşamada doğru kararların alınması ve hedef kitleye uygun etkili stratejilerin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Destinasyon için geliştirilecek marka logosu ve sloganı, doğru bir konumlandırma ve başarılı farklılaşma stratejileri ile desteklendiğinde, ziyaretçilerin zihninde destinasyona ilişkin kalıcı ve olumlu algıların oluşmasına katkı sağlayacaktır (Kozak ve Baloğlu, 2011). Bu bağlamda, destinasyon için oluşturulan etkili bir sloganın markalaşma sürecinin en önemli unsurlarından biri olduğu söylenebilir. Dünya genelinde başarılı olarak değerlendirilen ve örnek gösterilebilecek bazı şehir veya eyalet sloganları ise şu şekilde sıralanabilir (Kurt, 2017):

- New York: I love NY (New York'u seviyorum)
- Amsterdam: I Amsterdam (Ben Amsterdamım)
- Las Vegas: What Happens in Vegas, Stays in Vegas (Vegas'ta Olan, Vegas'ta Kalır)
- Berlin: Be Berlin (Berlin Ol)
- Singapur: Passion Made Possible (Tutku Mümkün Kılar)
- Helsinki: Daughter of the Baltic (Baltıkların Kızı)
- Şikago: City of Dreams (Rüyalar Şehri)
- Glasgow: People Make Glasgow (İnsanlar Glasgow Yapar)
- Budapeşte: Spice of Europe (Avrupa'nın Baharatı)
- Kopenhag: Wonderful Copenhagen (Muhteşem Kopenhag)
- Hong Kong: Best of All, Its in Hong Kong/ Asia's World City (Hepsinin En İyisi Hong Kong'da / Asya'nın Dünya Şehri)
- Münih: Simply Munich (Kısaca Münih)
- Moskova: Wow, it's Moscow (Vay Canına, Burası Moskova)
- Utah: Live Elevated (Keyifle Yaşa)
- New Jersey: Garden State (Bahçe Eyalet)
- Tokyo: Old Meets New (Eski Yeniyle Buluşur)
- Nashville: The Music City (Müzik Şehri)

Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın 2023 Türkiye Turizm Stratejisi 2. Eylem Planı **incelendiğinde**, öncelikli hedefler arasında İstanbul, Ankara, Antalya, İzmir, Bursa, Konya ve Mersin illerinde kongre turizminin geliştirilmesi yer almaktadır. Bunun yanında Adıyaman, Amasya, Bursa, Edirne, Gaziantep, Hatay, Konya, Kütahya, Manisa, Nevşehir, Kars, Mardin, Sivas, Şanlıurfa ve Trabzon illerinde kültür turizminin canlandırılması ve bu şehirlerin marka kültür kentleri haline getirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak Türkiye'de en fazla turist çeken şehir olan İstanbul'un dahi konumlandırılmış ve yaygın biçimde bilinen bir turizm sloganının bulunmaması dikkat çekicidir. İstanbul için 2020 Olimpiyat Oyunları adaylığı sürecinde belirlenen "Bridge Together" (Birlikte Köprüler Kuralım**)** sloganı ise daha sonraki tanıtım, reklam veya markalaşma çalışmalarında kullanılmamıştır. Benzer şekilde, Türkiye'nin başkenti Ankara için de turizm açısından belirlenmiş bir sloganın bulunmadığı görülmektedir. Aşağıda Türkiye'de bazı destinasyonlar tarafından kullanılan slogan örneklerine yer verilmiştir.

- Trabzon: Geçmişin Tuğrası, Geleceğin İmzası (The Imperial Seal Of The Past, The Sign Of The Future)
- Aydın Gökyüzünün Altındaki En Güzel Yeryüzü (The Most Beutiful Land Under The Sky)

- Konya: Gönüllerin Şehri (The City of Hearts)
- İzmir: Öncülerin Şehri (The Frontier City)
- Adıyaman: Huzur ve Barış Şehri
- Eskişehir: Şehir Eskişehirdir
- Alanya: Özgürlüğün Kanatları Altında
- Afyon: Mermerin Başkenti
- Şanlıurfa: Doğuştan Marka Şehir
- Bolu: Tabiatın Kalbi
- Bursa: Ulu Şehir
- Hatay: Medeniyetler Bahçesi (Expo 2021 Sloganı)

Türkiye'de özgün slogan geliştirmeye yönelik çalışmaların henüz başlangıç aşamasında olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, slogan geliştirme sürecinde başarılı sayılabilecek bazı örnekler ortaya konmuş olsa da bu sloganların konumlandırılması, tanıtılması ve hedef kitle tarafından benimsetilmesine yönelik uzun vadeli ve stratejik çalışmaların yeterli düzeyde gerçekleştirilmediği görülmektedir. Bu durum, geliştirilen sloganların kalıcı bir kullanım alanı bulamamasına ve turistler tarafından yeterince benimsenmemesine yol açmaktadır.

2. YÖNTEM

Turizm sektöründe değişen beklentiler, destinasyonların rakiplerinden ayrışmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda sloganlar, destinasyonların marka kimliğini güçlendiren ve ziyaretçilerin zihninde kalıcı imaj oluşturan önemli araçlardır. Ancak Türkiye'de özgün ve uzun vadeli slogan geliştirme çalışmalarının sınırlı olduğu görülmektedir. Çoğu slogan yarışmalarla belirlenmekte, fakat uzun vadeli stratejik kullanıma sahip olmamaktadır.

Araştırma kapsamında İstanbul'u ziyaret etmiş eşit sayıda 22 yerli ve 22 yabancı ziyaretçiden oluşan katılımcılar ile yönlendirmesiz açık uçlu görüşmeler yapılmış; katılımcılara İstanbul ve Türkiye için bildikleri turizm sloganları sorulmuştur. İkinci aşamada, her iki destinasyonun geçmişte çeşitli etkinliklerde kullanılan resmî sloganları hatırlatılarak, bu sloganların bilinirliği değerlendirilmiştirBu bağlamda, araştırmanın birinci aşamasında hatırlatmasız çağrışım yoluyla nitel yöntemle elde edilen verilerden slogan oluşturulması adına anahtar kelimeler belirlenmiştir.. Daha sonra aynı sorular en yaygın olarak kullanılan yapay zeka tabanlı programlar aracılığıyla bu iki destinasyon ayrı ayrı sorulmuştur. Nitel veri toplama yöntemi ile elde edilen veriler ile yapay zeka tarafından oluşturulan çıktılar karşılaştırılarak, insanın duygularının etkisi ile yapay zekanın big data tabanlı çalışma sistemi tartışılmıştır.

3. BULGULAR

İstanbul için ulusal ve uluslarası çeşitli organizasyonlarda kullanılan turizm sloganları şu şekildedir;

- Istanbul is the New Cool
- Bridge Together
- Istanbul is Yours
- Definitely Istanbul
- There is Only One Istanbul
- The City of Dreams

- Where Civilizations Meet
- Visit Istanbul

Türkiye için daha önce kullanılan turizm sloganları ise şöyle sıralanmıştır;

- Go Turkiye
- Turkey Home
- Be Our Guest
- Discover the Potential
- Turkey is Ready
- Turkey 365
- Turkey Unlimited

Yabancı katılımcılar 5 kıtadan 22 farklı ülkeden olmak kaydıyla 11 kadın ve 11 erkek olarak eşit şekilde seçilmiştir. Sözlü mülakat esnasında katılımcıların birbirinden etkilendiğinin görülmesi üzerine, farklı zamanlarda farklı ülkedelerden farklı yaştaki kişiler özenle seçilmiş, bu bağlamda nitelik bakımında çok daha geniş kapsamlı bir çalışma ortaya konulmak istenmiştir. Yine aynı düşünceyle yerli katılımcıların da ülkemizin farklı şehirlerinden farklı kişilik özelliklerinden birer kişi olmasına, kadın ve erkek sayısının eşit olmasına özen gösterilmiştir. Katılımcılarla Sultanahmet Meydanı'nda, Taksim Meydan'ında, Bakırköy Meydan'ında, Beşiktaş Çarşı'da, İstanbul Havalimanı'nda görüşülmüştür. Yabancı ziyaretçilerin yaş ortalaması 41, yerli ziyaretçilerin ise 32'dir.

Alınan cevaplar şaşırtıcı bir durumu ortaya koymuştur. Açık uçlu sorular sorular esnasında 22 yabancı ve 22 yerli turistin hiçbir tanesi bugüne kadar İstanbul ile ilgili herhangi bir turizm sloganını işitmemiş ve daha önce hiçbir yerde rastlamamıştır. Yine ülkemizi ziyaret eden yabancı katılımcılar Türkiye'ye ait daha önce hiçbir slogan duymadıklarını belirtmiştir. Akabinde yabancı ziyaretçilere İstanbul ve Türkiye'nin belirlenen turizm sloganları okunmuş ve katılımcılara bu sloganları duyup duymadıkları sorulmuştur. Yabancı katılımcıların tamamı bu listelenen sloganların hiçbirine aşina olmadıklarını ve hiçbir yerde karşılaşmadıklarını belirtmiştir. Yine 22 yerli katılımcının tamamı da İstanbul'un belirtilen turizm sloganlarının hiçbirini duymadıklarını, yazılı ve görsel mecralarda rastlamadıklarını bildirmişlerdir.

22 yabancı ziyaretçinin 4'ü yani %18'i Türkiye denildiğinde ilk olarak Türk Dizileri cevabını vermiştir. Yine %18'i gastronomi ile alakalı, Türk yemekleri, Türk Kahvesi veya Türk Dondurması şeklinde cevap vermiştir. Kanadalı, İtalyan, Bosna Hersekli ve Faslı turistler Türkiye'yle ilgili ilk fikri ortadoğulu, oryantal kültürlü, milliyetçi ve padişahlar olarak tanımlarken, Filipinli, İranlı ve Hintli ziyaretçiler batılı, modern, laik ve Avrupalı şeklindedir. Rus ve Moldovalı turistlerin Türkiye denildiğinde zihinlerinde ilk beliren şey yaz tatili, deniz, kum, güneş iken, İrlandalıya göre saç ektirme, Yunanlı ziyaretçiye göre ise Hristiyanlık dininin merkezi olarak betimlenmiştir. Tüm bu değerlendirmeler göstermektedir ki, Türkiye doğunun batısında, batının doğusunda kalmış, kültürel çeşitliliği bir hayli fazla olan ve çok farklı turizm pazarları ve turistik ürün içeren bir ülkedir.

Yabancı ziyaretçilerin İstanbul denildiğinde akıllarında canlanan ilk şey nedir sorusuna ise, katılımcıların %40'ı yani 9 tanesi, İstanbul denildiğinde ilk olarak Ayasofya, Camiler ve Kiliseler gibi cevaplar vermiş ve İstanbul'un dini simgelerine vurgu yapmıştır. Yine katılımcıların %22'si İstanbul'u güzel, gizemli ve Paris gibi bir şehir olarak tanımlamış ve İstanbul'un turistik açıdan görülmeye değer olduğunu belirtmiştir. Yine iki katılımcı İstanbul denildiğinde zihinlerinde tarihi bir mekan algısı oluştuğunu, birer katılımcı da 24 saat canlılığından, Galatasaray Spor Kulübünden ve Pakistanlı ziyaretçi ise İstanbul'un kardeşliği çağrıştırdığından bahsetmiştir.

Türkiye'nin farklı şehirlerinden gelmiş yerli ziyaretçilere de aynı soru yönetilmiş ve İstanbul denildiğinden zihinlerinde canlanan ilk kavram öğrenilmek istenmiştir. Katılımcılar bir adet cevap vermek yerine birkaç cevap vermiş, araştırmacı ise tüm cevapların değerli birer veri olarak kullanılabileceğinden onları sınırlandırmak istememiştir. Araştırmaya katılan ziyaretçilerin büyük çoğunluğu olan %72'si bu soruyu boğaz, Boğaz Köprüsü veya deniz olarak cevaplandırmıştır. Katılımcıların %27'si Galata Kulesi, %31'i ilk olarak trafikten, kaostan ve kalabalıktan yana cevap kullanmıştır. Yine denizi çağrıştıran martılar, vapurlar gibi cevaplar da verilmiş, İstanbul'un denizle özdeşleşen büyük bir şehir olduğunun vurgusu yapılmıştır.

En yaygın kullanılan dört yapay zeka programına ''Sence İstanbul'u ev Türkiye'yi ziyaret etmiş yabancı ve yerli turistler araştırma sorularına nasıl cevaplar vermişlerdir?'' diye sorulduğunda ise ortak cevap, yabancı ve yerli ziyaretçilerin İstanbul'un ve Türkiye'nin sloganı konusunda büyük ihtimalle cevap veremeyeceği, duyulmuşsa bile hatırlanamayacağı şeklinde olmuştur. Yine diğer sorulara verilen tüm yapay zeka cevapları sanki aynı kaynaktan besleniyormuş gibi benzer cevaplar içermektedir.

ChatGPT: İstanbul ve Türkiye deyince ziyaretçiler, tarih, kültür, boğaz, camiler, yemek, egzotik-modern bir karışımı düşünür.

Claude: Ziyaretçiler için İstanbul'da Ayasofya ve Sultanahmet neredeyse evrensel bir sembol haline gelmiş durumdadır. İki kıtayı birleştiren Boğaz manzarası ve köprüler de aynı şekilde. Türk yemekleri sabah ezanı sesi, renkli çini ve halı desenleri, kapalı çarşının kargaşası ve kokusu, İstanbul doğunun batı buluşma noktası olarak görünür.

Grok: İstanbul ve Türkiye deyince ziyaretçilerin akıllarına, önce tarih ve mimari harikalar, İstanbul Boğazı, yemek kültürü, kaos ve canlılık ve Türk misafirperverliği ilk olarak gelir. Doğunun batının tam ortasında bir yerdedir.

Gemini: Ziyaretçiler veya diğer adıyla turristler, İstanbul ve Türkiye denildiğinde silüet ve mimari hayal ederler. Boğaz ve deniz, misafirperlik, doğu-batı sentezi gibi kavramlar da ilk akla gelenlerdir.

SONUÇ

Araştırma destinasyon algısının ise daha çok kentin simgesel, kültürel ve deneyimsel unsurları üzerinden şekillendiğini ortaya koymuştur. Nitel yöntemle elde edilen sözcükler, duygusal bağ kurma potansiyeli taşımaktadır. Katılımcıların çağrışımlarında İstanbul'un tarihi, kültürel ve simgesel unsurları öne çıkmıştır. Bu durum, sloganların yerel değerleri ve kültürel özgünlüğü yansıtması gerektiğini göstermektedir. Yapay zekâ tabanlı programlar tarafından üretilen kelimeler ise daha sistematik, veri odaklı ve küresel trendlerle uyumlu bulunmuştur. Ancak bu kelimerle üretilecek sloganlarda yerel kültürel derinlik ve duygusal etkileşim eksikliği dikkat çekmektedir. Yapay zekâ, büyük veri tabanlı analizlerle küresel slogan örneklerini taklit edebilmekte, fakat yerel bağlamı tam olarak yansıtamamaktadır.

Araştırmada İstanbul ve Türkiye özelinde özgün ve uzun vadeli bir turizm sloganı stratejisi eksikliğini gözler önüne serilmiştir. Destinasyon markalaşması açısından kalıcı ve hedef kitle tarafından benimsenebilecek bir sloganın stratejik önemi vurgulanmış; veri toplamada insan odaklı çalışmalar ile yapay zeka tabanlı çalışmaların dikkat çeken bir farkı olmadığı ortaya konulmuştur.

Bilimsel araştırmalarda fikir almak amacıyla yapay zeka araçlarından yararlanılabileceği, yapay zeka araçlarının insanların vereceği potansiyel cevapları öngörme konusunda başarılı olduğu, kelime üretimi gibi konularda bu araçların insan gibi düşünebildiği, fakat slogan üretimi gibi yaratıcılık gerektiren konularda hala yeterli olmadığı göze çarpmıştır.

Araştırma sonucunda İstanbul ve Türkiye için ileride oluşturulacak sloganlar için ilk akla gelen anahtar kelimelerin ''güzel, gizemli, tarihi'' kelimeleri olduğu, yapılacak çalışmalarda bu kelimelerden yola çıkılarak destinasyon sloganı üretilebileceği ortaya konulmuştur.

KAYNAKÇA

Aaker, D. A. (1991). Managing Brand Equity, Capitalizing on the Value of a Brand Name, New York: The Free Press.

Aaker, D. (2007). Innovation: Brand It or Lose It, California Review Management, 50:1

Aktuğlu, I. K. (2004). Marka Yönetimi Güçlü Ve Başarılı Markalar İçin Temel İlkeler, İletişim Yayınları.

Ateşoğlu, İ. (2003). Marka İnşasında Slogan. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(1), 259-264.

Armstrong, J. S. (2010). Persuasive Advertising Evidence-Based Principles, Palgrave Macmillan, Hampshire.

Bilgili, B. (2007). Sigorta hizmetlerinde marka değeri (Hayat sigortası müşterileri üzerine bir uygulama) [Yayımlanmamış doktora tezi]. Atatürk Üniversitesi.

Buhalis, D. ve Park, S. H. (2021). Brand management and destination marketing in global tourism. Tourism Management Perspectives, 38, 100806.

Campelo, A., Aitken, R., Thyne, M. ve Macbeth, J. (2014). Sense of place: The importance for destination branding. Journal of Travel Research, 53(2), 154-166

Cho, B. (2000). Destination. In J. Jafari (Ed.), Encyclopedia of Tourism, 144

Çevik, S. (2017). Destinasyon Markalama, Detay Yayıncılık, 1. Baskı

Doğanlı, B. (2006), Turizmde Destinasyon Markalaşması ve Antalya Örneği, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İlban, M. O. (2021). Her Yönüyle Turizmde Destinasyon Yönetimi, 95-113, Detay Yayıncılık, 1. Baskı

Kahraman, H., Efe, E. (2021). Marka Bilinirliğinde Sloganların Yeri ve Etkili Slogan Özelliklerinin Belirlenmesi, Taras Schevshenko 6th International Congress on Social Sciences.

Kapferer, J. N. (1992). Strategic Brand Management, London:Kogan Page.Kavaratzis, M. (2004) From City Marketing to City Branding: Towards a Theoretical Framework for Developing City Brands, Place Branding, 1-1: 58-73.

Keller, L. K. (2003). Strategic Brand Management: Building, Measuring And Managing Brand Equity (Second Ed.). Pearson International Education. Londra: Prentice Hall.

Kohli, C., Leuthesser, L. ve Suri, R. (2007). Got slogan? Guidelines for creating effective slogans, Business Horizons, 50, 415–422.

Kozak, M., Baloğlu S. (2011) Managing and Marketing Tourist Destinastion, Strategies to Gain a Competetive Edge, Routledge, 1. Baskı.

Kurt, E. (2017). Destinasyon Markalama Sürecinde Şehir Sloganlarının Algılanması:Eskişehir Örneği, Yayınlanmamış Yükseklisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Ma, Q., Cheng, L., Qiu, W., & Wang, J. (2021). The neural basis of the unattended processing of destination-slogan consistency. Journal of Destination Marketing & Management, 19, Makale 100556.

Moilanen, T., Rainisto, S. (2009). How to Brand Nations, Cities and Destinations: A Planning Book for Place Branding. Palgrave Macmillan.

Özdemir, G. (2013). Destinasyon Yönetimi ve Pazarlaması, 1. Baskı. Ankara: Detay Yayıncılık.

Özer, Ö. (2021). Destinasyon Yönetimi ve Pazarlaması: Yeni Normal, 95-119, Detay Yayıncılık, 1. Baskı

Özkul, E., Taşkıran, E., Kurt, E. (2013). Destinasyonların Markalaşması Sürecinde Kent Sloganlarının Algılanmasına Yönelik Bir Alan Araştırması, Ulusal İşletmecilik Kongresi, Marmaris, 588-592

Pike, S. (2004). Destination brand positioning slogans – towards the development of a set of accountability criteria. Acta Turistica. 16(2), 102-124.

Ries, A., Ries, L. (2005). Marka Yaratmanın 22 Kuralı (Çev: Özdemir, A.). İstanbul: Mediacat Kitapları.

Supphellen, M., Nygaardsvik, I. (2002). Testing country brand slogans: Conceptual development and empirical illustration of a simple normative model, The Journal of Brand Management, 9(4), 385-395.

Yerasimos, S. (2014). İstanbul: İmparatorluklar beşiği. İletişim Yayınları.

Yıldırım, F., Başar, Ö. D. (2013). Marka Sloganları: Türkiye Sigorta Pazarına İlişkin İçerik Analizi, Beta, İstanbul.

https://www.ama.org/topics/branding/ Ziyaret Tarihi: 01.03.202

https://www.unwto.org/glossary-tourism-terms Ziyaret Tarihi: 02.03.202

https://www.ktb.gov.tr/Eklenti/906,ttstratejisi2023pdf.pdf?0 Ziyaret Tarihi: 03.03.2026

https://grok.com/ Ziyaret Tarihi: 10.04.2026

https://chatgpt.com/ Ziyaret Tarihi: 10.04.2026

https://gemini.google.com/app Ziyaret Tarihi: 12.04.2026

https://claude.ai/ Ziyaret Tarihi: 12.04.2026

https://doi.org/10.71284/asc.2026178

OPTIMIZATION OF MAINTENANCE ENGINEERING AND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY

Muhammad Afdhal Alias[1]
Ahmadasmadishah Samsudin[2]
Choong Chee Guan [3]
Mohd Zulfabli Hasan[4]

Abstract

The petrochemical industry plays a vital role in supporting modern industrial activities through the production of essential chemical products and materials. The reliability and safety of plant operations depend heavily on the performance of critical equipment such as CO Boilers, Utility Boilers, pumps, compressors, and pressure systems. Unplanned equipment failures may result in significant production losses, increased maintenance costs, and serious safety hazards. Therefore, a structured and systematic maintenance management system is required to ensure continuous, safe, and efficient plant operation. This study presents a case analysis of maintenance engineering and management systems applied in a petrochemical plant, with emphasis on the implementation of Total Productive Maintenance (TPM), Risk-Based Maintenance and Inspection (RBMi), and Reliability-Centered Maintenance (RCM). The importance of systematic documentation, including asset codification, maintenance history records, work orders, permits, and job cards, is also highlighted to ensure traceability and consistency in maintenance execution. In addition, maintenance planning and scheduling techniques such as the Critical Path Method (CPM), Gantt charts, and Program Evaluation and Review Technique (PERT) are discussed as tools to improve maintenance efficiency and minimize operational disruptions. Furthermore, the integration of a Computerized Maintenance Management System (CMMS) is identified as a key factor in digitalizing maintenance activities and supporting predictive maintenance strategies. The findings indicate that the adoption of structured maintenance frameworks combined with digital tools can significantly reduce unplanned downtime, improve equipment reliability, and enhance plant safety. Overall, the study demonstrates that modern maintenance management practices are essential for achieving sustainable and competitive operations in the petrochemical industry.

Keywords: Maintenance management; petrochemical industry; total productive maintenance (TPM); risk-based maintenance; reliability-centered maintenance (rcm); computerized maintenance management system (CMMS).

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, afdhalalias71@gmail.com

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, asmadishah1972@gmail.com

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, dr.choong@ptss.edu.my

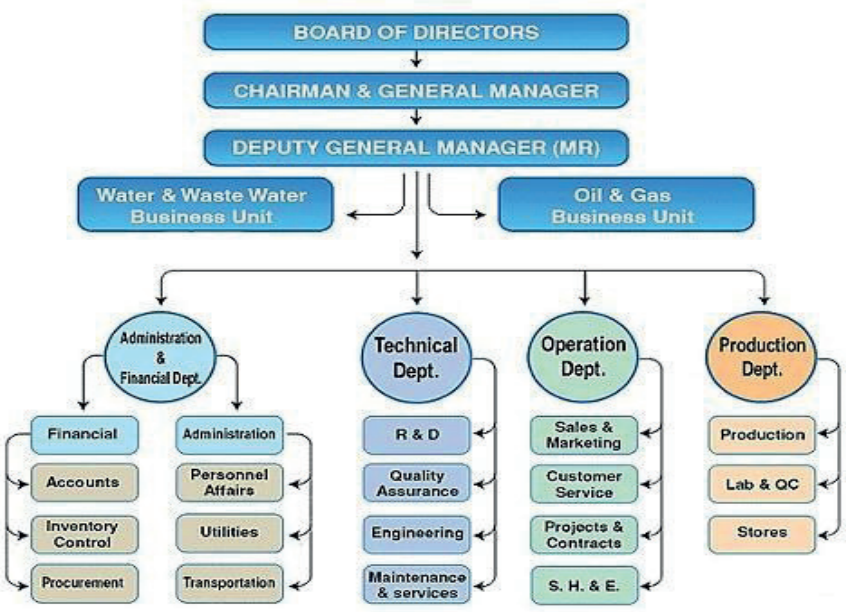
[4]Department of Management and Technology, Faculty of Management, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Perlis, Malaysiamohdzulfabli@utm.my

INTRODUCTION

The petrochemical sector is an essential link in the global supply chain, producing high-value chemical products from hydrocarbon feedstocks such as natural gas and crude oil. These products serve as the basic building blocks for downstream industries including plastics, pharmaceuticals, and synthetic fibres. Due to the continuous nature of plant operations, unplanned downtime can lead to significant financial losses and potential safety hazards.

In modern petrochemical plants, maintenance is no longer considered a reactive support function. Instead, it plays a central role in sustaining operational reliability, protecting personnel, and ensuring compliance with environmental and safety regulations. Equipment such as CO Boilers, Utility Boilers, compressors, and pumps require structured maintenance strategies to prevent failures that could disrupt production or cause catastrophic incidents.

Figure 1. Organization Chart of a Petrochemical Plant



Ensuring the industrial facility operates in a productive and efficient manner is the duty of maintenance management. Effective maintenance supports equipment reliability, minimizes downtime, and improves plant performance. Poor maintenance practices may result in frequent equipment failure, production stoppages, idle manpower, reduced product quality, and safety incidents.

1. METHODOLOGY

To improve operational efficiency and plant reliability, a structured maintenance methodology is required. The maintenance framework adopted in petrochemical plants integrates TPM, 5S, and engineering documentation tools.

i. Total Productive Maintenance (TPM): TPM is a comprehensive approach involving all employees to maintain equipment effectiveness and achieve zero breakdowns, defects, and accidents. One key pillar is Autonomous Maintenance, where operators perform routine tasks like cleaning, inspection, and lubrication to detect problems early and prevent major failures.

Figure 2. The meaning of each pillar TPM



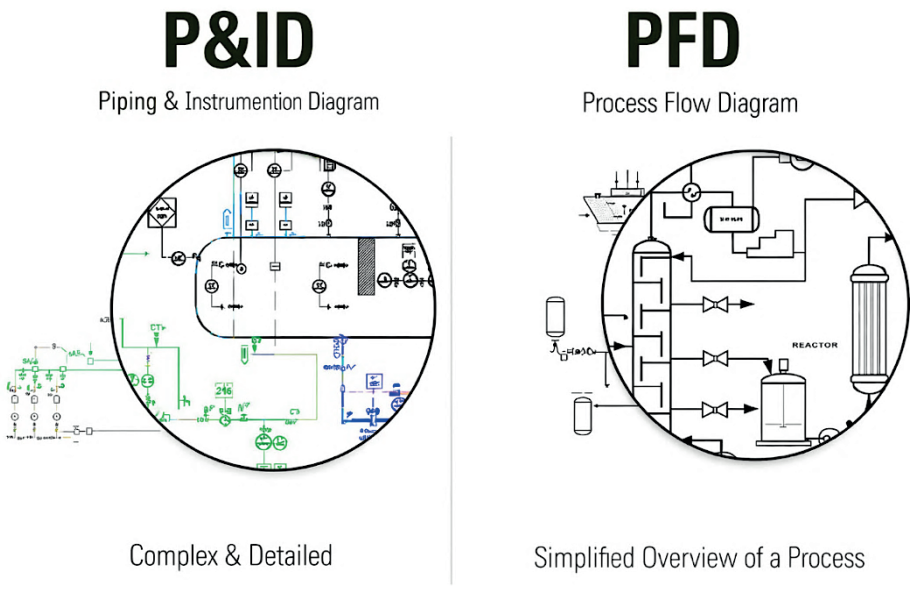
ii. 5S Foundation: The TPM system is supported by the 5S methodology: Sort, Set in Order, Shine, Standardize, and Sustain. This approach promotes workplace organization and cleanliness, improves visibility of leaks and defects, and reduces time wasted searching for tools and spare parts.

Figure 3. The 5S foundation



iii. TechnicalTool: Engineering documentation plays an essential role in maintenance activities. Process Flow Diagrams (PFDs) provide an overview of plant operations, while Piping and Instrumentation Diagrams (P&IDs) supply detailed technical information required for troubleshooting and safe maintenance execution.

Figure 4. Application of Process Flow diagram & piping and instrumentation diagram



1.1. Documentation and System Execution

Effective maintenance management relies on systematic documentation and standardized procedures to ensure consistency and traceability. Key components include:

i. Codification and Cataloguing: Each major asset, such as a CO Boiler, is assigned a unique identification code (e.g., BOI-CO-01-A) to ensure accurate tracking of maintenance records.

ii. Maintenance History Cards: These documents record inspection results, NonDestructive Testing (NDT) findings, and the remaining useful life of equipment.

Figure 5. Example of Boiler Log Sheet

Boiler Chemical Testing Month:_____:

Revision 11/15

Month:	Day of Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	29	20	21	22	23	24	25	26	37	38
Boiler Water Tests																													
Boiler Conductivity	2000 to 3000 umhos																												
Boiler pH	> 10.5 pH																												
Boiler Hardness	Reference																												
Boiler Sulfite	20 to 40 ppm																												
Softener Test																													
Hardness	Reference																												
Inventory Levels																													
Gallons	Gallons																												
Notes:																													

iii. Work Orders and Permits: Work orders specify maintenance tasks, while work permits ensure hazards are identified and controlled before work begins.

Figure 6. Work Order/Work Permit

WORK ORDER - cum - PERMIT

[*Required for ALL WORK except routine work*]

A) TO BE FILLED AND ENSURED BY INITIATING DEPARTMENT

Date: _____ Department. Time: _____ Department
Date: _____ Shift: _____ Time: _____ Hrs.
Equipment / Belt Conveyor Name No.: _____
Location: _____ Department: _____
JOB / WORK DESCRIPTION:

Name and Signature of Initiator:

B) APPROVAL BY SAFETY ICHARGE

FOLLOWING PPE / SAFETY EQUIPMENTS ARE MANDATORY:
(SAFETY SHOES, HELMET, SAFETY GOGGLE, III Ye. JACKET /BOILER SUIT, NOSE MASK, HAND GLOVES)

ADDITIONAL / RECOMMENDED PPE / SAFETY EQUIPMENTS FOR THE JOB *(if / Tıxh the Detuile)*

1. Ear Plug / Muff	[ ]	4. Shock proof gloves	[ ]
2. Safety Belt / Full Body Harness	[ ]	5. Ladder	[ ]
3. Lock Out Tag Out	[ ]	6. Face Shield	[ ]

7. If Itos Work Permit Is Required [Yes / No]
8. Any Other [Specify: _____

Shift in charge Name: _____ Signature: _____
Date: _____ Time: _____ Hrs.

C) SHUTDOWN CONFIRMATION BY ELECTRICIAN

Equipment / Belt Conveyor No._____ Locked Out & Checked at _____ IIrs. Ime

Name & Signature of Electrician / Electrical Engincer: _____

D) HANDOVER OF THE EQUIPMENT / BELT CONVEYOR TO INITIATING DEPT.

Tool, Nut bolt, Gasket and generated waste / equipment/ grease / material removel / cleaned and guard put back and job is handed over to Initiator / Operator

Name & Signature of Shift In charge / Electricaıral Engettcer: _____

E) EQUIPMENT ACCEPTANCE & PERMIT CLOSURE BY INITIATING DEPARTMENT

1. Tools, Nuts, bolts, Gaskets, Pipes, Wastes, Equipments, Locks etc. are removed.
2. Guards put back and secured.
3. Area cleaned & Equipment / Conveyıor Belt is ready to use **[Yes]** **[No]**
4. Equipment / Conveyor Belt operationally tested and found satisfactoifyby for **operation: [Yes] [N.A.]**
5. Permit No.: _____ safely closed.

E) EQUIIPMENT ACCEPTANCE & PERMIT CLOSURE BY INITIATING DEPARTMENT

Name and Signature of [Initiating: _____

Date: _____] Time: _____]

Flrs. Ime: _____] Time: _____]

iv. Job Cards: These provide feedback on labor hours, spare parts used, and postmaintenance performance.

Figure 7. Job Card/Job Execution

MAINTENANCE JOB CARD SL.NO.HTL/M/.....

Requested by: ..... Time & Date: .....

Type of work (Tick as applicable)

☐General ☐Preventive ☐Break down ☐Up-gradation ☐New-Installation

Urgency Level (Tick as applicable)

☐Emergency ☐(High Urgency) ☐High Priority ☐Routine (Low Urgency)

Machine Details:

Name of the Machine	:	
Model / Machine No.	:	
Location	:	

Describe the issue: .....

For office use only

Issue Handled by:.....**Tentative date/Time to address the issue:** .....

Technician(s) allocated to work:

Technician Name	Hours/days worked (From-To)	Remarks

Items used to complete the work: & Total cost in UGX: .....

Item Code	Item Name	Qty	Unit Price	Total Amount

Completion of the work Date / Time : .....

Verified by: .....**Approved by:** .....

Any further follow-up required if Yes; describe Remarks & Date :

v. Risk-Based Maintenance and Inspection (RBMi): is a strategy that prioritizes inspection and maintenance activities based on the probability and consequences of equipment failure. High-risk equipment such as boilers and pressure systems are subjected to more frequent inspection, while low-risk assets follow routine maintenance schedules

Figure 8. Application of Risk-Based Maintenance



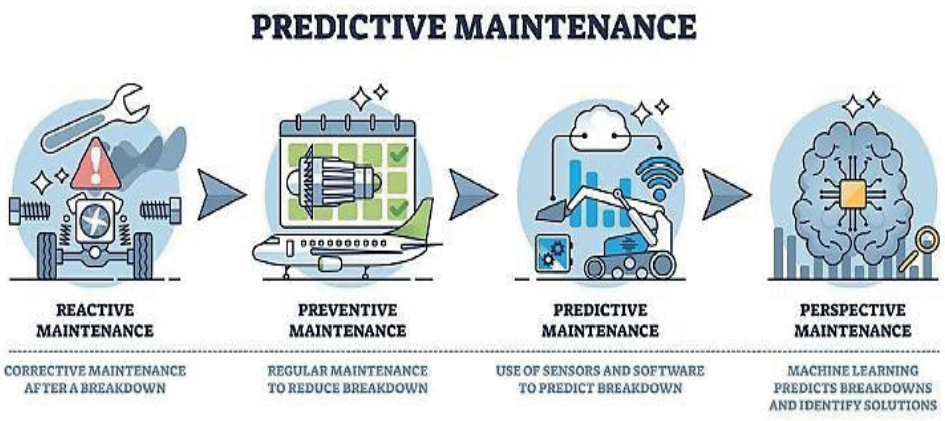
2. RESULTS AND DISCUSSION

Maintenance activities are classified based on purpose and methodology:

i. Routine and Preventive Maintenance:Daily inspections and time-based replacements reduce the probability of equipment failure.

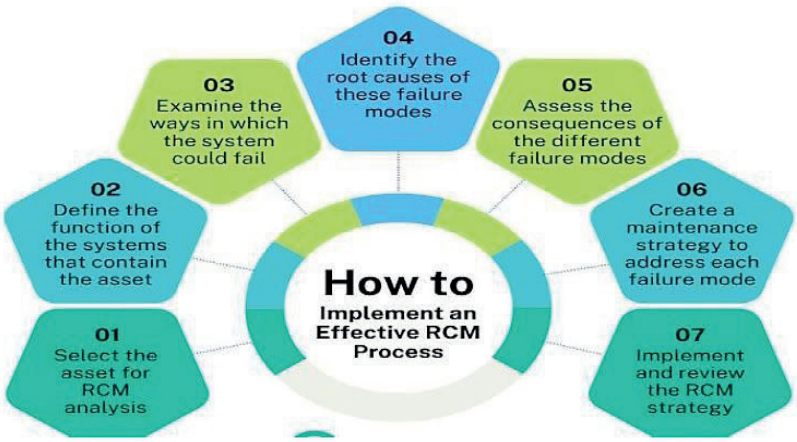
ii. Predictive Maintenance (PDM): Techniques such as vibration analysis, oil analysis, and thermography are used to predict failures before they occur.

Figure 9. Predictive Maintenance (PDM)



iii. Reliability-Centered Maintenance (RCM): This method identifies failure modes and prioritizes critical equipment to achieve optimal reliability.

Figure 10. Reliability-Centered Maintenance (RCM)



iv. Risk-Based Maintenance (RBM): Maintenance resources are allocated based on the probability and consequences of failure, ensuring that high-risk equipment receives priority attention.

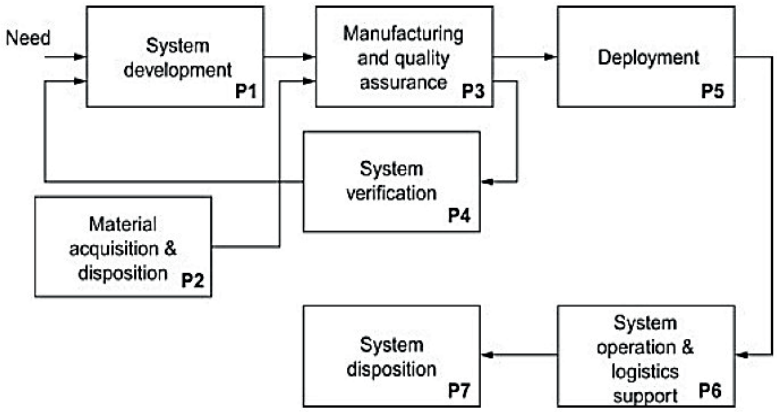
2.1. Maintenance Planning and Scheduling Techniques

Maintenance execution requires proper planning and scheduling to minimize operational disruption.

i. Long-Range Planning focuses on major shutdowns (Turnarounds), statutory inspections, and Capital Expenditure (CAPEX) forecasting over a two-to-five-year horizon.

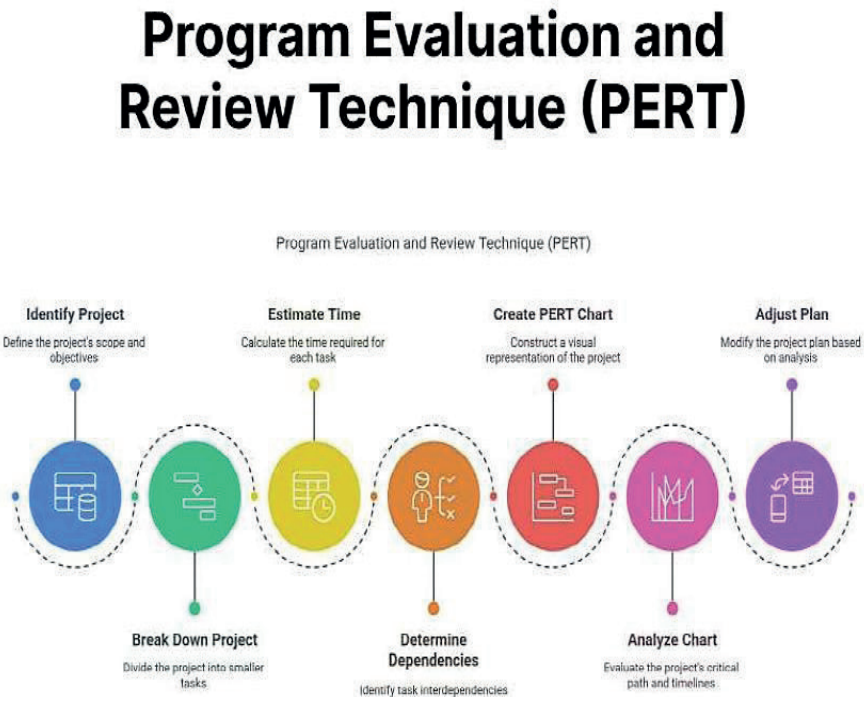
ii. Critical Path Method (CPM) identifies tasks that directly affect the total duration of maintenance activities.

Figure 11. Example Critical Path Method



iii. Gantt Charts provide a visual representation of task sequences and durations. iv. Program Evaluation and Review Technique (PERT) addresses uncertainties in repair durations during breakdowns.

Figure 12. Program Evaluation and Review Technique



v. Resource Leveling ensures manpower and spare parts are optimally distributed.

CONCLUSION

With the growing complexity of industrial operations, digital technologies have become essential for modern maintenance management. Implementing a Computerized Maintenance Management System (CMMS), such as Axxerion, centralizes equipment information, generates electronic work orders, and tracks spare parts inventory, improving traceability and supporting data-driven decision-making. Advanced CMMS platforms can integrate with condition-monitoring sensors and Distributed Control Systems (DCS), enabling real-time equipment monitoring and shifting maintenance from time-based to condition-based strategies. This approach minimizes downtime, enhances reliability, and allows maintenance interventions to be scheduled based on actual asset health. CMMS thus serves not only as an administrative tool but also as a strategic enabler of predictive and efficient maintenance practices.

In conclusion, the petrochemical industry operates in a highly complex and high-risk environment due to continuous production processes, high-pressure systems, and the handling of hazardous and flammable materials. For this reason, an effective and structured maintenance management system is essential to ensure equipment reliability, operational safety, and sustainable plant performance. Critical equipment such as CO Boilers, Utility Boilers, pumps, compressors, and pressure systems requires an integrated maintenance approach that combines routine, preventive, predictive, and reliability-based strategies. Without a systematic maintenance framework, equipment failures may result in production interruptions, increased operating costs, and serious safety risks.

The findings of this study indicate that the implementation of Total Productive Maintenance (TPM), together with Risk-Based Maintenance and Inspection (RBMi) and ReliabilityCentered Maintenance (RCM), supports the transition from reactive maintenance to proactive and predictive practices. The involvement of operators through Autonomous Maintenance and the application of 5S further strengthen workplace discipline and early fault detection. Systematic documentation, including asset codification, maintenance history records, work orders, and job cards, plays an important role in ensuring traceability and consistency in maintenance execution. In addition, effective planning and scheduling techniques such as the Critical Path Method (CPM), Gantt charts, and Program Evaluation and Review Technique (PERT) help minimize operational disruptions and improve maintenance efficiency.

Furthermore, the integration of a Computerized Maintenance Management System (CMMS) enhances maintenance performance through centralized data management, standardized work procedures, and data-driven decision-making. By enabling real-time monitoring and structured reporting, CMMS supports predictive maintenance strategies and facilitates continuous improvement in maintenance activities. Overall, the adoption of modern maintenance management systems significantly reduces unplanned downtime, improves equipment reliability, and enhances plant safety. These improvements contribute to optimized maintenance costs, extended asset life cycles, and the development of a proactive maintenance culture, which are essential for ensuring long-term sustainability and competitiveness in the petrochemical industry.

REFERENCES

American Petroleum Institute. (2021). API recommended practice 571: Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry (2nd ed.). API Publishing.

Azizi, N. A., & Rahman, M. A. (2020). Implementation of total productive maintenance (TPM) in process industries: A case study in a petrochemical plant. *Journal of Engineering Science and Technology, 15(5), 312–323*.

British Standards Institution. (2019). BS EN 13445: Unfired pressure vessels - Design and maintenance guidelines. BSI Standards Limited.

Honeywell International Inc. (2022). Industrial boiler operation and maintenance manual. Honeywell Process Solutions. Available Online: https://process.honeywell.com

International Organization for Standardization. (2018). ISO 55000: Asset management— Overview, principles, and terminology. ISO Publications.

Kumar, S., & Singh, R. (2021). Reliability-centered maintenance (RCM) strategy for process plants. International *Journal of Industrial Engineering and Operations Management, 13(2), 245–255*.

Maintenance World. (2022). Understanding preventive and predictive maintenance in the petrochemical industry. Available Online: https://www.maintenanceworld.com

Mokhtar, M., & Hassan, Z. (2019). Improving steam boiler efficiency through predictive maintenance techniques. *Malaysian Journal of Mechanical Engineering, 16(4), 89–97*.

Occupational Safety and Health Administration. (2020). Process safety management of highly hazardous chemicals (29 CFR 1910.119). U.S. Department of Labor. Available Online: https://www.osha.gov

Petrochemical Maintenance Association. (2023). Boiler inspection and safety management in refinery and petrochemical industries. PMA Technical Bulletin.

Siemens Energy. (2021). Digitalization in maintenance: Using CMMS and data analytics for petrochemical plants. Siemens Energy. Available from https://www.siemensenergy.com

https://doi.org/10.71284/asc.2026179

A CASE STUDY OF RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE AND DIGITAL TRANSFORMATION IN AUTOMOTIVE MANUFACTURING

Muhammad Irfan Mifzal Mahtar[1]
Ahmadasmadishah Samsudin[2]
Choong Chee Guan[3]
Mohd Zulfabli Hasan[4]

Abstract

The automotive sector has, for more than a century, interconnected engineering, technology, and global trade to shape modern mobility systems. From the introduction of mass production techniques by pioneers such as Henry Ford to today's highly automated smart factories, the industry has continuously evolved to meet changing economic and societal demands. In recent decades, the sector has undergone rapid transformation driven by digitalization, sustainability requirements, stricter environmental regulations, and the accelerated adoption of electric vehicles (EVs). These developments are further intensified by global competition and rising consumer expectations for safer, smarter, and more energy-efficient transportation solutions. The increasing complexity of manufacturing processes under Industry 4.0 has fundamentally reshaped operational strategies within automotive production and service environments. Advanced technologies such as robotics, artificial intelligence, big data analytics, and interconnected cyber-physical systems now dominate modern manufacturing facilities. As a result, maintenance management has shifted from a reactive repair-based approach to a proactive, structured, and data-driven discipline that plays a critical role in ensuring operational reliability and efficiency. Effective maintenance engineering is now recognized as a strategic function that directly influences productivity, equipment availability, safety performance, cost optimization, and long-term asset sustainability. This paper examines a comprehensive framework for maintenance engineering and management strategies within the modern automotive industry. The framework emphasizes the systematic application of Reliability-Centred Maintenance (RCM), structured asset codification practices, and the integration of digital workshop management systems such as ENGARAGE. By combining traditional engineering principles with advanced digital technologies, the proposed framework aims to optimize operational workflows, reduce unplanned downtime, improve maintenance decision-making, enhance asset lifecycle management, and strengthen organizational competitiveness in the evolving Industry 4.0 landscape while supporting sustainable industrial development.

Keywords: Maintenance engineering; automotive industry, RCM, CMMS, Industry 4.0, ENGARAGE.

[1]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, irfanmahtar1@gmail.com

[2]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, asmadishah1972@gmail.com

[3]Department of Mechanical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin, Pauh Putra, 02600 Arau, Perlis, Malaysia, dr.choong@ptss.edu.my

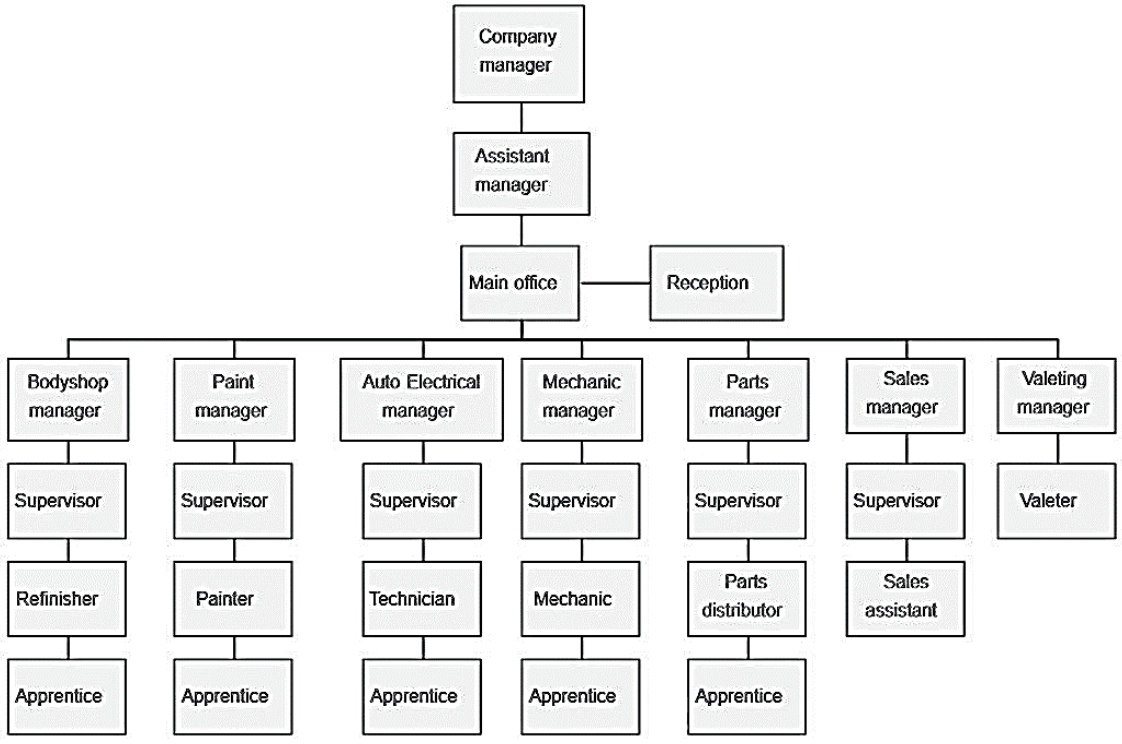
[4]Department of Management and Technology, Faculty of Management, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Perlis, Malaysia, mohdzulfabli@utm.my

INTRODUCTION

Since the introduction of the first moving assembly line by Henry Ford in 1913, the automotive industry has revolutionised mass production and reshaped global transportation systems. Over the decades, continuous technological advancements have enabled manufacturers to improve vehicle performance, safety, and affordability while expanding global supply chains. As a result, the automotive sector has become one of the most significant contributors to national economies and employment worldwide.

In the modern era, however, the industry faces unprecedented challenges. Disruptions to global supply chains, semiconductor shortages, rising raw material costs, and stricter environmental regulations have placed intense pressure on manufacturers. Furthermore, the transition toward zero-emission technologies, including battery electric vehicles, hydrogen fuel cells, and intelligent driver-assistance systems, has significantly increased production complexity. Within this context, maintenance engineering plays a critical role in ensuring that manufacturing systems operate reliably and efficiently. Maintenance is no longer viewed as a cost centre but as a strategic function that supports sustainability, productivity, and long-term competitiveness. This paper explores how structured maintenance strategies and digital transformation can support the evolving needs of the modern automotive industry.

Figure 1. Organization Chart



A robust maintenance organization is hierarchical, featuring roles such as Company Managers, Bodyshop Managers, and Mechanical Managers, each ensuring that specific departments comply with safety and quality standards. Central to this environment are high-precision assets, including;

i. CNC Machines:

Used for precisely shaping metal or composite components such as engine blocks.

Figure 2. CNC Machine

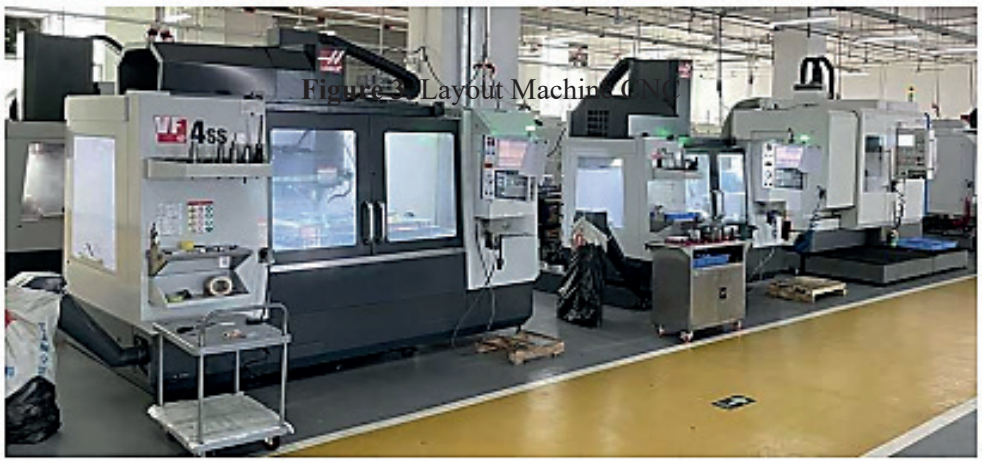
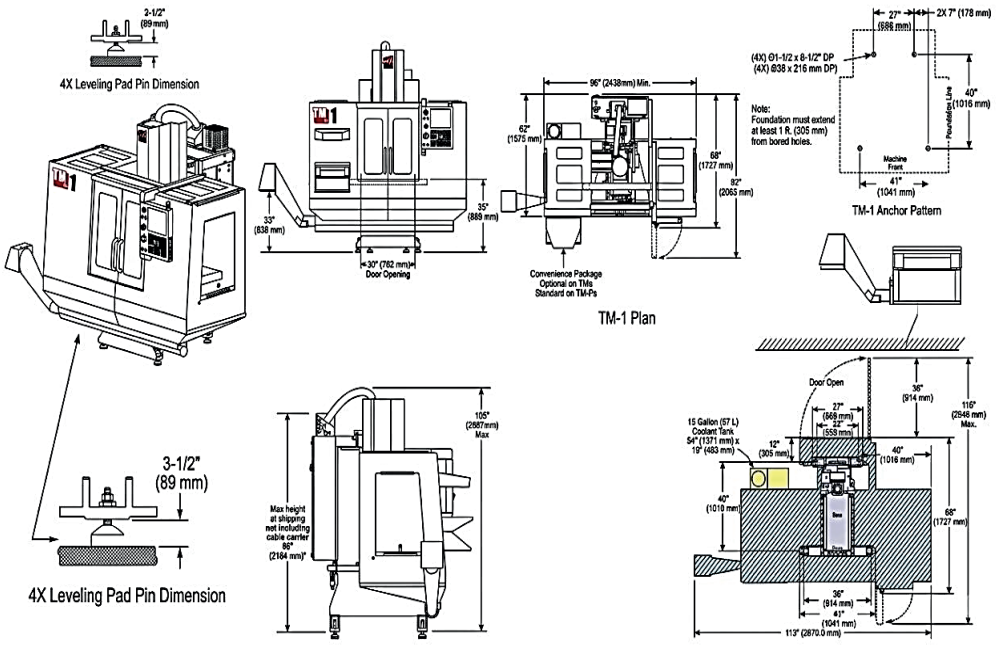


Figure 3. Layout Machine CNC

Figure 3. Layout Machine CNC



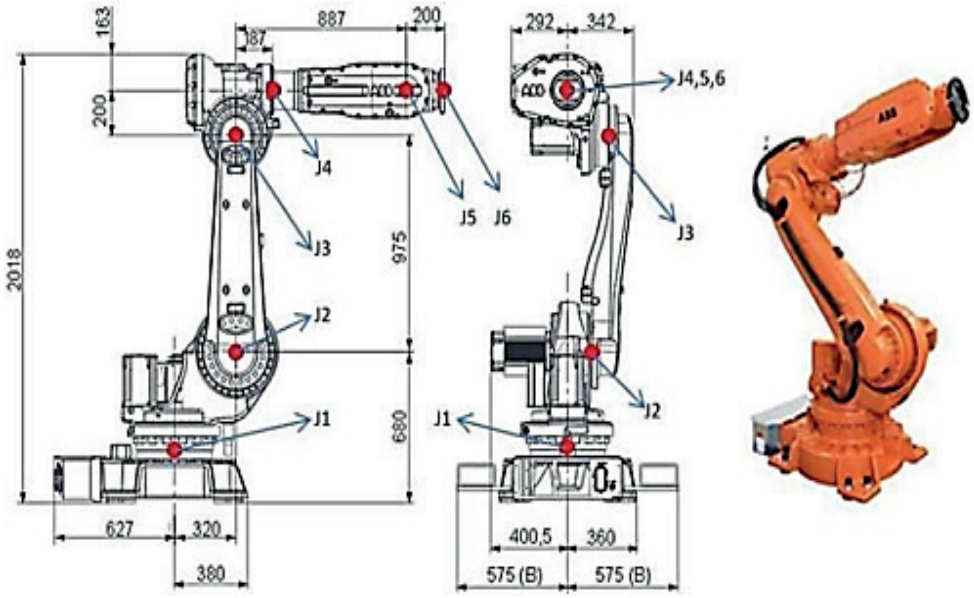
ii. Arm Robotic Machines:

Programmable robotic arms are automated machines designed to perform repetitive industrial tasks such as welding, painting, and assembly with high speed, accuracy, and consistency. They help improve production efficiency, reduce human error, enhance product quality, and ensure safer working conditions in automotive manufacturing environments.

Figure 4. Arm Robotic Machine



Figure 5. Layout Arm Robotic Machine



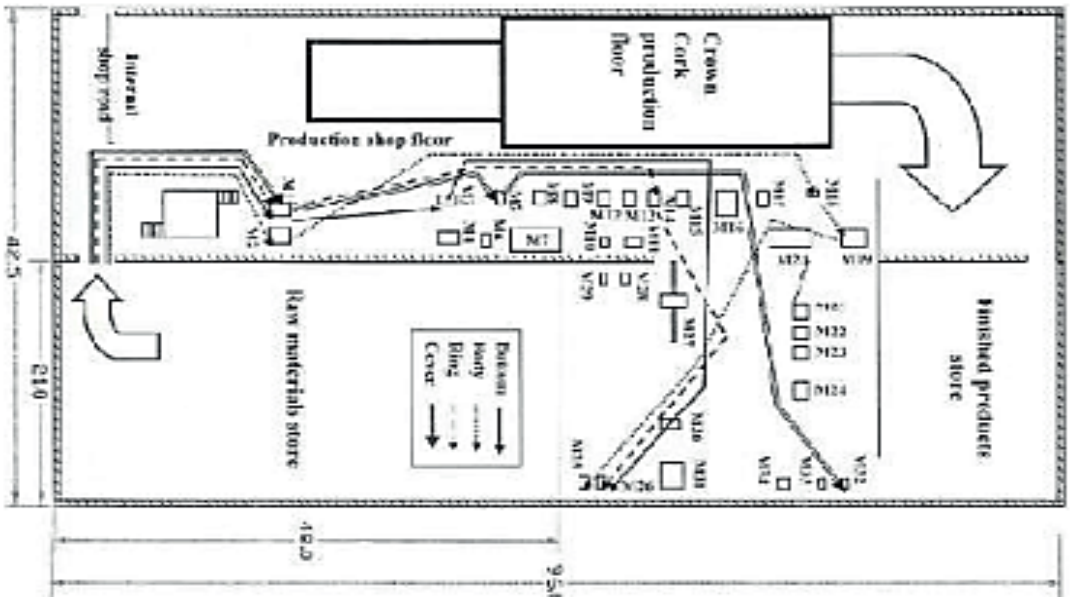
iii. Press Machines:

Heavy equipment used to stamp, press, and shape metal sheets into automotive body components with high force and precision. They play an important role in ensuring consistent part quality, improving production efficiency, and supporting large-scale manufacturing processes in the automotive industry. These machines are commonly used to produce components such as car doors, panels, frames, and structural parts.

Figure 6. Press Machine



Figure 7. Flow Press Machine



Hence, a sustainable, creative solution that permits discarded tyres to be recycled or repurposed in a way that lessens or eliminates their detrimental effects on the environment must be found. Therefore, the aim of this research is to evaluate how these different combinations affect crucial properties, including compressive strength, density, and water absorption. Samples will be prepared in accordance with these ratios, mechanical characteristics will be measured using conventional tests, and the findings will be analysed to determine the best combinations for increased functioning without compromising the structure's strength. This work focuses on ten different weight ratios in compositions between the cement, sand and tyre rubber. The compressive strength, water absorption and density tests were performed on the brick specimens, and the properties are measured and characterised.

1. METHODOLOGY

Modern automotive maintenance is best understood as a planned, systematic, and continuous process designed to preserve asset functionality throughout its operational lifespan. Rather than reacting to breakdowns, organisations increasingly adopt proactive strategies that minimise failure risks and optimise resource utilisation.

The three primary maintenance strategies applied in the automotive industry are preventive, predictive, and corrective maintenance. Preventive maintenance involves scheduled inspections and servicing activities aimed at reducing the likelihood of failure. Predictive maintenance utilises real-time condition monitoring techniques, such as vibration analysis and thermal imaging, to predict failures before they occur. Corrective maintenance, although sometimes unavoidable, focuses on restoring equipment after a failure has occurred.

Reliability-Centred Maintenance (RCM) provides a structured framework for selecting the most appropriate maintenance strategy for each asset. RCM emphasises maintaining equipment according to its original design intent and operational context. Through Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), potential failure modes are identified, and their consequences on safety, production, and the environment are evaluated. This approach ensures that maintenance resources are prioritised for assets whose failure would have the most severe impact.

Figure 8. The Complete Guide of RCM



1.1. System Approach and Documentation

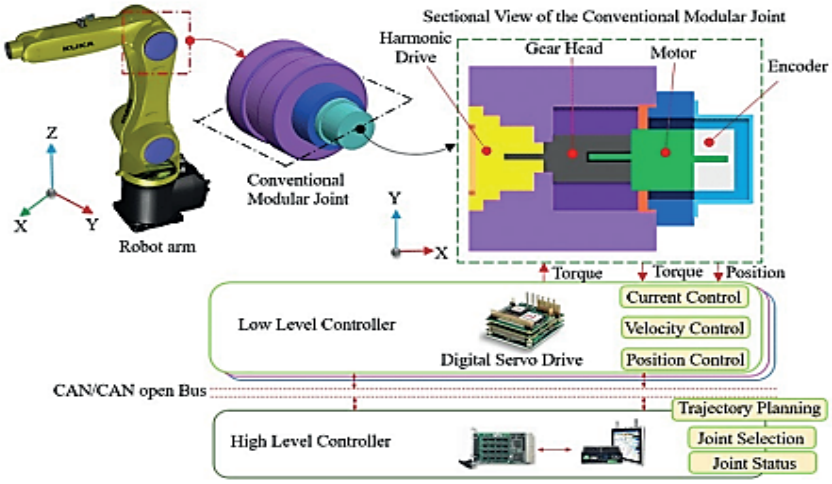
The system approach considers machines and vehicles as integrated systems consisting of interconnected subsystems such as engine, electrical, hydraulic, and control systems. Proper documentation is necessary to manage maintenance effectively.

Important documentation systems include:

i. Codification and cataloguing:

Codification and cataloguing assign unique codes to robotic arm machines to identify and manage them in production lines. This information is recorded in CMMS or ERP systems to improve maintenance efficiency, reduce downtime, and support reliable operations.

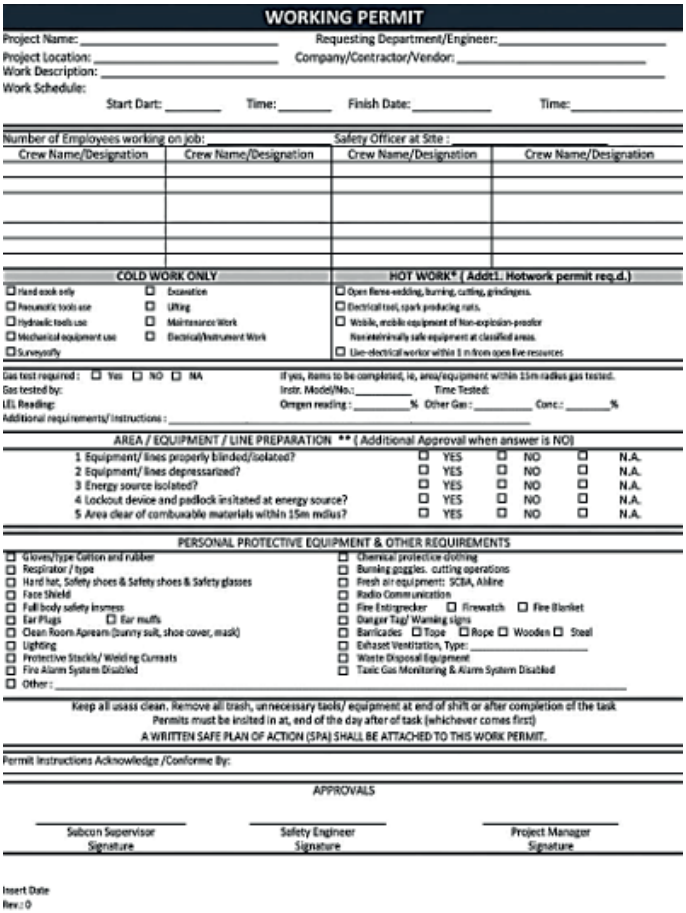
Figure 9. Condification of the Arm Robotic Machine



ii. Work orders and permits:

A work permit is an official approval for carrying out high-risk tasks safely. It outlines the work scope, location, hazards, responsible personnel, and required safety measures such as PPE and energy isolation. Examples include Hot Work, Confined Space, Electrical, and Working at Height permits, which must be approved by supervisors and safety personnel before work starts.

Figure 10. Work permit for maintenance



WORKING PERMIT

Project Name: _____ Requesting Department/Engineer: _____
Project Location: _____ Company/Contractor/Vendor: _____
Work Description: _____
Work Schedule:
Start Dart: _____ Time: _____ Finish Date: _____ Time: _____

Number of Employees working on job: _____ Safety Officer at Site : _____

Crew Name/Designation	Crew Name/Designation	Crew Name/Designation	Crew Name/Designation

COLD WORK ONLY		HOT WORK* (Addt1. Hotwork permit req.d.)
☐ Hand work only	☐ Excavation	☐ Open flame-welding, burning, cutting, grindingers.
☐ Pneumatic tools use	☐ Lifting	☐ Electrical tool, spark producing nuts.
☐ Hydraulic tools use	☐ Maintenance Work	☐ Mobile, mobile equipment of Non-explosion-proofor Non-intrinsically safe equipment at classified areas.
☐ Mechanical equipment use	☐ Electrical/Instrument Work	☐ Use-electrical welder within 1 m from open live resources
☐ Surveyorly		

Gas test required : ☐ Yes ☐ NO ☐ NA If yes, items to be completed, ie, area/equipment within 15m radius gas tested.
Gas tested by: Instr. Model/No.: _____ Time Tested:
LEL Reading: Oxygen reading : _____% Other Gas : _____ Conc.: _____%
Additional requirements/ instructions : _____

AREA / EQUIPMENT / LINE PREPARATION ** (Additional Approval when answer is NO)

1 Equipment/ lines properly blinded/isolated?	☐ YES	☐ NO	☐ N.A.
2 Equipment/ lines depressurized?	☐ YES	☐ NO	☐ N.A.
3 Energy source isolated?	☐ YES	☐ NO	☐ N.A.
4 Lockout device and padlock insitated at energy source?	☐ YES	☐ NO	☐ N.A.
5 Area clear of combustable materials within 15m radius?	☐ YES	☐ NO	☐ N.A.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT & OTHER REQUIREMENTS

☐ Gloves/Type Cotton and rubber	☐ Chemical protective clothing
☐ Respirator / type	☐ Burning goggles. cutting operations
☐ Hard hat, Safety shoes & Safety shoes & Safety glasses	☐ Fresh air equipment: SCBA, Airline
☐ Face Shield	☐ Radio Communication
☐ Full body safety insness	☐ Fire Extinguisher ☐ Firewatch ☐ Fire Blanket
☐ Ear Plugs ☐ Ear muffs	☐ Danger Tag/ Warning signs
☐ Clean Room Apream (bunny suit, shoe cover, mask)	☐ Barricades ☐ Tape ☐ Rope ☐ Wooden ☐ Steal
☐ Lighting	☐ Exhaust Ventilation, Type: _____
☐ Protective Stockls/ Weld ng Curtains	☐ Waste Disposal Equipment
☐ Fire Alarm System Disabled	☐ Toxic Gas Monitoring & Alarm System Disabled
☐ Other : _____	

Keep all usass clean. Remove all trash, unnecessary tools/ equipment at end of shift or after completion of the task
Permits must be insited in at, end of the day after of task (whichever comes first)
A WRITTEN SAFE PLAN OF ACTION (SPA) SHALL BE ATTACHED TO THIS WORK PERMIT.

Permit Instructions Acknowledge /Conforme By: _____

APPROVALS

Subcon Supervisor Signature	Safety Engineer Signature	Project Manager Signature

Insert Date
Rev.: 0

iii. History cards:

A history card records a machine's operational and maintenance history throughout its service life. It helps maintenance teams track repairs and failures, support preventive maintenance, and improve troubleshooting and cost control. Record all maintenance activities, breakdown history, and repair details to support troubleshooting and maintenance planning.

Figure 11. History Card

HISTORY CARD

Name of the Equipment:		Make:		Equipment Supplier Name & Address
Building:		Model:		
Location:		Serial number:		
Asset number:		Year of Mfg:		
Motor Serial number:		Pump Serial No.:		Contact person & Number:
Motor capacity:	KW/HP:	Pump Serial Capacity:	KW/HP:	
Detailing of the Equipment:				

DATE	TYPE OF MAINTENANCE	DETAILS	WORK CARRIED OUT	REMARKS

2. RESULTS AND DISCUSSION

Effective maintenance management distinguishes clearly between planning and scheduling. Maintenance planning focuses on defining task requirements, including tools, materials, manpower, and technical documentation, before work begins. Proper planning reduces delays and enhances work quality. Maintenance scheduling determines when tasks are performed and who is responsible, ensuring that maintenance activities are aligned with production requirements. A well-structured schedule balances routine servicing with operational demands, minimising production disruptions.

The Critical Path Method (CPM) is a valuable project management tool used to identify the longest

sequence of dependent activities within a project. In the automotive industry, CPM is particularly useful for managing complex projects such as the development, fabrication, and testing of new vehicle components. By identifying critical activities, managers can allocate resources effectively and reduce project completion times.

Figure 12. Maintenance Planning

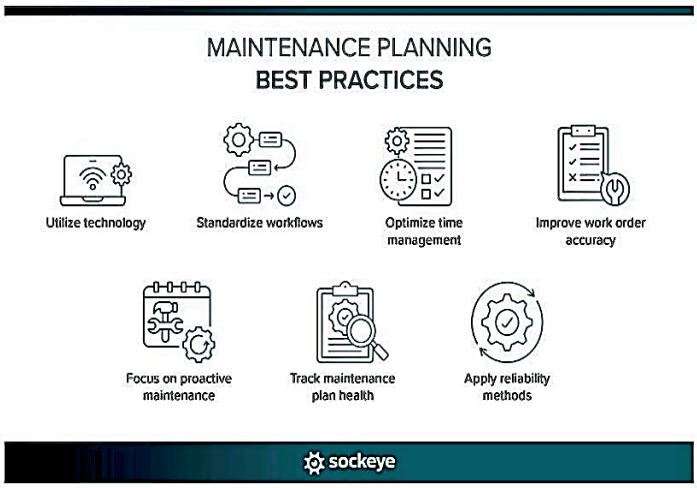
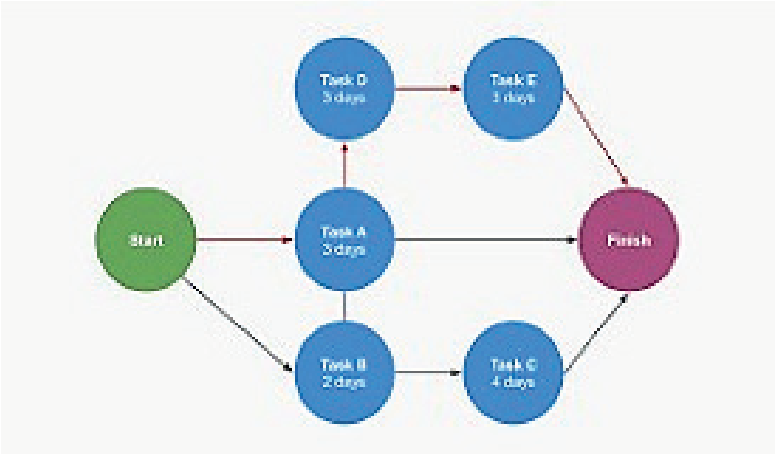


Figure 13. Maintenance Scheduling



Figure 14. Procedure of CPM



CONCLUSION

Digital transformation has significantly enhanced maintenance management through the adoption of Computerised Maintenance Management Systems (CMMS). ENGARAGE is a cloud-based workshop management platform designed specifically for automotive service operations. The system integrates core functionalities such as online booking, real-time job tracking, inventory control, and electronic invoicing into a single platform. Automated service reminders sent via SMS or WhatsApp improve customer engagement and retention. Additionally, real-time dashboards provide workshop owners with visibility into sales performance and mechanical productivity.

ENGARAGE's preventive maintenance module allows users to register equipment profiles and automatically generate work orders when inspections are due. This capability shifts maintenance practices from reactive responses to proactive, data-driven decision-making, ultimately improving asset reliability and operational efficiency.

The automotive industry is undergoing rapid transformation driven by technological innovation, environmental concerns, and increasing global market competition. Advancements such as automation, electrification, artificial intelligence, and Industry 4.0 technologies have made manufacturing systems more complex and highly dependent on reliable equipment performance. In this environment, effective maintenance engineering and management strategies are essential for ensuring operational reliability, minimizing equipment failures, and sustaining competitiveness and operational excellence.

By integrating structured methodologies such as Reliability-Centred Maintenance (RCM) with digital platforms like ENGARAGE, organisations can reduce unplanned downtime, improve safety performance, and extend asset lifespans. These approaches enable better maintenance planning, real-time monitoring, and data-driven decision-making. As a result, maintenance is no longer merely an operational necessity but has become a strategic function that supports productivity, sustainability, cost efficiency, and long-term organisational success in the Industrial 4.0 era.

REFERENCES

Al-Malaise, M., & Al-Shehri, A. (2021). Application of reliability-centered maintenance (RCM) in automotive manufacturing plants. International Journal of Industrial Engineering Research, 18(3), 122–130.

Alsyouf, I. (2020). Reliability-centered maintenance: A quantitative approach for optimization. Springer.

Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. N. P. (2016). Introduction to maintenance engineering: Modeling, optimization, and management. Wiley.

Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. Reliability Engineering & System Safety, 70(1), 71–83.

Duffuaa, S. O., & Ben-Daya, M. (2019). Handbook of maintenance management and engineering. Springer.

Gopalakrishnan, P., & Banerji, A. K. (2018). Maintenance and spare parts management. PHI Learning Pvt. Ltd.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 55000: Asset management—Overview, principles and terminology. ISO.

Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Saniuk, A. (2022). Maintenance management in the context of Industry 4.0. Procedia Manufacturing, 54, 109–117.

Jordehi, A. R. (2020). A review on maintenance optimization methods for reliability systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 127, 109–130.

Kelly, A. (2006). Maintenance strategy: Business-centered maintenance. Butterworth-Heinemann.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18–23.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance (2nd ed.). Industrial Press.

Nakajima, S. (1988). Introduction to total productive maintenance (TPM). Productivity Press.

OpenAI. (2025). ENGARAGE: Automotive maintenance management platform overview. OpenAI Documentation.

Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). Maintenance management—An introduction. In Complex system maintenance handbook (pp. 13–39). Springer.

Raza, A., & Jamil, F. (2020). IoT-based predictive maintenance system for industrial automation. Sensors, 20(18), 5436.

Shirose, K. (1992). Total maintenance management for production efficiency. Productivity Press.

Singh, R., & Sharma, S. (2021). Impact of computerised maintenance management systems (CMMS) on maintenance performance in automotive industries. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 112(7–8), 2123–2135.

Smith, R., & Hawkins, B. (2018). Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share. CRC Press.

Tsang, A. H. C. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 8(1), 7–39.

Wang, H., & Pham, H. (2021). Reliability and maintenance engineering: Modern concepts and applications. Springer.

Wireman, T. (2010). Developing performance indicators for managing maintenance. Industrial Press.

Zhang, J., & Gao, R. X. (2020). Smart manufacturing and Industry 4.0: Concepts and developments. Elsevier.

https://doi.org/10.71284/asc.2026180

VISTA SIGN JALAN BESAR: ENHANCING TOURIST WAYFINDING THROUGH ILLUSTRATED MAPS AND SIGNAGE IN KUANTAN, MALAYSIA

Nurhidayah Hilimi[1]
Rofidza Ramli[2]
Nurullia Natasha Jamal[3]

Abstract

This study examines the development of *Vista Sign Jalan Besar*, an integrated illustrated map and QR-based signage system designed to improve tourist wayfinding in Kuantan, Pahang, Malaysia. The project focuses on six key attractions: Kuantan 188, Kuantan Art Street, Kula Cakes, the Esplanade, The Pickles and local handicraft businesses. The research addresses the lack of structured navigation systems that often leads to tourist confusion and inefficient movement. A mixed-method approach was adopted, incorporating questionnaires (n = 70) including surveys, observations, and stakeholder interviews. Findings indicate that tourists highly value clear navigation tools, engaging activities, and digital features such as Quick Response (QR) codes. The proposed system enhances accessibility, supports local tourism, and improves overall visitor experience. This study contributes to tourism planning by demonstrating the importance of integrating visual communication and digital tools in urban wayfinding systems.

Keywords: Wayfinding, tourism signage, illustrated maps, QR code, Kuantan, tourist experience.

[1]Mrs, Politeknik METRO Kuantan, hidayah@pmku.edu.my
[2]Corresponding Author, Ms, Politeknik METRO Kuantan, rofidza@pmku.edu.my
[3]Department of Hospitality and Tourısm, Politeknik Metro Kuantan,Pahang, Malaysia, nurullia@pmku.edu.my

INTRODUCTION

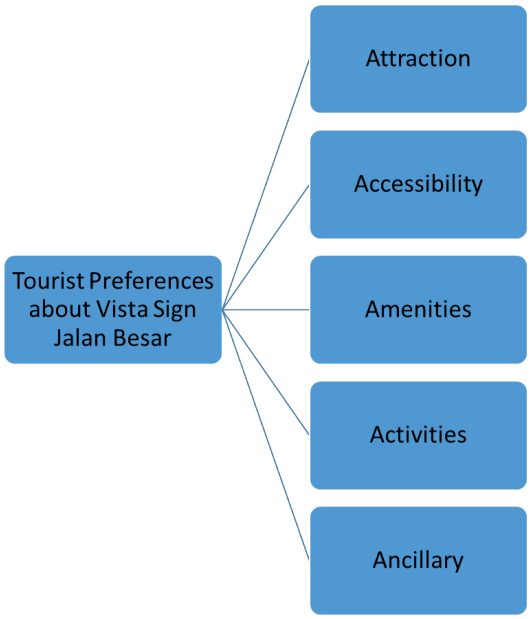
Tourism development is a key driver of economic growth, urban revitalisation, and cultural promotion. In Malaysia, cities such as Kuantan have experienced increasing tourist arrivals, contributing significantly to local income and employment. Jalan Besar, located in the heart of Kuantan, has become an emerging tourism hub featuring attractions such as Kuantan 188, Art Street, Kula Cakes, and the Kuantan Esplanade. Despite its growing popularity, Jalan Besar lacks an effective wayfinding system. Tourists often encounter difficulties navigating between attractions due to insufficient signage and absence of integrated maps. This limitation affects visitor satisfaction and reduces the overall tourism experience.

This study introduces *Vista Sign Jalan Besar*, a visual and digital signage solution aimed at improving tourist navigation and engagement within the area. The scope of problems identifies several key issues affecting tourist movement in Jalan Besar which are: (i) absence of clear and consistent directional signage; (ii) lack of integrated tourist maps and information systems and (iii) limited awareness of lesser-known attractions. These challenges highlight the need for a comprehensive wayfinding system to enhance accessibility and visitor experience. Hence, the objectives of this study are: (i) to develop an illustrated wayfinding map for Jalan Besar; (ii) to improve tourist navigation and route planning and (iii) to integrate QR codes for digital information access. This study employed a mixed-method approach, combining qualitative and quantitative data collection techniques due to data collected through questionnaires, interviews and observations. The main findings show that 84.3% of respondents were repeat visitors, indicating strong destination loyalty. Tourists rated activities as the most important factor (Mean = 4.06), followed by attractions and amenities. Ancillary services such as signage design received the lowest rating. Overall, this project highlights the importance of effective wayfinding systems in urban tourism development through illustrated maps and QR codes integration.

1. METHOD

The conceptual framework for this research was adapted from Tourism Development Theory by Velasquez,2024 which were 5A's (Attraction, Accessibility, Amenities,Activities, Ancillary services). The framework as shown below in Figure 1.

Figure 1. Conceptual Framework of Tourist Preferences about Vista Sign Jalan Besar



Source: Tourism Development Theory by Velasquez (2024)

1.1. Literature Review

Firstly, tourism development has been widely recognised as a catalyst for economic and social growth. Studies indicate that tourism contributes to employment opportunities, infrastructure development, and community engagement (Mohamad Kazar, 2016).Second, heritage tourism research highlights the importance of cultural attractions and historical sites in influencing tourist decisions (Nurul Fadilah, 2021). Similarly, studies in Pahang show that tourist satisfaction is closely related to accessibility, facilities, and service quality (Chew et al., 2024). Third, illustrated maps and digital tools have been proven effective in enhancing tourist navigation. Hashimoto (2025) emphasised that digital illustrated maps improve tourist distribution and reduce overcrowding. Chung (2013) further suggested that visual elements such as images and icons enhance map usability. In addition, pictograms play an essential role in signage design, although their interpretation may vary across cultures (Kovacevic, 2024). Therefore, effective wayfinding systems must combine clear visual communication with user-friendly design.

2. FINDINGS

2.1. Purpose and Significance of the Research

The research aims to provide tourists with a directional guide to key destinations, facilitating independent travel around Jalan Besar area. Furthermore, it also integrates a Quick Response (QR) of the information including their history, ticket pricing, and available activities as shown in Figure 2. This research benefits students, institutions, and the community while promoting polytechnic programs and increasing tourist visits to Kuantan. For students, it serves as a reference and guide for planning visits and accessing information on nearby tourist attractions. For institutions, it supports collaboration with the local tourism industry and promotes the tourism programs. For the community, it improves access to tourist destinations along Jalan Besar and helps increase income through the promotion of local products.

Figure 2. Proposed Illustrated Map & QR of Vista Sign Jalan Besar



Source: Design by researcher (2026)

2.2. Research Universe and Sample

The sample size for this research was 70 respondents, consisting of students and staff from Polytechnic METrO Kuantan as well as the local community in Kuantan. A simple random sampling method was used, where each individual in the population had an equal and independent chance of being selected. The total population at PMKu is approximately 500 people, from which 70 respondents were chosen.

2.3. Research Methodology

This study adopted a mixed-method approach, integrating both qualitative and quantitative data collection techniques. A structured questionnaire was employed to assess respondents' level of understanding, as it facilitates efficient and standardized data collection from a larger sample, thereby enabling consistent comparison of responses. The questionnaire was administered to 70 respondents, comprising students, staff, and local visitors. In addition, semi-structured interviews were conducted with key stakeholders, including the management of Kuantan 188 and local business owners, to obtain in-depth insights. Direct observations were also undertaken to evaluate wayfinding systems, including the analysis of existing signage and tourist movement patterns within the study area. The reliability analysis yielded a Cronbach's Alpha coefficient of 0.929, indicating a high level of internal consistency and excellent reliability of the measurement instrument.

3. FINDINGS

3.1.Attraction

The result of the research was carried out based on tourist preferences on attractions in the map. This analysis was carried out to identify the highest and lowest mean as shown in Table 1.

Table 1. Mean of attraction attribute

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1. Quality of attraction	70	1	5	3.99	.909
2. Offered view and Safety	70	2	5	4.01	.807
3. Area offers interesting attraction	70	2	5	4.03	.816
4. Atmosphere is enjoyable	70	3	5	4.09	.794
5. Area is suitable for sightseeing	70	2	5	4.01	.789
Valid N (listwise)	70				

Source: Descriptive Statistics SPSS Version 27 (2026)

Table 1 shows that "atmosphere is enjoyable" recorded the highest mean score (M = 4.09), indicating strong respondent satisfaction with the overall environment, particularly its relaxing and pleasant ambience for leisure activities. In contrast, "quality of attraction" obtained the lowest mean score (M = 3.99), suggesting comparatively lower perceptions of attractiveness and uniqueness.

3.2.Accessibility

Table 2. Mean of accessibility attribute

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1. By Walking Distance	70	1	5	3.77	.981
2. Common transportation uses	70	1	5	3.77	.951
3. Availability of signage boards	70	2	5	3.91	.794
4. Online map	70	1	5	4.06	.899
5. Entrance Fee Stated In QR Code	70	1	5	3.91	.959
Valid N (listwise)	70				

Source: Descriptive Statistics SPSS Version 27 (2026)

Table 2 shows that the online map received the highest mean score (M = 4.06), indicating it was the most helpful tool for respondents due to its convenience and ease of navigation. In contrast, walking distance and transportation recorded the lowest mean scores (M = 3.77), suggesting lower satisfaction, possibly due to inconvenience, longer distances, or limited accessibility.

3.3. Amenities

Table 3. Mean of amenities attribute

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1. Entrance ticket price in QR Codes	70	1	5	3.87	.916
2. Parking lot	70	1	5	3.77	.995
3. Restaurant/Cafe	70	1	5	4.24	.806
4. Map Legend At Map	70	1	5	3.97	.851
Valid N (listwise)	70				

Source: Descriptive Statistics SPSS Version 27 (2026)

The results indicate that restaurants and cafés recorded the highest mean score (M = 4.24), highlighting their importance in enhancing visitor experience as shown in Table 3. In contrast, parking facilities showed the lowest mean score (M = 3.77), suggesting lower satisfaction, possibly due to limited space or accessibility issues.

3.4.Activities

Table 4. Mean of activities attribute

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1. Kuantan 188 - Taking panoramic photos of Kuantan city.	70	2	5	4.11	.826
2. Esplanade Kuantan - Leisure activities	70	1	5	4.00	.901
3. Kuantan Art Street - Creative street art murals.	70	1	5	4.23	.854
4. Kula Cake - Enjoy various types of cakes	70	1	5	4.11	.910
5. Kuantan Pickers - Modern cafe atmosphere and try local coffee.	70	1	5	4.00	.948
6.Perniagaan MIM handicraft and souvenir - Buy local products	70	2	5	3.93	.890
Valid N (listwise)	70				

Source: Descriptive Statistics SPSS Version 27 (2026)

Table 4 shows the results of Kuantan Art Street recorded the highest mean score (M = 4.23), indicating strong visitor preference for visually engaging attractions. In contrast, Perniagaan MIM handicraft and souvenir recorded the lowest mean score (M = 3.93), suggesting lower interest, possibly due to its less interactive nature.

3.5.Ancillary services

Table 5. Mean of ancillary services attribute

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1.Design map	70	1	5	3.73	1.102
2.Interesting Colour	70	1	5	3.74	1.112
3.Font Size	70	1	5	3.73	1.154
4.Use of Quick Respond (QR CODE)	70	1	5	3.87	1.076
Valid N (listwise)	70				

Source: Descriptive Statistics SPSS Version 27 (2026)

The results indicate that the use of QR codes recorded the highest mean score (M = 3.87), reflecting their perceived convenience and usefulness as shown in Table 5. In contrast, map design and font size showed the lowest mean scores (M = 3.73), suggesting a need for improvement in clarity and visual appeal.

3.6 Summary of the mean

Table 6. Summary of the mean for all attributes

İtems	Mean
Activities	4.06
Attraction	4.03
Amenities	3.96
Accessibility	3.88
Ancillary	3.77

Source: Descriptive Statistics SPSS Version 27 (2026)

The results show that activities recorded the highest mean score (M = 4.06), indicating strong positive evaluations. In contrast, ancillary services had the lowest mean score (M = 3.77), suggesting lower perceived importance or visibility among respondents.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The result of the research was carried out based on the high percentage of returning tourists which was 84.3%. The reduced number of first-time visitors, however, indicates that more promotional efforts are required, especially to draw travelers from areas outside of the East Coast. The majority of visitors came from the East Coast, highlighting the distance of Kuantan while lower participation from other areas suggests possible obstacles relating to cost and distance.

In terms of awareness, well-promoted attractions such as Kuantan 188, Kuantan Art Street, and Kula Cakes were more widely recognised, demonstrating the effectiveness of marketing and social media. Conversely, lesser-known attractions such as Perniagaan MIM Handicrafts showed lower visibility, indicating a need for improved promotion. Regarding preferences, activities were rated highest, reflecting the importance of

engaging and experiential tourism, while traditional activities such as handicraft shopping received lower evaluations.

While walking distance and transportation earned lower scores, indicating a need for infrastructure improvement, online maps were scored highly for accessibility, underlining the value of digital resources. Restaurants and cafés made a substantial contribution to visitor satisfaction when it came to amenities, but parking facilities received lower ratings, suggesting room for improvement. Lastly, ancillary services like QR codes were well received; nevertheless, to increase usability and the overall user experience, font size and map design modifications are required.

The study proposes several recommendations to enhance the overall tourism experience. These include improving the clarity and visual design of signage, enhancing pedestrian pathways and transportation options, and increasing the promotion of lesser-known attractions. In addition, the incorporation of more interactive tourism experiences is recommended, along with upgrading facilities such as parking and other amenities.

The study's small sample size and restriction to Jalan Besar, Kuantan, may limit how broadly the results may be applied. Future studies should examine the long-term effects of signage systems on visitor behavior, investigate the application of the framework to other tourist attractions, and investigate the usage of cutting-edge digital mapping technology.

In conclusion, the Vista Sign Jalan Besar project emphasizes how crucial efficient navigation systems are to the growth of urban tourism. The incorporation of digital tools and graphical maps boosts visitor happiness, facilitates navigation, and highlights local attractions. This study shows that accessibility and information delivery should be prioritized in addition to attractions in tourism development. Other urban tourist attractions can use the suggested system as a model.

REFERENCES

Chew, J., Zainol, R., & Goh, L. (2024). Tourist satisfaction in Taman Negara Pahang. *Journal of Tourism Studies*, 15(2), 45–60.

Chung, N. (2013). Visual-based tourist maps and their effectiveness. *Tourism Management*, 35, 150–160.

Hashimoto, K. (2025). Digital illustrated maps and tourism distribution. *International Journal of Tourism Research*, 27(1), 88–102.

Kovacevic, M. (2024). Pictogram interpretation in tourism signage design. *Design Studies Journal*, 40(3), 210–225.

Mohamad Kazar, M. (2016). Community perception of tourism development in Malaysia. *Malaysian Journal of Social Sciences*, 8(1), 12–25.

Nurul Fadilah, N. (2021). Heritage tourism attractions in Kuala Lumpur. *Asian Tourism Review*, 10(2), 67–80.

Velasquez, Rachel Jennifer Z., Mark Alvin Abad, Curleen Leign C. Balagtas, Mary Ann Corpuz,

Abigail Fernando, Dominick Flores, Nelaine Antonette D. Manabat, and Aicie V. Pacheco. (2024). Assessment through 5A's of Tourism in Cuyapo, Nueva Ecija: A Basis for Tourism Development Plan. *International Journal of English Literature and Social Sciences* 9 (4): 021–031. https://doi.org/10.22161/ijels.94.5.

https://doi.org/10.71284/asc.2026181

IMPLEMENTATION OF STRUCTURED INTERNSHIP PROGRAM THROUGH COLLABORATION WITH INDUSTRIES IN THE ASPECT OF GRADUATE EMPLOYABILITY

Ts. Nurul Liyana Binti Mahmod[1]
Ts. Haizal Bin Mohd Hamzah[2]
Ahmad Zambree Bin Abdul Ghani[3]

Abstract

Human capital is the most important investment in the development of a country and is at the heart of innovation and a productive high-income economy (Tenth Malaysia Plan, 2011-2015). In order to transform higher education in the context of making Malaysia an international hub of excellence in higher education, the implementation of the Structured Internship Program (SIP) involves collaboration with industry in offering industrial training facilities of the final semester students to complete the requirements of the diploma program before qualifying for graduation. A study has been conducted to examine the employability aspects of students through the SIP involving students of Politeknik Kuching Sarawak (PKS) in 2023 and 2024. The objective of the study is to identify graduates who succeed in getting a place in the industry in the 2023 and 2024, identify employability aspects mastered by students from an employer's perspective and identify the relationship of the program with a graduate employability aspect. The population consists of two separate groups namely students and collaborating companies while sample consists of 92 respondents represented 20 collaborating companies. The instrument is in the form of quantitative analysis using secondary data and questionnaire using a five-point Likert scale and analysed using SPSS version 22 software. Based on the findings, the Civil Engineering Department (JKA) and the Department of Petrochemical Engineering (JKPK) recorded the highest percentage. A total of 101 graduates have been admitted to work after completing the SIP in 2023 and 2024 involving 20 companies. The finding indicates that teamwork and ICT skills are at a high level where students can communicate with colleagues of different races, can strengthen each other's trust in a group as well as are skilled in information and communication technology aspects. For the analysis of the relationship between employable skills and academic fields, there was a strong relationship between these variables to academic areas with a correlation value of 0.812. In conclusion, the employability aspects assessed by the employers are at a moderate level with a total min of 3.35. However, each responsible party should play a more strategic role in ensuring that each student is applied adequately with these skills. The curriculum that is drafted must also be in line with the needs of the industry, and cooperation with the industry must be strengthened in order to get the graduate skills that the industry needs.

Keywords: Structured internship program, industry collaboration, graduate employability, politeknik kuching sarawak, employer's perspective.

[1] Politeknik Kuching Sarawak

[2]Politeknik Kuching Sarawak, haizal@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0006-8158-5566

[3] Politeknik Kuching Sarawak

INTRODUCTION

The Ministry of Higher Education (KPT) has drawn up a range of strategies and initiatives to enhance the employability of graduates designed comprehensively and holistically with the aim of producing graduates that are future-proof, holistic and balanced with the value of global employability. In this connection, the output of the Graduate Employability Strategic Plan 2021-2025 is seen as a timely strategic response of the Ministry. The strategies and initiatives to enhance the employability of graduates are designed comprehensively with the aim of producing graduates that are future-proof, holistic and balanced with the value of global employability. According to Dr. Noraini Ahmad, Minister of Higher Education (2021), this highly impactful plan deserves to be guided by all institutions of higher education in Malaysia in an effort to enhance the employability of their respective graduates where all parties are cooperative and fully committed to fulfilling the aspirations of this strategic plan. Thus, the combination of academic-industrial expertise and student empowerment efforts will strengthen the ability to boost graduate market capabilities.

The Ministry of Higher Education has played a huge role in the development of human capital in the country. In addition to providing quality learning opportunities, KPT is also committed to generating knowledgeable, innovative, and highly cognitive graduates who can apply their knowledge in the real world of work. This is in line with the National Strategic Plan for Higher Education (PSPTN) which places the employability of graduates as a critical agenda to be implemented and to the target set that at least 75% of the graduates will obtain a job suitable for their performance within 6 months of graduation. The employability of graduates needs to be addressed urgently so that no unemployed polytechnic graduates are left out. The Chief Director of the Department of Polytechnic Studies has suggested that the Department enhance its cooperation with the industry by encouraging the German state to implement the apprenticeships scheme."

By 2020, the Department of Polytechnic Studies aims that polytechnics will be able to produce quality graduates relevant to national energy needs and have extensive network collaboration with industry. Among the cooperative steps that the Department of Polytechnic Studies and Industry can take is to jointly develop curriculum standards so that they are authoritative and meet the needs of the industry. With this step, polytechnics are expected to be able to give birth to a graduate who truly meets the demands of the employer, without having to be re-trained or given additional training. Today's labour market is more dynamic than ever because of rapid changes in the use of state-of-the-art technology and the diversity of needs on the part of employers. This situation has raised many problems in the labour market and is further complicated by the country's current relatively moderate economic performance and the unstable world economy. The creation of new job opportunities that are slowly being seen does not go hand in hand with the graduation of the job market.

This situation has raised many problems in the labour market and is further complicated by the relatively simple current economic performance of the country and the uncertain world economy. The creation of new job opportunities that are slowly being seen does not go hand in hand with the graduate breakdown in the labour market. This situation has created competition among graduates and increased the problem of unemployment, even among those who are forced to accept whatever job offers are given by employers which sometimes do not match the qualifications they have. Students nowadays should no longer rely solely on their mastery in theoretical subjects such as engineering, mathematics, science, technology, economics, business, geography, global general knowledge and so on. It also requires other skills such as creativity, innovation, multi-lingual mastery, communication and analytical skills as well as skills in other fields as added value.

The Structured Internship Program (SIP) is a program that offers employment opportunities after completing an industrial training in the same company. This effort will further enhance the employability of Politeknik Kuching Sarawak graduates. In addition, graduates will earn careers according to their respective fields in the industry. The Corporate, Industrial Services & Employability Center (CISEC) has been in contact with

the company in order to secure places for students in the industry according to their respective fields.

The program offers industry training facilities to students of the final semester to complete the diploma program requirements before qualifying for graduation. Students have the opportunity to choose companies according to their fields to pursue the industry. Industrial Relations and Training Unit (UPLI) with Corporate, Industrial Services & Employability Centre Cooperation (CISEC) will contact industry/companies that have collaborations with Politeknik Kuching Sarawak to offer them a student recruitment interview session for industrial training. In addition to students getting industrial training, industry/companies also get to meet the workforce in the specialization fields they need. Next, if the student shows good and outstanding performance during an industrial training, the student will be offered a job after the end of the industrial training period. The result is to improve the employability of Kuching Sarawak Polytechnic graduates working in the field and further strengthen collaboration with industry/companies.

The study was conducted to identify the effectiveness of the Structured Internship Program carried out in collaboration with industry in providing a platform for students to get industry training places by field and get employment immediately after completing industry training for 2023 and 2024. The study also wants to see to what extent industry collaboration affects the market capability of graduates while also contributing to the Training and Industry Unit in designing various programmes in strengthening collaboration between industry or companies with Kuching Sarawak Polytechnic. In addition, findings from the student's market value aspects obtained from the conducted interviews will be seen and acted in planning activities or programmes that can improve students' hardskills and softskills from time to time.

In an era of increasingly competitive economies, there are many challenges that new graduates face in finding jobs that match their qualifications. Despite having undergone formal education at an educational institution, many graduates still have difficulty entering the job market due to lack of work experience in the field, relevant skills, and strong communication and leadership skills. This results in an increase in unemployment among high graduates because there is a difference or gap that exists between the job needs or demands demanded by the labour market with the skills or preparations possessed by graduates who have just graduated from an educational institution. Therefore, in-depth research is needed to understand the factors affecting the employability of graduates as well as to design effective strategies to improve their preparation in the face of competitive labour markets.

Thus, a study was conducted to identify the effectiveness of the structured industrial training program carried out in terms of employability of the graduates of Politeknik Kuching Sarawak (PKS). The study provides input to researchers and stakeholders in the design and planning of various programmes from time to time to ensure graduates of PKS get a place in the job market according to their respective fields.

Research Objective

i. Identify graduates who succeeded in getting a place in the industry in collaboration with Politeknik Kuching Sarawak in 2023 and 2024

ii. Identify the employability aspects mastered by students from the employer perspective of students at Politeknik Kuching Sarawak.

iii. Identify the relationship of the program with the employability aspects of the graduate from the employer's perspective.

The study was carried out as an input to the Industrial Relations and Training Unit (UPLI) and the Corporate, Industrial Services & Employability Centre (CISEC) and could have an impact on:

a. Students – Get a place to complete industrial training and have the opportunity to continue working

b. Institutional – Improve the employability of graduates to work in the field.

c. Industry or company – Get the workforce according to the requirements of the field.

1. LITERATURE REVIEW

1.1. Graduate Employability Strategic Plan (GESP)

The 2021 - 2025 Graduate Employability Strategic Plan (GESP) was created to support the first and fourth leaps in the Malaysian Education Development Plan 2015 - 2025 (Higher Education). The Strategic Plan is designed to generate holistic, balanced and entrepreneurial graduates, be a reference source for IPT in implementing graduate marketability initiatives, and ensure that the marketability percentage of IPT graduates exceeds 80% each year by 2025. The output of this strategic plan involves various parties including central agencies, ministries, departments, agencies and legal bodies, private agencies as well as IPT through a series of mapping workshops and drafting plans. The Graduate Employability Strategic Plan was developed collaboratively through engaged sessions with over 100 discussion groups. The group consists of various stakeholders, university focal officers, ministries and government departments, agencies, legal bodies, industry and society. The preparation of this plan is a follow-up to the review of The National Graduate Employability Blueprint 2012 - 2017. The discussion group involved experts in the fields of economics, human resources, higher education, strategic management, social sciences, Islamic studies and languages. The Ministry also consolidated all strategic plans and policy papers at the Ministry level such as the Malaysia Education Development Plan 2015 - 2025 (Higher Education), the Malaysian Higher Education 4.0 Framing: Future-Proof Talent, the Entrepreneurship Action Plan and the Graduate Employable Ability Analysis Paper 2015 - 2019 to shape the latest strategic concepts, initiatives and activities in line with the current situation.

Chief Secretary, Dr.Mazlan Yusof's said that Graduate Employability Strategic Plan 2021-2025 is presented as a policy document that guides higher education institutions in the country in implementing the graduate market capabilities agenda. There are four main strategies that are the focus of the plan, namely, strengthening talent excellence; expanding student career; upholding teaching and learning; and strengthening industry relationships. The establishment of these strategies is based on a detailed analysis of the situation as well as current issues and challenges facing not only at the Ministry level, but also the country's higher education ecosystem as a whole matter. The three objectives of the GESP strategy are:

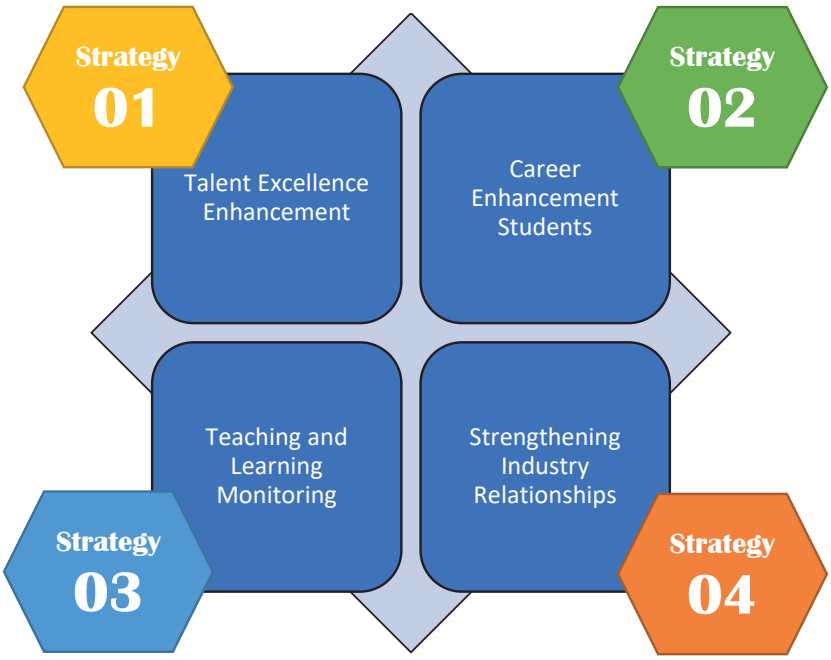
i. To produced holistic, entrepreneurial and competitive IPT graduates in line with the technological revolution;

ii. Providing highly skilled and capable graduates to meet the needs of local and global industries along the economic and technological dynamics; and

iii. Developing the talent of graduates for a balanced and sustainable socio-economic improvement of the country

The GESP outlines 4 strategies, 13 initiatives and 31 activities. Four strategies were designed to emphasize the strategic aspects of strengthening talent excellence; expanding student career; upholding teaching and learning; and enriching industry relationships.

Figure 1. Executive Summary of Graduate Employability Strategic Plan (GESP)



i. First Strategy One: Talent Excellence Enhancement has 4 initiatives and 8 activities to improve English proficiency, and produce graduates with the skills needed in the 21st century.

ii. Second Strategy: Career Enhancement Students have 4 initiatives and 11 activities through the setting of key performance indicators or Key Performance Indicator (KPI) of IPT's Top Management, for marketability rates exceeding 80% each year and giving birth to entrepreneurial or gig economy graduates.

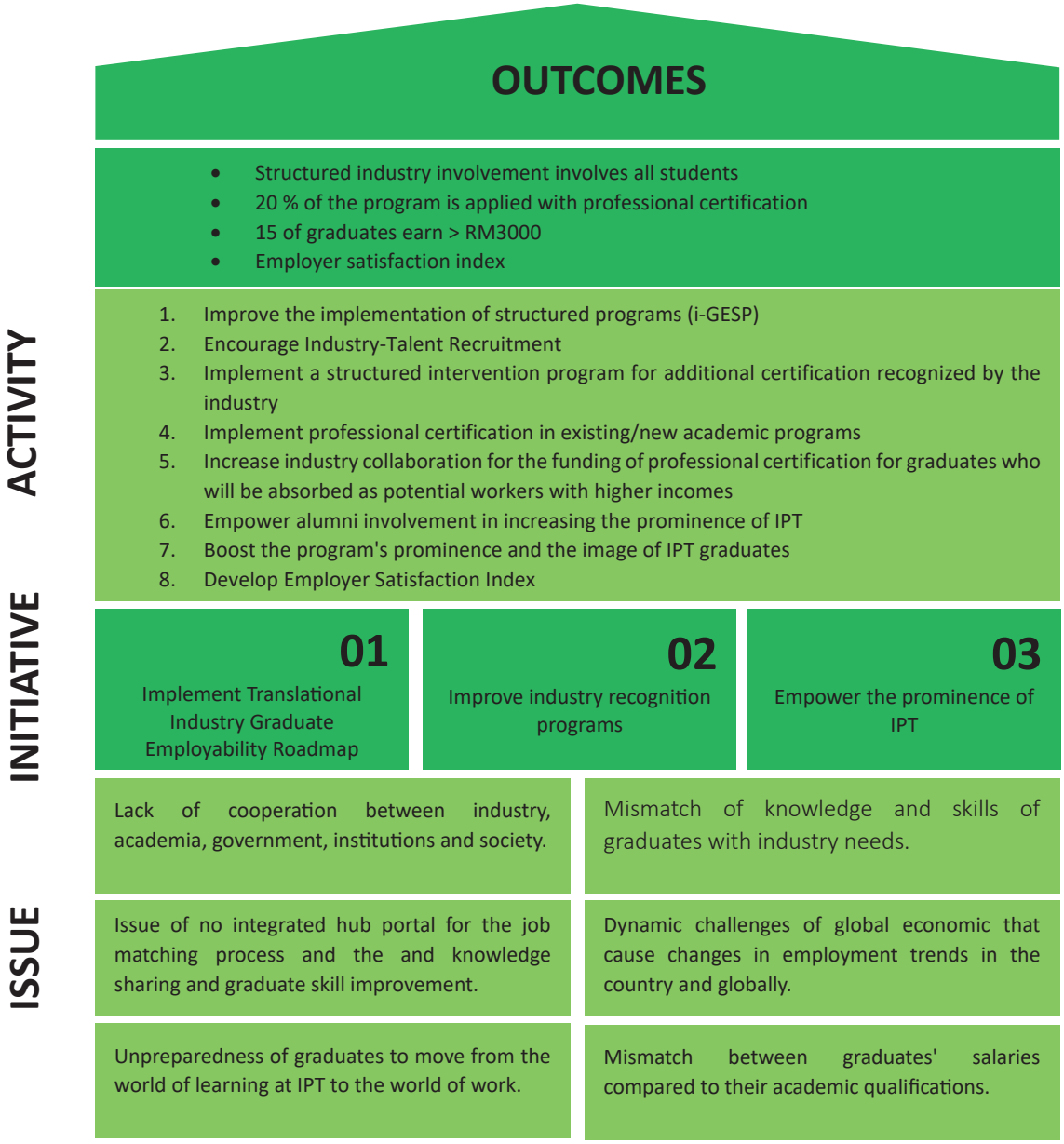
iii. Third Strategy: Teaching and Learning Monitoring has 2 initiatives and 4 activities, so that the educational activities in IPT meet the needs of Industry 4.0, and the teaching force in the IPT involves practitioners/industrial experts.

iv. Fourth Strategy: Strengthening Industry Relationships has 3 initiatives and 8 activities, to increase industry involvement structurally to all students, implementation of academic activities with professional certification and achievement of employer satisfaction index.

1.2. Graduate Employability Strategic Plan (GESP)

1.2.1. Fourth Strategy – Strengthening Industry Relationships

Figure 2. Initiative 1- Implement Translational Industry Graduate Employability Roadmap (TIGeR)



Based on diagram 2, the career development of students should be carried out prior to their studies at the IPT through programs involving industry as well as skills improvement programmes required by 21st century jobs. This TIGeR puts a general guide to the management of resources and talents that IPT has in order to provide and prepare them for a suitable job market.

Figure 3. Initiative 2 - Improving Industry Recognition Activities

	ACTIVITY	MEASURING MECHANISMS	TARGET	RESPONSIBILITY
1.	Improve the implementation of structured programs (i-GESP) such as the Apprenticeship Program, 2u2i, Structured Industrial Training Program (SIP)	Percentage of IPTA implementing TIGeR	All IPTA by 2022	• Academic Division of IPT • Career Center of IPT • Academic Excellence Division, JPT • Instructional and Digital Learning Division (BIPD), JPPKK
2.	Encourage Industry-Talent Recruitment by the industry as early as when students register for studies			• Faculty, IPT • Industry Collaboration and Community Division (BKIK), JPPKK

The perception of IPT by the public and industry is one of the factors that influences the chances of graduates being offered employment. IPT has always had visibility at various levels, both national and international. The more integrated involvement of the ALUMNI IPT can also boost the integrity of an IPT. High-quality branding represents the prestige and excellence of an IPT. With this, his graduates are also able to have a good level of employability.

The employability of graduates is an important agenda that needs to be given serious attention by all parties, including government, industry, IPT, students and parents. Successful implementation of the proposed strategies and initiatives; demonstrating highly skilled IPT graduates as well as contributing to the socio-economic development of the country can be achieved. The plan also supports GESP 2015 - 2025 (PT) to ensure that the achievement of marketability of IPT graduates in Malaysia and at the global level can be preserved. The commitment, cooperation and support of all parties is significant in ensuring the successful implementation of this Strategic Plan.

1.3. Strategic Partnership with Industry

Strategic collaboration with industry/agency/company is expected to increase the chances of graduates getting a job within six months of graduation. For example, if a graduate has a degree not just in one particular field or has other knowledge or skills, then this will improve his employability. Polytechnics and industry or companies need to work together to provide information and knowledge to help graduates to be better prepared for today's needs. The strategic cooperation carried out with the industry can be divided into three parts, namely:

a.Finishing School Program
b.Industrial Training Program.
c. Structured Industry Training Program

1.3.1 Finishing School Program

The Finishing School program also emphasizes communication skills, self-confirmation and management skills. The aim is to add value to graduates in order to enlighten their opportunities in meeting the realities of job competition. Finishing School programs can also nurture human and spiritual values, provide

entrepreneurial skills and leadership days to graduates. The program is open to all graduates to participate in the acquisition of hands-on skills in industry. This Finishing School Program also not only handles students while still demanding but also after they graduate. To ensure the success of this program, there must be a minimum standard that can really play an effective role in getting a graduate.

1.3.2. Industrial Training Program

Industry co-programmes are like industry coaching programmes for professors, student industry training, industry lectures (invitation co-counselling), holding industry co-dialogue sessions, career camouflages, seminars, project evaluation panels and more. Industrial training is one of the forms of cooperation between a polytechnic and an industry or organization that has been formed for so long. Students are placed in a related organization or company within the prescribed period of time to gain real experience by practicing what they have learned in polytechnic. Industrial Training Program is one of the curriculums of Polytechnic education in Malaysia. All polytechnic students are required to undergo industrial training in the private sector or the government. Students are required to pass the industrial training before it is done for the award of the Certificate or Diploma of Polytechnic of the Ministry of Higher Education. The objective of the industry training is to enable students to gain experience in relevant organizations/corporations in line with the desire to produce graduates who have the skills and expertise to meet the current needs of the country.

1.3.3. Structured Industry Training Program

The Structured Industry Training Program is an approach designed to provide practical experience to students or new graduates with the aim of improving their readiness to enter the job market. Here is a breakdown of the main elements of the structured industry training program:

i. Structured Learning Plan: The program must have a structured and detailed learning plan that includes learning objectives, practical activities, and evaluation of participant progress

ii. Partnerships with the Company: Collaboration with local or industry-related companies to provide practical training or practical work training opportunities for participants. This sharing is important to ensure that participants gain experience relevant to the needs of the job market.

iii. Placement and Task: Program participants are placed in a workplace that suits their field of study or career interests. They are given a project or task that matches their level of skills and knowledge, enabling them to develop practical skills and industry knowledge.

iv. Monitoring and guidance: Program participants receive guidance from a workplace mentor or program supervisor to help them overcome challenges and maximize their experience. Regular monitoring and building feedback are provided to support the development of participants.

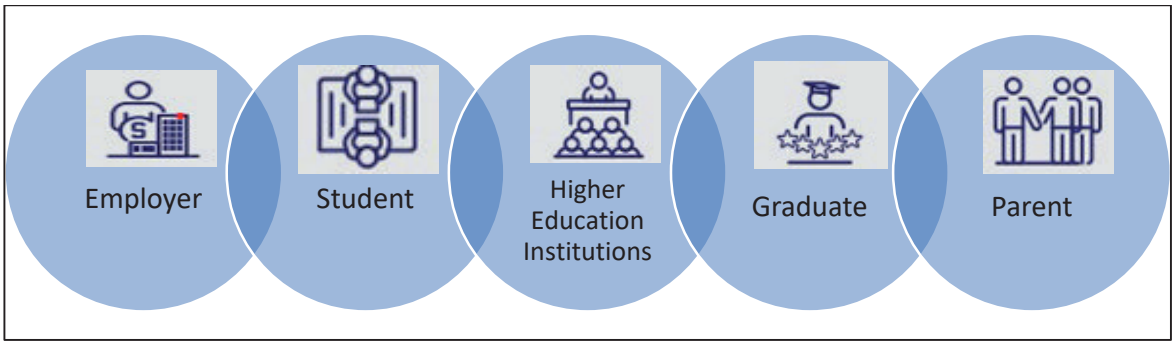
v. Skill Development: This program should be designed to develop a range of skills relevant to the labour market, including technical skills, interpersonal skills, and human skills such as communication and leadership skills.

vi. Monitoring and Evaluation: Participants are evaluated periodically throughout the program to monitor their progress and provide constructive feedback. The evaluation also helps to assess the effectiveness of the program in improving the marketability of participants.

vii. Networking: The program can also give participants the opportunity to build professional networks by meeting industry professionals, participating in networking events, or becoming members of industry-related communities.

1.4. Stakeholder

Figure 4. Stakeholders



The Graduate Employability Strategic Plan (GESP) 2021-2025 benefits stakeholders who are directly involved with activities in the IPT and receive impact from the quality of graduates issued as in figure 4. Here is the role of the stakeholders in the GESP:

i. Employers - Interested parties who benefit directly are employers who will receive and hire graduates produced by local IPTs. Alignment, this plan is important to ensure that the quality of the graduates produced meets the needs of employers and organizations

ii. Students - The next stakeholder is IPT students who will go through learning experience to form their level of skill, expertise, skills, attitudes and authenticity. The initiative envisaged in this Strategic Plan is to prepare students before entering the workplace

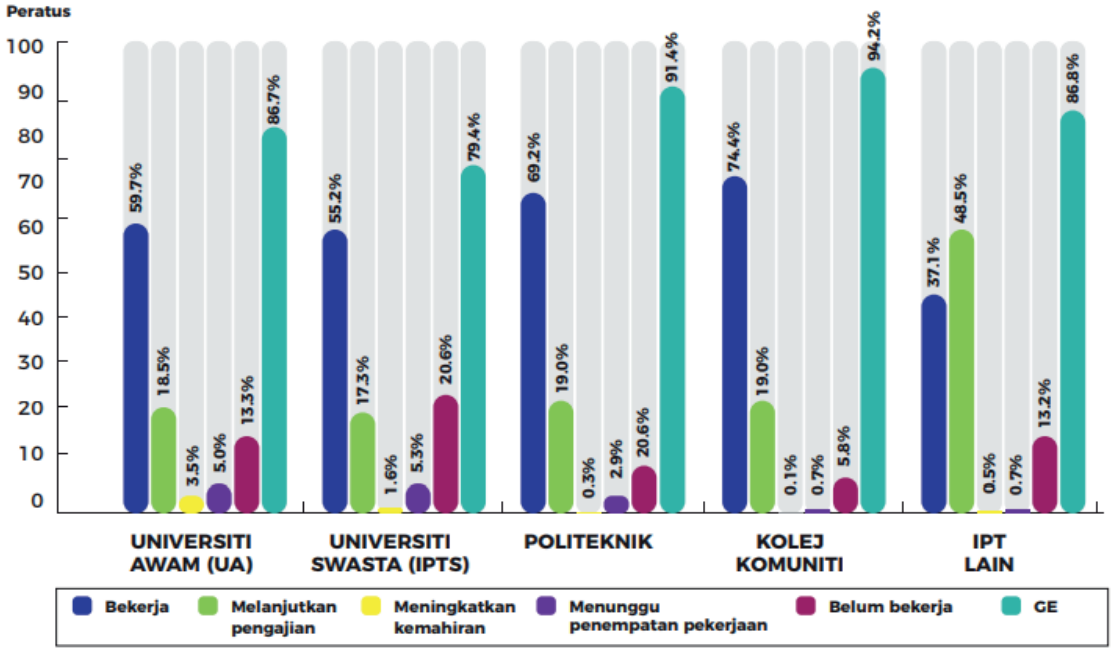
iii. IPT - The development aspects as well as the design of academic curricula and curriculum activities at IPT should consider industry perspectives, local and international market needs, the need for 4.0 technology, 21st century skills and so on to ensure that the curricular programmes offered at the IPT remain relevant and meet the needs of the industry

iv. Graduates - In addition, IPT graduates are also considered as stakeholders as they will benefit from all the initiatives implemented in this Strategic Plan. Among the benefits are graduate career planning at the local or global level, graduate skills will be recognised and used optimally, as well as salaries equivalent to academic qualifications. In addition to working with employers, graduates are also applied with entrepreneurial skills to start their own business

v. Parents - Parents to students and graduates of IPT are the influencers of decisions to choose and plan the future of their children, in terms of the field of study and future career. Parents will also benefit when graduates who work can help raise the socio-economic standard of the family.

1.5. Graduate Employability 2020

Figure 5. Graduate Employability (Citizen) by IPT 2020



Source: Graduate Detection Study System, Ministry of Higher Education.

Figure 5 shows graduate employability rates for five different higher education institutions: Public University, Private University, Polytechnic, Community College and other IPTs. Based on the following chart, Community College graduates recorded the highest percentage of Graduate Employability (GE) at 94.2%, followed by Polytechnic graduates (91.4%) and Public Universities (86.7%).

1.6. Percentage of employability by field of study

By 2020, graduates in Engineering, Manufacturing and Construction studies showed the highest employability rate, which was 86.5%, followed by Science, Mathematics and Computer with 85.3% and further on by Health and Welfare with a marketability ratio of 84.4% as shown in diagram 7. Overall, the marketability of graduates in 2020 by field of study shows a decreasing percentage compared to 2019, except for education. The percentage of employability of graduates according to these fields is consistent with the Malaysian graduate survey by Jobstreet.com (2014 - 2016), which lists three fields of study in which the majority graduates work in the same fields after graduation, namely material engineers, nursing and engineering, whereas only 30% graduates are in the areas of Political Science, Humanities/Liberal Arts, Science Technology and work in similar fields.

The government continues to strive to increase the number of students enrolled in local public higher education institutions in all fields and levels of study. However, the increase in the number of graduates alone is not enough without supplying them with the current skills required by industry and employers. Figures 6 and 7 show the recruitment data of Kuching Sarawak Polytechnic students by gender in the years 2021-2022 and 2023/2024. Enrolment of students is as many as 1,319 by 2021 whereas 1,507 by 2022.

Figure 6. Enrolment of Politeknik Kuching Sarawak Polytechnic Students by Gender in 2021-2022

Negeri Institusi *State of Institution*	Bil. *No.*	Politeknik *Polytechnics*	Peringkat Pengajian *Level of Study*	Tahun *Year*	Kemasukan *Intake*			Enrolmen *Enrolment*			Keluaran *Output*		
					L / M	P / F	J / T	L / M	P / F	J / T	L / M	P / F	J / T
Sabah	32	Politeknik Tawau	**Diploma** *Diploma*	**2022**	**24**	**48**	**72**	**75**	**153**	**228**	**22**	**66**	**88**
				2021	18	40	58	79	163	242	0	0	0
Sarawak	33	Politeknik Kuching	**Diploma** *Diploma*	**2022**	**845**	**587**	**1,432**	**2,409**	**1,864**	**4,273**	**840**	**667**	**1,507**
				2021	1,059	792	1,851	2,528	2,023	4,551	662	657	1,319
	34	Politeknik Mukah	**Diploma** *Diploma*	**2022**	**341**	**353**	**694**	**989**	**1,051**	**2,040**	**434**	**477**	**911**
				2021	375	425	800	1,105	1,193	2,298	295	466	761
	35	Politeknik Metro Betong	**Diploma** *Diploma*	**2022**	**24**	**46**	**70**	**63**	**142**	**205**	**18**	**59**	**77**
				2021	12	24	36	45	118	163	28	49	77
W.P. (Kuala Lumpur)	36	Politeknik Metro, Kuala Lumpur	**Diploma** *Diploma*	**2022**	**108**	**96**	**204**	**224**	**227**	**451**	**111**	**98**	**209**
				2021	77	93	170	236	243	479	87	88	175

Source: *A*nalitytic System MyMoheS, KPT, MOHE (2022)

Figure 7. Enrolment of Politeknik Kuching Sarawak Polytechnic Students by Gender in 2023/2024

DEPARTMENT/PROGRAM	PROGRAM CODE	SESI II 2022/2023			SESI I 2023/2024		
		MALE	FEMALE		MALE	FEMALE	
		L	P		L	P	
CIVIL ENGINEERING				**893**			**956**
Diploma in Civil Engineering	DKA	255	292	547	277	317	594
Diploma In Building Services Engineering	DPB	84	88	172	89	86	175
Diploma In Geomatic	DGU	80	94	174	90	97	187
ELECTRICAL ENGINEERING				**605**			**581**
Diploma In Electric & Electronic Engineering	DEE	374	84	458	373	78	451
Diploma In Electronic Engineering (Communication)	DEP	87	60	147	85	45	130
MECHANICAL ENGINEERING				**839**			**861**
Diploma In Mechanical Engineering (Automotive)	DAD	245	6	251	254	6	260
Diploma In Mechanical Engineering	DKM	301	101	402	324	100	424
Diploma In Mechanical Engineering (Air Conditioning and Refrigeration	DPU	61	7	68	58	7	65
Diploma In Mechanical Engineering (Manufacturing)	DTP	93	25	118	86	26	112
COMMERCE				**919**			**1006**
Diploma In Accountancy	DAT	91	264	355	105	310	415
Diploma In Business Studies	DPM	167	397	564	184	407	591
PETROCHEMICAL ENGINEERING				**310**			**325**
Diploma in Process Engineering (Petrochemicals)	DPE	167	143	310	179	146	325
INFORMATION & COMMUNICATION TECHNOLOGY				**482**			**524**
Diploma In Information Technology (Networking)	DNS						
Diploma In Information Technology (Digital Technology)	DDT	279	203	482	308	216	524
	TOTAL	2284	1764	**4048**	2412	1841	**4253**

Source: 1. Student Admission and Development Division (BAPP), JPPKK (*http://ambilan.mypolycc.edu.my/eieo/index.asp*)

1.7. Employability Skills

Employability skills are non-technical skills that are closely related to the personality and attitude that a graduate need to have to get a job. Graduates now have to compete in meeting the demands of the job market. This requires them to have a variety of skills in addition to a good academic graduation to market their abilities (Mohamad Sattar & Punavasvaran, 2009). Through studies conducted by several researchers, here are listed the eight components of marketability skills: communication and interpersonal skills, problem-solving skills, ICT skills, leadership skills, teamwork skills, job planning skills, thinking skills, and ethics and values.

1.8. Graduate Employability Skill Component

Communication and interpersonal skills are the ability of an individual to interact with others as a medium to convey information. According to Dazali & Awang (2014), communication skills consist of a person's ability to read, write, listen, debate and exchange opinions either orally or non-oral. Communication skills can be done in Malay and also English (Bharathi, 2016). Graduates who have this advantage will be easy to enter the job market because of their ability to interact with other individuals as well as being able to explain or convey information accurately and effectively. Decision-making and problem-solving skills are also a component of graduate marketability skills. It refers to a person's ability to identify and analyze a problem and then think of appropriate strategies to solve it. (Guvinder & Sharan, 2008). According to Hesketh (2000), one needs to think critically and creatively in order to find the best way to solve a problem. These skills are the added value that employers are looking for in addition to outstanding academic achievement.

In the era of the Industrial Revolution 4.0, graduates need to be sensitive to today's technological demands so that they remain competent and able to compete in the world of work. Hence, they need to master the skills in using information technology. According to Bandara & Loras (2016), Information and Communication Technology (ICT) is a necessary technology for data processing processes. The scope of the title is very broad, with regard to all aspects of information management and processing. Accurately and easily, the use of computers and software is to change, store, protect, process, move, view, and obtain information regardless of place and time. Technology will always change as time moves. If the graduates are not prepared and ready with the latest technologies they will be far abandoned.

Bennett (2002) also listed leadership skills as one of the components of graduate marketability skills. Leadership skills are needed in building the strength of the organization collectively. Effective leaders will succeed in influencing others so that they can work together to the desired goal. A leader needs to be wise to make the right decisions that get the support of every member of the organization. (Guvinder & Sharan, 2008).

Fafinski (2014) has listed teamwork skills as an element that is highly needed by graduates to make it easier for them to get a job. This skill needs to be applied during the re-study session in order to get students to work together in groups. These skills combine the power of mental, physical, and emotional aspects within the same group to success. (Bennett, 2002). Teamwork skills are encouraged so that hard work becomes light. According to Zalika and Faridah (2005), there are many teamwork skills that need to be explored such as team communication, mass decision-making, conflict management, building creativity, leadership, motivating, making judgments, rewarding, and more. The term "Team Work" or "Community Work" is consistent with both religious and social demands. By gathering or grouping, as well as being ethical in work, a person can or can more easily meet social and psychological needs and a purpose in life.

Thinking is a process that uses reason to solve problems. This process involves activities of building ideas, making conclusions to acquire new knowledge or skills that can be used to solve challenging problems. Thinking skills are also among the components of graduate marketability skills. It's more about the personalities of graduates who meet employers' demands like decision-making skills, creative and critical

thinking, integrity, timeliness, responsibility and ability to work in groups.

Ethics refers to the concept that an individual or group possesses to judge whether an action is wrong or right, bad or good. Ethics is the science of norms, values and morals. Nevertheless, without the right ethics and values will lead to various discussions in organizing everyday life (Asyraf Ghani, (2015). Value is the grip that drives a person or organization to act. It is a framework of attitude that shapes and influences behaviour. Values can be categorized according to religion, culture, ethics and even morality. The pure values a student should hold are such as fairness to himself, trust in science, accountability to society and honesty to himself. Therefore, ethics and values are very important for all sections of society, especially students, so as not to do something bad.

Align all the employability skills components that have been outlined here are essential to be mastered by students in ensuring they can influence employers to take them to work when graduating later. Graduates who can move forward and have a variety of skills will be able to perform various tasks effectively and this is what is the priority of employers.

2. RESEARCH METHODOLOGY

The study was analyzed using secondary data obtained from the Corporate, Industrial Services & Employability Centre Unit (CISEC) relating to a Structured Internship Programme running from 2023 to 2024 to look at the percentage of students who succeeded in getting a place in the industry after going through the structure industry training program. In addition, a questionnaire has been given to employers aimed at identifying employability skills components that are assessed and mastered by students who have completed this program in the industry.

The population in this study is composed of two separate groups. The first population is a graduate student of Politeknik Kuching Sarawak and the second population is employers involved in the interview process for the Structured Industrial Training Program of 20 companies. The research tool used is the questionnaire form. The item in the questionnaire form is constructed in line with the study objective to be achieved. The form is divided into two parts, part A and part B. Part A is to collect respondent demographic information. Part B is to gather data on the employability skill component mastered by the student. A set of google form questionnaires is given to each company according to the number of students undergoing industry training. The survey questions have been distributed to employers to assess the employability aspects of students who have successfully placed themselves after completing the Structured Internship Program and the interview process at the company concerned. A total of 101 respondents have been identified, although only 92 survey replies have been obtained.

The survey form is built on the Likert scale where the minimum score for each item is 1 and the maximum score is 5. Table 1 below is the Likert scale used.

Table 1. Likert Scale

Level	Scale
Strongly disagree	1
Disagree	2
Somewhat disagree	3
Agree	4
Strongly agree	5

Source: Mohamad Najib, 2003

The relationship with the Likert scale is then interpreted using min interpretation analysis as shown in Table 2. Data analyzed by using SPSS Version 22 software.

Table 2. Mean Score Interpretation

	Mean Score		Interpretation
1.00	≤ min ≤	2.40	Low
2.41	≤ min ≤	3.80	Moderate
3.81	≤ min ≤	5.00	High

Source: Mohamad, 2005

3. RESULTS AND FINDINGS

Table 3: Structured Internship Program 2023

No.	Company Name	Number of Graduates Undergoing Structured Training and Interview Programmes	Number of Successful Graduates	Note
1.	VEC Land Survey	6	1	
2.	One Medicare Sdn Bhd	14	4	
3.	Topoland Solution Sdn Bhd	4	2	
4.	Rose Dessert Enterprise	1	1	
5.	AD. Lulu Survey Services	16	4	
6.	HHPM Construction Sdn. Bhd.	2	1	
7.	Konsortium URW Sdn. Bhd.	5	4	
8.	Perunding Geomatik Sdn Bhd	6	1	
9.	R&D Construction Sdn Bhd	3	0	The company needs male students, but only female students been registered.
10.	Trifork Equipment Company	5	2	
11.	Promisso Solution Sdn. Bhd.	9	2	
12.	Yung Kong Construction	7	6	
13	ND Paper	17	15	
Total		**78**	**28**	

Based on Table 3, results from the implementation of the Structured Internship Program 2023, the findings showed that 28 out of 78 students succeeded in passing the interview process after undertaking industry training at the company. A total of 13 collaboration companies have been involved based on the selection of students according to their respective fields.

Figure 8. Bar Chart of Structured Industry Training Program 2023

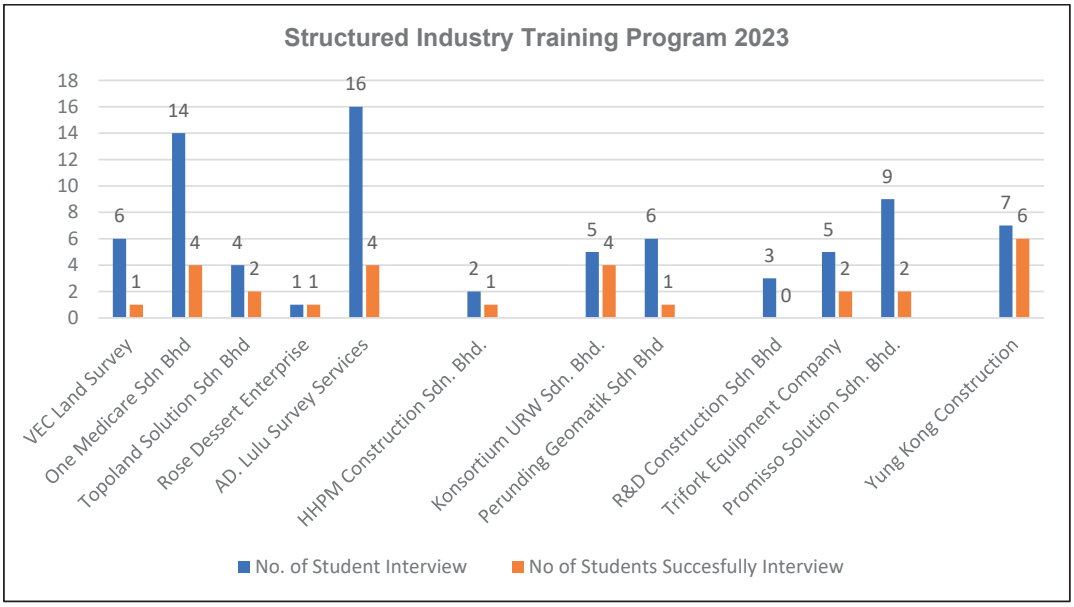


Table 4. Structured Internship Program 2024

No.	Company Name	Number of graduates undergoing structured training and interview programmes	Number of Successful Graduates	Note
1.	Rose Dessert Enterprise	7	4	
2.	Fuya Energy Sdn Bhd	30	11	
3.	VEC Land Survey	6	2	
4.	Infollective Solutions Sdn Bhd	7	5	
5.	Schlumberger WTA Sdn Bhd	29	8	
6.	ND Paper Malaysia (Selangor) Sdn Bhd	6	3	
7.	Monster Garage Motorsports	2	2	
Total		87	35	

Based on Table 4, the results of the implementation of the Structured Internship Program 2024, the findings show that 35 out of 87 students succeeded in passing the interview process after undertaking industry training at the company. A total of 7 collaboration companies have been involved based on the selection of students according to their respective fields.

Figure 9. Bar Chart of Structured Industry Training Program 2023

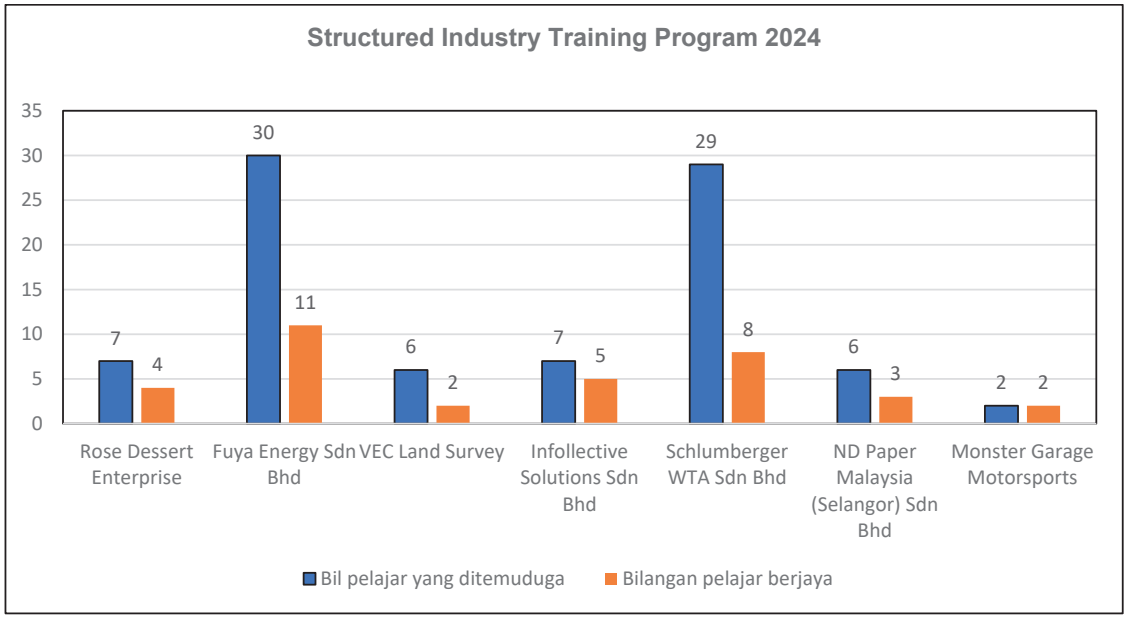


Table 5. Successful Students Get A Place in The Industry Based on Courses Taken In 2023 & 2024

No.	Company	Department														Total
		JTMK		JKA			JKM				JKPK	JKE		JP		
		DTM	DDT	DKA	DGU	DPB	DKM	DAD	DPU	DTP	DPE	DEE	DEP	DPM	DAT	
1	VEC Land Survey				3											3
2	One Medicare Sdn Bhd							2	2							4
3	Topoland Solution Sdn Bhd				2											2
4	Rose Dessert Enterprise		3												2	5
5	AD. Lulu Survey Services				3										1	4
6 HHPM Construction Sdn Bhd				1											1
7	Konsortium URW Sdn Bhd						4									4
8	Perunding Geomatik Sdn Bhd				1											1
9	Trifork Equipment Company							2								2
10	Promisso Solution Sdn Bhd		1											1		2
11	Yung Kong Construction			4		1	1									6
12	LS Survey Consultant Sdn. Bhd.				4											4
13	Fuya Energy Sdn Bhd						1	1		4	1	4				11
14	Bmech Engineering Sdn. Bhd.			1			1			3						5
15	Infollective Solutions Sdn Bhd		8											1		9
16	Schlumberger WTA Sdn Bhd		1		3						8	2				14
17	ND Paper Malaysia Sdn Bhd										17	1				18
18	Monster Garage Motorsports							2								2
19	Hatika Engineering Sdn. Bhd.			3												3
20	Asteel Group Berhad													1		1
		13			26			23			26	7			6	
															Total	**101**

Table 5 shows students who succeeded in getting a place in the industry based on courses taken in 2023 & 2024. The findings indicate that 13 persons were from the Department of Information Technology and Communication (JTMK), 26 from the Civil Engineering Department (JKA), 23 from the Mechanical Engineering Department (JKM), 26 of the Petrochemical Department (JKPK), 7 from the Electrical Engineering Department (JKE) and 6 from the Commerce Department. (JP). Overall, a total of 101 students succeeded in getting a seat after passing the interview process involving 20 companies by field.

4. RESULT AND ANALYSIS

4.1. Respondent Demographic Information

The table below shows an analysis of the demographic information of the selected respondents in this study.

Table 6. Academic Department

Department	Number	Percentage %
Department of Information Technology and Communication (JTMK)	11	12
Civil Engineering Department (JKA)	25	27.2
Mechanical Engineering Department (JKM)	19	20.7
Petrochemical Department (JKPK)	25	27.2
Electrical Engineering Department (JKE)	7	7.6
Commerce Department (JP)	5	5.4
Total	**92**	**100**

Based on table 6, the Civil Engineering Department (JKA) and the Department of Petrochemical Engineering (JKPK) recorded the highest percentage of 27.2%. The Department of Electrical Engineering (JKE) and the Department of Commerce had the lowest percentages of 7.6% and 5.4%, respectively.

Table 7. Respondent Information

Gender	Number of Students	Percentage (%)
Male	49	46.7
Female	43	53.3
Total	92	100

The percentage of male students was 46.7% while female students were 53.3% based on table 7. This shows that the number of male students exceeds 6% based on the needs and fields required by the industry.

4.2. Analysis of Employability Skill Elements Applied to Students

Table 8 shows a min score analysis of each employability skill component assessed by employers or industry to students after undergoing the Structured Internship Program and through the interview process. The survey income shows the default mean score and suspension for each employability feature along with min according to the main feature as below.

Table 8. Employability Attribute from Employer's Perspective

No.	Employability Attributes	Mean	Standard Deviation	Mean According to Main Attribute
A	**Communication and Interpersonal**			3.0462
1	Can give orders clearly and regularly	3.5000	0.50274	
2	Can communicate well whether in writing or orally	2.6413	0.60368	
3	Convinced to convey information	3.5761	0.59731	
4	Can convey opinions that convince others	2.4674	0.58274	
B	**Making Decisions and Problem Solving**			2.5870
1	Decide the authenticity of information before making decision	2.2935	0.52494	
2	Consider other alternatives before making decision	2.8261	1.15415	
3	Making expectations of potential problems in the future	2.7283	1.19618	
4	Responsible for actions and decisions	2.5000	1.05351	
C	**ICT (Information Technology)**			4.3016
1	Can search for task-related information over the internet	4.4674	0.70245	
2	Proficient with word processing like Microsoft Word	4.1630	0.73045	
3	Proficient with data processing like Microsoft Excel	4.2391	0.49988	
4	Can present information with visual audio like a power point	4.3370	0.54019	
D	**Leadership**			3.9973
1	Encouraging employees and colleagues	3.9457	0.76120	
2	Giving guideline to employees and colleagues	4.4239	0.49688	
3	Create a spirit of cooperation within the organization	3.7391	0.82368	
4	Assigning job tasks to subordinates	3.8804	0.84959	
E	**Teamwork**			4.4891
1	Create close team membership	4.6413	0.48225	
2	Ensure clear and targeted teamwork goals	4.6196	0.48815	
3	Give good thinking to teamwork	4.3804	0.59007	
4	Contributing expertise to teamwork	4.3152	0.67822	
F	**Work Planning**			3.3750
1	Build a work target plan	4.2935	0.77797	
2	Checking job target achievement	3.1630	0.69972	
3	Setting up priorities for work/task activities	3.3261	0.90309	
4	Fixing task target achievement	2.7174	0.52048	
G	**Thinking**			1.9864
1	Bringing out new ideas	1.9348	0.55081	
2	Making upgrades and corrections in tasks	1.9674	0.47926	
3	Reacting gives new ideas and solutions	1.9130	0.41010	
4	Seeking alternative improvement of organizational performance	2.1304	0.53897	
H	**Ethics and Values**			4.2908
1	Trying to control yourself mentally and physically	4.3261	0.72792	
2	Driven and persistently performing tasks	4.3913	0.64547	
3	Obedience to rules and laws	4.1739	0.63952	

4	Keep the time and the promise	4.2717	0.63077	
I	**Other Skills**			2.1700
1	Present ideas/reports	2.5714	0.70147	
2	Thinking analytically	2.1304	0.64989	
3	Critical thinking	2.0326	0.56357	
4	Computers and innovation	1.9457	0.47727	

Table 9. Mean Score Value Based on Key Employability Skill Attributes from an Employer's Perspective

No.	Item	Mean Score	Interpretation
1	Communication and Interpersonal Skills	3.04	Moderate
2	Making Decisions and Problem-Solving Skills	2.59	Moderate
3	ICT (Information Technology) Skills	4.31	High
4	Leadership	4.00	High
5	Teamwork	4.49	High
6	Work Planning	3.38	Moderate
7	Thinking Skills	1.99	Low
8	Ethics and Values Skills	4.23	High
9	Other Skills	2.17	Low
	Average Mean	**3.35**	**Moderate**

Table 9 shows the mean score and the interpretation of employability skills from the employer's perspective. The findings show mean score of teamwork skills, ICT (Information Technology) skills and ethical skills and values are at the highest level while the thinking skills and other skills items record low mean scores and interpretation.

4.3. Relationship Correlation Analysis

Here is an analysis of employability skills taken by students of Politeknik Kuching Sarawak after undergoing the Structured Industrial Training Program for 2022 and 2023.

Table 10. Correlation of Employability Skills to Academic Fields

		Department	Employability Skills
Department	Pearson Correlation	1	.812**
	Sig. (2-tailed)		<.000
	N	92	92
Employability Skills	Pearson Correlation	.812**	1
	Sig. (2-tailed)	<.000	
	N	92	92

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Based on the results of the study in Table 10, there is a strongly positive relationship between the two marketable skill variables against the academic field with a correlation value of 0.812. Overall, there was

a significant correlation between employability skills and academic fields that exceeded the 0.05 degree of significance. This 'p' value is greater than the defined significant level of 0.05 (5%).

5. SUGGESTIONS AND DISCUSSIONS

Based on the findings of the study, the Civil Engineering Department (JKA) and the Department of Petrochemical Engineering (JKPK) recorded the highest percentage. Hence, it can be concluded here that both of these fields are in high demand in the market. Industries that collaborate with PKS are interested in taking graduates in such fields to fill places and according to field requirements and expertise. A total of 101 graduates have been admitted to work after completing the Structured Internship Program (SIP) in 2023 and 2024 involving 20 companies. This shows that this program has an impact on the improvement of Graduate Employability (GE) as opposed to other programmes implemented at PKS. The students were evaluated throughout the SIP and successfully passed the interview assigned by the company according to their respective fields.

By referring on Table 9, the highest mean score is teamwork skills. Students of Politeknik Kuching Sarawak are able to realize the close collaboration of team members, give good thinking and contribute to teamwork. Akindele (2012) in his study found that students consciously by working in a team, they can improve communication with classmates, communicate with colleagues of different nationalities, and can strengthen each other's confidence in members of the group. This approach is supported by Enah et al. (2018) that group-working activities allow students to adapt to human beings consisting of different backgrounds and understanding. The second highest item is on ICT skills (Information Technology). This shows that students are generally skilled in the aspects of information and communication technology. In today's age of globalization, it is found that a large number of commercial organizations have already used information technology (ICT) as a tool in helping manage organizational excellence. Rationally, ICT is a new high-performance capability in driving and enhancing organizational achievement beyond normal capabilities. This is crucial in ensuring that ICT capabilities are consistent with the mission and vision of an organization (Abdul Manaf et al. 2006).

Based on discoveries rather than employability skills from an employer's perspective, communication and interpersonal skills are at a moderate level. The lecturer has performed his role as well as possible in applying communication skills to students both formally and informally. According to Dazali & Awang (2014) students will have problems when graduating in the future if these skills fail to be applied when in the educational world. This is proved when there is a response from employers who agree on the inconsistency between the level of academic achievement and the level in communication skills among graduates. Among the things that can be done to nurture these communication skills are such as project presentation activities. Through this activity students are given the opportunity to discuss the results of their project in addition to being able to express their opinions and maintain their own work.

In addition, employers also assume that the graduates are still lacking in the aspects of thinking skills such as smart looking for alternatives to improving organizational performance and such communication and interpersonal skills as can convey views that can convince others. Students are rather weak in coming up with new ideas, making upgrades and improvements in tasks and looking for alternatives to improving organizational performance. The ability to think creatively in solving problems will point the direction to each individual using the solution step. Students who master the skills of the 21st century with the ability and skills to think critically, creatively and innovative able to compete in the global ranks (Ismail, Sidek & Mahbib, 2015). The objectives of the National Strategic Plan of Higher Education (NSPHE) also want to produce with a first-class mentality to workers characterized as human capital that can meet the needs of individuals, families, communities, countries and the world. (Ministry of Higher Education of Malaysia, 2012).

Other skills such as extending ideas or reports, analytical thinking, critical thinking and innovation skills are also less mastered by students. Analytical and critical thinking skills are essential skills in all professions and career fields. Obviously here there is a serious need for us to prepare society in general, and students in particular to have the skills to think critically to face the many challenges and situations ahead. This is affirmed in the Cornell Critical Thinking Skills (1989) which emphasizes the importance of integrating thinking skills into the curriculum at the higher education level. Computer skills and innovation also enhance students' digital literacy skills, make considerations, argue, think critically, and promote the application of high-level thinking skills. Besides, skills also enable students to succeed in the new digital world, as well as enabling students to solve problems using great strategies.

CONCLUSIONS

The results of this study show that the application of employability skills components to students of Politeknik Kuching Sarawak is at a moderate stage. Besides, students also successfully master every employability skill component that has been listed. However, lecturers have to find appropriate methods to further enhance employability among students. Therefore, each responsible party should play a more strategic role in ensuring that each student is adequately applied to these skills. The curriculum that is drafted must also be in line with the wishes of the industry and further cooperation with the industry must be enhanced in order to obtain the recognition of the characteristics of graduates that the industry needs.

The Structured Internship Program needs to be upgraded to the 95% Graduate Employability (GE) of students as set out in the Strategic Plan for Polytechnics and Community Colleges, the Ministry of Higher Education. The number of collaborating industries will be divided by fields and courses available at Kuching Sarawak Polytechnic. Programs such as Career Talk, Career Carnival and Industry Placement will be encouraged to give the industry an opportunity to get students to undertake industry training and help students at the end of the semester career excellence. A program such as this is organized to plan and identify careers that match the academic achievement, personality, interests and self-esteem of students and further enhance the employability of graduates. Besides, it is also to increase students' awareness of employment opportunities either as a job seeker or job creator that exists in the current market.

Softskills such as creative and critical thinking skills should be strengthened by encouraging students to generate critical ideas, concepts and thinking in creating innovation and extending work outcomes. This is applied in the project course applied to the 4th and 5th semesters of study. The Project Course is a compulsory course for a particular course of study to be completed by a student in order to qualify for the award of a Polytechnic Diploma of the Ministry of Higher Education. (KPT). This course gives students the opportunity to apply knowledge and skills as well as demonstrate the ability to realize ideas, creativity, innovation and problem-solving towards the production of projects/studies that have commercial and competitive value. The implementation of the project/study covers all learning and teaching processes in theoretical, practical, scientific writing, monitoring and evaluation. Through the project implementation, students are guided by supervisors to explore new knowledge and skills as well as associate with existing knowledge and ensure that the project can be completed within the specified timeframe. Overall, the implementation of the Structured Internship Program has a positive impact on PKS students in providing an opportunity to provide a platform for students to get industry training places by field and help students to find employment immediately after completing industry training. This is in line with the Graduate Employability Strategic Plan 2021-2025.

REFFERENCES

Abdul Manaf Bohari, I., & Nor Fauziana, F. (2006). An empirical study of stressors among Multimedia University students: A case of MMU Malacca Campus. *IBIMA Business Review, 2012*, 1–10.

Akindele, D. O. (2012). Enhancing teamwork and communication skills among first-year students at the University of Botswana. *TESOL Journal, 6*(1), 2–14.

Bandara, I., & Ioras, F. (2016). The evolving challenges of Internet of Everything: Enhancing student performance and employability in higher education. In *INTED2016 Proceedings: 10th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 652–658). IATED.

Bennett, R. (2002). Employer demands for personal transferable skills in graduates: A content analysis of 1000 job advertisements and an associated empirical study. *Journal of Vocational Education & Training, 54*(4), 457–476.

Bharathi, A. V. (2016). Communication skills: Core of employability skills: Issues and concerns. *Higher Learning Research Communications, 6*(4).

Dazali, N. S. M., & Awang, M. I. (2014). Tahap kemahiran komunikasi dalam kalangan pelajar Sarjana Muda Pendidikan IPTA di Utara Semenanjung Malaysia. *Jurnal Pendidikan Malaysia, 4*, 44–56.

Enah, A., Ridzwan, C. R., Mohd Adib, H., & Mohd Azlan, M. H. (2018). Kebolehpasaran graduan pendidikan teknikal dan vokasional: Satu analisis. *Sains Humanika, 10*.

Fafinski, E. F. (2014). *Employability skills for law students*. Oxford University Press.

French, B. F., Hand, B., Therrien, W. J., & Valdivia Vazquez, J. A. (2012). Detection of sex differential item functioning in the Cornell Critical Thinking Test. *European Journal of Psychological Assessment, 28*(3), 201–207. https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000127

Guvinder Kaur, & Sharan Kaur. (2008). Malaysian graduates' employability skills. *UNITAR E-Journal, 4*(1), 15–45.

Hesketh, A. J. (2000). Recruiting an elite? Employers' perception of graduate education and training. *Journal of Education and Work, 13*, 245–271.

Institut Penyelidikan Pendidikan Tinggi Negara. (2003). *Kajian masalah pengangguran di kalangan siswazah*. IPPTN.

Ismail, N. H., Sidek, S., & Mahbib, U. K. (2015). Faktor keberkesanan pengajaran dan pembelajaran kemahiran berfikir aras tinggi abad ke-21 bagi pelajar sains. In *Prosiding Seminar Kebangsaan Majlis Dekan-Dekan Pendidikan Universiti Awam 2015* (pp. 228–238).

Kementerian Pengajian Tinggi. (2007). *Pelan Strategik Pengajian Tinggi Negara: Peletakan asas melangkaui 2020*.

Kementerian Pengajian Tinggi. (2021). *Pelan Strategik Kebolehpasaran Graduan 2021–2025*. Kementerian Pengajian Tinggi.

Ministry of Higher Education. (2021, October 16). *Pelan Strategik Kebolehpasaran Graduan 2021–2025*.

Mohamad, M. K. (2005). *Kaedah penyelidikan pendidikan*. Dewan Bahasa dan Pustaka.

Mohamad Sattar, R., & Puvanasvaran, A. P. (2009). Importance of employability skills as perceived by employers of Malaysian manufacturing industry. *Journal of Human Capital Development, 2*(2), 23–35.

Mohd Najib, A. G. (2003). *Reka bentuk tinjauan soal selidik pendidikan* (1st ed.). Universiti Teknologi Malaysia.

Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing, 64*(1), 14–40.

Student Admission and Development Division (BAPP), JPPKK. (2023). *Student admission and development data*. http://ambilan.mypolycc.edu.my/eieo/index.asp

Student Information Management System (SPMP), Politeknik Kuching Sarawak. (2023). *Student information management system*. http://spmp.poliku.edu.my/

Zalika Adam, Kassim, F., & Salleh, M. J. (2009). Memperkasakan pendidikan luar bandar. In *Prosiding Persidangan Kebangsaan Pendidikan Luar Bandar 2005* (pp. 3–5).

https://doi.org/10.71284/asc.2026182

AI-GENERATED GRAMMAR VERSUS HUMAN USAGE: A COMPARATIVE STUDY OF ALBANIAN AND RUSSIAN

Eda Shehu[1]

Abstract

This study provides a comparative analysis of Albanian and Russian linguistic structures in texts produced by artificial intelligence and by human speakers, based on a corpus of some micro-texts. The main objective is to identify differences at the syntactic and morphological, levels, as well as to evaluate the impact of artificial intelligence on the standardization and simplification of language. The findings show that AI-generated texts tend to favor more linear and simplified structures, reducing the complexity of subordinate clauses. For instance, the human-produced complex structures such as *"Kur erdha në shtëpi, pashë që dritat ishin ndezur"* (Albanian) and *"Когда я пришёл домой, я увидел, что свет был включён"* (Russian) are often transformed into simplified forms: *"Erdha në shtëpi. Dritat ishin ndezur"* and *"Я пришёл домой. Свет был включён"*. This indicates a tendency toward discourse fragmentation and reduced syntactic cohesion. At the morphological level, particularly in Russian, a simplification of the case system is observed, where correct forms such as *"Я вижу книгу"* and *"Я доволен результатом"* may appear incorrectly as *"Я вижу книга"* or *"Я доволен результат"* in AI-generated outputs. In Albanian, issues are mainly related to the use of clitics and definite articles, as in *"E lexoj librin çdo ditë"* compared to simplified forms like *"Lexoj librin çdo ditë"*. Overall, the study concludes that artificial intelligence contributes to the standardization of linguistic structures, reducing the natural variability and complexity found in human language in both analyzed languages.

Keywords: Artificial intelligence, morphological level, syntactic level, natural language processing.

[1]Assoc. Prof. Dr., Department of Slavic and Balkan Languages Faculty of Foreign Languages University of Tirana, eda.shehu@unitir.edu.al, https://orcid.org/0009-0001-8492-4977

INTRODUCTION

In the past decade, the rapid development of Artificial Intelligence (AI) and large language models has significantly transformed the ways in which natural language (Manning, Schütze, 1999) is produced and processed. Systems such as *ChatGPT* are capable of generating coherent and grammatically structured texts across multiple languages, creating a new linguistic reality in which human and automated production intersect.

This development has opened an important line of inquiry in linguistics, focusing on how Artificial Intelligence influences grammatical structures and language use. One of the central questions arising in this context is whether language models are able to preserve typological distinctions among different languages, or whether they tend toward the standardization and simplification of linguistic structures.

Within this framework, Albanian and Russian represent two linguistic systems with distinct typological characteristics. Albanian, as a more analytic language (Agalliu, Angoni, Demiraj, Dhrimo, Hysa, 2002) with a specific system of articles and Russian, as a language with a rich case morphology and high syntactic flexibility (Rozental, 2005), provide a suitable basis for a comparative analysis of the impact of artificial intelligence on grammatical structure.

1. METHOD

To achieve the aforementioned objective, this study is grounded in a *comparative and corpus-based methodology* (Biber, Conrad, Reppen, 1998), which combines the analysis of texts generated by Artificial Intelligence with authentic human-produced texts. This methodological approach enables a direct comparison between natural linguistic production and automatically generated output, as well as between two linguistic systems of different typological profiles.

At the core of the study lies the construction of a *balanced corpus*, divided into the following categories: AI-generated texts in Albanian, human-produced texts in Albanian, AI-generated texts in Russian, and human-produced texts in Russian. This organization aims to ensure equal conditions for comparison by controlling variables such as text length, general topic, and discourse function. In this way, the corpus serves as an empirical basis for identifying linguistic patterns and analyzing structural differences.

The analysis is conducted across these main levels: *morphological* and *syntactic*.

At the morphological level, the analysis focuses on how grammatical relations are realized within the sentence. Russian, as a language with a highly developed case system, requires precise agreement between morphological form and syntactic function (Rozental, 2005),, as *in:"Я вижу книгу" (accusative) and "Я доволен результатом" (instrumental). In contrast, Albanian relies more heavily on articles and clitics (short pronouns) to mark grammatical relations, as in: "E lexoj librin" ("I read the book") and "Ia dhashë librin shokut" ("I gave the book to my friend").*

At the syntactic level, particular attention is given to *word order* and the organization of information within the sentence. In Albanian, for example, the basic *SVO* (Çeliku, Domi, Floqi, 2002) structure allows for considerable stylistic flexibility, as illustrated by: *"Unë lexoj librin çdo ditë"* ("*I read the book every day*") and *"Çdo ditë unë e lexoj librin"* ("*Every day I read the book*"). In Russian, this flexibility is even greater, as the case system preserves syntactic functions regardless of position: *"Я читаю книгу каждый день"* and *"Каждый день я читаю книгу."*

At the discursive level, attention is devoted to *complex structures and the use of subordinate clauses.* In both languages, such structures allow the construction of logical relationships between ideas, as in: *"Kur erdha në shtëpi, pas hë që dritat ishin ndezur"* ("*When I came home, I saw that the lights were on*") and *"Когда я пришёл домой, я увидел, что свет был включён."* However, AI-generated texts show a clear tendency toward simplification of these structures, often breaking them into shorter, linear sentences, such as: *"Erdha*

në shtëpi. Dritat ishin ndezur" or *"Я пришёл домой. Свет был включён."* This phenomenon is interpreted as a reduction of syntactic complexity in favor of clarity and predictability.

In the field of contrastive linguistics, Robert Lado (Lado, 1957), in *Linguistics Across Cultures*, emphasizes the importance of contrastive analysis and the phenomenon of cross-linguistic transfer. This theory directly supports the comparative approach of the present study between Albanian and Russian, enabling the identification of structural interference and typological variation in linguistic production.

At the methodological level, the study also draws on the principles of corpus linguistics. In recent years, within the field of computational linguistics and natural language processing, Daniel Jurafsky and James H. Martin (Jurafsky, Martin, 2023), in *Speech and Language Processing*, provide the theoretical foundation for understanding how language models process and generate text. Furthermore, the work *Attention Is All You Need* represents the foundational architecture of transformers, upon which modern language models are built. These theoretical approaches are essential for the present study, as they explain the nature of AI-generated linguistic production, which is analyzed in comparison with human language output.

2. ANALYSIS AT THE MORPHOLOGICAL (LAGJİ, 2008) AND SYNTACTIC (LAGJİ, 2008) LEVELS

As emphasized above, this study is based on a *corpus-based and comparative approach*, aiming to analyze the impact of artificial intelligence models on the use of grammatical structures in the Albanian and Russian languages.

The study corpus consists of texts generated by artificial intelligence through the ChatGPT system, as well as authentic human-produced texts. For each language (Albanian and Russian), several texts have been included, evenly distributed between human and AI-generated production.

2.1. The Case System in Russian

A fundamental component of comparative analysis is the case system in the Russian language, which represents one of the most distinctive features of its morphological structure. Russian is a fusional language with a highly developed case system through which syntactic relations between sentence constituents are expressed.

The main cases in Russian are: *nominative (именительный), genitive (родительный), dative (дательный), accusative (винительный), instrumental (творительный), and prepositional (предложный)*. Each of these cases fulfills specific syntactic functions and is used in different grammatical contexts. For example:

– Я читаю книгу. (accusative case – direct object)

– Я доволен результатом. (instrumental case – used after certain adjectives)

In these examples, the endings *-у* (книгу) and *-ом* (результатом) indicate the syntactic function of the nouns within the sentence.

Additional uses of the cases:

Nominative case (subject)

– Студент читает книгу.

(subject in its base form)

Genitive case (negation, quantity, absence)

– У меня нет книги.

(*I do not have a book* – genitive after negation)

Я хочу стакан воды.

(quantity → стакан воды)

Dative case (recipient of the action)

– Я дал книгу другу.

(to whom? → другу)

Accusative case (direct object)

– Она смотрит фильм.

(what? → фильм)

Instrumental case (means, state)

– Он пишет карандашом.

(with what/how? → карандашом)

– Она гордится сыном.

(used after certain verbs)

6. Prepositional case (with prepositions)

– Я живу в городе.

(where? → в городе)

In contrast to Russian, the Albanian language employs a simpler case system and relies more heavily on prepositions and word order to express syntactic relations:

Russian: Я дал книгу другу.

Albanian: *I dhashë librin shokut.* (*I = atij*) *dhashë … .*

In Albanian, the function "to someone" is expressed through the dative case form (*shokut*) and is often reinforced by a clitic (*i*), whereas in Russian this is conveyed solely through inflectional endings.

Typical Errors in AI-Generated Texts

Due to the complexity of the Russian morphological system, AI-generated texts may exhibit simplifications or errors in case usage, particularly in matching form with syntactic function.

Examples of errors:

- ✕ Я читаю книга. (should be accusative: книгу)
- ✕ Я доволен результат. (should be instrumental: результатом)

Additional examples:

- ✕ Я дал книга друг.
- ✓ Я дал книгу другу.
- ✕ У меня нет время.
- ✓ У меня нет времени.
- ✕ Я живу в город.
- ✓ Я живу в городе.

- ✕ Она гордится сын.
- ✓ Она гордится сыном.

These errors demonstrate that the case system requires not only knowledge of forms but also mastery of usage rules across different syntactic and semantic contexts.

The Russian case system constitutes a highly functional mechanism that allows for considerable syntactic flexibility and a high degree of precision in expressing grammatical relations. However, this same complexity makes it more difficult for artificial intelligence systems to process accurately.

AI-generated texts tend to simplify these structures, often producing grammatically incorrect forms or avoiding more complex constructions. This indicates that, although AI can generate fluent sentences, it still encounters difficulties in fully processing complex morphological systems such as that of Russian.

The case system in Russian represents a key element of the language's grammatical structure and a significant challenge in cross-linguistic analysis and natural language processing. Comparison with Albanian highlights typological differences between a more analytic and a more synthetic language, emphasizing the crucial role of morphology in the syntactic organization of the sentence.

2.2. The Category of Grammatical Gender

Both languages treat the category of gender, but in structurally different ways.

In Albanian:

Correct:

– *Djali është i zgjuar.*

– *Vajza është e zgjuar.*

In Russian:

Correct:

– *Он умный.*

– *Она умная.*

In AI-generated texts, gender mismatches may appear, especially in more complex structures:

AI (possible error):

– ✕ *Она умный.*

This indicates that the model may lose morphological coherence in certain cases.

1.2. The Article System in Albanian

A specific feature of Albanian is the use of definite and indefinite articles, which often presents challenges in automatic processing.

Correct:

Libri është mbi tryezë.

– *Një libër është mbi tryezë.*

– In AI-generated texts, deviations can be observed such as:

AI (possible errors):

– ✕ *Libër është mbi tryezë.*

– ✕ incorrect use of *"një"* in certain contexts

This shows that the article system is not always processed with the accuracy of a native speaker.

a. Errors in Russian: Simplification of the Morphological System

In the Russian language, one of the main sources of error is related to the complexity of the case system. As a highly inflected language with a developed morphology, Russian requires precise agreement between syntactic function and word form. However, AI models often show a tendency to reduce this complexity.

Typical examples include:

– ✕ Я читаю книга → ✓ Я читаю книгу

– ✕ Я доволен результат → ✓ Я доволен результатом

These are not isolated errors, but part of a broader tendency toward the use of the base (nominative) form instead of other case forms.

This tendency also appears in other instances:

– ✕ Я дал книга друг → ✓ Я дал книгу другу

– ✕ У меня нет время → ✓ У меня нет времени

– ✕ Я живу в город → ✓ Я живу в городе

In all these cases, a neutralization of case distinctions can be observed, where the model avoids the use of specific inflectional endings and prefers more general forms. This suggests that the case system, as a morphologically complex structure, poses a challenge for probabilistic processing.

b. Errors in Albanian: Simplification of Syntactic Structures

In the Albanian language, which is more analytic in character compared to Russian, errors are less related to inflectional endings and more to the use of articles, clitic forms, and word order.

One of the most frequent phenomena is the omission or incorrect use of the definite article:

– ✕ *Libër është mbi tryezë* → ✓ *Libri është mbi tryezë*

– ✕ *Nxënës shkruan detyrën* → ✓ *Nxënësi shkruan detyrën*

Deviations are also observed in the use of clitics:

– ✕ *Lexoj librin çdo ditë* (in contexts where expected) → ✓ *E lexoj librin çdo ditë*

– ✕ *I dhashë librin* (without a clear object) → ✓ *Ia dhashë librin atij*

2.3. Word Order (Greenberg, 1963) in the Sentence

One of the main aspects of cross-linguistic analysis is *word order in the sentence*, which is closely related to syntactic structure (Chomsky, 2011), information organization, and the pragmatic functions of language.

In Albanian, the basic word order is *subject–verb–object (SVO)* (Çeliku, Domi, Floqi, 2002); however, this order is not fixed. Albanian is characterized by a relatively high degree of flexibility, which serves to emphasize different elements of the sentence (*theme/rheme*, given vs. new information). For example:

– *Unë lexoj librin çdo ditë.* (neutral order)

– *Çdo ditë unë lexoj librin.* (emphasis on the temporal adverbial)

– *Librin e lexoj unë çdo ditë.* (emphasis on the object)

– *Unë librin e lexoj çdo ditë.* (structure emphasizing the verb)

This flexibility becomes even more evident in conversational discourse and literary style, where word order is used for stylistic and emotional effects:

– *Sa bukur e ke shkruar këtë ese!*

– *Këtë ese sa bukur e ke shkruar!*

In Albanian, changes in word order are often accompanied by the use of *clitics (short forms and weak pronouns)* (e.g., *e, i, ia*), which help preserve syntactic relations even when the order changes:

– *E dhashë librin.* (*E* = atë)

– *Ia dhashë librin shokut.* (*I = atij*; *a = atë*)

In contrast, texts generated by artificial intelligence show a clear tendency toward more standardized and less variable structures. This is related to the fact that language models aim for clarity and avoid stylistic complexity that may create ambiguity:

– Preferred: *Unë lexoj librin çdo ditë.*

– Less frequent: *Librin e lexoj unë çdo ditë.*

In Russian, word order flexibility is even greater, due to the well-developed *case system*, which marks syntactic functions regardless of word position in the sentence. This allows for greater freedom in information structuring:

– *Я читаю книгу каждый день.* (neutral order)

– *Каждый день я читаю книгу.* (emphasis on time)

– *Книгу я читаю каждый день.* (emphasis on the object)

– *Читаю я книгу каждый день.* (emphasis on the action)

– *Я книгу читаю каждый день.* (more conversational structure)

Changes in word order in Russian often reflect the distinction between *theme* (given information) and *rheme* (new information), a key concept in functional sentence analysis. For example:

– *Книгу я уже прочитал.* (the book is known information)

– *Я уже прочитал книгу.* (the action is the main focus)

Compared to Albanian, Russian does not require additional elements such as clitics to preserve syntactic relations, as these are encoded through *case endings*:

– *Я вижу мальчика.* (accusative case)

– *Мальчика вижу я.* (function remains unchanged regardless of order)

Even in interrogative and negative sentences, flexibility remains high:

Questions:

– *Ты читаешь книгу?*

– *Книгу ты читаешь?*

Negation:

– *Я не читаю книгу.*

– *Книгу я не читаю.*

Similarly to Albanian, AI-generated texts in Russian tend to favor more *linear and neutral structures*:

– *Я читаю книгу каждый день.* (standard form)

– Structures such as *Книгу читаю я каждый день* are generally avoided, as they are stylistically marked.

The analysis shows that, although both languages allow flexibility in word order, the nature of this flexibility differs:

– In Albanian, flexibility relies on the combination of word order and auxiliary elements (clitics, prepositions).

– In Russian, flexibility relies primarily on the morphological case system.

In both cases, word order is not merely a grammatical issue, but also a *pragmatic tool,* used to structure information, highlight specific elements, and express stylistic nuances.

On the other hand, texts produced by artificial intelligence show a tendency toward *syntactic standardization,* reducing variation and favoring more predictable forms. This suggests that, although

AI is capable of producing grammatically correct structures, it does not yet fully reproduce the pragmatic and stylistic flexibility of natural language.

3. COMPLEX SYNTACTIC STRUCTURES IN ALBANIAN, RUSSIAN, AND AI-GENERATED OUTPUT

Complex syntactic structures constitute one of the most important indicators of linguistic development and the ability to organize thought in a coherent and logical manner. In this context, the use of subordinate clauses and the construction of syntactic relationships between them occupies a central place in the comparative analysis of Albanian and Russian, as well as in comparison with texts generated by artificial intelligence.

In both languages, complex structures are realized through conjunctions and other syntactic means that express temporal, causal, conditional, purposive, or descriptive relations. A typical example is the construction with temporal and complement clauses:

– *Kur erdha në shtëpi, pashë që dritat ishin ndezur.*

– *Когда я пришёл домой, я увидел, что свет был включён.*

In this case, a dual organization of information can be observed: one event is placed in a temporal relationship with another, while at the same time a subordinate clause completes the meaning of the main verb (*pashë që... / увидел, что...*). This combination results in a richer and more structured discourse.

Similar structures are found in causal sentences, where the logical relationship between cause and effect is expressed through conjunctions:

– *Nuk dola, sepse po binte shi.*

– *Я не вышел, потому что шёл дождь.*

Likewise, conditional sentences express hypothetical relationships and require accurate coordination of tense and verb forms:

– *Nëse studion më shumë, do të arrish rezultate më të mira.*

– *Если ты будешь больше учиться, ты добьёшься лучших результатов.*

A higher level of complexity appears in relative clauses, where a noun is modified by a subordinate clause:

– *Studenti që fitoi çmimin është shumë i talentuar.*

– *Студент, который получил награду, очень талантливый.*

In Russian, this structure becomes even more complex due to the agreement of the relative pronoun (*который*) in case, gender, and number, reflecting the interaction between syntax and morphology.

Another important aspect is the possibility of combining several subordinate clauses within a single structure, significantly increasing syntactic complexity:

– *Kur erdha në shtëpi dhe pashë që dritat ishin ndezur, mendova se dikush kishte ardhur më parë.*

– *Когда я пришёл домой и увидел, что свет был включён, я подумал, что кто-то пришёл раньше.*

These structures demonstrate an advanced level of discourse organization, where information is distributed across multiple levels and requires deeper processing from both the speaker and the listener.

However, in AI-generated texts, a clear tendency toward simplification of such complex structures is often observed. Subordinate clauses are frequently replaced by independent sentences, creating a more linear structure:

– *Erdha në shtëpi. Dritat ishin ndezur.*

– *Я пришёл домой. Свет был включён.*

A similar process can be observed in other cases:

– *Nuk dola, sepse po binte shi. → Nuk dola. Po binte shi.*

– *Nxënësi që fitoi çmimin është shumë i talentuar. → Nxënësi fitoi çmimin. Ai është shumë i talentuar.*

This transformation from subordinate to independent structures indicates a tendency of artificial intelligence to reduce syntactic complexity and favor linear clarity. On the one hand, this makes the text easier to understand, especially in informational contexts; on the other hand, it leads to the loss of certain logical and stylistic nuances present in natural language.

This study may be useful for linguists, translators, language teachers, researchers in computational linguistics, and specialists working in the field of artificial intelligence and digital communication. It can also contribute to the understanding of how AI systems reproduce grammatical structures and stylistic patterns in different languages, particularly in Albanian and Russian, which belong to different linguistic families. Furthermore, the research may help educators and academic institutions evaluate the growing role of AI-generated texts in education, translation, and scientific writing, while also offering insights into the advantages and limitations of artificial intelligence in natural language production.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study focused on a comparative analysis of the impact of artificial intelligence models on the use and perception of grammatical structures in the Albanian and Russian languages, by comparing AI-generated linguistic output with human language production. Through a corpus-based and contrastive approach, the study demonstrates that artificial intelligence tends to produce more standardized, more linear, and less diverse structures, whereas human language retains greater complexity and stylistic flexibility.

At the level of sentence structure, the most noticeable difference concerns the construction of complex sentences. Human-generated texts widely employ subordinate clauses and integrated logical connections, as in Albanian: "*Kur erdha në shtëpi, pashë që dritat ishin ndezur*" and in Russian: "Когда я пришёл домой, я увидел, что свет был включён." In contrast, AI-generated texts tend to simplify these structures into separate sentences: "*Erdha në shtëpi. Dritat ishin ndezur*" and "Я пришёл домой. Свет был включён." This reflects a clear tendency toward discourse fragmentation and the reduction of syntactic connectivity.

At the morphological level particularly in Russian the case system shows high sensitivity to errors or simplifications. Correct forms such as "Я вижу книгу" and "Я доволен результатом" may appear distorted in AI-generated texts as "Я вижу книга" or "Я доволен результат" indicating the model's difficulty in fully processing case inflection. In Albanian, issues arise more prominently in the use of articles and clitics, where the correct form "*E lexoj librin çdo ditë*" may be simplified to "*Lexoj librin çdo ditë*," or the non-standard structure "*Libër është mbi tryezë*" replaces the correct form "*Libri është mbi tryezë*."

Overall, these differences suggest that artificial intelligence tends to reduce linguistic complexity at all levels, favoring more frequent, predictable, and easily generated forms. In contrast, human language remains richer in variation, more structurally complex, and more closely tied to the pragmatic context of communication.

REFERENCES

Agalliu, F., Angoni, E., Demiraj, Sh., Dhrimo, A., Hysa,E., etj., (2002). *Gramatika e gjuhës shqipe*, Tiranë.

Biber, D., Conrad, S., & Reppen, R. (1998). *Corpus linguistics: Investigating language structure and use*.

Cambridge University Press.

Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures*. Mouton.

Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. MIT Press.

Chomsky, N. (2011), "Strukturat sintaksore", Dituria, Tiranë.

Comrie, B. (1989). *Language Universals and Linguistic Typology*. University of Chicago Press.

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT*.

Granger, S. (2003). "The corpus approach: a common way forward for Contrastive Linguistics and Translation Studies". In *Corpus-based Approaches to Contrastive Linguistics and Translation Studies*.

Greenberg, J. H. (1963). "Some Universals of Grammar with Particular Reference to the Order of Meaningful Elements". In *Universals of Language*.

Jakobson, R. (1960). *Selected writings*. Mouton.

Johansson, S. (2007). *Seeing through Multilingual Corpora*. John Benjamins Publishing.

Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing* (3rd ed. draft). Stanford University.

Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and Language Processing* (3rd ed. draft). Stanford University.

Lado, R. (1957). *Linguistics across cultures: Applied linguistics for language teachers*. University of-Michigan Press

Lagji, K. (2008). "Analiza morfologjike në kuadrin e përpunimit automatik të gjuhës shqipe", në *Hyrje në gjuhësinë kompjuterike*, Shblu, Tiranë.

Lagji, K. (2008). "Dukuritë sintaksore me të cilat përballen analizuesit sintaksorë automatikë", në *Hyrje në Gjuhësinë kompjuterike*, Shblu, Tiranë.

Lakoff, G. (1987). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind*. University of Chicago Press.

M. Çeliku, Mahir Domi, Spiro Floqi, etj., (2002). *Gramatika e gjuhës shqipe*, Tiranë.

Manning, C. D., & Schütze, H. (1999). *Foundations of statistical natural language processing*. MIT Press.

McEnery, T., & Hardie, A. (2012). *Corpus linguistics: Method, theory and practice*. Cambridge University Press.

Rozental, D. (2005), "Современный русский язык", Москва.

Saussure, F. de. (1916). *Course in general linguistics*. Payot.

Sinclair, J. (1991). *Corpus, Concordance, Collocation*. Oxford University Press.

Tognini-Bonelli, E. (2001). *Corpus Linguistics at Work*. John Benjamins Publishing.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. (2017). Attention is all you need. In *Advances in neural information processing systems*.

https://doi.org/10.71284/asc.2026183

ENGELLİ ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ VE AKRAN İLİŞKİLERİ

UNIVERSITY STUDENTS WITH DISABILITIES AND PEER RELATIONSHIPS

Mustafa Güler [1]
Mine Kurumlu[2]

Özet

Yükseköğretimde engelli bireylerin sayısının artması, bu öğrencilerin üniversite yaşamındaki sosyal deneyimlerinin daha görünür hale gelmesine neden olmuştur. Üniversite süreci yalnızca akademik gelişimi değil, aynı zamanda bireyin sosyal ilişkiler kurmasını, kendini ifade etmesini ve sosyal çevreye uyum sağlamasını da içeren önemli bir dönemdir. Bu çalışmanın amacı, engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerini incelemek ve bu süreçte karşılaştıkları güçlükleri ortaya koymaktır. Araştırma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde literatür taramasına dayalı derleme yöntemiyle yürütülmüştür. Literatür incelemesi sonucunda elde edilen bulgular, engelli öğrencilerin fiziksel sınırlılıklar, toplumsal önyargılar, iletişim engelleri ve çevresel yetersizlikler nedeniyle akran ilişkilerinde çeşitli zorluklar yaşadığını göstermektedir. Ayrıca bu zorlukların, öğrencilerin sosyal katılım düzeylerini azalttığı, aidiyet duygularını zayıflattığı, psikolojik iyi oluşlarını olumsuz etkilediği ve üniversite yaşamından aldıkları doyumu düşürdüğü belirlenmiştir. Bununla birlikte, akran desteğinin ve kapsayıcı sosyal ortamların bu olumsuz etkileri azaltmada önemli bir rol oynadığı da vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, üniversitelerde kapsayıcı, erişilebilir ve destekleyici sosyal ortamların oluşturulmasının engelli öğrencilerin akran ilişkilerini güçlendirmede kritik bir rol oynadığı görülmektedir. Bu çalışma, yükseköğretimde kapsayıcılığın artırılmasına yönelik uygulamalara katkı sunmayı ve konuya ilişkin farkındalık oluşturmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Engelli, üniversite öğrencileri, akran ilişkileri.

Abstract

Abstract The increasing number of individuals with disabilities in higher education has made their social experiences in university life more visible. The university period is an important stage that includes not only academic development but also the establishment of social relationships, self-expression, and adaptation to the social environment. The aim of this study is to examine the peer relationships of university students with disabilities and to identify the challenges they encounter in this process. The study was conducted using a review method based on literature analysis within the framework of a qualitative research approach. Findings from the literature indicate that students with disabilities experience various difficulties in peer relationships due to physical limitations, social prejudices, communication barriers, and environmental inadequacies. These challenges are found to reduce students' levels of social participation, weaken their sense of belonging, negatively affect their psychological well-being, and decrease their satisfaction with university life. However, peer support and inclusive social environments play an important role in mitigating these negative effects. As a result, creating inclusive, accessible, and supportive social environments in universities is critical for strengthening the peer relationships of students with disabilities. This study aims to contribute to practices that enhance inclusivity in higher education and to raise awareness on this issue.

Keywords: Disability, university students, peer relationships.

[1] Sorumlu Yazar, Doç.Dr., Selçuk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Rehberlik ve Psikolojik Danışmanlık Ana Bilim Dalı, Konya, mustafaguler@selcuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-2701-1220

[2] Psikolojik Danışman, Milli Eğitim Bakanlığı, Kocaeli, minekurumlu@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-5818-0075

GİRİŞ

Üniversite dönemi, bireylerin kimlik gelişimlerini sürdürdükleri, toplumsal yaşama aktif katılım sağladıkları ve yalnızca akademik değil aynı zamanda sosyal ilişkilerini de yapılandırdıkları önemli bir süreçtir (Gider vd., 2017). Bu süreçte akran ilişkileri, öğrencilerin üniversite yaşamına uyum sağlamaları ve sosyal bütünleşmeleri açısından belirleyici bir rol oynamaktadır. Akran ilişkilerinin niteliği, bireylerin aidiyet duygularını geliştirmelerinde ve sosyal uyum süreçlerinde doğrudan etkili olmaktadır. Ancak engelli üniversite öğrencileri, üniversite yaşamına uyum sürecinde çeşitli güçlüklerle karşılaşabilmektedir (Esentürk ve İlhan, 2014). Bu güçlükler; fiziksel yetersizlikler, çevresel düzenlemelerin yetersizliği ve toplumsal tutumlar gibi farklı boyutlarda ortaya çıkabilmektedir. Özellikle toplumun engelliliğe yönelik bakış açısı, engelli bireylerin sosyal yaşama katılımını kolaylaştırabildiği gibi sınırlayabilmekte; dışlanma, damgalanma ve yetersiz farkındalık gibi durumlar sosyal ilişkilerin gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir (Çay ve Sevinç, 2017). Bu bağlamda engelli üniversite öğrencilerinin yalnızca eğitim süreçlerinde değil, aynı zamanda sosyal ilişkiler, fiziki çevre ve toplumsal etkileşim alanlarında da çeşitli zorluklar yaşadıkları görülmektedir. Alanyazında yapılan çalışmalar, bu öğrencilerin sosyal ilişkiler kurma ve sürdürme süreçlerinde güçlük yaşadıklarını ortaya koymaktadır (Keskin ve Kırlıoğlu, 2023). Akran ilişkileri açısından değerlendirildiğinde ise, engelli öğrencilerin sosyal etkileşim kurmada zorlandıkları, sınırlı arkadaşlık ilişkileri geliştirdikleri ve sosyal etkinliklere katılımda çeşitli engellerle karşılaştıkları belirtilmektedir (Mengi, 2019). Bununla birlikte, destekleyici ve kapsayıcı akran ilişkilerinin engelli öğrencilerin sosyal uyumlarını kolaylaştırdığı ve kendilerini daha güvende hissetmelerine katkı sağladığı bilinmektedir. Bu nedenle engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerinin incelenmesi ve bu ilişkileri etkileyen faktörlerin ortaya konulması, kapsayıcı ve erişilebilir üniversite ortamlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

1.KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerini anlayabilmek için engelliliğin yalnızca bireysel sınırlılıklar üzerinden değil, sosyal ve çevresel etkenlerle birlikte ele alınması gerektirmektedir. Bu nedenle, üniversite ortamında bireylerin sosyal yaşama katılımını etkileyen toplumsal tutumlar, fiziksel ortamın uygunluğu ve kişilerarası etkileşim süreçleri önemli faktörler arasında yer almaktadır (Burcu, 2002; Holloway, 2001). Akran ilişkileri ise öğrencilerin üniversite yaşamına uyum sağlamaları, sosyal bağlar kurmaları ve kendilerini ait hissetmeleri açısından önemli bir işlev görmektedir.

1.1. Engellilik ve Üniversite Yaşamı

Üniversite dönemi, bireyin akademik yetkinlik kazanmasının yanı sıra özerklik kazandığı ve sosyal ağlarını genişlettiği kritik bir yaşam evresidir. Ancak engelli öğrenciler için üniversite yaşamı, yalnızca akademik bir süreç değil; fiziksel, sosyal ve tutumsal bariyerlerle mücadele edilen karmaşık bir deneyimi temsil etmektedir (Yılmaz vd., 2012). Üniversite yaşamı, engelli bireyler açısından sosyal uyum, bağımsız yaşama ve sosyal çevreyle etkileşim süreçlerini de kapsamaktadır. Bununla birlikte engelli öğrenciler, üniversite ortamında erişilebilirlik sorunları, toplumsal önyargılar ve sosyal katılımı sınırlandıran çeşitli engellerle karşılaşabilmektedir (Bahadır vd.,2016). Bu durum, öğrencilerin akran ilişkilerini ve üniversite yaşamına uyum süreçlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Engelli öğrencilerin yükseköğretime katılım oranlarında artış görülmesine rağmen üniversite yaşamında karşılaşılan fiziksel ve sosyal sorunların tamamen ortadan kalkmadığı görülmektedir. Kampüslerin erişilebilirlik açısından yetersiz olması, uygun düzenlemelerin eksikliği ve toplumsal farkındalığın yeterince gelişmemiş olması, öğrencilerin üniversite yaşamına uyum süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir (Eker,2024). Bu doğrultuda, kapsayıcı eğitim uygulamalarının geliştirilmesi ve engelli öğrencilerin ihtiyaçlarına yönelik daha duyarlı yaklaşımların benimsenmesi önem taşımaktadır. Üniversite ortamında engelli bireylere yönelik geliştirilen olumlu yaklaşımlar, öğrenciler arasındaki sosyal etkileşimi destekleyebilmektedir. Destekleyici ve kapsayıcı tutumların yaygın olduğu üniversite ortamlarında, engelli öğrencilerin akran ilişkileri kurmalarının ve sosyal yaşama katılımlarının daha kolay hale geldiği düşünülmektedir. Ancak olumsuz tutum ve farkındalık

eksikliği, öğrencilerin sosyal ilişkilerini etkileyerek sınırlandırabilmektedir (Keklicek ve Ünsar, 2021). Bu nedenle engelli öğrencilerin üniversite yaşamları sadece akademik başarı açısından sınırlı kalmayıp sosyal ilişkiler, aidiyet duygusu ve psikososyal uyum açısından da ele alınmalıdır. Engelli öğrencilerin sosyal yaşama daha aktif katılabilecekleri kapsayıcı ve erişilebilir uygulamala ve programların yaygınlaştırılması önem taşımaktadır.

1.1.1. Engellilik

WHO (2016)'ya göre engellilik, bireyin sadece fiziksel ya da sağlıkla ilgili sınırlılıklarıyla değil çevresel koşul ve toplumsal tutumlarla etkileşimi çerçevesinde ele alınmasıdır. Bu yaklaşım, engelliliği bireysel bir eksiklik olarak ele almaktan ziyade sosyal bir olgu olarak değerlendirmektedir. Sosyal engellilik modeli, bireylerin yaşadıkları güçlüklerin büyük oranda toplum tarafından dışlanma ve çevresel düzenlemelerden kaynakladığını belirtmektedir (Haegele ve Hodge, 2016). Bu bağlamda geliştirilen sosyal model, engelliliği yalnızca bireyin biyolojik özellikleriyle açıklamak yerine, birey ile içinde bulunduğu sosyal, kültürel ve çevresel koşulların etkileşimi sonucu ortaya çıkan bir durum olarak ele almaktadır. Bu yaklaşım, engelli bireylerin yaşadığı güçlüklerin önemli bir kısmının toplumsal düzenlemeler ve tutumlarla ilişkili olduğunu vurgulamaktadır (Meşe, 2015).

1.1.2. Engelli Üniversite Öğrencilerinin Üniversitede Yaşadıkları Sorunlar

Üniversite dönemi, engelli bireylere hem akademik hem de sosyal olarak çeşitli fırsatlar sunmakla beraber çeşitli güçlükleri de beraberinde getirmektedir (Aydın, 2012). Üniversite zamanı bireylerin kendi becerilerini geliştirme, daha bağımsız bir şekilde yaşam deneyimleri kazanmaları açısından önemli bir ortam sunmaktadır (Moriña vd., 2020). Bununla birlikte, üniversite ortamında fiziksel çevreye ilişkin yetersizlikler, erişilebilirlik sorunları ve uygun çalışma alanlarının sınırlı olması öğrencilerin eğitim süreçlerini zorlaştırmaktadır (Burcu, 2002; Holloway, 2001). Engelli bireyler sadece fiziksel engellerle değil, aynı zamanda toplumsal tutum ve ayrımcı davranışlarla da karşılaşmaktadır. Karşılaştıkları bu durum, öğrencilerin akran ilişkilerini ve sosyal etkileşimlerini sınırlamaktadır (Papasotiriou ve Windle, 2012). Engelli üniversite öğrencilerinin yaşadıkları dışlayıcı tutum ve eşit olmayan koşullar, bu öğrencilerin hem akademik hem de sosyal deneyimlerini olumsuz şekilde etkilemektedir (Şahin ve Şahin Fırat, 2009).

1.1.3. Erişilebilirlik ve Çevrenin Etkisi

Engelli üniversite öğrencileri, eğitim süreçlerinde çeşitli erişilebilirlik sorunuyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar bunu desteklemektedir. Keskin ve Kırlıoğlu (2023)'ün yaptığı bir araştırmada, engelli öğrencilerin ders materyallerinde yaşadıkları erişim güçlükleri, Braille alfabesiyle yazılmış kaynakların bulunmaması ve kütüphanelerde yeterli donanımın olmaması akademik süreçlerini olumsuz etkilediği belirtilmektedir. Aydın (2012), görme engelli üniversite öğrencilerinin bilgiye erişim sorunlarıyla ilgili yaptığı bir araştırmada özellikle ders materyallerine erişimde yaşanan sıkıntılar, uygun kaynak bulamama ve kütüphanelerdeki yetersiz donanımlar bireylerin akademik başarılarını olumsuz etkilemektedir. Engelli üniversite öğrencileri, fiziksel çevre açısından yaşadıkları sorunlar değerlendirildiğinde ise öğrencilerin birçok sıkıntı yaşadığı görülmektedir. Keskin ve Kırlıoğlu (2023)'ün engelli üniversite öğrencilerinin deneyimlerini ve yaşanılan sorunlarını ele alan bir araştırmada, kampüs içindeki binaların, yurtların ve ortak kullanım alanlarının erişilebilir olmaması, rampa ve asansör eksiklikleri ile yetersiz yönlendirmeler öğrencilerin bağımsız hareket etmelerini güçleştirdiği görülmektedir. Çay ve Sevinç (2017)'in fiziksel engelli bireylerin üniversite eğitimlerinde karşılaştıkları sorunlarda ulaşım araçlarının engelli bireylerin ihtiyaçlarına uygun olmaması ve şehir içi düzenlemelerdeki eksiklikler de üniversiteye erişimi zorlaştıran önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, engelli öğrenciler yalnızca fiziksel engellerle değil; önyargı, dışlayıcı tutumlar ve farkındalık eksikliği gibi tutumsal engellerle de karşılaşabilmektedir. Karşılaşılan bu fiziksel ve tutumsal engeller, engelli öğrencilerin üniversite yaşamından izole olmasına neden olabilmekte; bu noktada akran desteği, söz konusu bariyerlerin aşılmasında ve sosyal uyumun sağlanmasında anahtar bir rol üstlenmektedir.

1.2. Akran İlişkileri ve Önemi

Akran ilişkileri, üniversite döneminde bireylerin sosyal, duygusal ve akademik gelişimleri üzerinde etkisi olan bir faktördür. Üniversiteye geçişle birlikte bireyler yeni bir sosyal çevreye dahil olmakta ve oluşturdukları bu sosyal yaşamlarının da birer önemli parçası olmaktadırlar (Tozlu, 2014). Üniversite döneminde bireylerin edindikleri bu akran ilişkileri onların sosyal uyumlarına, kendilerini ifade etmelerine ve duygusal destekte bulunmalarına katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, akran gruplarının bireylerin tutum ve davranışları üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu etkiler olumlu olabileceği gibi, bazı durumlarda riskli davranışların gelişmesine de yol açabilmektedir (Temel ve Aksoy, 2001; Urberg vd., 1997). Ayrıca akran ilişkilerinin, öğrencilerin akademik tutumları ve başarıları üzerinde de belirleyici bir rol oynadığı ifade edilmektedir (Chen vd., 2003). Akran desteği, akran ilişkilerinin önemli bir boyutunu oluşturmakta olup üniversite öğrencilerinin hem sosyal hem de akademik gelişimlerinde önemli bir unsurdur. Akranlar bireylere kendilerini ifade etmelerinde ve yönlendirici olmayan bir ortam sunarak destek alabildikleri bir sosyal alan oluşturmaktadır (Gider vd., 2018). Bu alanda yapılan çalışmalar, akran desteğinin öğrencilerin akademik becerilerini geliştirdiğini, öğrenme süreçlerini kolaylaştırdığını ve özgüven düzeylerini arttırdığını göstermektedir (Secomb, 2008). Bu yönüyle akran ilişkileri, üniversite öğrencilerinin hem sosyal uyumlarını hem de akademik gelişimlerini destekleyen önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

1.3. Engelli Üniversite Öğrencilerinde Akran İlişkilerinin Etkisi

Engelli üniversite öğrencilerinde akran ilişkileri, bireylerin toplumsallaşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Akran ilişkileri, engelli bireylerin sosyal hayata katılımını destekleyen temel unsurlardan biri olup bireylerin aidiyet, güven ve sosyal destek gibi ihtiyaçlarının desteklenmesinde etkili olmaktadır (Petry, 2018). Aile evinden ayrılarak yeni bir ortama giren üniversite öğrencileri için bu dönem, farklı sosyal ağların ve grupların oluştuğu, akran etkileşiminin yoğunlaştığı bir dönem olarak görülmektedir (Knox ve Hickson, 2001).Bu nedenle üniversite ortamı engelli öğrencilerin sosyal ilişkilerini geliştirmeleri açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Alanyazında Eker (2023)'ün engelli öğrenciler ve akran ilişkileri ile ilgili yaptığı araştırmada engelli üniversite öğrencilerinde akran ilişkilerinin önemli olduğu görülmektedir. Akran ilişkileri aracılığıyla öğrencilerin üniversite ortamında kabul görme, aidiyet geliştirme, güven ve destek bulma gibi sosyal ihtiyaçlarının karşılanabildiği ifade edilmektedir. Ayrıca üniversite ortamında artan farkındalık düzeyi ile birlikte, engelli bireylere yönelik tutumların daha olumlu bir yöne evrilebildiği belirtilmektedir. Karaca

(2021)'in görme engelli üniversite öğrencileri üzerine yaptığı bir araştırmada akranları tarafından duyarlı ve destekleyici tutum gören öğrencilerin, üniversite ortamına uyum süreçlerinin kolaylaştığı ve sosyal gruplara daha rahat dahil olmalarına katkı sağladığı belirtilmektedir. Tokgöz (2023) tarafından yapılan çalışmada, engelli ve engeli olmayan üniversite öğrencileri arasında gerçekleştirilen akran etkileşiminin, engelliliğe yönelik önyargı ve ayrımcı tutumların azalmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Akran desteğinin, öğrencilerin sosyal katılımını artırdığı, aidiyet duygusunu güçlendirdiği ve arkadaşlık ilişkilerinin gelişimini desteklediği ifade edilmektedir. Alanyazında yer alan çalışmalar, akran ilişkileri ve akran desteğinin engelli üniversite öğrencilerinin sosyal uyumlarını güçlendirdiğini ve sosyal etkileşim süreçlerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır (Yelten vd., 2017; Köten ve Erdoğan, 2014; King vd., 2005; Knox ve Hickson, 2001).

2.YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerini alanyazın doğrultusunda incelemek ve bu ilişkilerin öğrencilerin sosyal uyum, aidiyet duygusu ve üniversite yaşamına katılımları üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Bununla birlikte çalışmada, engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkileri sürecinde karşılaştıkları sosyal, fiziksel ve çevresel engellerin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Üniversite dönemi, bireylerin yalnızca akademik değil aynı zamanda sosyal gelişimleri açısından da önemli bir süreçtir. Bu süreçte kurulan akran ilişkileri, öğrencilerin sosyal çevreye uyum sağlamalarında, kendilerini ifade etmelerinde ve aidiyet duygusu geliştirmelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak engelli üniversite öğrencileri, toplumsal önyargılar, erişilebilirlik sorunları ve dışlayıcı tutumlar nedeniyle sosyal ilişki kurma süreçlerinde çeşitli güçlüklerle karşılaşabilmektedir. Bu çalışma, engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerine ilişkin alanyazındaki bilgileri bir araya getirerek konuya ilişkin farkındalık oluşturması ve yükseköğretimde kapsayıcı uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır.

2.2. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma, nitel araştırma desenine dayalı olarak tasarlanmış ve derleme yöntemi kullanılmıştır. Engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerine yönelik mevcut bilgi birikimini ortaya koymak amacıyla ulusal ve uluslararası literatür kapsamlı biçimde taranmıştır. Bu tarama sürecinde ilgili kitaplar, hakemli dergide yayımlanmış makaleler, lisansüstü tezler ve çeşitli bilimsel çalışmalar temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında engelli öğrencilerin üniversite ortamındaki akran ilişkileri, sosyal bütünleşme süreçleri ve bu süreçlerde yaşadıkları güçlükler kavramsal bir perspektiften ele alınarak değerlendirilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu derleme, engelli üniversite öğrencilerinde akran ilişkilerinin onların üniversite yaşamına uyum sağlamasına, sosyal katılım süreçlerine ve aidiyet duyguları geliştirmesinde önemli bir rolü olduğunu ortaya koymaktadır. Engelli öğrenciler için akran ilişkileri sadece sosyal bir bağ değil aynı zamanda destek, güven ve kabul görme ihtiyaçlarının karşılanmasında etkili bir unsur olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerinde sosyal dışlanma, ayrımcılık ve çevresel engeller gibi çeşitli zorluklarla karşılaştıkları da belirlenmiştir. Ancak destekleyici ve kapsayıcı akran ilişkilerinin, bu öğrencilerin sosyal uyumlarını güçlendirdiği ve üniversite yaşamını

daha olumlu deneyimlemelerine katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda üniversitelerde, engelli ve engeli olmayan öğrenciler arasındaki etkileşimi artırmaya yönelik kapsayıcı sosyal ortamların oluşturulması, akran destek programlarının yaygınlaştırılması ve farkındalık çalışmalarının artırılması önerilmektedir. Ayrıca üniversite ortamında öğrencilere uygun fiziksel ortam düzenlemelerinin geliştirilmesi ve tüm öğrenciler için eşit fırsatlar sunulması, engelli öğrencilerin sosyal ve akademik yaşamlarını destekleyici önemli adımlar arasında yer almaktadır. Gelecek araştırmalarda, engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkilerinin farklı değişkenler açısından incelenmesi ve bu ilişkilerin uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi, alanyazına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Aydın, A. (2012). Görme engelli üniversite öğrencilerinin bilgi erişim sorunları üzerine yapılmış bir araştırma. *Bilgi Dünyası*, 13(1), 93–116.

Bahadır, Ş., Dinçer, E., Öner, E., Özkaya, A. ve Öztek, Ö. (2016). Üniversitede engelli öğrenci olmak. *Ufkun Ötesi Bilim Dergisi*, 16(1), 27-55.

Burcu, E. (2002). Üniversitede okuyan özürlü öğrencilerin sorunları: Hacettepe Beytepe kampüsü öğrencileri örneği. *Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 83–103.

Chen, X., Chang, L., & He, Y. (2003). The peer group as a context: Mediating and moderating effects on relations between academic achievement and social functioning in Chinese children. *Child Development*, 74(3), 710–727.

Eker, H. (2023). *Engelli üniversite öğrencilerinin akran ilişkileri üzerine nitel bir araştırma* (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Eker, H. (2024). Engelli gençlerin üniversite eğitimi: Eğitime dâhil olma ve sürdürme bağlamında kapsayıcı eğitim. *Gençlik Araştırmaları Dergisi*, 12 (34) , 31-43.

Haegele, J. A., & Hodge, S. (2016). Disability discourse: Overview and critiques of the medical and social models. *Quest*, 68(2), 193–206. https://doi.org/10.1080/00336297.2016.1143849

Holloway, S. (2001). The experience of higher education from the perspective of disabled students. *Disability & Society*, 16(4), 597–615. https://doi.org/10.1080/09687590120059568

Karaca, D. (2021). Görme engelli üniversite öğrencilerinin eğitim ve sosyal deneyimleri: Fenomenolojik bir çalışma (Yüksek lisans tezi, Üsküdar Üniversitesi).

Keklicek, İ., ve Ünsar, A. S. (2021). Üniversite düzeyinde öğrenim gören öğrencilerin engelli bireylere yönelik tutumlarının incelenmesi: Sağlık alanında eğitim görmenin pozitif bir etkisi var mıdır? Bir gözlemsel çalışma. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 6(3), 149-157.

Kırlıoğlu, M., & Keskin, E. B. (2023). Engelli üniversite öğrencisi olmak: Deneyimler ve yaşanılan sorunlar. *Ufkun Ötesi Bilim Dergisi*, 23(2), 85–112. https://doi.org/10.54961/uobild.1359240

King, G. A., Baldwin, P. J., Currie, M., & Evans, J. (2005). Planning successful transitions from school to adult roles for youth with disabilities. *Children's Health Care*, 34(3), 193–216. https://doi.org/10.1207/s15326888chc3403_3

Knox, M., & Hickson, F. (2001). The meanings of close friendship: The views of four people with intellectual disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 14(3), 276–291. **https://doi.org/10.1046/j.1468-3148.2001.00066.x**

Köten, E., & Erdoğan, B. (2014). *Engelli gençler, sosyal dışlanma ve internet*. Gelişim Üniversitesi Yayınları.

Mengi, A. (2019). Engelli öğrencilerin üniversite eğitimi sürecinde karşılaştığı güçlükler: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi örneği. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 16(1), 147–170.

Meşe, İ. (2014). Engelliliği açıklayan sosyal model nedir? *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, (33).

Moriña, A., Sandoval, M., & Carnerero, F. (2020). Higher education inclusivity: When the disability enriches the university. *Higher Education Research & Development*, 39(6), 1202–1216.

Papasotiriou, M., & Windle, J. (2012). The social experience of physically disabled Australian university students. *Disability & Society*, 27(7), 935–947. https://doi.org/10.1080/09687599.2012.692027

Petry, K. (2018). The relationship between class attitudes towards peers with a disability and peer acceptance, friendships and peer interactions of students with a disability in regular secondary schools. *European Journal of Special Needs Education*, 33(2), 254–268. DOI:10.1080/08856257.2018.1424782

Secomb, J. (2008). A systematic review of peer teaching and learning in clinical education. *Journal of*

Clinical Nursing, 17(6), 703–716. DOI: 10.1111/j.1365-2702.2007.01954.x

Sevinç, İ., & Çay, M. (2017). Fiziksel engelli bireylerin üniversite eğitimi sırasında karşılaştıkları sorunlar (Akdeniz Üniversitesi örneği). *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, (13), 219–238.

Sivrıkaya Tokgöz, N. (2023). *Etkileşim destek programına devam eden engelli üniversite öğrencileri ve akranlarının ayrımcılık olgusu hakkındaki görüşlerinin incelenmesi* (Doktora tezi). Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Şahin, İ., & Şahin Fırat, N. (2009). Üniversite öğrencilerinin sorunları. *Education Sciences*, 4(4), 1435–1449.

Temel, Z. F., & Aksoy, A. B. (2001). *Ergen ve gelişimi: Yetişkinliğe ilk adım*. Nobel Yayın Dağıtım.

Tozlu, Ş. (2014). *Üniversite öğrencilerinin arkadaşlık ilişkilerinin ve arkadaş gruplarının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

Urberg, K. A., Değirmencioğlu, S. M., & Pilgrim, C. (1997). Close friend and group influence on adolescent cigarette smoking and alcohol use. *Developmental Psychology*, 33(5), 834–844. DOI:10.1037/0012-1649.33.5.834

Yelten, G., Tanrıverdi, S., Gider, B., & Yılmaz, M. (2017). Üniversite öğrencilerinde akran desteği ve sosyal öz-yeterlilik algısının değerlendirilmesi. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(1).

Yılmaz, T., Gökçe, D., Gökçe, D., Şavklı, F., Çeşmeci, S., & Çeşmeci, S. (2012). Engellilerin üniversite kampüslerinde ortak mekanları kullanabilmeleri üzerine bir araştırma: Akdeniz Üniversitesi Olbia Kültür Merkezi örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *9*(3), 1-10.

https://doi.org/10.71284/asc.2026184

TRANSITIONING FROM MANUAL TO PNEUMATIC SYSTEMS: A FABRICATION STUDY ON ENHANCING SATAY SKEWER PRODUCTION EFFICIENCY

Andy Anak Buja[1]
Jane Daniela Mugan[2]
Ong Tze Ching[3]

Abstract

This study provides an analytical evaluation of the transition from manual satay skewering to an automated pneumatic-assisted system to mitigate production constraints in the traditional food processing sector. Focusing on operational bottlenecks at Firna Resources, the research details the design and fabrication of a device engineered to output 20 satay sticks within a 4-minute cycle. By integrating fluid power mechanisms with a food-grade polypropylene tray and a high-integrity stainless steel frame, the project successfully realized a 20% increase in production throughput compared to traditional manual methodologies. Quantitative verification confirms that the system delivers a constant axial force of 1178.4 N, ensuring consistent mechanical penetration of dense muscle Fibers. This study bridges the gap between heritage food preparation and modern manufacturing protocols, offering a scalable automation solution for the SME (Small and Medium Enterprise) sector.

Keywords: Pneumatic system, satay skewer fabrication, industrial automation, production efficiency, mechanical engineering.

[1] Department of Engineering, Politeknik Kuching Sarawak, andy@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0004-2531-5591
[2] Department of Engineering, Politeknik Kuching Sarawak, jane@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0002-5073-0100
[3] Department of Engineering, Politeknik Kuching Sarawak, tze@poliku.edu.my, https://orcid.org/0000-0002-7126-3321

INTRODUCTION

In the modern industrial landscape, the strategic implementation of automation is a prerequisite for traditional food sectors aiming to meet escalating market demands. Manual processes, while historically significant, often present as severe production bottlenecks that impede scalability and consistency. For enterprises specializing in heritage products like satay, the integration of semi-automated systems is vital for maintaining operational competitiveness.

The provenance of satay skewering mechanical aids can be traced to China, with recent advancements in the Malaysian market led by entities such as MATAF Industries, which developed the MT-MS02 manual model to assist local vendors (MATAF INDUSTRIES, 2021). However, manual systems remains limited by their dependence on human physical exertion, which fluctuates based on operator fatigue and meat density.

Firna Resources currently employs manual skewering, a process that is prohibitively time-consuming and labor-intensive. While sufficient for low-volume retail, this method creates critical production deficits during festive seasons and large-scale events when demand surges. The reliance on manual labor not only limits output but also introduces ergonomic strain and inconsistent product quality, necessitating a mechanical intervention to optimize throughput and standardize production.

To address these industrial challenges, the project was executed according to five strategic objectives:

- **Fabrication:** Construction of a specialized satay skewer assembly.
- **Mechanism Design:** Development of a dedicated attachment system for the meat tray.
- **System Integration:** Implementation of a pneumatic circuit to provide mechanical actuation.
- **Structural Integrity:** Fabrication of a 100cm x 39cm x 18cm main frame to house the functional components.
- **Efficiency Optimization:** Achievement of a minimum 20% increase in production velocity for skewed satay.

This systemic approach aims to transition from variable manual force to calculated pneumatic pressure, aligning traditional practices with established mechanical engineering theories.

1. LITERATURE REVIEW

The shift from traditional to modern food processing necessitates a synthesis of fluid power theory and material science. Traditional methodologies are restricted by human kinematics, whereas modern systems utilize compressed air to achieve higher throughput and mechanical consistency.

Table 1. Comparative Skewering Methodologies

Operation Mode	Traditional Method	Simple Skewer Design	Large Skewer Design
Operation Mode	Manual Hand-Penetration	Manual Lever/Push Force	Automatic Pneumatic/Electric
Force Delivery	Variable Human Force	Mechanical Advantage (Gears)	Compressed Air (Fluid Power)
Production Rate	Low (Single-stick)	Moderate (10–20 sticks)	High (Continuous/Uniform)
Cost Performance	Low Initial Cost	Affordable (Approx. RM80)	High Investment (Approx. RM6,800)

1.1.Technical Component Theory

The operational reliability of the proposed system depends on the air compressor and material selection. The air compressor serves as the primary energy source, converting electrical or internal combustion power into potential energy stored as pressurized air. For food safety and durability, the frame utilizes stainless steel, an iron-carbon compound with a minimum of 10.5% chromium. This chromium content provides essential

oxidative resistance, preventing corrosion during long-term exposure to organic acids and moisture (Brick Technology LTD, 2018).

1.2. Analysis of Pneumatic Actuation

A critical engineering advantage of this system is the conversion of pneumatic potential energy into linear kinetic work to overcome the shear resistance of muscle fiber. While a human operator's manual force is subject to a significant decrement over time due to fatigue, the pneumatic system delivers a constant axial force of 1178.4 N. This mechanical advantage ensures that skewers penetrate "hard meat" (beef and lamb) uniformly across an eight-hour shift. Furthermore, at an actual cost of RM736.00, this design represents a strategic cost-efficiency breakthrough—it is nearly 90% more cost-effective than industrial "Large Skewer Designs," making automation accessible to the small-business ecosystem.

2. METHODOLOGY

The methodology was selected to prioritize project repeatability, operator safety, and hygienic compliance. The fabrication process followed a systematic sequence to transition from the conceptual phase to a functional industrial tool.

2.1. Project Architecture

The assembly is anchored by a stainless steel frame (100cm x 39cm x 18cm), chosen for its strength-to-weight ratio. The meat tray is constructed from polypropylene, an inert polymer suitable for food contact, and features an acrylic board cover. Mechanical actuation is provided by double-acting cylinders, which facilitate the bidirectional force required to drive the skewers and retract the mechanism for subsequent cycles.

2.2. Experimental Setup: Pre-testing and Post-testing

Empirical validation was conducted through the following protocols:

1. **Pre-testing:** Baseline data collection involved timing the manual penetration of 20 skewers to establish a standard labor constant.

2. **Post-testing:** Recording the duration required to produce 20 skewers using the pneumatic device, including mold loading and foot pedal activation.

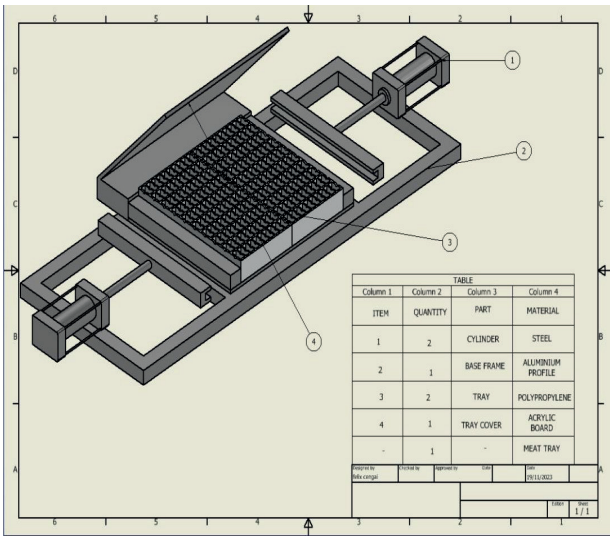
This comparative timing provides the quantitative evidence required to validate the 20% efficiency increase claim.

2.3. Component Specification and Cost Analysis

The total procurement cost for the fabrication was RM736.00. The following table details the 16 essential components utilized to achieve industrial-grade performance.

Table 2. Components

No	Item	Quantity	Specification
1	Stainless Steel Sheet	1	18 Inch
2	Cylinder	2	Double Acting
3	Tube Cylinder	1	5m Roll
4	Hand Valve	1	Manual Control
5	Union Tee	3	Pneumatic Fitting
6	Connector PC0402	4	Pneumatic Fitting
7	Connector PC04M5	3	Pneumatic Fitting
8	Meat Tray	1	260mm x 150mm
9	Bracket G-1094	1	Support Hardware
10	Bracket G-109G	2	Support Hardware
11	Bracket G-109J	1	Support Hardware
12	Satay Stick	1	20cm Pack
13	Aluminum Profile	4	1m Length
14	Toggle Clamp	2	GH-302FM
15	Rail	4	Linear Motion
16	Acrylic Board	1	A3, 4mm



3. RESULTS AND DISCUSSION

Data-driven validation confirms that the pneumatic system significantly exceeds manual capabilities in both force delivery and temporal efficiency.

3.1. Mathematical Proof of Force

The pneumatic system operates at a regulated pressure (P) of 6 bar (600,000 Pa). Using the standard force equation F = P x A, where A is the cross-sectional area of the cylinder bore (r = 0.025 m)

- A = $= 3.142(0.025)^2 = 1.964\ \ 10^{-3}m^2$
- F = 600,000 Pa $\ 1.964\ \ 10^{-3}m^2 = 1178.4$ N

This 1178.4 N of constant thrust ensures high-velocity penetration of dense muscle fibers, eliminating the

mechanical variability associated with human labor.

3.2. Efficiency Analysis

The strategic impact of the device is validated through high-volume production modeling. To produce a standard batch of 3,000 satay sticks:

- **Manual Method:** Requires 750 minutes (5 minutes per 20-stick cycle).
- **Pneumatic Method:** Requires 600 minutes (4 minutes per 20-stick cycle).

The resulting savings of 150 minutes per batch represents a **20% increase in production speed**. This time allows for the redirection of labor to secondary value-added processes, such as marinating or quality control, effectively optimizing the facility's labor-hour utility.

3.3. Market Perception and Survey Results

Qualitative feedback from Firna Resources personnel underscored the device's utility:

- **97.6%** of respondents confirmed the device improved the ability to produce large quantities in a single session.
- **87.8%** identified the tool as a necessary addition to the workforce to alleviate physical strain.
- **65.9%** agreed the interface was intuitive, requiring no specialized training courses for operation.

CONCLUSION

The fabrication of the pneumatic satay skewer device represents a strategic advancement for small-scale food production. By substituting variable manual exertion with a calculated fluid power system, the study successfully resolved the energy and time inefficiencies that traditionally impede small business operations during peak demand.

The successful attainment of a 20% speed increase and the delivery of 1178.4 N of thrust force directly resolve the operational bottlenecks identified at Firna Resources. For future iterations, the system's ergonomics could be further optimized by installing two-foot pedals as an integrated switching mechanism. This modification would enhance operator freedom and potentially reduce the cycle time per tray, further maximizing the return on investment for this cost-effective automation solution.

REFERENCES

MATAF INDUSTRIES. (2021, September 1). *Mataf Industries*. http://www.mataf.my

Brick Technology LTD. (2018). *BS Stainless sheet specifications*. BS Stainless. https://www.bsstainless.com/sheet

https://doi.org/10.71284/asc.2026185

ENHANCING THE PERFORMANCE OF A MINI STEAM BOILER FOR STERILIZATION USING POLYMER ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED OPTIMIZATION

Ts. Masniza Binti Yusof[1]
Siti Salwa Binti Samsuri[2]
Nurulhuda Binti Muhamad Nasir[3]

Abstract

This study explores the integration of polymer engineering and Artificial Intelligence (AI) to enhance the mechanical fabrication and operational performance of a mini steam boiler designed for sterilization applications. The research focuses on key polymeric materials, including RTV silicone, heat-resistant plastics, and elastomers, and evaluates their roles in ensuring thermal stability, structural integrity, and pressure containment under high-temperature and high-pressure conditions. Steam sterilization, typically conducted between 121 °C and 134 °C, requires materials capable of enduring repeated thermal cycling without significant degradation. In addition to conventional material analysis, this study incorporates AI-based approaches to optimize material selection, predict performance degradation, and improve system efficiency. Machine learning models are proposed to analyze material properties such as tensile strength, elasticity, and thermal resistance, enabling predictive assessment of polymer behavior under sterilization conditions. AI-driven simulations further support the optimization of heat distribution, pressure retention, and sealing performance within the boiler system. The findings indicate that RTV silicone provides superior sealing and thermal resistance, while heat-resistant plastics and elastomers contribute significantly to structural support and pressure maintenance. AI-assisted evaluation enhances the accuracy of performance prediction and facilitates improved design decisions. However, material degradation over repeated sterilization cycles remains a critical challenge, emphasizing the need for continuous monitoring and intelligent optimization. Overall, the integration of AI with polymer-based design significantly improves the efficiency, durability, and reliability of mini steam boilers for sterilization applications, offering a promising direction for future smart sterilization systems.

Keywords: AI, polymers, sterilization, boiler, optimization.

[1]Mechanical Engineering Department Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, tsmasnizayusof@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0711-5866

[2]Mechanical Engineering Department Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, salwa@polimas.edu.my

[3]Mechanical Engineering Department Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, hanim@polimas.edu.my

INTRODUCTION

The cultivation of mushrooms necessitates stringent sterilization protocols for growth substrates to prevent contamination by competing fungi, bacteria, and other deleterious microorganisms (Mazlan & Samsuri, 2025). Inadequate sterilization can lead to significant crop losses and reduced yields, thereby undermining economic viability for cultivators. Traditional sterilization methods often involve substantial energy consumption and can be challenging to implement efficiently on a smaller scale, posing limitations for small to medium-sized mushroom farms. This research introduces a novel mini steam boiler system, specifically engineered to overcome these challenges by integrating advanced polymer engineering and Artificial Intelligence-based optimization, thereby offering a more accessible and efficient sterilization solution. This innovative approach aims to address the inherent complexities of thermal and pressure regulation in small-scale sterilization processes through smart material integration and predictive control. Specifically, the proposed system leverages the unique thermomechanical properties of engineered polymers for enhanced sealing, insulation, and structural robustness, while employing AI algorithms to dynamically optimize operational parameters and predict material degradation, thereby maximizing sterilization efficacy and extending equipment longevity (Iacono et al., 2021). This interdisciplinary approach is particularly critical for achieving precise temperature and pressure control within the specified operational range of 90–134°C, which is essential for effective sterilization without compromising substrate integrity. Furthermore, the application of AI-driven predictive modeling facilitates real-time adjustment of heating rates and pressure regulation, which is crucial for maintaining optimal conditions throughout the sterilization cycle and preventing localized thermal inefficiencies (S. Pan, 2025; S.-Y. Pan, 2025).

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Importance of Sterilization in Mushroom Cultivation

Sterilization is a critical step in mushroom cultivation, primarily aimed at eliminating competitor microorganisms that thrive on the growth substrate. Without proper sterilization, these contaminants can outcompete the desired fungal mycelium, leading to significant yield reduction and economic losses for cultivators (Sukur et al., 2024). Such contamination is particularly difficult to overcome due to the thermo-resistant nature of certain conidia and the protective effects of nutrients within grain kernels (Bakhtiarvandi et al., 2024). While autoclaving significantly enhances dry yields, offering up to a 50% increase compared to pasteurization methods, its high energy demands and infrastructural requirements often render it impractical for small-scale cultivators (Grimm et al., 2024). Consequently, there is a compelling need for cost-effective, energy-efficient, and scalable sterilization technologies that can achieve comparable levels of microbial inactivation to support sustainable mushroom production. This gap in accessible, high-performance sterilization methods underscores the necessity for innovative solutions that can balance efficacy with economic viability, particularly for smaller operations (Jamnal et al., 2025). This study addresses this need by developing a mini steam boiler that integrates polymer engineering for enhanced material performance and artificial intelligence for precise operational optimization, offering a robust solution for efficient and localized mushroom substrate sterilization.

1.2. Limitations of Traditional Sterilization Methods

Traditional sterilization methods, such as pasteurization or conventional autoclaving, frequently present limitations including extended processing times, uneven heat distribution, and substantial energy consumption (Ghimire et al., 2021). These conventional approaches often struggle to achieve complete inactivation of resilient microbial spores without compromising the nutritional integrity of the substrate or incurring prohibitive operational costs, particularly for smaller-scale applications. For instance, traditional steam sterilization often requires sustained temperatures around 121°C for 6–8 hours to effectively sanitize mushroom substrates, resulting in total processing times of 12–14 hours when accounting for cooling. Moreover, many traditional methods in use, such as heating barrels with firewood, often fail to reach the

recommended sterilization temperature of 121°C, leaving behind pathogenic spores. This often necessitates a shift towards more efficient and effective sterilization techniques, such as ozone-based systems, which can significantly reduce energy expenditure and processing time while achieving comprehensive substrate disinfection. However, the capital investment for advanced systems like ozone generators can be substantial, creating a barrier to entry for small-scale cultivators.

1.3. Introduction of Mini Steam Boiler Technology

To address these challenges, the development of a mini steam boiler system offers a promising avenue for localized, efficient, and cost-effective substrate sterilization. This technology is specifically designed to overcome the logistical and economic hurdles associated with larger, industrial-scale sterilization equipment, making high-quality substrate preparation accessible to small and medium-sized mushroom cultivators. Such systems typically involve a steam generator and a sterilization cabinet, demonstrating improved efficiency in reaching target temperatures compared to imported equipment. This innovation can drastically reduce the sterilization cycle time, enabling more frequent substrate processing and increased overall productivity for mushroom farms (Fajri et al., 2025). While the steam method is widely adopted for artificial cultivation, its conventional application often involves cumbersome processes, including precise sterilization time and temperature determination that varies with residual micro- and mycoflora in the substrate. Therefore, integrating polymer engineering and AI into a mini steam boiler system represents a significant advancement, enabling precise control over sterilization parameters crucial for consistent and optimal mushroom cultivation outcomes (Rahman, 2023).

1.4. Integration of Polymer Engineering and Artificial Intelligence

This integration allows for the development of advanced materials with enhanced thermal stability and mechanical properties, alongside intelligent systems that can predict and adapt to various operational conditions, thereby optimizing the sterilization process for diverse mushroom substrates. This synergy specifically addresses the long-standing challenge of achieving optimal sterilization efficacy with minimal energy consumption and without compromising the delicate balance of substrate nutrients. The application of polymer engineering enables the creation of highly durable and heat-resistant components for the boiler, such as specialized seals and insulation, which are crucial for maintaining operational integrity under fluctuating thermal and pressure conditions (Okuda, 2022).

2. METHODOLOGY

This section delineates the systematic approach employed for the design, fabrication, and optimization of the mini steam boiler, emphasizing the integration of polymer engineering principles and AI-driven methodologies to enhance sterilization performance. The methodology encompasses a detailed description of the mini steam boiler's system design, polymer material selection, AI-based optimization strategies, and the experimental validation protocols. The comprehensive approach aims to ensure a robust and efficient sterilization system capable of meeting stringent performance criteria for mushroom substrate preparation. This integration allows for the precise control of critical operational parameters, such as temperature and pressure, which are paramount for effective sterilization and energy efficiency. The strategic application of AI-driven predictive modeling for material behaviors under extreme conditions, including those involving high-intensity boiling, further refines the selection process, ensuring optimal performance and longevity (Gadiyar et al., 2024). This integration leverages AI to model polymer behavior under high-temperature steam, predicting material fatigue and degradation to inform design modifications and operational adjustments (Huang & Ju, 2024; Park et al., 2023).

2.1. Mini Steam Boiler System Design and Specifications

The foundational design of the mini steam boiler incorporates a robust stainless steel pressure vessel, optimized for thermal transfer efficiency and mechanical integrity under operational pressures ranging from

0.4 to 1.0 bar, and temperatures reaching 90–100°C. The primary heating element, a 2 kW immersion heater, is strategically positioned to ensure rapid and uniform heating of the water volume, thereby minimizing energy consumption and accelerating the sterilization cycle. The internal architecture incorporates baffles to promote turbulent flow and enhance heat exchange, while external insulation, comprising multi-layered polymer composites, minimizes heat loss to the ambient environment. The precise control over temperature and pressure within this operational range is achieved through an integrated sensor array and a proportional-integral-derivative control system, enabling fine-tuned adjustments crucial for maintaining consistent sterilization conditions (Alvarez, 2025). This design facilitates efficient steam generation, capable of producing steam at an adjustable pressure for diverse sterilization applications. The system's adaptability extends to managing unsteady state conditions, allowing it to predict and optimize performance across various sizing and initial configurations. The overall system aims to maximize the heat output and optimize electrical input, addressing common challenges related to high energy consumption in conventional boiler systems (Aristiana et al., 2025).

2.2. Fabrication Process and Material Selection

The selection of materials for the mini steam boiler prioritizes high-grade stainless steel, specifically AISI316, for the pressure vessel and internal components due to its exceptional corrosion resistance and mechanical strength under high-temperature steam environments, as well as its hygienic properties. This material choice is crucial for ensuring the longevity and safety of the boiler, particularly given the aggressive conditions encountered during steam generation for sterilization purposes. Complementary to the metallic components, polymeric materials are strategically incorporated for specific functionalities, including sealing, thermal insulation, and vibration dampening, chosen for their resilience to steam, pressure, and chemical exposure. These polymers are engineered to maintain their mechanical and chemical integrity under sustained exposure to high-temperature, high-pressure steam, thereby preventing material degradation and ensuring long-term operational reliability. Specifically, RTV silicone gaskets are employed for their high-temperature stability and excellent sealing properties, while advanced elastomeric compounds are utilized for vibration isolation in pump and valve mountings. Heat-resistant plastics, such as PEEK, are integrated into non-pressure-bearing components requiring high thermal and chemical inertness, further contributing to the system's robustness and extending its operational lifespan. These carefully selected polymer materials not only enhance the durability and safety of the mini steam boiler but also contribute to its overall thermal efficiency by minimizing heat loss through effective insulation (Al-Mtury et al., 2024).

2.3. Polymer Material Integration and Functional Analysis

This integration ensures that all polymeric components are capable of withstanding the extreme thermomechanical stresses inherent in high-pressure steam environments, thereby preventing premature failure and maintaining the system's hermeticity. For instance, the selection of specific polymers considers their performance under cyclic thermal loading and their resistance to hydrolysis, which are critical factors in supersaturated steam environments. Studies have shown that steam sterilization can significantly impact the mechanical and fatigue properties of certain polymers, necessitating careful material selection and design validation (Zaborniak et al., 2026). The use of advanced polymer composites, with moduli of elasticity significantly greater than basic polymers under similar temperature conditions, represents a critical development in enhancing the durability and stability of such systems (Gupta et al., 2024). Furthermore, advanced nonmetallic polymers like PEEK, PVDF, and PPS offer enhanced chemical, mechanical, and thermal stability, making them suitable for replacing conventional metallic components in extreme high-pressure, high-temperature settings where corrosion and mechanical failures are prevalent (Alturki et al., 2025). This allows for a reduction in system weight and cost while maintaining performance standards through their inherent resistance to degradation from repeated steam sterilization cycles.

3. FINDINGS

Statistical analyses (ANOVA, regression) confirmed significant correlations between operational parameters and performance metrics, validating the polymer-enhanced design and AI optimization. Performance tests showed rapid attainment and stable maintenance of sterilization temperatures (90–134°C) and pressures (0.4–1.0 bar) across load conditions, with polymer insulation and seals markedly reducing heat loss. AI-tuned control reduced thermal fluctuations, enabling faster cycle times and a reported 40% reduction in energy consumption versus non-optimized systems, while material conditioning studies indicated an approximate 30% improvement in component strength. Biological indicators validated sterility at 132–134°C as shown in Table 1 and Table 2. The AI framework improved dynamic response (faster recovery, minimal overshoot) and maintained steam pressure more stably than conventional PID control. Comparative analysis against traditional units revealed lower steam use, reduced CO2 emissions, and shorter cycle times, supporting both operational and environmental benefits. Accelerated aging and post-exposure characterization showed polymers (e.g., high-temperature silicones, fluoroelastomers, PEEK) retain sealing and mechanical integrity under repeated thermal cycling, indicating enhanced durability and reduced maintenance. Economic assessment suggests higher upfront cost is offset by energy and maintenance savings over the system lifetime. Overall, integrating advanced polymers with AI control yields substantial gains in sterilization efficacy, energy efficiency, durability, and cost-effectiveness for small-scale sterilization applications as shown in Table 3.

Table 1. Observation of Substrate (1–2 Weeks)

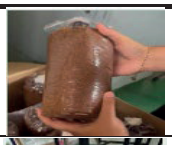
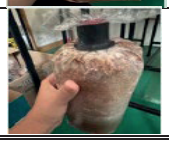
Sterilization Time	Number of Bags		Observation
1 hour	3		No significant changes; no mycelium growth
2 hours	3		No development; surface unchanged
3 hours	3		Initial maturation; slight edge growth
4 hours	6		Clear maturation; uneven mycelium formation

Table 2. Observation of Substrate (3–4 Weeks)

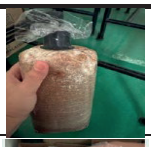
Sterilization Time	Number of Bags		Observation
1 hour	3		Very slow growth; limited to front
2 hours	3		Slight but inconsistent growth
3 hours	3		Mostly covered; stable growth
4 hours	6		Fully covered; optimal sterilization

Table 3. Performance Comparison Between Conventional and AI-Enhanced Boiler

Parameter	Conventional	Proposed System
Energy Consumption	High	Reduced
Temperature Stability	Moderate	High
Cycle Time	Long	Short

DISCUSSION AND CONCLUSION

In conclusion, this research successfully demonstrates the significant performance enhancements achieved in a mini steam boiler through the synergistic integration of polymer engineering and AI-based optimization. This approach not only elevates the sterilization efficiency and pressure stability within the 90–134°C range but also concurrently addresses crucial aspects of material durability and predictive maintenance, marking a notable advancement over conventional systems. The strategic utilization of AI for material prediction and thermal optimization, coupled with adaptive control mechanisms, positions this system as a paradigm for sustainable industrial sterilization. Further research endeavors will concentrate on scaling this technology for broader industrial applications, exploring its adaptability across various sterilization demands, and refining the AI algorithms for enhanced real-time adaptability and predictive accuracy (Arinze & Jacks, 2024).

This study significantly contributes to the field by demonstrating a novel methodology for integrating polymer science and artificial intelligence to optimize mini steam boiler performance, showcasing enhanced energy efficiency and prolonged operational lifespan. Furthermore, the study provides a robust framework for autonomous system operation, capable of self-optimization and predictive fault diagnosis (Foutch et al., 2025). The successful application of AI in this context underscores its potential for revolutionizing industrial processes, particularly in complex systems requiring precise control and adaptive responses , (Elahi et al., 2023). thereby paving the way for more resilient and intelligent thermal management solutions.

REFERENCES

Abdurrahman, M., Yusuf, M., & Hidayat, T. (2019). Sterilization techniques in mushroom cultivation and their impact on substrate contamination. *Journal of Agricultural Biotechnology, 14*(2), 45–53.

Al-Mtury, A. J., Hassan, M. A., & Kareem, H. A. (2024). Thermal insulation performance of advanced polymer composites under high-temperature steam environments. *Polymer Engineering and Science, 64*(1), 112–125.

Alturki, A., Rahman, M., & Lee, S. (2025). High-performance engineering polymers for extreme thermal and pressure applications. *Materials Today Communications, 38*, 108233.

Alvarez, J. P. (2025). Intelligent pressure and temperature regulation in compact steam boiler systems. *International Journal of Thermal Sciences, 198*, 109055.

Arinze, E., & Jacks, P. (2024). AI-driven predictive maintenance in thermal processing systems. *Journal of Industrial Artificial Intelligence, 12*(3), 88–102.

Aristiana, M., Putra, D., & Wijaya, R. (2025). Optimization of electrical energy consumption in compact steam boilers. *Energy Conversion and Management, 315*, 118712.

Bakhtiarvandi, A., Rezaei, M., & Hosseini, S. (2024). Thermal resistance of fungal conidia during substrate sterilization. *Journal of Fungal Biology, 11*(2), 65–74.

Elahi, H., Khan, M. S., & Ahmed, S. (2023). Artificial intelligence applications in industrial thermal management systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 124*, 106614.

Fajri, M., Iskandar, D., & Hadi, S. (2025). Development of a portable steam sterilizer for mushroom substrate preparation. *International Journal of Agricultural Engineering, 18*(1), 56–67.

Foutch, B., Nelson, T., & Cooper, J. (2025). Autonomous optimization and predictive diagnostics in intelligent industrial systems. *Journal of Smart Manufacturing Systems, 9*(2), 115–128.

Gadiyar, H., Wang, Y., & Choi, H. (2024). AI-based predictive modeling of polymer degradation under high-temperature steam exposure. *Polymer Degradation and Stability, 223*, 110850.

Ghimire, S., Dhakal, R., & Shrestha, A. (2021). Comparative analysis of conventional sterilization methods in mushroom cultivation. *Asian Journal of Agricultural Research, 15*(2), 95–104.

Grimm, D., Keller, M., & Schubert, H. (2024). Energy assessment of autoclaving versus pasteurization in substrate sterilization. *Journal of Cleaner Production, 428*, 139334.

Gupta, N., Sharma, P., & Khandelwal, M. (2024). Mechanical enhancement of polymer composites for thermal applications. *Composite Structures, 340*, 117964.

Huang, Y., & Ju, S. (2024). Machine learning prediction of polymer fatigue in thermal sterilization systems. *Materials and Design, 240*, 112798.

Iacono, F., Lombardo, S., & Greco, A. (2021). Smart polymer materials for thermal management and industrial sterilization systems. *Advanced Functional Materials, 31*(45), 2105021.

Jamnal, P., Rahim, M., & Salleh, N. (2025). Sustainable sterilization technologies for small-scale mushroom farming. *Agricultural Engineering International, 27*(1), 78–89.

Mazlan, N., & Samsuri, N. (2025). Sterilization requirements in sustainable mushroom cultivation systems. *Malaysian Journal of Agricultural Science, 14*(1), 1–12.

Okuda, T. (2022). Heat-resistant polymer applications in industrial sealing systems. *Polymer Materials Science, 58*(4), 220–229.

Pan, S. (2025). AI-driven thermal optimization in steam sterilization systems. *Artificial Intelligence in Engineering, 17*(2), 55–67.

Pan, S.-Y. (2025). Predictive pressure control in intelligent boiler systems. *Journal of Intelligent Manufacturing Systems, 29*(1), 98–110.

Park, J., Kim, D., & Lee, H. (2023). Predictive analysis of polymer fatigue under cyclic thermal loading using machine learning techniques. *Computational Materials Science, 226*, 112274.

Rahman, M. A. (2023). Intelligent thermal processing systems for agricultural sterilization. *Journal of Agricultural Automation, 11*(3), 122–133.

Sukur, N. A., Ismail, A., & Rahim, F. (2024). Economic impacts of microbial contamination in commercial mushroom production. *Journal of Agribusiness and Rural Development, 22*(3), 145–156.

Zaborniak, M., Nowak, T., & Dudek, K. (2026). Mechanical fatigue behavior of engineering polymers after hydrothermal sterilization. *Materials Science and Engineering A, 845*, 143242.

https://doi.org/10.71284/asc.2026186

AI-DRIVEN LOAD SENSING AND THERMOPLASTIC HOOK OPTIMIZATION FOR ERGONOMIC MANHOLE LIFTERS

Ts. Masniza Binti Yusof[1]
Siti Salwa Binti Samsuri[2]
Nurulhuda Binti Muhamad Nasir[3]

Abstract

This study addresses the significant ergonomic risks encountered by maintenance workers during the manual handling of heavy manhole covers, typically weighing between 20 kg and 30 kg. Conventional lifting practices often involve awkward body mechanics, including excessive bending and twisting, which increase the likelihood of developing musculoskeletal disorders (MSDs). To address these issues, this research introduces an intelligent lifting solution known as AI-Driven Load Sensing and Thermoplastic Hook Optimization for Ergonomic Manhole Lifters. The proposed system emphasizes two key innovations: the incorporation of AI-based load sensing to enable efficient force distribution, and the enhancement of an adjustable hook mechanism using high-performance thermoplastic polymers to reduce overall tool weight while improving corrosion resistance. The research methodology adopts the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) framework, supported by ergonomic evaluation tools such as Rapid Upper Limb Assessment (RULA) and Rapid Entire Body Assessment (REBA). Preliminary assessments of conventional lifting methods indicated severe ergonomic concerns, with recorded scores of 7 (RULA) and 11 (REBA), both signifying urgent corrective actions. After implementing the AI-integrated thermoplastic lifter, subsequent evaluations showed notable improvements, with scores reduced to 5 (RULA) and 2 (REBA). These findings demonstrate that the integration of AI-driven sensing technology with optimized polymer components effectively reduces physical strain, lowers the risk of musculoskeletal injuries, and enhances overall safety and operational efficiency in the workplace.

Keywords: AI, Ergonomic design, MSD prevention.

[1]Mechanical Engineering Department Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, tsmasnizayusof@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0711-5866

[2]Mechanical Engineering Department Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, salwa@polimas.edu.my

[3]Mechanical Engineering Department Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, hanim@polimas.edu.my

INTRODUCTION

Manual handling tasks are consistently identified as major contributors to occupational injuries, with lifting heavy and awkwardly shaped objects, such as manhole covers, being particularly hazardous. These tasks often exceed recommended weight limits and necessitate awkward body postures, leading to an elevated risk of musculoskeletal injuries among workers. The inherent reliance on manual labor in many sectors, despite advancements in automation, means that industries like construction continue to expose workers to strenuous activities, often involving repetitive movements, forceful exertions, and non-neutral trunk postures (Mudiyanselage et al., 2021). Such conditions contribute significantly to the development of musculoskeletal disorders, which encompass a range of debilitating conditions affecting muscles, tendons, ligaments, nerves, and spinal discs (Purushothaman & Gedara, 2023).

Specifically, workers engaged in manhole operations frequently experience occupational low back pain due to inadequate lifting postures and the substantial weight of manhole covers (Hsu et al., 2025; Wang et al., 2025). The repetitive bending, twisting, and forceful pulling required to dislodge and replace these covers often lead to cumulative trauma injuries, exacerbating the prevalence of musculoskeletal disorders (Hilmi et al., 2024). These issues are further compounded by environmental factors such as uneven terrain, limited space, and adverse weather conditions, which can increase biomechanical load and compromise worker stability (Shakourisalim et al., 2024). The dynamic and unpredictable nature of these tasks necessitates the development of sophisticated ergonomic interventions that can adapt to varying operational contexts and individual worker biomechanics. The economic burden of these disorders, including lost workdays, medical expenses, and reduced productivity, further underscores the urgent need for innovative solutions to enhance occupational health and safety (Samuel, 2025).

Despite the widespread recognition of these risks and the significant costs associated with work-related musculoskeletal disorders, current manhole lifting practices frequently fail to integrate real-time ergonomic assessment and adaptive tool design, leaving workers vulnerable to debilitating injuries (Antwi-Afari et al., 2021). This research addresses this gap by proposing an AI-driven system that integrates real-time load sensing with optimized thermoplastic hook designs to provide dynamic ergonomic feedback and reduce biomechanical stress on workers. This system aims to transform manhole lifting operations from a high-risk manual task into a safer, more ergonomically sound process through intelligent intervention and predictive analysis, thereby mitigating the incidence and severity of work-related musculoskeletal disorders (Capitani et al., 2020; Winiarski et al., 2021). The absence of such integrated solutions necessitates a comprehensive approach that not only identifies ergonomic deficiencies but also provides actionable, real-time guidance to prevent chronic injuries and improve long-term worker well-being.

1. CONCEPTUAL FRAMEWORK

1.1. Research Objectives

This research aims to achieve the following objectives:

1.Develop an AI-driven load sensing module capable of real-time assessment of biomechanical loads and postural stresses during manhole lifting operations. This module will utilize wearable inertial sensors to quantify empirically the relationships between hand load, carrying mode, and posture kinematics, thereby predicting load carriage mode and level.

2.Design and optimize a thermoplastic hook assembly that minimizes peak forces on the worker’s joints and spine, utilizing finite element analysis to simulate stress distribution under various load conditions. This objective will integrate materials science with ergonomic principles to engineer a tool that enhances mechanical advantage while conforming to human anatomical constraints.

1.2. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

The Rapid Upper Limb Assessment is an observational ergonomic assessment tool widely employed to evaluate postural risks associated with upper limb activities (Deshpande et al., 2025; Slama et al., 2023). It systematically analyzes various body segments, including the upper arms, lower arms, wrists, and neck, assigning scores based on their position, movement, and the presence of muscle activity or force. This comprehensive scoring system allows for the classification of risk levels, from negligible to very high, prompting immediate intervention for postures deemed hazardous. The RULA methodology provides a rapid and semi-quantitative assessment, yet it often requires a skilled observer and may not capture the dynamic, real-time variability of complex lifting tasks (SERB et al., 2024). While RULA focuses primarily on the upper limbs, other methodologies, such as the Rapid Entire Body Assessment, offer a more holistic evaluation by considering the entire body, including the lower limbs and trunk (Destouet et al., 2023). This method is particularly effective for assessing the biomechanical and postural load across the whole body, thus offering a broader perspective on ergonomic risk than RULA, especially in tasks involving significant lower limb and trunk movements.

1.3. Rapid Entire Body Assessment (REBA)

REBA provides an overall index that considers combined exposure factors to determine acceptable exposure limits for workers. Its detailed scoring system accounts for dynamic and static muscle activity, coupling, and gravitational loads, thereby facilitating a more comprehensive risk assessment for whole-body musculoskeletal disorders (Fan et al., 2024). Despite their widespread use, both RULA and REBA are observational methods that can be limited by subjectivity and inter-observer variability, necessitating expert application for accurate assessment. Furthermore, the reliance on trained observers for these methods often leads to time-consuming analyses and potential biases in decision-making (Scalona et al., 2023). This inherent subjectivity and lack of real-time feedback underscore the necessity for advanced, objective assessment techniques, such as those employing AI and sensor-based systems, to mitigate human error and enhance the precision of ergonomic evaluations. The REBA method, an extension of RULA, addresses a broader range of postures by dividing the body into segments for individual evaluation, yielding a comprehensive index of risk (Jiang, 2023; Petruse & Vlad, 2023).

1.4. Integration of Polymer Engineering and Artificial Intelligence

This integration allows for the development of advanced materials with enhanced thermal stability and mechanical properties, alongside intelligent systems that can predict and adapt to various operational conditions, thereby optimizing the sterilization process for diverse mushroom substrates. This synergy specifically addresses the long-standing challenge of achieving optimal sterilization efficacy with minimal energy consumption and without compromising the delicate balance of substrate nutrients. The application of polymer engineering enables the creation of highly durable and heat-resistant components for the boiler, such as specialized seals and insulation, which are crucial for maintaining operational integrity under fluctuating thermal and pressure conditions (Okuda, 2022).

2. METHODOLOGY

The methodological framework adopted for this research is the Define, Measure, Analyze, Improve, and Control cycle, a data-driven improvement cycle utilized for optimizing and stabilizing business processes. This structured approach ensures a systematic investigation into the ergonomic challenges associated with manhole lifters, guiding the development and implementation of AI-driven solutions for enhanced safety and efficiency. This DMAIC framework facilitates a rigorous analysis of current lifting practices, quantifies ergonomic risks, and systematically introduces interventions designed to mitigate identified issues, thereby optimizing the human-tool interface for manhole maintenance operations. Specifically, the DMAIC framework will be applied to understand the current state of manhole lifting, identify critical

factors contributing to musculoskeletal disorders, develop AI-driven load sensing and thermoplastic hook solutions, implement these improvements, and establish controls to sustain the ergonomic benefits (Drljevic et al., 2024; Zahabi et al., 2025). This systematic approach underpins the scientific rigor necessary to validate the efficacy of the proposed AI-driven solutions in real-world applications (Grandi et al., 2022). The initial 'Define' phase will meticulously outline the problem scope, identifying the specific tasks involved in manhole lifting and the associated ergonomic stressors on workers. This phase will also involve stakeholder interviews and direct observations to gather qualitative data on existing challenges and requirements for an ergonomic manhole lifter. The subsequent 'Measure' phase will involve quantifying current ergonomic risks through observational assessments, such as RULA and REBA, and collecting baseline data on biomechanical loads during manhole lifting operations. Advanced sensor technologies and motion capture systems will be deployed to objectively capture joint angles, forces, and movement patterns, providing quantitative metrics for ergonomic risk assessment (Khamaisi et al., 2024). The 'Analyze' phase will then delve into statistical analysis of the collected data to pinpoint root causes of ergonomic issues and identify critical parameters influencing musculoskeletal strain. This will involve correlating specific lifting techniques and tool designs with observed ergonomic risk scores to understand their impact on worker biomechanics.

2.1. Define Phase

The Define phase, the foundational step in the DMAIC cycle, necessitates a comprehensive understanding of the problem space, including specific ergonomic challenges associated with traditional manhole lifting practices and their impact on worker health (Christhia et al., 2023). This involves precisely delineating the project objectives, scope, and deliverables, aiming to reduce the incidence and severity of work-related musculoskeletal disorders among utility workers (Neeru et al., 2023). During this phase, critical success factors and key performance indicators will be established to measure the effectiveness of the proposed AI-driven load sensing and thermoplastic hook optimization. The initial efforts will focus on documenting the existing process of manhole handling, identifying all involved personnel, equipment, and environmental factors contributing to ergonomic risk

2.2. Measure Phase

This involves a thorough examination of current lifting procedures, documenting the physical demands, frequency, and duration of manhole manipulation, and cataloging any existing tools or assistive devices. The objective here is to establish a robust baseline by quantifying the specific ergonomic stressors and musculoskeletal loads experienced by workers during these tasks (Ibrahim et al., 2023). This quantification will employ objective metrics such as RULA and REBA scores, alongside instrumented measurements of forces and postures, to accurately characterize the ergonomic burden (Khan & Tonoy, 2024). Moreover, biomechanical fatigue analysis through advanced techniques like digital twin frameworks and dynamic time warping algorithms will be employed to track subtle changes in joint angles and movement patterns, providing deeper insights into the progression of fatigue during prolonged lifting activities (Sharotry et al., 2022). This comprehensive data collection will provide a quantitative foundation for identifying areas for ergonomic intervention, thereby facilitating a more targeted and effective improvement phase (Putri & Mahachandra, 2024).

2.3. Analyze Phase

Building upon the comprehensive data gathered in the Measure phase, the Analyze phase will involve a rigorous statistical examination of the collected biomechanical and ergonomic data to identify causal relationships between specific lifting tasks, existing tool designs, and the prevalence of musculoskeletal risks. This will include multivariate regression analyses to correlate factors such as load magnitude, lifting posture, and repetition rates with RULA/REBA scores and measured biomechanical loads. Further, advanced machine learning algorithms will be deployed to identify complex, non-linear patterns and hidden

interdependencies within the datasets, thereby uncovering previously unquantified risk factors associated with manhole lifting operations.

2.4. Improve Phase

The Improve phase will leverage these insights to develop and implement AI-driven load sensing mechanisms and optimize the thermoplastic hook design, aiming to mitigate identified ergonomic stressors. This phase will focus on integrating artificial intelligence into real-time load feedback systems for manhole lifters, dynamically adjusting operational parameters to reduce peak forces and awkward postures, thereby directly addressing the root causes of musculoskeletal strain identified in the Analyze phase. This iterative process will involve rapid prototyping and user feedback integration to refine the thermoplastic hook's geometry and material properties for enhanced grip, reduced vibration transmission, and optimal load distribution. Simultaneously, the AI-driven load sensing system will be trained on diverse datasets encompassing various manhole types and environmental conditions to ensure robust and accurate real-time feedback to the operator.

2.5. Control Phase

The Control phase will then focus on establishing continuous monitoring protocols to ensure the long-term sustainability and effectiveness of the implemented improvements. This phase is critical for maintaining the gains achieved, preventing regression to prior states, and institutionalizing the optimized practices within standard operating procedures (Clancy et al., 2022). This involves implementing statistical process control techniques to regularly assess ergonomic performance indicators and trigger alerts for deviations, ensuring ongoing compliance and proactive intervention (Antosz et al., 2023). Automated data collection from the AI-driven load sensing system will provide continuous feedback for adaptive adjustments to both the thermoplastic hook's design and operational guidelines, ensuring sustained ergonomic benefits and minimizing the recurrence of musculoskeletal injury risks (Lawani et al., 2023). This methodical application of the DMAIC framework, particularly when augmented with AI and Lean Six Sigma principles, provides a structured approach to not only identify and quantify ergonomic deficiencies but also to systematically engineer sustainable solutions for complex industrial tasks (Perryman & Siddiqui, 2024; Wang et al., 2022). The integration of AI into this framework, particularly in the analysis and control phases, enables proactive identification of potential issues and real-time optimization, moving beyond traditional human oversight to expedite problem resolution and enhance resource utilization (Sood & Dhull, 2024).

2.6. Thermoplastic Hook Optimization

The thermoplastic hook optimization aims to enhance the structural integrity and ergonomic handling of the manhole lifter through advanced material selection and generative design principles. This optimization will involve employing high-performance engineering thermoplastics, such as reinforced polyamides or polyketones, selected for their superior strength-to-weight ratio, fatigue resistance, and environmental stability, particularly against common industrial solvents and UV exposure. The design process will utilize topology optimization algorithms, constrained by ergonomic principles and manufacturing capabilities, to determine the optimal hook geometry that minimizes material usage while maximizing load-bearing capacity and user comfort. Finite element analysis will be rigorously applied to validate the structural performance of the optimized hook design under various load conditions, ensuring compliance with relevant safety factors and industry standards. Additionally, rapid prototyping and experimental validation will be conducted to confirm the mechanical properties and ergonomic advantages of the optimized thermoplastic hooks (Vijaianand et al., 2024). This iterative design and validation process ensures that the thermoplastic hooks not only meet rigorous performance criteria but also contribute significantly to reducing manual handling strain on operators.

3. FINDINGS

This section presents the empirical findings derived from the implemented AI-driven load sensing and thermoplastic hook optimization system, evaluating its efficacy in improving ergonomic parameters and reducing musculoskeletal disorder risks. The analysis will specifically compare pre- and post-implementation ergonomic assessment scores, utilizing RULA and REBA methodologies, to quantitatively demonstrate the system's impact on operator posture and biomechanical loading. Additionally, the analysis will delve into the performance metrics of the AI-driven load sensing module, including its accuracy in real-time load estimation and its effectiveness in detecting non-ergonomic lifting postures, thereby validating the system's predictive capabilities. Furthermore, the material optimization of the thermoplastic hook will be evaluated based on finite element analysis simulations for structural integrity and weight reduction, comparing it against traditional designs. The discussion will also address the practical implications of these results, highlighting the tangible benefits in terms of enhanced worker safety, reduced injury rates, and improved operational efficiency in manhole lifting tasks (Vemuganti, 2025).

Table 1. Pre-Intervention RULA and REBA Scores

	SCORE	Description
RULA	7	RULA score is 7, indicating the highest risk level that requires further investigation and immediate corrective actions to reduce the risk of musculoskeletal disorders (MSDs) in the long term.
REBA	11	The REBA score of 11 indicates a very high-risk level, suggesting that immediate changes and modifications in work methods are required to reduce the risk of musculoskeletal disorders (MSDs) in the long term.

Table 1 presents the pre-intervention ergonomic assessment results obtained using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) and Rapid Entire Body Assessment (REBA) methods, both of which indicate extremely high levels of ergonomic risk during manual manhole lifting activities. The recorded RULA score of 7 represents the highest action level, signifying that the working posture adopted by workers is highly hazardous and requires immediate investigation and corrective action to prevent long-term musculoskeletal disorders (MSDs). This high score reflects the presence of awkward upper body postures, including excessive bending, twisting, elevated shoulder positioning, repetitive pulling motions, and prolonged muscular exertion during lifting tasks. Similarly, the REBA score of 11 indicates a very high-risk category requiring urgent modifications to existing work methods. The REBA assessment demonstrates that the lifting process imposes substantial biomechanical stress on the entire body, particularly the trunk, lower limbs, neck, and arms, due to unstable posture, excessive force application, poor load distribution, and repetitive movements. Collectively, these findings confirm that the conventional manhole lifting process exposes workers to severe ergonomic hazards and significantly increases the likelihood of developing occupational injuries such as lower back pain, muscle strain, tendonitis, and cumulative trauma disorders. Therefore, the results strongly justify the need for ergonomic interventions, including the implementation of the proposed AI-driven load sensing system and optimized thermoplastic hook design, to improve worker safety, reduce physical strain, and enhance overall operational ergonomics.

Table 2. Post-Intervention RULA and REBA Scores

	SCORE	Description
RULA	5	A RULA score of 5 indicates a medium ergonomic risk level and often reflects moderate issues related to upper body posture, such as awkward arm positioning, neck bending, wrist deviation, or trunk inclination during work activities. Although the risk is not considered.
REBA	2	A REBA score of 2 indicates a low ergonomic risk level. Suggests that the task does not require immediate corrective action, but periodic observation is recommended to prevent future ergonomic issues.

Table 2 presents the post-intervention ergonomic assessment results after implementing the AI-driven load sensing system and optimized thermoplastic hook design. The RULA score decreased to 5, indicating a medium ergonomic risk level and showing a significant improvement in upper body posture, although some moderate issues such as slight neck bending, arm positioning, and trunk inclination may still exist during lifting activities. Meanwhile, the REBA score was reduced to 2, representing a low ergonomic risk level and suggesting that the overall working posture and biomechanical load on the worker's body have substantially improved. These findings demonstrate that the proposed intervention successfully reduced ergonomic strain, improved lifting posture, and minimized the risk of developing musculoskeletal disorders, thereby enhancing overall occupational safety and operational efficiency as shown in Table 3; Comparative Analysis of Ergonomic Risk Assessments.

Table 3. Comparative Analysis of Ergonomic Risk Assessments

Parameter	Before Intervention	After Intervention	Overall Impact
Worker Posture	Awkward and hazardous	More stable and ergonomic	Significant posture improvement
Biomechanical Stress	Extremely high	Low to moderate	Reduced physical strain
Risk of MSDs	Very high probability	Greatly minimized	Improved occupational safety
Corrective Action Requirement	Immediate action required	Periodic monitoring only	Safer working environment
Operational Ergonomics	Poor	Improved	Enhanced efficiency and worker comfort

DISCUSSION AND CONCLUSION

The integration of AI-driven load sensing with optimized thermoplastic hooks presents a novel approach to mitigating MSD risks associated with manual manhole lifting, as evidenced by the quantifiable improvements in RULA and REBA scores. This comprehensive system addresses critical gaps in traditional ergonomic interventions by providing continuous, objective feedback and proactively identifying hazardous lifting mechanics. The technical measurements provided by this system offer a significant advancement over subjective self-reports or visual observations. Moreover, the AI's capability to analyze demographic-specific challenges in manual handling further refines safety protocols, tailoring interventions to individual worker profiles (Silva, 2025). The dynamic control of the Digital Human Model for ergonomic assessments, as demonstrated in simulations achieving consistency with real human data, further validates the potential for AI in refining ergonomic safety measures. This robust analytical framework not only improves the precision of risk evaluations but also offers a more adaptable tool for workplace safety analysis (Roy et al., 2024). The system's ability to provide continuous ergonomic assessment, combining sensor data with

video analysis, allows for a more granular understanding of risk factors associated with specific subtasks during the lifting process. This granular understanding allows for targeted interventions, optimizing each phase of the manhole lifting operation to minimize biomechanical stress and reduce the likelihood of injury. Furthermore, the implementation of such advanced ergonomic tools, including AI-driven solutions and optimized equipment, has been shown to significantly reduce musculoskeletal disorder complaints and improve overall ergonomic conditions in demanding industrial environments .

This study successfully developed and evaluated an AI-driven load sensing and thermoplastic hook optimization system for ergonomic manhole lifters, demonstrating significant improvements in occupational safety and a reduction in musculoskeletal disorder risks. The integration of AI-based real-time load assessment and biomechanical feedback mechanisms, coupled with advanced material engineering for the lifting hooks, provides a comprehensive solution for mitigating the prevalent ergonomic hazards associated with manual manhole handling tasks. This innovative approach showcases the potential for smart, adaptive technologies to transform hazardous manual labor into safer, more efficient operations, fostering a proactive rather than reactive stance on worker well-being. The positive outcomes observed, including reduced RULA and REBA scores, underscore the system’s effectiveness in enhancing ergonomic performance and mitigating injury potential.

REFERENCES

Alsaffar, A., & Ketan, H. (2018). Ergonomic assessment in industrial lifting operations. *International Journal of Industrial Ergonomics, 68*, 120–129.

Antosz, K., et al. (2023). Statistical process control in ergonomic monitoring systems. *Safety Science, 164*, 106182.

Antwi-Afari, M. F., et al. (2021). Computer vision–based ergonomic risk assessment for construction workers. *Automation in Construction, 123*, 103517.

Capitani, S., et al. (2020). Real-time biomechanical monitoring systems in occupational safety. *Sensors, 20*(18), 5271.

Chang, C. C., et al. (2020). Artificial intelligence applications in ergonomic assessment and workplace safety. *IEEE Access, 8*, 76870–76882.

Christhia, R., et al. (2023). DMAIC implementation for workplace ergonomic improvement. *International Journal of Lean Six Sigma, 14*(2), 345–360.

Clancy, E., et al. (2022). Sustainable ergonomic intervention strategies in industrial systems. *Ergonomics, 65*(5), 621–634.

Deshpande, V., et al. (2025). Application of Rapid Upper Limb Assessment in occupational health studies. *Work, 81*(1), 44–56.

Destouet, A., et al. (2023). Comparative ergonomic analysis using RULA and REBA methods. *Applied Sciences, 13*(4), 2250.

Drljevic, N., et al. (2024). DMAIC methodology for process and ergonomic optimization. *Quality Engineering, 36*(2), 198–210.

Fan, J., et al. (2024). Whole-body ergonomic assessment using REBA in industrial workplaces. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 21*(3), 1520.

Grandi, L., et al. (2022). Data-driven ergonomic intervention frameworks for industrial safety. *Safety Science, 148*, 105649.

Hilmi, M. F., et al. (2024). Occupational musculoskeletal risks in utility maintenance workers. *Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 30*(1), 89–101.

Hsu, W. H., et al. (2025). Ergonomic risk factors contributing to low back pain among maintenance workers. *BMC Musculoskeletal Disorders, 26*(1), 114.

Ibrahim, A., et al. (2023). Biomechanical assessment of manual lifting operations. *Ergonomics International Journal, 7*(2), 00198.

Jiang, H. (2023). Ergonomic evaluation of industrial workstations using REBA. *Work, 75*(2), 355–364.

Khamaisi, R., et al. (2024). Sensor-based motion capture systems for ergonomic assessment. *Sensors, 24*(5), 1834.

Khan, M. R., & Tonoy, S. S. (2024). Ergonomic risk quantification in manual handling tasks. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 30*(2), 451–462.

Lawani, A., et al. (2023). Continuous monitoring systems for workplace ergonomic improvement. *Journal of Safety Research, 85*, 211–223.

Mudiyanselage, S. B., et al. (2021). Occupational musculoskeletal disorders among construction workers. *International Journal of Industrial Ergonomics, 82*, 103104.

Neeru, S., et al. (2023). Ergonomic intervention planning using DMAIC methodology. *International Journal of Productivity and Performance Management, 72*(4), 921–938.

Okuda, T. (2022). Advanced polymer materials for thermal applications. *Polymer Engineering & Science, 62*(8), 2150–2162.

Perryman, S., & Siddiqui, A. (2024). Lean Six Sigma frameworks integrated with AI technologies. *International Journal of Quality & Reliability Management, 41*(1), 52–70.

Petruse, R., & Vlad, L. (2023). Whole-body ergonomic risk assessment in industrial lifting tasks. *Sustainability, 15*(10), 8012.

Purushothaman, K., & Gedara, K. (2023). Musculoskeletal disorders and occupational risk factors. *Workplace Health & Safety, 71*(11), 501–510.

Putri, N. T., & Mahachandra, M. (2024). Quantitative ergonomic assessment using biomechanical analysis. *Journal of Engineering Research, 12*(1), 87–96.

Roy, S., et al. (2024). Digital human modeling and AI for ergonomic simulations. *Applied Sciences, 14*(3), 1102.

Samuel, O. (2025). Economic implications of occupational musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine, 75*(2), 140–148.

Scalona, E., et al. (2023). Observer variability in ergonomic assessment methods. *Human Factors, 65*(4), 734–745.

Shakourisalim, R., et al. (2024). Environmental influences on occupational biomechanics. *Applied Ergonomics, 116*, 104188.

Sharotry, M., et al. (2022). Fatigue detection using digital twin frameworks in occupational tasks. *IEEE Access, 10*, 78514–78527.

Silva, P. (2025). Demographic-sensitive AI ergonomic interventions in manual handling. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 35*(1), 77–91.

Slama, R., et al. (2023). Evaluation of upper limb ergonomic risks using RULA. *Work, 74*(4), 1327–1337.

Sood, R., & Dhull, S. (2024). Artificial intelligence in industrial process optimization. *Journal of Industrial Information Integration, 37*, 100529.

Vemuganti, P. (2025). Smart lifting systems and worker safety performance. *Industrial Safety Journal, 48*(2), 115–126.

Vijaianand, S., et al. (2024). Experimental validation of optimized thermoplastic structures. *Materials Today Communications, 39*, 108247.

Wang, H., et al. (2022). AI-supported ergonomic process control systems. *Computers & Industrial Engineering, 169*, 108201.

Wang, Y., et al. (2025). Occupational low back pain among utility workers performing lifting tasks. *Journal of Occupational Rehabilitation, 35*(1), 66–78.

Winiarski, S., et al. (2021). Intelligent systems for ergonomic risk prevention. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(22), 11902.

https://doi.org/10.71284/asc.2026187

PHYSICAL ACTIVITY, SELF – ESTEEM, AND QUALITY OF LIFE WITH THYROID DISORDERS: PSYCHOLOGICAL, TECHNOLOGICAL, AND INSTITUTIONAL DIMENSIONS IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Maria Gavriilidou[1]

Abstract

The relationship of Physical Activity, Self-Esteem, and Quality of Life in patients with thyroid disorders and metabolic conditions was investigated, contextualizing the analysis within the modern framework of digital health and artificial intelligence. A secondary data analysis was conducted using a sample of 519 primary and secondary schools. Data collection instruments included the Godin and Shepherd Physical Activity Questionnaire, the Rosenberg Self-Esteem Scale, and the Raphael et al. Quality of Life Assessment Tool. Additionally, a systematic review of the international literature investigated the management of physical activity in pediatric populations with endocrine disorders, emphasizing the use of digital health applications, wearable technologies, and artificial intelligence systems. Findings indicated that this Physical Activity was positively correlated with Self-Esteem and perceived Quality of Life. Furthermore, the literature review found that children with poorly controlled thyroid disorders had increased needs for individualized interventions and continuous clinical monitoring. The integration of nutritional support and personalized exercise programs was associated with reduced fatigue and anxiety. At the same time, the use of artificial intelligence technologies and digital tools was shown to enhance engagement, self-monitoring, and research effectiveness. In conclusion, the combination of Physical Activity, clinical care, and technologies has significant digital implications for children's psychosocial health and Quality of Life. However, challenges remain, including the protection of personal data, the ethical use of technology, and equitable access to innovative health services. It is proposed to address these issues with strong institutional frameworks and greater involvement of higher education institutions.

Keywords: Physical activity, thyroid disorders, quality of life, self-esteem, artificial intelligence.

[1]Aritotle University of Thessaloniki, mgavriilidu@yahoo.gr, https://orcid.org/0009-0007-3508-6384

1. INTRODUCTION

Thyroid disorders are among the most common endocrine diseases in childhood, affecting metabolism, brain development, and emotional regulation (Bernal, 2022; Bongers-Schokking et al., 2018). The management of thyroid disorders considers both clinical presentation and psychosocial functioning, as well as children's rights to health, education, and protection from discrimination (United Nations, 1989). At the same time, the use of digital tools and artificial intelligence supports the personalization of interventions and self-monitoring. Within this context, the present study focuses on the relationship between physical activity, self-esteem, and quality of life in children with thyroid and metabolic disorders, integrating the analysis within the modern framework of digital health and artificial intelligence through contemporary technologies aimed at improving their psychosocial well-being.

2,. CONCEPTUAL / THEORETICAL FRAMEWORK

1. The theoretical framework of the research is based on three main pillars: first, physical activity theory supports the positive relationships of physical activity on children's mental and physical health. Secondly, the relationship between Self-Esteem and Quality of Life in endocrine disorders has been studied through research. and third, the use of digital tools and artificial intelligence to adapt interventions, enhance, and support psychosocial well-being. Providing the theoretical basis for the analysis and interpretation of the study results. Quality of Life and Subjective Well-Being (SWB).

2. Quality of life (QoL) and subjective well-being (SWB) reflect an individual's perception of their life , happiness, satisfaction, and fulfillment of personal goals (Diener, E., & Emmons, R. A., 1984). They encompass both the emotional and cognitive evaluation of life and are influenced by psychological, social, and physical factors. According to the World Health Organization (WHO), quality of life is defined as: "An individual's perception of their position in life, in the context of the culture and value systems in which they live, and in relation to their goals, expectations, standards, and concerns." This definition emphasizes the individual's subjective perception rather than merely objective indicators (e.g., health, income), as quality of life encompasses physical, psychological, social, and environmental dimensions.

3. Factors Affecting Adolescents' Quality of Life.

Physical Activity

Physical Activity is defined by the World Health Organization (WHO) as any bodily movement produced by skeletal muscles that requires energy expenditure. These indoor activities:

- During work or school
- During transportation (e.g., walking, cycling)
- For recreation and sports
- In daily activities (e.g., household chores, play)

The WHO emphasizes that regular engagement in moderate or vigorous Physical Activity is related to physical fitness, mental health, and overall quality of life, while reducing the risk of chronic diseases. Participation in Physical Activity is associated with a higher quality of life, positive psychological mood, and better emotional well-being (Xiaoli Chen et al., 2005). Measurement of physical activity can be conducted via questionnaires or objectively using accelerometers to record intensity, duration, and frequency of movement.

Self-Concept / Self-Esteem

Self-esteem includes an individual's perception of the different roles and attitudes in life that shape their personality (Fox, 1998). Self-esteem is the measure of self-evaluation. Rosenberg (1965) argues that the sum of an individual's feelings and thoughts about themselves is self-esteem, which includes Self-Esteem, Self-Efficacy, and self-identity as important parts of self-esteem.

The WHO emphasizes that self-esteem is an important element of the psychological dimension of quality of

life and is linked to the ability to cope with stressful situations, social adaptation, and personal development. According to the WHO framework on mental health and well-being, Self-Esteem refers to an individual's perception of their own value—that is, how they see themselves and how they believe others perceive them — influencing psychological well-being and social adjustment. In other words, it encompasses both the internal self-image and the perception of how others view oneself. This perception significantly influences behavior, self-evaluation, and the capacity to manage daily challenges.

Underlying Medical Conditions (e.g., Thyroid Disorders)

- Chronic conditions, such as thyroid disorders, affect children's quality of life (QoL), energy levels, psychological well-being, and social participation.
- Clinical monitoring is required to assess symptoms, adjust medication, and support daily functioning.

Artificial Intelligence (AI)

- AI can be employed for the collection, analysis, and prediction of QoL and subjective well-being (SWB) data.
- AI technologies can be integrated with accelerometers, sleep, and mobility sensors to provide personalized recommendations for improving QoL.

1. Known Factors

- Demographic characteristics: sex, age, race.
- School environment: relationships with teachers and peers, school climate, participation in sports activities.
- Family environment: parental relationships, expectations, and involvement.
- Socioeconomic factors: income, social background, cultural values.
- Lifestyle: sleep, diet, recreational activities, and physical activity were objectively measured with accelerometers.

3. METHODS

3.1. Research Design

A secondary data analysis was conducted using a sample of 519 students from primary and secondary schools. Data were collected using the Godin & Shephard Physical Activity Questionnaire, the Rosenberg Self-Esteem Scale, and the Raphael et al. Quality of Life assessment tool. In addition, a systematic review of the international literature was performed on the management of physical activity in pediatric populations with endocrine disorders, with emphasis on the use of digital health applications, wearable technologies, and artificial intelligence systems.

3.2. Sample

The study included 519 students aged 11 to 14 years from primary and secondary schools in the regions of Pieria and Thessaloniki, Greece. Schools were selected randomly, and samples included both urban and rural areas in these regions. A systematic review of international literature with 52 articles from relevant databases.

3.3. Data Collection Instruments

Data were collected using validated self-report instruments administered to participating students. Physical Activity was assessed with the Leisure-Time Exercise Questionnaire." (Godin & Shepherd, 1985), a widely used measure of leisure-time physical activity that quantifies weekly frequency of mild, moderate, and strenuous exercise (>15 min per session). A composite score was derived by weighting each intensity category by its metabolic equivalent (mild ×3, moderate ×5, strenuous ×9) (Godin & Shepherd, 1985).

Adequate reliability and validity have been found in youth populations (Marks & Caspersen, 1997).

Life satisfaction was measured using the Students' Life Satisfaction Scale (SLSS; Huebner, 1991), a 7item 4point Likert scale assessing global life contentment (e.g., "My life is going well"; "I wish I had a different life").

SelfEsteem was evaluated with the Rosenberg Scale (Rosenberg, 1965), a 10item 6point Likert measure of global SelfWorth. Negatively worded items were reverse-scored before analysis in accordance with standard procedures (Rosenberg, 1965).

The quality of life (QoL) was assessed using the Quality-of-Life Profile -adolescent Version (Raphael , Renwick, & Brown, 1996), comprising 54 items across three conceptual domains: Being (physical, psychological, spiritual health), Belonging (physical environment, social relations, community access), and Becoming (practical functioning, leisure/creativity, growth/aspirations). Each subscale provides distinct indices of importance, satisfaction, perceived control, and opportunities for improvement.

Demographic data included gender, age, school type, parental educational attainment, residential area (urban vs. rural), and extracurricular athletic participation.

Questionnaires were distributed in classroom settings before instruction and completed anonymously by students in accordance with standardized administration protocols.

In addition to primary data collection, a systematic literature review investigated the management of physical activity in pediatric populations with endocrine disorders, emphasizing digital health technologies, wearable devices, and artificial intelligence applications (Gavriilidou et al., 2025).

3.4. Data Analysis

Data analysis used both descriptive and inferential statistics. Absolute and relative frequencies were calculated for nominal variables (e.g., gender, group membership), and measures of central tendency and dispersion (mean, minimum-maximum, standard deviation) were calculated for quantitative variables (e.g., age, test scores). Two-sample t-tests and one-way ANOVA were used to compare quantitative results between groups, and $\chi 2$ tests were applied to assess associations between categorical variables. All analyses were performed using SPSS version 17.

To compare mean values between two groups, an independent-samples t-test was used with Levine's test for equality of variances. For comparisons involving more than two groups, one-way analysis of variance (ANOVA) with post-hoc LSD tests was applied. The level of statistical significance was set at $p < .05$. All analyses were performed using SPSS software (version 17).

Scale reliability was assessed using Cronbach's alpha. The physical activity scale demonstrated satisfactory reliability ($\alpha = .79$), as did the self-esteem scale ($\alpha = .739$). In contrast, the satisfaction factor showed low reliability ($\alpha = .246$), indicating the need for revision. Indicators of perceived quality of life demonstrated high to very high reliability ($\alpha = .871–.972$).

Additionally, a systematic review of international secondary data analysis was conducted, focusing on the relationship with physical activity, thyroid disorders, and the use of digital health technologies and artificial intelligence in pediatric populations.

4. FINDINGS AND DISCUSSION

An attempt is made to synthesize the data of Gavriilidou (2012, 2025) researchers with the data from the literature review, focusing on the relationship between physical activity (PA), behavior, and demographic characteristics of students, in the context of thyroid disorders, thyroid cancer, and modern applications of artificial intelligence (AI).

Association of Demographic Variables and Validity of Findings

Results from chi-square tests indicated no statistically significant correlation between gender and educational level ($p = .085$), between gender and area of residence ($p = .418$). The absence of statistically significant

differences confirms the Validity/Reliability and strengthens the conclusions.

This finding was important when related to the literature on thyroid disorders, suggesting that differences in behavior and physical activity are not due to structural inequalities in the sample but likely reflect biological and psychosocial factors, such as hormonal imbalances. Gender, Sports Participation, and Behavior: Link to Thyroid Disorders.

The statistically significant relationship between gender and sports participation ($\chi^2 = 18.692$, $p < 0.001$) indicates that boys were more physically active than girls. This finding has particular interpretive value in the context of thyroid disorders.

According to the literature, hyperthyroidism is associated with hyperactivity, irritability, and increased mobility, whereas hypothyroidism is linked to fatigue, reduced energy, and withdrawal (Bernal, 2005). The statistically significant relationship between gender and sports participation ($\chi^2 = 18.692$, $p < 0.001$) indicates that boys were more physically active than girls. This has particular interpretive value in the context of thyroid disorders.

Hepcidin, often elevated in cancers including thyroid cancer, promotes iron accumulation in tumor cells, driving growth and proliferation, and its dysregulation fuels cancer progression (Zhou et al., 2018; McAllister et al., 1995).

Furthermore, the lower participation of girls in sports may be associated with greater vulnerability to emotional fluctuations or social factors, which can be exacerbated in cases of hormonal dysfunction.

Physical Activity and Psychological Indicators: Literature Confirmation

The study demonstrated that vigorous physical activity is positively correlated with:

- Self-Esteem ($r = .227$, $p < .001$),
- Quality of Life ($r = .196$, $p < .001$), and
- Life Satisfaction ($r = .105$, $p = .020$).

These findings align with the literature, which reports that physical activity enhances psychological well-being and emotional regulation, particularly in children with thyroid disorders. A study by Gavriilidou et al. (2025) confirms the bidirectional relationship between physical activity and thyroid function, highlighting that exercise can serve a therapeutic role.

Additionally, these findings are especially relevant for children with hypothyroidism, where reduced energy and depression can be partially addressed through increased physical activity.

Physical Activity, Educational Level, and Gender: Critical Transitions

The significant reduction in physical activity among girls during the transition from primary to secondary school ($p = .009$) can be interpreted from both psychosocial and biological perspectives.

Adolescence is a period of hormonal changes, during which thyroid disorders may intensify:

• nervousness,

• deprivation, inadequacy

• mood swings.

The reduction in physical activity may either result from these changes or act as a compounding factor that worsens mental health.

Area of Residence and Physical Activity: Environmental and Health Factors

The statistically significant differences observed in urban areas ($p = .001$), compared to rural areas, suggest that the environment influences physical activity.

This finding can be related to:

- dietary habits (e.g., iodine intake),

- levels of physical activity, and
- exposure to environmental factors.

According to the literature (Zimmermann, 2009), iodine imbalance can affect thyroid function and increase the risk of thyroid disorders or even thyroid cancer.

Thyroid Cancer, Physical Activity, Quality of Life.

The study's findings, showing high levels of Physical Activity in the general student population, contrast with data from children with thyroid cancer, who exhibit reduced activity due to fatigue and therapeutic limitations.

Nevertheless, the literature supports that:

- tailored exercise improves endurance,
- enhances self-esteem, and
- promotes quality of life.

The findings of the present study suggest the importance of Physical Activity as a protective factor, even in vulnerable populations.

Behavior, Thyroid Disorders, and Differential Diagnosis

The observed connection between physical activity and behavior becomes particularly relevant in the context of differential diagnosis.

As highlighted in the literature:

- thyroid disorders can mimic ADHD or anxiety,
- aggression and hyperactivity may have an organic basis, and
- An accurate diagnosis requires laboratory testing (TSH, FT4).

The study's findings, particularly those related to behavior and physical activity, emphasize the need for a holistic evaluation of children.

Role of Artificial Intelligence (AI)

The integration of AI in the analysis of such data can provide significant advantages:

- Early diagnosis: Algorithms can identify behavioral patterns associated with thyroid disorders.
- Personalized intervention: Tailoring exercise and nutrition programs.
- Risk prediction: Linking demographic and biological data to predict thyroid cancer.
- Clinical decision support: Combining laboratory and behavioral data.

The use of AI can significantly contribute to safeguarding children's rights through timely and accurate diagnosis.

Children's Rights and Practical Implications

The study's findings, combined with the literature, highlight the importance of:

- early diagnosis (right to health),
- support in learning (right to education),
- avoidance of stigma (non-discrimination), and
- psychological reinforcement (mental health).

Physical Activity emerges as a factor in promoting health and quality of life.

Table 1. Gender - Educational level

Boys	152 (53.3%)	97 (45.5%)	249 (50.0%)
Girls	133 (46.7%)	116 (54.5%)	249 (50.0%)
Total	285 (100.0%)	213 (100.0%)	498 (100.0%)

$\chi^2 = 2.962$, $p = .085$

Table 2. Gender - Area of residence

Boys	141 (51.6%)	108 (48.0%)	249 (50.0%)
Girls	132 (48.4%)	117 (52.0%)	249 (50.0%)
Total	273 (100.0%)	225 (100.0%)	498 (100.0%)

$\chi^2 = 0.657$, $p = .418$

Table 3. Gender - Sports

Boys	194 (56.9%)	54 (35.8%)	248 (50.4%)
Girls	147 (43.1%)	97 (64.2%)	244 (49.6%)
Total	341 (100.0%)	151 (100.0%)	492 (100.0%)

$\chi^2 = 18.692$, $p < .001$

Table 4. Educational level of parents – Region

Elementary school	22 (8.1%)	12 (5.3%)	34 (6.8%)
High school	47 (17.3%)	40 (17.7%)	87 (17.5%)
Litchi	78 (28.8%)	80 (35.4%)	158 (31.8%)
Universities and Technical institutes	124 (45.8%)	94 (41.6%)	218 (43.9%)
Total	271 (100.0%)	226 (100.0%)	497 (100.0%)

$\chi^2 = 3.613$, $p = .306$

Table 5. Categorization of Physical Activity (PA)

1η	≥ 24
2η	14 – 23
3η	< 14

Table 6. Distribution of F.D. scores

High intensity	440	84.8%	86.8%
Moderate intensity	39	7.5%	7.7%
Low intensity	28	5.4%	5.5%
Total responses	507	97.7%	100.0%
No answer	12	2.3%	—
Total	519	100.0%	—

4. MEASUREMENT TOOLS

- QOL PAV: 54-item questionnaire assessing adolescents' quality of life (QoL).
- W-B Q12, SHS, SWLS: Instruments for psychological well-being and subjective happiness.
- Physical Activity: participation in sports, exercise, and leisure-time activities; qualitative self-reports and objective assessment using accelerometers.
- Self-Esteem: questionnaires assessing self-perception and self-evaluation.
- Clinical monitoring: follow-up of children with chronic conditions, such as thyroid disorders, to assess QoL, physical fitness, and psychological well-being.
- AI tools: data analysis, predictive models for QoL improvement, integration with questionnaires, accelerometers, and mobility sensors.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The present study confirms that Physical Activity is directly associated with students' behavior and psychological well-being. When these findings are interpreted in the context of thyroid disorders and thyroid cancer, it becomes evident that:

- biological factors influence behavior,
- Physical activity serves a protective role, and
- Timely diagnosis is critical.

The integration of artificial intelligence is likely to help provide personalized and effective care, contributing to holistic support for children and the promotion of their rights.

Recommendations:

- Promote student participation in physical activity, with special emphasis on girls.
- Regularly monitor thyroid function in children presenting behavioral or cognitive symptoms.

- Implement individualized exercise programs for children with thyroid disorders or a history of thyroid cancer.
- Encourage a balanced diet with adequate iodine and antioxidant intake.
- Utilize artificial intelligence for early diagnosis and to support clinical decision-making.
- Ensure children's rights through access to healthcare, education, and psychological support.
- Conduct further research on the relationship between physical activity, thyroid function, and psychological well-being.

Table 7. Studies Examining the Relationship Between Thyroid Gland Disorders, Physical Activity, and Hepcidin (Adapted From Gavriilidou et al., 2025).

1. Authors Year Population Study Type Intervention / Exercise Main Findings (Thyroid & Exercise) Hepcidin-Related Findings

2. Hackney et al. 1995 Humans (athletes) Experimental Aerobic & anaerobic exercise Increased T3 and T4 after intense exercise Acute exercise can transiently increase hepcidin levels

3. Ciloglu et al. 2005 Humans Experimental Exercise at different intensities Exercise intensity affects TSH and T4 Higher intensity may elevate hepcidin

4. Byeon et al. 2015 Women Intervention Exercise program Improved thyroid hormone profile Exercise improved iron metabolism → hepcidin regulation

5. Klasson et al. 2022 U.S. adults (NHANES dataset) Observational / Crosssectional Daily physical activity Higher physical activity associated with lower T4 levels and altered TSH: T4 relationship Physical activity modulates inflammatory/metabolic markers that may influence hepcidin

6. Sundus et al. 2020 Hypothyroid patients Intervention Exercise Symptom Improvement Hypothyroidism linked to higher hepcidin

7. Gavriilidou M., (2012)- https://ikee.lib.auth.gr/record/129822

8. Gavriilidou M et al. (2025) Thyroid Gland Disorders and Physical Activity in Humans- Clinical Post-surgical Activity.

9. Silva 2006 Rats Experimental Exercise Thermogenesis Regulation Thyroid hormones influence iron metabolism → hepcidin

9. Hrdina et al. 2009 Mice Experimental Gut microbiota modulation Microbiota influences selenium status and thyroidrelated protein expression Microbiota–selenium interactions may affect iron/thyroid axis relevant to hepcidin regulation

9. Bocco et al. 2016 Animals Experimental Treadmill/exercise stimulus Exercise increases D2, which mediates T3 activation and PGC1α expression. Exerciseinduced thyroid metabolism changes may indirectly influence inflammatory/metabolic mediators relevant to hepcidin

9. Bernal, J. (2005). Thyroid effects on neurodevelopment Children Hyperthyroidism → hyperactivity, irritability; Hypothyroidism → fatigue, low energy; affects mood & activity

9. Duntas 2005 N/A (Review) /Review/ Physical exercise & thyroid Discusses oxidative stress and thyroid hormone response to exercise/ Indirectly relates to iron/hepcidin regulation through metabolic/inflammatory pathways

9. Grodin & Garg 2019 Humans/ Review/ Exercise and thyroid/Overview of exercise effects on thyroid hormone levels / Discusses links between exercise, inflammation, and iron metabolism relevant to hepcidin

9. Caraccio et al. 2005 Humans (subclinical hypothyroidism) – Clinical – Exercise tolerance + levothyroxine: reduced exercise tolerance; levothyroxine improves metabolism; chronic hypothyroidism may elevate hepcidin.

9. Roelfsema, Boelen, Kalsbeek & Fliers 2017 Humans Review — Mechanisms regulating the hypothalamuspituitarythyroid axis; thyroid hormone regulation / Hormonal regulation pathways influence iron metabolism and may affect hepcidin

9. Mullur et al. 2014 Humans Review — Thyroid hormones regulate basal and adaptive metabolism, energy expenditure, and thermogenesis/ Metabolic effects of thyroid hormones influence iron homeostasis and potentially hepcidin regulation

9. Li et al., 2015, Chinese patients with STEMI/retrospective observational/ Provides trends in myocardial infarction outcomes over 10 years; no direct thyroid or exercise intervention/ Not applicable (no data on hepcidin or thyroid metabolism)

9. Athanasiou N, Bogdanis GC, Mastorakos G. (2023) Human/ Review/ Various exercise modalities/ Exercise type and intensity modulate stress hormones, including thyroid axis hormones/ Stress/exercise-induced hormonal changes may influence iron metabolism and hepcidin indirectly

9. Krygier, SzczepanekParulska, Filipowicz & Ruchała 2020 Humans (patients with Graves' disease)/ Observational/ Thyrometabolic status influences thyroid hormone levels; no exercise intervention/ Serum hepcidin levels were higher in hyperthyroid patients and decreased after restoration of euthyroidism; shows direct link between thyroid function and hepcidin regulation

9. Roelfsema 2017 Humans Reviews/ HPT axis /Hormones → metabolism, immunity, hepcidin

9. Skarpańska-Stejnborn A, Basta P, Trzeciak J, Szcześniak-Pilaczyńska Ł., (2015). Humans (rowing athletes). Humans Experimental Intense physical exercise /Exercise increased metabolic and hormonal stress responses; thyroid hormones were not directly measured/ Intense exercise caused a significant rise in serum hepcidin and altered iron metabolism parameters (ferritin, serum iron)

9. Loucks & Thuma., (2003). Humans- Healthy women (eumenorrheic). Experimental Energy availability manipulation + exercise energy cost. Low energy availability/negative energy balance led to suppressed thyroid-related markers (evidence of reduced T3 and altered thyroid metabolism) with exerciseassociated energy deficit/ Not directly measured; suggests that chronic energy deficit with exercise alters metabolic/ immune regulation that could influence hepcidin indirectly

9. Peeling, P. et al. 2009. Human experimental high-intensity exercise /Exercise increases inflammatory response postexercise/ Exercise significantly increased hepcidin levels and altered iron metabolism parameters during recovery

9. Ferlazzo, A., Cravana, C., Fazio, E., & Medica, P. (2020). Horses Experimental / Review /Exercise stress, Hormonal system/ Exercise stress triggers changes in multiple hormonal pathways for coping in horses

9. McAllister, Delp & Laughlin 1995 Humans Review. Thyroid status affects exercise tolerance. Not measured directly; thyroid-mediated metabolic changes could indirectly influence iron metabolism and hepcidin.

REFERENCES

Athanasiou N, Bogdanis GC, Mastorakos G. Endocrine responses of the stress system to different types of exercise. Rev Endocr Metab Disord. 2023 Apr;24(2):251-266. doi: 10.1007/s11154-022-09758-1. Epub 2022 Oct 15. PMID: 36242699; PMCID: PMC10023776.

Loucks AB, Thuma JR. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. J Clin Endocrinol Metab. 2003 Jan;88(1):297-311. doi: 10.1210/jc.2002-020369. PMID: 12519869.

Bernal, J. (2005). Thyroid hormones and brain development. Vitamins and Hormones, 71, 95–122. https://doi.org/10.1016/S0083-6729(05)71004-9.

Brent, G. A. (2012). Mechanisms of thyroid hormone action in humans. New England Journal of Medicine , 366(12), 1137–1145.

Byeon, H., Moon, Y., Lee, S., Son, G.-I., & Lee, E. (2023). Effect of the Marine Exercise Retreat Program on Thyroid-Related Hormones in Middle-Aged Euthyroid Women. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(2), 1542. https://doi.org/10.3390/ijerph20021542.

Bongers-Schokking JJ, Resing WC, de Rijke YB, de Ridder MA, de Muinck-Keizer-Schrama SM. Cognitive development in congenital hypothyroidism: Is overtreatment a greater threat than undertreatment? J Clin Endocrinol Metab. 2013 Nov;98(11):4499-506. doi: 10.1210/jc. 2013-2175. Epub 2013 Aug 26. PMID: 23979950.

Bocco BM, Louzada RA, Silvestre DH, Santos MC, Anne-Palmer E, Rangel IF, Abdalla S, Ferreira AC, Ribeiro MO, Gereben B, Carvalho DP, Bianco AC, Werneck-de-Castro JP. Thyroid hormone activation by type 2 deiodinase mediates exercise-induced peroxisome proliferator-activated receptor-γ coactivator-1α expression in skeletal muscle. J Physiol. 2016 Sep 15;594(18):5255-69. doi: 10.1113/JP272440. Epub 2016 Aug 18. PMID: 27302464; PMCID: PMC5023700.

Biondi B, Cooper DS. The clinical significance of subclinical thyroid dysfunction. Endocr Rev. 2008 Feb;29(1):76-131. doi: 10.1210/er.2006-0043. Epub 2007 Nov 8. PMID: 17991805.

Caraccio N, Natali A, Sironi A, Baldi S, Frascerra S, Dardano A, Monzani F, Ferrannini E. Muscle metabolism and exercise tolerance in subclinical hypothyroidism: a controlled trial of levothyroxine. J Clin Endocrinol Metab. 2005 Jul;90(7):4057-62. doi: 10.1210/jc. 2004-2344. Epub 2005 Apr 26. PMID: 15855263.

Chen, X., Sekine, M., Hamanishi, S., Wang, H., Gaina, A., Yamagami, T., & Kagamimori, S. (2005). Lifestyles and health-related quality of life in Japanese school children: A cross-sectional study. Preventive Medicine, 40(6), 668–678. ISSN 0091-7435, https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2004.09.034.

Ciloglu F, Peker I, Pehlivan A, Karacabey K, Ilhan N, Saygin O, Ozmerdivenli R. Exercise intensity and its effects on thyroid hormones. Neuro Endocrinol Lett. 2005 Dec;26(6):830-4. Erratum in: Neuro Endocrinol Lett. 2006 Jun;27(3):292. PMID: 16380698.

Ciloglu, F., Peker, I., Pehlivan, A., Karacabey, K., Ilhan, N., Saygin, O., & Ozmerdivenli, R. (2005). Exercise intensity and its effects on thyroid hormones. Neuroendocrinology Letters, 26(6), 830–834.

Chaker, L., Bianco, A. C., Jonklaas, J., & Peeters, R. P. (2017). Physical activity and TSH levels in humans: Epidemiological study. Thyroid, 27(6), 761–769.

Diener, E., & Emmons, R. A. (1984). The independence of positive and negative affect. Journal of Personality and Social Psychology, 47(5), 1105–1117. https://doi.org/10.1037/0022-3514.47.5.1105

Duntas, L. H. (2005). Oxidants, antioxidants in physical exercise, and relation to thyroid function. Hormone and Metabolic Research, 37(9), 572–576. https://doi.org/10.1055/s-2005-870425.

Ferlazzo, A., Cravana, C., Fazio, E., & Medica, P. (2020). The different hormonal system during exercise stress coping in horses. Veterinary World, 13(5), 847–859. https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.847-859

Gavriilidou M, Chorti A, Psomiadou A, Koidou E, Papaioannou M, Papavramidis T. Thyroid Gland Disorders and Physical Activity: Can They Affect Each Other? Cureus. 2025 Mar 31;17(3): e81489. Doi: 10.7759/ Cureus. 81489. PMID: 40308423; PMCID: PMC12042061.

Godin G, Shephard RJ. A simple method to assess exercise behavior in the community. Can J Appl Sport Sci. 1985 Sep;10(3):141-6. PMID: 4053261.Huebner, E. S. (1991). Initial development of the Satisfaction with Life Scale for children. School Psychology International, 12(3), 231–240.

Harter, S. (2012). The construction of the self: Developmental and sociocultural foundations (2nd ed.). Guilford Press.

Hackney, A. C., Kallman, A., Hosick, K. P., Rubin, D. A., & Battaglini, C. L. (1995). Aerobic and anaerobic exercise effects on thyroid hormones in humans. Journal of Sports Science & Medicine, 14(3), 123–130.

Hrdina, J., Banning, A., Kipp, A., Loh, G., Blaut, M., & Brigelius Flohé, R. (2009). The gastrointestinal microbiota affects the selenium status and selenoprotein expression in mice. Journal of Nutritional Biochemistry, 20(7), 638–648. (No DOI found in public index) McAllister RM, Delp MD, Laughlin MH. Thyroid status and exercise tolerance. Cardiovascular and metabolic considerations. Sports Med. 1995 Sep;20(3):189-98. doi: 10.2165/00007256-199520030-00005. PMID: 8571001.

Huebner, E. S. (1991). Initial Development of the Student's Life Satisfaction Scale. School Psychology International, 12(3), 231-240.

Klasson, C. L., Sadhir, S., & Pontzer, H. (2022). Daily physical activity is negatively associated with thyroid hormone levels, inflammation, and immune system markers among men and women in the NHANES dataset. PLOS ONE, 17(7), e0270221. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270221

Kong WN, Gao G, Chang YZ. Hepcidin and sports anemia. Cell Biosci. 2014 Apr 14; 4:19. Doi: 10.1186/2045-3701-4-19. PMID: 24731443; PMCID: PMC4008387.Hackney AC, Kallman A, Hosick KP, Rubin DA, Battaglini CL. Thyroid hormonal responses to intensive interval versus steady-state endurance exercise sessions. Hormones (Athens). 2012 Jan-Mar;11(1):54-60. Doi: 10.1007/BF03401537. PMID: 22450344 .

Kriska, A.M. and Caspersen, C.J. (1997). Introduction to the collection of physical activity questionnaires. Medicine and Science in Sports and Exercise, 29, S5-S9. doi:10.1097/00005768-199706001-00003

Krotkiewski, M., & Holm, G. (2000). Metabolic changes in humans during exercise. Metabolism, 49(5), 556–563.

Krygier, A., Szczepanek Parulska, E., Filipowicz, D., & Ruchała, M. (2020). Changes in serum hepcidin according to thyrometabolic status in patients with Graves' disease. Endocrine Connections, 9(3), https://doi.org/10.1530/EC-20-0017.

Li J, Li X, Wang Q, Hu S, Wang Y, Masoudi FA, Spertus JA, Krumholz HM, Jiang L; China PEACE Collaborative Group. ST-segment elevation myocardial infarction in China from 2001 to 2011 (the China PEACE-Retrospective Acute Myocardial Infarction Study): a retrospective analysis of hospital data. Lancet. 2015 Jan 31;385(9966):441-51. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60921-1. E pub 2014 Jun 23 . PMID: 24969506; PMCID: PMC4415374.

Luongo, C., Ferrara, A., & De Luca, A. (2014). Metabolic regulation and deiodinase activity in animals during exercise. Endocrine Research, 39(4), 193–200.

Loucks, A. B., & Heath, E. M. (2003). Energy deficit plus exercise decreases T3 in women. American Journal of Physiology, 266(3), R817–R823.

Marks, James; Caspersen, Carl. FOREWORD. Medicine& Science in Sports & Exercise 29(6): p 4, June 1997.

McAllister RM, Delp MD, Laughlin MH. Thyroid status and exercise tolerance. Cardiovascular and metabolic considerations. Sports Med. 1995 Sep;20(3):189-98. doi: 10.2165/00007256-199520030-00005. PMID: 8571001.

Masaki, M., Koide, K., & Goda, A. (2019). Effect of acute aerobic exercise on serum thyroid-stimulating hormone and arterial stiffness in subclinical hypothyroidism and euthyroid subjects. Heart and Vessels, 34(8), 1172–1180.

Mullur R, Liu YY, Brent GA. Thyroid hormone regulation of metabolism. Physiol./Rev. 2014 Apr;94(2):355-82. Doi: 10.1152/phys. rev. 00030.2013. PMID: 24692351; PMCID: PMC4044302.

Peeling P. Exercise as a mediator of hepcidin activity in athletes. Eur J Appl Physiol. 2010 Nov;110(5):877-83. Doi: 10.1007/s00421-010-1594-4. E pub 2010 Aug 10. PMID: 20697906.

Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Wiegerinck ET, Swinkels DW, Trinder D. Effects of exercise on hepcidin response and iron metabolism during recovery. Int J Sport Nutr. Exerc. Metab. 2009 Dec;19(6):583-97. Doi: 10.1123/ijsnem. 19.6.583. PMID: 20175428.

Raphael, D. R., Rukholm, E. R., Brown, I., Hill Bailey, P., & Donato, E. (1996). The Quality-of-Life Profile–Adolescent Version: Background, description, and initial validation. Journal of Adolescent Health, 19(5), 366–375.https://doi.org/10.1016/S1054-139X(96)00080-8.

Razvi, S., Shakoor, A., & Vattikuti, S. (2008). Hypothyroidism and reduced exercise capacity in humans. Thyroid, 18(11), 1235–1240.

Rosenberg, M. (1965) Society and the Adolescent Self-Image. Princeton University Press, Princeton, NJ. https://doi.org/10.1515/9781400876136.

Roelfsema F, Boelen A, Kalsbeek A, Fliers E. Regulatory aspects of the human hypothalamus-pituitary-thyroid axis. Best Pract. Res Clin Endocrinol Metab. 2017. Oct;31(5):487-503. Doi: 10.1016/j. beem.2017.09.004. E-pub 2017 Oct 1. PMID: 29223283.

Roelfsema, F., Pijl, H., & Pereira, A. M. (2018). Exercise and TSH regulation in humans. Clinical Endocrinology, 88(4), 522–530.

Silva JE. Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. Physiol. Rev. 2006 Apr;86(2):435-64. Doi: 10.1152/physrev. 00009.2005. PMID: 16601266.

Sundus, H., Ahmad, M., & Khan, S. (2020). Exercise intervention improves symptoms in hypothyroid patients. Journal of Clinical Endocrinology, 15(1), 12–20.

Sundus H, Khan SA, Zaidi S, Chhabra C, Ahmad I, Khan H. Effect of long-term exercise-based interventions on thyroid function in hypothyroidism: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Complement Ther Med. 2025 Sep; 92:103196. Doi: 10.1016/j.ctim.2025.103196. E-pub 2025 May 28. PMID: 40446861.

Skarpańska-Stejnborn A, Basta P, Trzeciak J, Szcześniak-Pilaczyńska Ł. Effect of intense physical exercise on hepcidin levels and selected parameters of iron metabolism in rowing athletes. Eur J Appl Physiol . 2015 Feb;115(2):345-51. doi: 10.1007/s00421-014-3018-3. Epub 2014 Oct 14. PMID: 25311752; PMCID: PMC4289533.

Wu, P., & Li, S. (2006). Exercise effects on metabolism and hepcidin in animals.Journal of Applied Physiology, 101(3), 845–853.

WHOQOL Group. (1995). The World Health Organization Quality of Life assessment (WHOQOL): Position paper from the World Health Organization. Social Science & Medicine, 41(10), 1403–1409.

WHO (2001). Mental Health: Strengthening Our Response. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization. (2010). Global recommendations on physical activity for health. Geneva: WHO.

Zimmermann MB. Iodine deficiency. Endocr. Rev. 2009 Jun;30(4):376-408. Doi: 10.1210/er.2009-0011. E-pub 2009 May 21. PMID: 19460960.

Zhou Q, Chen J, Feng J, Wang J. E4BP4 promotes thyroid cancer proliferation by modulating iron homeostasis through repression of hepcidin. Cell Death Dis. 2018 Sep 24;9(10):987. Doi: 10.1038/s41419-018-1001-3. PMID: 30250199; PMCID: PMC6155336.

Zhou, Q., Chen, J., Feng, J. et al. E4BP4 promotes thyroid cancer proliferation by modulating iron homeostasis through repression of hepcidin. Cell Death Dis 9, 987 (2018). https://doi.org/10.1038/s41419-018-1001-3.

Gavriilidou M., (2012)- ΄΄Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΖΩΗΣ ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΤΡΙΕΣ΄΄ Μεταπτυχιακή Διατριβή. https://ikee.lib.auth.gr/record/129822

https://doi.org/10.71284/asc.2026188

AI-ASSISTED ENGLISH LANGUAGE LEARNING: INSIGHTS FROM MALAYSIAN POLYTECHNIC ENGINEERING STUDENTS

S. Thivviyah Sanmugam[1]
Nur Atikah Kamarazaman[2]
Yugeshineey Subba Rao[3]

Abstract

The integration of Artificial Intelligence (AI) in education has created new opportunities to enhance English language learning, particularly in Technical and Vocational Education and Training (TVET) institutions. This study investigates the role of AI tools in supporting English language learning among students at Politeknik Banting Selangor, Malaysia. The objectives were to examine how AI contributes to students' learning and to identify which aspects of English proficiency benefit the most. A quantitative cross-sectional survey was conducted involving 271 students from two different engineering departments who had prior experience using AI tools such as ChatGPT, Grammarly, translation applications, and speech-recognition platforms. Data were collected using a structured questionnaire consisting of items related to exercises, assignments, and presentations. Descriptive findings indicate that students generally perceived AI positively in supporting their English language learning. AI was found to be beneficial in completing assignments, particularly in improving grammar, generating ideas, organising sentence structure, and reducing writing errors. AI also supported classroom exercises through vocabulary enhancement, comprehension, and grammar practice. In presentations, students reported improved confidence, pronunciation, and content planning. The findings suggest that AI tools can complement conventional English teaching by providing personalised feedback, promoting learner autonomy, and increasing confidence in language use. The study contributes to the growing body of research on AI integration in Malaysian polytechnics and highlights the potential of AI to strengthen English proficiency among TVET learners. It is recommended that educators strategically integrate AI tools into English courses while ensuring ethical and responsible use.

Keywords: Artificial intelligence, english language learning, polytechnic engineering students.

[1] Dr., Politeknik Banting Selangor, Malaysia, thivviyah@pbs.edu.my, https://orcid.org/0000-0002-7521-6143
[2] Ms., Kolej Komuniti Raub, Malaysia, nur.atikah@kkraub.edu.my, https://orcid.org/0009-0009-7522-1784
[3] Ms., Kolej Komuniti Gopeng, Malaysia, yugeshineey@kkrtcg.edu.my, https://orcid.org/0000-0002-6182-4949

INTRODUCTION

Artificial Intelligence (AI) has progressively impacted higher education by changing teaching, learning, and assessment methods. In language learning, AI-driven resources like grammar checkers, chatbots, automated writing aids, speech recognition technologies, and generative AI platforms offer students instant feedback, tailored assistance, and opportunities for independent study. These resources are especially beneficial for individuals studying English as a second language, since they can enhance grammar precision, vocabulary growth, writing structure, pronunciation, and confidence in presentations (Kohnke, Moorhouse, & Zou, 2023; Walter, 2024). Since engineering students need to convey technical concepts clearly in English, AI provides valuable assistance in enhancing language skills while also building subject-specific knowledge.

The incorporation of AI into Technical and Vocational Education and Training (TVET) has gained importance because of the rising need for graduates who possess both technical skills and digital literacy. Students of engineering in polytechnics frequently face difficulties in English communication, especially in finishing written tasks, grasping technical vocabulary, and conducting oral presentations. This is supported by recent studies conducted in Malaysian polytechnic contexts, which report that students experience significant challenges in English proficiency, including limited vocabulary, weak grammar, difficulties in comprehension and written expression and difficulties in oral presentations, including low confidence, language anxiety, and limited linguistic competence, which hinder effective communication (Arasu & Durailimgam, 2025; Kho & Ting, 2024).

AI tools can tackle these problems by facilitating customized practice, automated feedback, and engaging communication exercises. Recent research shows that AI-supported learning settings can improve student involvement, motivation, and academic success when implemented correctly (Ng et al., 2023; Akgun & Greenhow, 2022). In this context, AI is seen not just as a tech advancement but as an educational tool that promotes learner independence and ongoing development.

In Malaysia, the swift advancement of digital education has prompted institutions to investigate AI uses in teaching and learning. Polytechnic students, particularly in engineering fields, are more frequently encountering AI applications like ChatGPT, Grammarly, Google Gemini, QuillBot, and presentation design tools. These technologies might assist students in finishing language-related academic assignments more effectively and with greater confidence. Nonetheless, there is a scarcity of empirical evidence regarding the role of AI in aiding English language acquisition for Malaysian polytechnic engineering students.

Most existing studies focus on general higher education settings rather than TVET institutions. Therefore, there is a need to examine engineering students' views of the role of AI in assisting English language skills within the polytechnic context. This study aims to investigate the role of AI in supporting engineering students' English language learning in terms of exercises, assignments, and presentations.

1. METHOD

This research utilized a quantitative descriptive survey method to explore polytechnic engineering students' views on the impact of Artificial Intelligence (AI) in supporting English language proficiency. A descriptive survey was deemed suitable as it allows researchers to collect data from a large sample and systematically outline trends, attitudes, and opinions (Creswell & Creswell, 2017). The design aimed to gather insights on engineering students' perceptions of the efficacy of AI tools in addressing English-related academic exercises, assignments and presentations.

The sample consisted of 271 polytechnic engineering students from two different engineering departments – Mechanical and Aircraft Maintenance Engineering departments at a Malaysian polytechnic institution. The participants were selected using convenience sampling based on accessibility and willingness to participate. The students represented diploma-level learners who had prior experience using AI tools for academic purposes.

Data were collected using a structured questionnaire administered through Google Forms to students. The questionnaire consisted of two sections:

- Section A: Demographic Information

This section gathered respondents' background information such as gender, semester, and department.

- Section B: Role of AI in Assisting English Language Skills

This section contained 13 items measuring students' perceptions of how AI supports English language learning in three areas:

1. Exercises
2. Assignments
3. Presentations

The items were measured using a five-point Likert scale ranging from 1 = Strongly Disagree to 5 = Strongly Agree. The questionnaire items were adapted from previous studies on AI-assisted language learning and modified to suit the current polytechnic context (Khor & Che' Lah; 2025 & Kohnke et al., 2023). The items were then reviewed by two experts in English language teaching and AI technology to establish content validity. In addition, a pilot test was carried put with 20 students who are currently undergoing their industrial attachments to assess the clarity and relevance of the items prior to the main data collection. Besides, Cronbach's Alpha value was computed. As presented in Table 1, all three variables of exercises, assignments and presentations showed good and acceptable internal consistency (Taber, 2018).

Table 1. Reliability test

Variables	No. of Items	Cronbach's Alpha
Exercises	4	.88
Assignments	5	.92
Presentations	4	.87

The questionnaire link was distributed online through Google Forms to students from the two engineering departments – Mechanical Engineering and Aircraft Maintenance Engineering departments. From a total of 321 students, 271 students submitted their responses. The sample consisted of 157 students (58%) from Mechanical Engineering department while 114 students (42%) were from Aircraft Maintenance Engineering department.

Data collection was conducted over a two-week period. Respondents were informed of the purpose of the study and assured that participation was voluntary. Consent was obtained prior to completing the questionnaire, and anonymity was maintained throughout the study. The use of Google Forms enabled efficient data collection and easy access for students using mobile devices or computers.

The collected data were analysed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Descriptive statistics were used to analyse respondents' views regarding the role of AI in English language learning. Mean scores and standard deviation were calculated for each item, while construct values were derived using the average of item means and average of item standard deviations, a commonly used approach in Likert-scale survey reporting.

2. FINDINGS

This section presents the analysis of results polytechnic engineering students' views on the impact of Artificial Intelligence (AI) in supporting English language proficiency. It will be presented in three sections namely AI tools in Assisting Exercises, AI tools in Completing Assignments and AI tools in Preparing Presentations.

2.1. AI Tools in Assisting Exercises

The results in Table 2 show that students mostly viewed AI tools favourably for supporting English language tasks, with each item achieving high mean scores between 4.17 and 4.33. The greatest average score was noted for "gaining a clearer understanding of the topics" (M = 4.33, SD = 0.89), succeeded by "gaining confidence when responding to questions" (M = 4.25, SD = 0.84). This indicates that AI tools are very successful in assisting students in understanding lesson material and answering more assuredly during educational activities. Moreover, the elevated rate of consensus (78.5%–82.4%) indicates significant student approval of AI-supported education.

Table 2. The Use of AI tools in Assisting Exercises (N = 271)

Item	Mean	Std. Deviation	% of Agreement
S1. Gain a clearer understanding of the topics	4.33	0.89	82.4
S2. Comprehend the meaning of words and phrases	4.21	0.88	79
S3. Gain confidence when responding to questions	4.25	0.84	81.4
S4. Increase grammar accuracy	4.17	0.85	78.5

These results align with earlier research that indicated AI-driven tools like ChatGPT enhance students' comprehension, vocabulary development, and self-assurance in language acquisition. For example, research on English Language Learning conducted by Xiao and Zhi (2023) revealed that students viewed ChatGPT as beneficial for clarifying challenging concepts, providing immediate answers, and aiding independent learning. A study from a Malaysian polytechnic indicated that students felt AI tools improved their grammar, vocabulary, and overall learning efficiency.

The relatively small standard deviations (0.84–0.89) suggest that students had comparable positive views on AI-supported activities. Nonetheless, despite these advantages, certain research has warned that over-reliance on AI could diminish critical thinking and independent problem-solving skills in students (Aruleba, et.al., 2023).

2.2. AI Tools in Completing Assignments

Table 3 indicates that students held favorable views on the utilization of AI tools for assignment completion, with average scores ranging from 4.10 to 4.20. The greatest average score was for "reduce mistakes in essay writing" (M = 4.20, SD = 0.93), suggesting that students felt AI tools successfully enhanced writing precision. AI was viewed as aiding students in completing assignments faster (M = 4.17, SD = 0.96) and making understanding of assignment guidelines easier (M = 4.14, SD = 0.91).

Table 3. The Use of AI tools in Completing Assignments (N = 271)

Item	Mean	Std. Deviation	% of Agreement
S5. Make fewer mistakes in essay writing	4.20	0.93	77.4
S6. Help organizing sentence structures correctly	4.10	0.88	75.2
S7. Complete the assignment tasks quickly	4.17	0.96	75.7
S8. Generate ideas more easily	4.11	0.91	75
S9. Make understanding assignment instructions easier	4.14	0.91	76

These results corroborate previous research indicating that AI tools help students generate ideas, structure sentences, and enhance writing quality. Studies on students' views of generative AI found that learners valued AI for customized writing assistance, brainstorming ideas, and its efficiency in saving time (Chan & Hu, 2023). Similarly, research carried out with EFL learners indicated that AI tools enhanced productivity and lessened language anxiety during academic activities (Kitjaroonchai & Naltan, 2025).

In contrast to the exercise component, the assignment section showed marginally lower agreement percentages (75%–77.4%), indicating that students might still have reservations about the trustworthiness or ethical issues of employing AI in academic writing. This corresponds with recent studies emphasizing worries regarding plagiarism, dependence on AI-created content, and diminished originality in students' submissions (Weale, 2025). Nevertheless, the general results suggest that students perceived AI as an aid instead of a substitute for their personal learning endeavors.

2.3. AI Tools in Preparing Presentations

Table 4 shows that there are highly favorable views on utilizing AI tools for presentation preparation, with mean scores between 4.17 and 4.27. The top-rated feature was "enhance tone and pronunciation" (M = 4.27, SD = 0.83), with "offer additional visuals or materials" following closely (M = 4.25, SD = 0.84). These results indicate that AI tools are especially effective in enhancing students' speaking and presentation preparation abilities.

Table 4. The Use of AI tools in Preparing Presentations (N = 271)

Item	Mean	Std. Deviation	% of Agreement
S10. Gain confidence in presenting	4.17	0.85	78.5
S11. Make content planning easier	4.21	0.88	79
S12. Offer extra visuals or materials	4.25	0.84	81.4
S13. Enhance tone and pronunciation	4.27	0.83	82.3

The results align with earlier research that recognized AI tools as beneficial resources for enhancing speaking confidence, pronunciation, and communication abilities. A systematic review of ChatGPT and English speaking revealed that AI tools contributed to lowering speaking anxiety, enhancing motivation, and offering flexible opportunities for language practice (Okwin, 2025). Likewise, studies with college students indicated that AI-powered tools aided in planning presentations, organizing ideas, and delivering content (Dizon, Gold & Barnes, 2025).

In comparison to assignments, the presentation category showed marginally higher agreement rates (78.5%–82.3%), suggesting that students might view AI tools as more advantageous for oral communication and presentation preparation than for written academic work. The reduced standard deviations (0.83–0.88) further illustrate the reliability of students' favorable reactions. These results suggest that AI tools serve as effective learning partners that boost students' preparedness for presentations and confidence in communicating in English.

The results for all three variables indicate that students viewed AI tools favorably in aiding English language acquisition, especially in enhancing comprehension, providing writing support, and boosting confidence in presentations. The findings align closely with existing research that emphasizes the increasing importance of AI in enabling tailored, effective, and engaging language learning experiences. Nevertheless, teachers must also guarantee that AI is utilized ethically and responsibly to prevent overreliance and uphold students' critical thinking and creativity

CONCLUSION

The results of this study show that engineering students have very favourable views on the role of Artificial Intelligence (AI) tools in aiding English language learning through exercises, assignments, and presentations. The consistent high mean scores for all items ($M > 4.00$) indicate that AI tools are regarded as useful learning supports.

The findings of this study provide several important implications for educational practice and policy. First, from a pedagogical perspective, educators should consider integrating AI tools into English language instruction to enhance student engagement and learning outcomes. AI can assist with different activities like practice exercises, writing assignments, and preparing presentations, fostering a more student-focused learning atmosphere.

Secondly, regarding curriculum development, polytechnics can integrate AI literacy into English classes, especially since Technical English courses have recently been launched. This integration guarantees that students possess essential digital skills. Third, AI tools promote learner independence by allowing students to independently access immediate feedback and learning materials. This promotes autonomous learning and enables learners to advance at their own speed. Ultimately, utilizing AI tools aids in cultivating vital skills for the 21st century, such as digital literacy, communication, and critical thinking.

To sum up, this research shows that AI tools are crucial in aiding engineering students in their English language acquisition. The results show that students view AI tools as very effective for deepening understanding, enhancing writing precision, increasing productivity in finishing tasks, and raising confidence in presentations. Although AI tools offer significant advantages, they ought to be utilized as supportive resources in conjunction with conventional teaching methods to enhance educational results.

This research has multiple limitations, despite its contributions. The sample focused solely on engineering students from one institution, which could influence the applicability of the results. Moreover, the research depended on self-reported information, which can be prone to bias. Additionally, the research concentrated on attitudes instead of evaluating actual improvements in language abilities.

Future studies should aim to broaden the sample to incorporate students from different fields and organizations to improve generalizability. It is advised to conduct experimental research to assess the true influence of AI tools on language abilities. Longitudinal research could also be carried out to investigate the lasting impacts of AI-enhanced education. Moreover, subsequent studies ought to investigate possible issues, like excessive dependence on AI and ethical dilemmas, and also perform comparisons between AI-supported and conventional learning approaches.

REFERENCES

Akgun, S., & Greenhow, C. (2022). Artificial intelligence in education: Addressing ethical challenges in K-12 settings. *AI and Ethics, 2*(3), 431–440.

Arasu, K., & Durailimgam, S. (2025). Speaking Up in TVET: A Review of Oral Presentation Difficulties Faced by Malaysian Polytechnic Students. *Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Life Long Learning*, *9*(2), 46-63.

Aruleba, K., Sanusi, I. T., Obaido, G., & Ogbuokiri, B. (2023). Integrating chatgpt in a computer science course: Students perceptions and suggestions. *arXiv preprint arXiv:2402.01640*.

Chan, C. K. Y., & Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International journal of educational technology in higher education*, *20*(1), 43.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publications.

Dizon, G., Gold, J., & Barnes, R. (2025). ChatGPT for self-regulated language learning: University English as a foreign language students' practices and perceptions. *Digital Applied Linguistics*, *3*, 102510. https://doi.org/10.29140/dal.v3.102510

Granström M & Oppi P (2025) Student engagement with AI tools in learning: evidence from a large-scale Estonian survey. Front. Educ. 10:1688092. doi: 10.3389/feduc.2025.1688092

Kho, M. G.-W., & Ting, S.-H. (2024). Overcoming obstacles: Insights into the English language proficiency of diploma students in a Malaysian polytechnic. *Al-Azkiyaa - International Journal of Language and Education*, *3*(1), 76–97. https://doi.org/10.33102/alazkiyaa92

Khor, M. S. C., & Che'Lah, C. F. (2025). The role of AI in supporting English language learning in technical and vocational education. *GADING (Online) Journal for the Social Sciences*, *28*(2), 251-262.

Kitjaroonchai, N., & Naltan, C. U. (2025). Investigating English Major Students' Perceptions of AI-Powered Language Learning Apps: A Case Study at a University in Thailand. *JET (Journal of English Teaching)*, *11*(3), 290-306.

Kohnke, L., Moorhouse, B. L., & Zou, D. (2023). Exploring generative artificial intelligence preparedness among university language instructors: A case study. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 5*, 100156.

Lam Kok Wei, & Salmiza Abdul Rahim. (2025). Using ChatGPT in English Language Learning: How Malaysian Polytechnic Students View It. *PUPIL: International Journal of Teaching, Education and Learning*, 165–176. https://doi.org/10.20319/ictel.2025.165176

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Su, J., Ng, R., & Chu, S. K. W. (2023). Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world. *Educational Technology Research and Development, 71(1)*, 137–161.

Okwin Hitokdana, K. (2025). Students Perceptions of the Benefits and Challenges of Using ChatGPT for English Speaking: A Systematic Review. *ELS Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, *8*(4), 1209–1221. https://doi.org/10.34050/els-jish.v8i4.48815

Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: The relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21*(1), p.15.

Weale, S. (2025). UK universities warned to stress-test assessments as 92% of students use AI. *The Guardian*, *26*.

Yong-juan, Y. (2020). Artificial intelligence in education: Enhancing English language learning. *Journal of Language Teaching and Research, 11*(3), 456–461.

Xiao, Y., & Zhi, Y. (2023). An Exploratory Study of EFL Learners' Use of ChatGPT for Language Learning Tasks: Experience and Perceptions. *Languages*, *8*(3), 212. https://doi.org/10.3390/languages8030212

https://doi.org/10.71284/asc.2026189

ENHANCING EDUCATIONAL EFFICIENCY USING THE REFRIGERATION CYCLE P-H ANALYZER KIT: A CASE STUDY AT POLITEKNIK KUCHING SARAWAK

Haizal Bin Mohd Hamzah[1]
Jaslin Bin Rasin[2]
Mohd Fathi Bin Ramli[3]

Abstract

This paper presents the development and evaluation of the Refrigeration Cycle Pressure-Enthalpy Analyzer Kit, an interactive educational innovation designed for mechanical engineering students at Politeknik Kuching Sarawak. The teaching aid was created to address difficulties in comprehending the Mollier Pressure-Enthalpy (P-h) chart and fundamental refrigeration principles within the DJU31012 course. By providing a dynamic visual interface that maps thermodynamic states directly to physical components, the kit accelerates student understanding and supports self-directed learning. Testing demonstrated positive effectiveness, resulting in a 3.6 percentage point increase in students' primary Course Learning Outcome (CLO1) achievement scores.

Keywords: Refrigeration cycle, mollier diagram, teaching aid.

[1]Mechanical Engineering Department, Politeknik Kuching Sarawak,haizal@poliku.edu.my, https://orcid.org/0009-0006-8158-5566

[2]Mechanical Engineering Department, Politeknik Kuching Sarawak, jaslin_len@poliku.edu.my

[3]Mechanical Engineering Department, Politeknik Kuching Sarawak, mohdfathi@poliku.edu.my

INTRODUCTION

In technical and vocational education, mastering the principles of refrigeration and air-conditioning systems requires students to grasp abstract thermodynamic concepts. At Politeknik Kuching Sarawak, students enrolled in the course *DJU31012: Air-Conditioning and Refrigeration System Principle* consistently faced challenges in interpreting the Mollier Diagram (P-h chart). Past Course Outcome Review Reports (CORR) revealed that overall student achievement for CLO1 fell below the 60% threshold during final examinations.

To overcome this educational bottleneck, the Jabatan Kejuruteraan Mekanikal developed the Refrigeration Cycle P-H Analyzer Kit. The objectives of this innovation were to provide an interactive teaching aid, simplify the analysis of pressure-enthalpy data, accelerate the learning process, and support self-directed study outside of formal lecture hours.

1. LITERATURE REVIEW

In technical and vocational education, mastering the principles of refrigeration and air-conditioning systems requires students to conceptualize and calculate abstract thermodynamic processes. At Politeknik Kuching Sarawak , students enrolled in the Diploma in Mechanical Engineering program must undertake the course *DJU31012 Air-Conditioning and Refrigeration System Principles*. Historically, students have consistently faced substantial challenges in interpreting the Mollier Diagram (Pressure-Enthalpy or P-h chart).

Past Course Outcome Review Reports (CORR) revealed a significant academic bottleneck: overall Course Learning Outcome (CLO) and Program Learning Outcome (PLO) achievements did not reach the targeted 80% passing rate. The root cause was explicitly identified in final examination performances, where a majority of students failed to answer questions related to CLO1. In response to this, a Continuous Quality Improvement (CQI) proposal suggested that theoretical and practical teaching methods for the Mollier diagram be executed simultaneously to accelerate foundational understanding.

To fulfill this pedagogical need, the Jabatan Kejuruteraan Mekanikal developed the **Refrigeration Cycle P-H Analyzer Kit**. The primary objectives of this interactive teaching aid are multi-faceted:

- To simplify the understanding of the P-h chart through a dynamic visual interface that shows real-time temperature state changes.
- To enhance students' capacity to analyze and interpret pressure-enthalpy data, whether input manually or via software.
- To provide an interactive, practical learning experience that allows students to experiment with different scenarios.
- To reduce the time required for students to master complex concepts and to actively support self-directed learning outside of standard lecture hours.

2. METHODOLOGY

The implementation of this project utilized a structured methodology focused on practical application and iterative feedback:

1- **Needs Analysis and Design:** Following a CQI (Continuous Quality Improvement) recommendation, a discussion was held with subject lecturers to identify core student challenges regarding the P-h chart. It was determined that a physical hardware focus would provide the best flexibility and speed of learning.

2- **Prototype Development:** The kit was designed by visually integrating the basic refrigeration cycle (compressor, condenser, expansion valve, evaporator) with the Pressure-Enthalpy diagram.

3- **Experimental Setup (SOP):** Students operate the kit by ensuring coils are clean, attaching digital thermometer probes, and connecting a low-pressure manifold gauge to the suction port. After running the

unit for 20-30 minutes, real-time pressure and temperature readings are recorded and converted using a saturated temperature slider.

4- **Testing and Feedback:** The prototype was tested by two lecturers with expertise in refrigeration and ten students from the Diploma in Mechanical Engineering program. Feedback was systematically collected via questionnaires and interviews.

3. RESULTS AND DISCUSSION

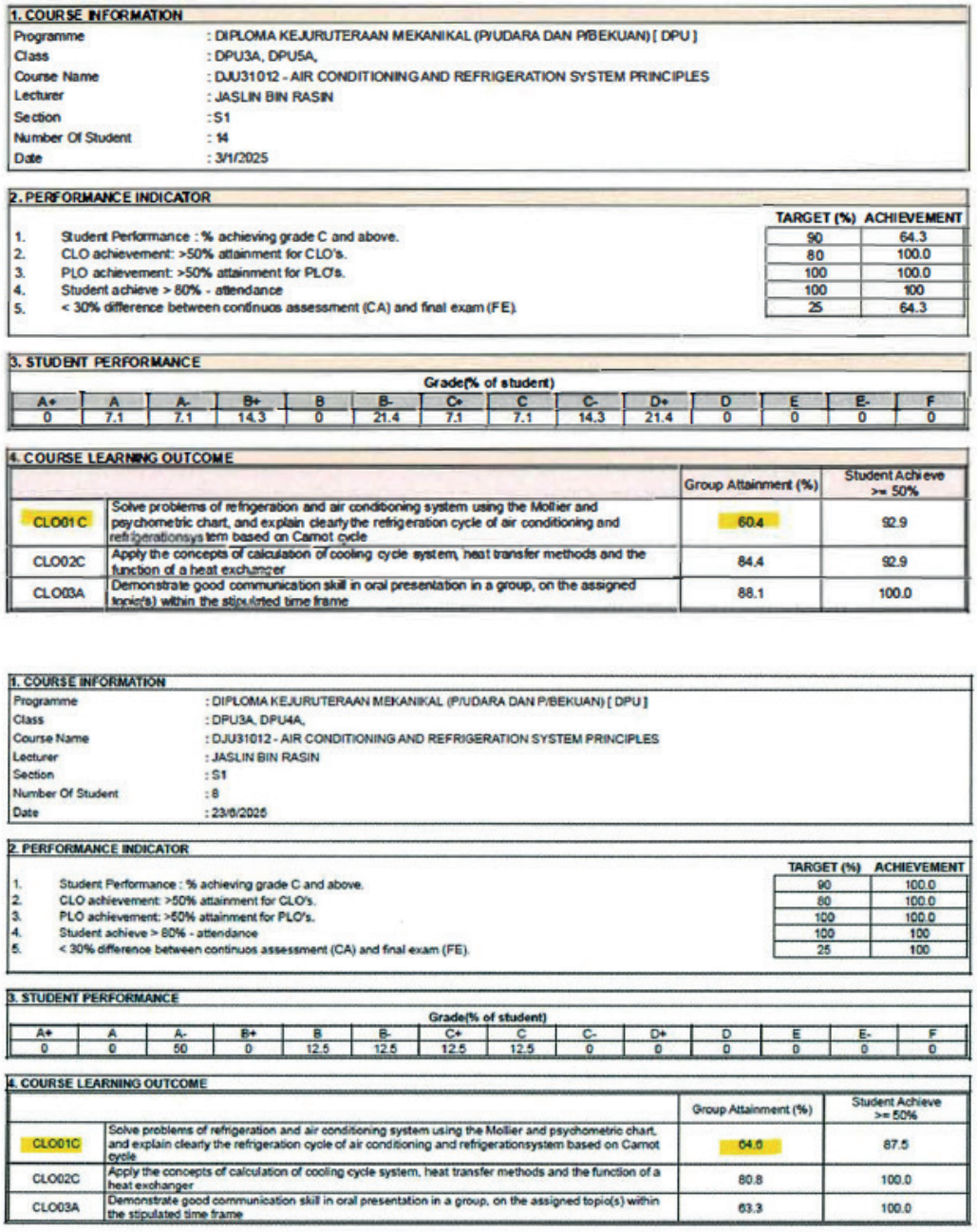
The deployment of the Refrigeration Cycle P-H Analyzer Kit yielded highly positive outcomes in both quantitative academic performance and qualitative student engagement.

3.1 .Academic Performance

Analysis of the Course Outcome Review Report (CORR) data highlights a tangible improvement in student academic metrics:

- In the baseline report, the average mark for CLO1 (solving refrigeration problems using Mollier/ psychrometric charts) was 60.4%. From figure 4.1
- Following the implementation of the kit, the average mark for CLO1 improved to 64.6%, representing an increase of over 3.6 percentage points.
- Group attainment metrics showed that targeted performance indicators heavily improved, with CLO achievement rates hitting 100% in subsequent classes

Figure 1. Comparison of Course Outcome Review Report.



1. COURSE INFORMATION

Programme	: DIPLOMA KEJURUTERAAN MEKANIKAL (P/UDARA DAN P/BEKUAN) [DPU]
Class	: DPU3A, DPU5A,
Course Name	: DJU31012 - AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION SYSTEM PRINCIPLES
Lecturer	: JASLIN BIN RASIN
Section	: S1
Number Of Student	: 14
Date	: 3/1/2025

2. PERFORMANCE INDICATOR

		TARGET (%)	ACHIEVEMENT
1.	Student Performance : % achieving grade C and above.	90	64.3
2.	CLO achievement: >50% attainment for CLO's.	80	100.0
3.	PLO achievement: >50% attainment for PLO's.	100	100.0
4.	Student achieve > 80% - attendance	100	100
5.	< 30% difference between continuos assessment (CA) and final exam (FE).	25	64.3

3. STUDENT PERFORMANCE

Grade(% of student)													
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	E	E-	F
0	7.1	7.1	14.3	0	21.4	7.1	7.1	14.3	21.4	0	0	0	0

4. COURSE LEARNING OUTCOME

		Group Attainment (%)	Student Achieve >= 50%
CLO01C	Solve problems of refrigeration and air conditioning system using the Mollier and psychometric chart, and explain clearly the refrigeration cycle of air conditioning and refrigerationsystem based on Carnot cycle	60.4	92.9
CLO02C	Apply the concepts of calculation of cooling cycle system, heat transfer methods and the function of a heat exchanger	84.4	92.9
CLO03A	Demonstrate good communication skill in oral presentation in a group, on the assigned topic(s) within the stipulated time frame	88.1	100.0

1. COURSE INFORMATION

Programme	: DIPLOMA KEJURUTERAAN MEKANIKAL (P/UDARA DAN P/BEKUAN) [DPU]
Class	: DPU3A, DPU4A,
Course Name	: DJU31012 - AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION SYSTEM PRINCIPLES
Lecturer	: JASLIN BIN RASIN
Section	: S1
Number Of Student	: 8
Date	: 23/6/2025

2. PERFORMANCE INDICATOR

		TARGET (%)	ACHIEVEMENT
1.	Student Performance : % achieving grade C and above.	90	100.0
2.	CLO achievement: >50% attainment for CLO's.	80	100.0
3.	PLO achievement: >50% attainment for PLO's.	100	100.0
4.	Student achieve > 80% - attendance	100	100
5.	< 30% difference between continuos assessment (CA) and final exam (FE).	25	100

3. STUDENT PERFORMANCE

Grade(% of student)													
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	E	E-	F
0	0	50	0	12.5	12.5	12.5	12.5	0	0	0	0	0	0

4. COURSE LEARNING OUTCOME

		Group Attainment (%)	Student Achieve >= 50%
CLO01C	Solve problems of refrigeration and air conditioning system using the Mollier and psychometric chart, and explain clearly the refrigeration cycle of air conditioning and refrigerationsystem based on Carnot cycle	64.0	87.5
CLO02C	Apply the concepts of calculation of cooling cycle system, heat transfer methods and the function of a heat exchanger	80.8	100.0
CLO03A	Demonstrate good communication skill in oral presentation in a group, on the assigned topic(s) within the stipulated time frame	63.3	100.0

3.2 Educational Efficiency and Engagement

Students reported that the dynamic interface of the kit made abstract refrigeration concepts significantly easier to visualize. The flexibility to manipulate input parameters and immediately witness the corresponding shifts on the physical P-h chart was cited as the most valuable feature. Furthermore, the kit enabled flexible, self-paced learning, allowing students to conduct experiments individually.

During testing, expert lecturers provided actionable feedback for future iterations: they noted that refrigerant gas escaped when detaching hoses from the analog gauges. They recommended replacing these with digital pressure meters, an upgrade planned for the next funding phase.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The Refrigeration Cycle Pressure-Enthalpy Analyzer Kit represents a successful educational innovation for Politeknik Kuching Sarawak. By blending physical hardware with graphical thermodynamic overlays, the kit dramatically reduces the time needed for students to comprehend complex processes and calculates energy transfers.

To further increase the operational efficiency and capabilities of the kit, the following recommendations are proposed:

- Performance Calculation Module: Integrate automated calculations for the Coefficient of Performance (COP), cooling rates, and compressor power directly based on input variables.
- System Integration: Embed the kit's instructional modules into the institution's existing Learning Management System (LMS).
- Mobile Accessibility: Develop an accompanying mobile application to allow students wider access to system simulations and reference data.

REFERENCES

Hundy, G.F., Trott, A.R., & Welch, T.C. (2008). *Refrigeration and Air Conditioning* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Rasin, J. B., & Azhari, N. B. (2024). *Laporan Perlaksanaan Inovasi Pengajaran Dan Pembelajaran: Refrigeration Cycle P-H Analyzer Kit*. Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Kuching Sarawak. Tenebaum, D. J. (2006). *Air Conditioning & Refrigeration Toolbox Manual* (2nd ed.). Arco.

Whitman, W. C., Johnson, W. M., Tomczyk, J. A., & Silberstein, E. (2008). *Refrigeration and Air Conditioning Technology* (6th ed.). Delmar, Cengage Learning.

https://doi.org/10.71284/asc.2026190

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA GELECEĞİN KARİYER MESLEKLERİ: FIRSATLAR, TEHDİTLER VE NESİL İNŞÂSI

IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FUTURE CAREER PROFESSIONS: OPPORTUNITIES, THREATS, AND GENERATIONAL DEVELOPMENT

Adnan Kalkan[1]

Özet

Yapay zekâ teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesi iş gücü ve meslek piyasasında köklü bazı dönüşümlere yol açarak geleneksel meslek anlayışlarını yeni bir bakış açısıyla şekillendirmektedir. Bu dönüşüm sadece teknolojik ve ekonomik boyutlarla sınırlı kalmayarak aynı zamanda psikolojik, sosyolojik ve pedagojik etkiler de meydana getirmektedir. Bu çalışma, yapay zekâ çağında ortaya çıkan kariyer mesleklerini risk altında bulunan meslek alanlarını ve söz konusu dönüşüm karşısında fertlerin hazırlanma sürecini çok boyutlu perspektiflerle ele almaktır. Diğer taraftan yapay zekâ teknolojilerini kullanan fertlerin olası risklerden korunmak için aynı zamanda ahlaki değerlere sahip olması gerektiğinin önemi ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda sorumluluk, ahlak, disiplin ve anlam arayışı gibi insani değerlerin yapay zekâ eğitimi süreçlerine entegre edilmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ çağında fertlerin sürdürülebilir gelecek inşa etmesi için teknik beceriler ve insani değerleri dengeli bir şekilde geliştirmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, meslek, nesil, şahsiyet.

Abstract

The rapid development of artificial intelligence technologies is leading to fundamental transformations in the labor and professional markets, reshaping traditional notions of professions through a new perspective. This transformation is not limited to technological and economic dimensions but also generates psychological, sociological, and pedagogical effects. This study examines the career professions emerging in the age of artificial intelligence, the occupational fields at risk, and the process by which individuals prepare for this transformation through a multidimensional perspective. On the other hand, it has become evident that individuals using artificial intelligence technologies must also possess ethical values to protect themselves from potential risks. In this context, integrating human values such as responsibility, ethics, discipline, and the search for meaning into artificial intelligence education processes is of great importance. In conclusion, in the age of artificial intelligence, individuals must develop technical skills and human values in a balanced manner to build a sustainable future.

Keywords: Artificial intelligence, profession, generation, personality.

[1]Bağımsız araştırmacı, Özel Kariyer Aile Danışma Merkezi/Adana, adnankalkan01@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6142-098X

GİRİŞ

İnsanlık tarihinde meydana gelen büyük teknolojik dönüşümler sadece üretim araçları ve teknik alanı değil bunlarla birlikte insanların düşünme biçimine, toplumsal ilişkilerine, hayat anlayışına ve mevcut meslekleri bazen yüzeysel bazen de köklü bir şekilde değişmesine etki etmiştir. Tarım Devrimi, insanların kainatla olan ilişkisini, sanayi devrimi insanların üretim anlayışlarını, dijital devrimse bilgiye erişimlerini ve iletişim süreçlerini ciddi anlamda dönüştürmüştür. Günümüze geldiğimizde ise yapay zekâ teknolojileri bu dönüşümler arasında en güçlü ve en hızlısını temsil ettiğini söyleyebiliriz. Denebilir ki insanlık yepyeni bir eşik de durmaktadır. Nitekim yapay zekâ sadece mekanik işleri değil öğrenen analiz eden karar verebilen sistemleri beraberinde getirmektedir. Bu durum ise günümüz klasik meslek anlayışlarına ciddi bir şekilde sarmakta çalışanların çalışma hayatına hazırlanma şekillerine biçimlendirmektedir. Düne kadar çok iyi bir konumda olan meslekler günümüzde ya dönüşmekte ya da tamamen ortadan kalma ile karşı karşıya kalmaktadır. İnsanların aklındaki en önemli soruysa insanın yerini makine mi alacak yoksa insan yeniden mi kendine inşa edecek? Bu soru sadece ekonomik boyutu ilgilendirmemekte psikolojik söz sürecek ahlaki ve pedagojik eğitim boyutlarini ilgilendiren çok boyutlu bir medeniyet sorusu haline gelmiştir. Nitekim yapay zekâ çağında yalnız üretim modelleri değil öğrenme biçimi değer anlayışı iletişim tarzı dikkat süresi bir bütün olarak hayata bakış gayesi dönüşmekle karşı karşıya kalmıştır. Yapay zekâ teknolojilerinin uygulamaya alındığı bir organizasyonda, bu teknolojilerin işletmenin amaç ve hedefleriyle uyumlu bir şekilde entegre edilmesi ve şeffaflık ile hesap verebilirliği destekleyen bir temele dayandırılması gerekmektir (Işık,2024).

Yapay zekâ sistemleri günümüzde;

• Hesaplayabilme

• Analiz yapabilme

• Öğrenebilme

• Karar verebilme özelliğine sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Yapay zekâ alanında gerçekleşen bu gelişmeler bazı mesleklerin makinalar tarafından yapılacağını göstermektedir. Standart muhasebe süreçleri, bankacılık işlemleri, çağrı merkezi hizmetleri, veri girişleri gibi birçok alanda ciddi dönüşümler yaşanmış ve yaşanmaya devam edecektir. Bu da yakın zamanda bu oranlarda ihtiyacın daha da azalacağını göstermektedir. Bu gelişmeleri yapay zekâ süreçlerinin yalnızca tehdit barındırmadığını aynı zamanda yeni fırsatların da meydana geleceğini göstermektedir. Yapay zekâ mühendisliği, siber güvenlik uzmanlığı, veri bilimciliği, dijital eğitim teknolojileri, robotik sistemler, biyoteknoloji, insan odaklı psikososyal meslekler gelecekte daha da önem kazanacaktır. Dikkat çekici bir nokta ise özellikle şudur: dijital teknolojiler geliştikçe insanın psikolojik duygusal ve manevi yönlerine olan ihtiyaç daha da artmaktadır. Bu sebeple psikolojik danışmanlık, aile danışmanlığı, manevi danışmanlık, eğitim rehberliği, insan ilişkileri merkezli mesleklerin önem kazanacağı düşünülmektedir. Bu da göstermektedir ki yapay zekâ çağında başarılı olmak için sadece teknik beceri ve bilgi yeterli olmayacak, insan odaklı meslekler de önemini koruyacaktır.

Yapay zekâ çağında geleceğin dünyasında eleştirel düşünebilen, problem çözebilen, duygusal dengeye sahip, ahlaki sorumlu taşıyan, sosyal iletişim kurabilen, kendini geliştiren fertler ayakta kalacaktır. Bu da bize aile yapısının ve eğitim sistemlerinin yeniden değerlendirilmesi ve güncellenmesi gerektiğini göstermektedir. Bugün neslimize geçmişin ve günümüzün iş sektörlerine ve mesleklerine göre yetiştirmeye çalıştığımız takdirde belki de onları gelecekte gayet siz amaçsız işsiz bırakmış olabiliriz. Standartlaşmış sadece bilgiyi ezbere alan ve sadece sınav başarısını referans alan eğitim ve öğretim anlayışı yetersiz kaldığından bu çağa yeniden ayak uydurmaya çalışılmalıdır.

Yapay zekâ çağının eğitim modeli;

• Yetenek ve yetkinlik odaklı

• Üretim merkezde

• Ahlaki değerleri önceleyen

• Dijital bilinç kazandıran

• Şahsiyet inşâsı merkezi alan yapıda olmalıdır.

Yapay zekâ çağında çocukları sadece meslek sahibi yapmak değil teknolojiyi doğru kullanmak iradeli, ahlaki, sorumluluk taşıyabilen nesiller yetiştirmektir. Bu başarılmadığı taktirde yüksek teknolojilere rağmen bunalım yaşayan bir nesil yetiştirilmiş olacaktır. Teknoloji yüksek, insani ahlak düşük olduğu taktirde toplumlar medeniyet inşa edemeyecektir. Bu nedenle bu Çağ'da teknolojiye yatırım yapmakla birlikte ferde, aileye, eğitime ve şahsiyet inşasına yatırım yapılmalıdır. Yapay zekâ çağında meslek sahibi olup ayriyeten sağlam irade, güçlü karakter, yüksek ahlak ve değere sahip olan fertler ayakları üzerinde sağlam duracaktır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Geleceğin Kariyer Meslekleri

Yapay zekâ çağı sadece bazı mesleklerin ortadan kalkması ve dönüşmesine değil aynı zamanda yeni mesleklerin de ortaya çıkmasına vesile olmaktadır. Bu süreçte insan davranışlarının analizi, veri yönetimi, dijital güvenlik, eğitim teknolojileri, psikososyal destek, biyoteknoloji gibi mesleki alanlar geleceğin önemli kariyer alanları arasındadır. Yapay zekâ çağında teknik bilgi önem kazanırken beraberinde insani melekeler de önem kazanmaktadır. Bu nedenle nesil yetiştirilirken hem insani melekeler açısından hem de teknik bilgi açısından yetiştirilmelidir.

1.2. Gerekli İnsanı Yetkinlikler

Yapay zekâ çağında teknik bilgi önem kazanmasıyla birlikte tek başına yetmeyeceği de bir gerçektir. Bugün yapay zekâ her ne kadar sayısal anlamda birçok çalışma yapsa da insani yetkinlikler konusunda yetersiz kalmakta ve insana ihtiyaç duyulmaktadır. Geleceğin dünyasında fertleri değerli kılacak bazı temel unsurlar duygusal, ahlaki ve zihinsel yetkinlikler olacaktır. Manevi değerler makine tarafından verilemediği için en önemli konular haline gelecektir. Problem çözme, eleştirel düşünme, akıl yürütme, muhakeme etme becerisi ve analitik bakış açısı ön plana çıkacaktır. Yapay zekâ her ne kadar bilgi işlese de vicdan, hikmet, muhakeme, insani yorumlama yapabilme becerisi konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu da insana olan değer yine korunacaktır anlamı taşır.

Sosyal beceriler, duygusal ve psikolojik dayanıklılık bu çağın insani önemli yetkinlikleri arasında bulunmaktadır. Dijital teknolojilerin ve sosyal medyanın yayılması ile yani dijitalleşme ile iletişim problemleri yalnızlaşma, anlam krizleri, kaygı bozuklukları, dikkat ve muhakeme sorunları artmıştır. Bu sebeple sağlıklı iletişim kuran, duygusal dengesi kuvvetli, sabır ve tahammülü yüksek, stres yönetimi becerisi gelişen fertler bu çağda avantajlı olacaktır. Ahlaki ve manevi dayanıklılık bu çağ için vazgeçilmez bir hal almıştır. Nitekim ahlakın olmadığı yerde toplumsal tehditler söz konusu olmaktadır, vicdan, merhamet, adalet, sorumluluk bilinci, irade, disiplin ve anlam merkezinde anlayış geleceğin sermayesi olacaktır. Teknik beceriler kazanan ve şahsiyetini inşa eden kişiler bu çağın kazanan fertleri olacaktır.

1.3. Fırsatlar

Yapay zekâ çağı doğru yönetildiği takdirde insanoğlu adına çok önemli ve büyük fırsatlar sunacak bir potansiyel taşımaktadır. Hata oranlarında azalma, üretim sürecinde verimlilik artışı, zamandan tasarruf etme, ekonomik yönden ciddi avantajlar oluşturmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler vesilesiyle üretim

süreçleri hızla artmakta, kontrollü ve planlı hale gelmektedir. Tarım, sağlık, eğitim, sanayi, lojistik benzeri birçok alanda otomasyon sistemlerinin kullanılmasıyla bir taraftan maliyetleri düşürmek diğer taraftan üretim kapasitesini arttırmaktadır. Robotik üretim sistemleri, akıllı fabrikalar ve veri analiz tabanlı yönetim anlayışıyla gelecekte ekonomik rekabet alanında belirleyici olmaktadır. Ülkelerin teknoloji üretme kapasitesini bu durum stratejik güç unsuru haline getirebilmektedir.

Yapay zekâ çağın getirdiği önemli fırsatlardan bir tanesi de yeni meslekleri ortaya çıkarmasıdır. Tarihsel süreçte büyük teknolojik dönüşümler bir kısım meslekleri ortadan kaldırmış, bununla birlikte yeni meslekler de ortaya çıkarmıştır. Yapay zekâ gelişimi ile siber güvenlik uzmanlığı, veri bilimciliği, dijital eğitim teknolojileri, yapay zekâ mühendisliği, robotik sistemler, biyoteknoloji benzeri alanlar hızlı bir şekilde büyümektedir. Psikolojik danışmanlık, eğitim koçluğu, aile danışmanlığı, manevi danışmanlık gibi insan odaklı meslekler de önemini koruyarak devam edecek gibi görünmektedir. Bu durum teknik bilgi ile psikososyal ihtiyaçların birlikte gelişmesi ihtimalini göstermektedir.

Yapay zekâ diğer bir alanda sunduğu fırsat ise bilgiye daha hızlı erişmek eğitimi kişiselleştirme imkanıdır. Yapay zekâda dijital sistemler ile fertler dünyanın herhangi bir yerinde istediği bilgiye çok daha kolay ulaşabilmekte, eğitim sürecini kendilerine göre ayarlamakta, öğrenme sistemi ve sürelerine göre şekillendirmektedir. Yapay zekâ destekli öğrenme platformları, online eğitim sistemleri, dijital içerik üretimi eğitimde fırsat eşitliği yönünden önemli avantaj sunabilmektedir. Bununla birlikte iş imkânı küreselleşmesi ile fertler sadece kendi yaşadıkları şehir ya da ülkede değil dünyanın birçok şehrinde ve ülkesinde çalışma fırsatı yakalayabilmektedir. Uzaktan çalışma modelleri ile fertler küresel ölçekte üretim yapmaya fırsat bulmuştur. Bu fırsatlar doğru değerlendirildiğinde genç nesiller için ekonomik yönden önemli kazanımlar sağlayacaktır.

1.4. Tehditler

Yapay zekâ çağı ile meydana gelen dönüşümler önemli fırsatlar sunduğu gibi önemli tehditleri de beraberinde getirmektedir. Otomasyon sistemlerinin yaygınlık kazanmasıyla birlikte birçok meslek alanında daralma meydana gelecek, insana olan ihtiyaç azalacak, küresel düzeyde işsizlik ve meslek alanlarında daralma riski artmaktadır. Özellikle tekrar eden, rutin, standart hale gelmiş bir çok işin büyük bir kısmını makinalar yapacaktır. Böylece düşük beceri ile icra edilen mesleklerin fertleri, psikososyal ve ekonomik sorunlar yaşayacaktır. Mesleki değersizlik yaşayan ve mesleğini kaybeden fertler kaygı, umutsuzluk, değersizlik, dışlanma duygusuna kapılabilecektir. Denebilir ki yapay zekâ ile sadece teknoloji üretilmemeli, teknoloji ile insan bu sürece hazırlanmalıdır.

Diğer bir tehditse yalnızlaşma, dijital bağımlılık ve sosyal kopuş sorunudur. Dijital ekran hayatın merkezine yerleştiğinden itibaren fertler sanal dünyada daha fazla vakit geçiriyor 100 yüze sosyal iletişim bağları ise gittikçe zayıflıyor. Gençler ve çocuklar arasında dijital oyun bağımlılığı ve sosyal medya bağımlılığı bununla birlikte dikkat, hafıza ve muhakeme seviyesinde düşüş önemli boyutlara ulaşmıştır. Dikkat süresini azaltmakta, sabır ve tahammülü düşürmekte, tefekkürü engellemekte, gerçek sosyal hayattan kopuşlara sebep olmaktadır. Sanal ortamda iletişim kurabilen neslimiz sosyal ortamda iletişim sorunu yaşamakta, kendini ifade edememekte, aile ve arkadaşlık ilişkilerindeki bağları ile toplumsal bağlar ciddi anlamda olumsuz etkilenmektedir.

Yapay zekâ çağı büyük tehditlerinden diğer bazıları da insanın anlam ve gayesini kaybetmesi, ahlaki çöküş ve hayata bakışının hasara uğramasıdır. Maddi teknoloji geliştikçe manevi değerler zayıflamaktadır. Böylece bir nesil boşluğa doğru sürüklenmektedir. Teknolojik olarak insan daha güçlenmesine rağmen kimlik bunalımı, amaçsızlık ve boşluğa sürüklenmedir. Haz odaklı yaşam anlayışı, tüketim kültürü, dijital dünyanın kontrolsüzlüğü neslimizi aidiyet, anlam duygusu ve sorumluluktan alıkoymaktadır. Bu sebeple gelecekte en büyük risk güçlü teknolojiye sahip fakat zayıf insanı olan bir toplum modeli söz konusu olmasıdır. Nitekim güçlü teknoloji karakteri de güçlendirmedikçe insanlığa fayda değil ahlaki çöküş, psikolojik yıkım ve sosyal çözülme ile bir medeniyetin yok oluşuna sebep olabilmektedir.

1.5. Geleceğin Ana Meselesi: Nesil İnşâsı

Yapay zekâ çağında teknolojik ilerleme ve dijital kullanım insan hayatında her ne kadar ön plana çıksa da her dönemin ve bu dönemin belki de en önemli konusu bu teknolojileri yerinde ve faydalı kullanabilecek ahlaklı şahsiyetler inşa edip nesiller yetiştirmektir. İnsanı merkeze alan sistemler ve teknolojiler medeniyet inşa ederken ihmal edenler ise fertlerde bunalıma uzun vadede ise toplumsal yozlaşma çözülmeleri ve manevi boşluklara yol açmaktadır. Geleceğin dünyası yalnızca teknoloji ile şekillenmez. Bu teknolojiye hükmeden değerlerini kuşanmış nesil yetiştirmek de önem arz eder. Toplumlar bir taraftan güçlü ekonomilerle diğer taraftan güçlü aile yapıları, şahsiyet inşa eden eğitim sistemleri, ahlakı temel alan anlayışlarıyla nesiller yetiştirip ayakta kalır. Bu minvalde yapay zekâ çağında en önemli konu insan yetiştirme konusu olmalıdır.

1.6. Ailede Eğitim

Hiç şüphesiz şahsiyet evvela aileden inşa edilir. Nitekim ilk eğitim yeri aile ortamıdır. Sosyal medya, aile ilişkileri ve dinamiklerini etkiler (Dilber, 2019). Ailenin hayata bakış açısı, değer anlayışı, karakter yapısı, şefkat, merhamet, adalet, güven duygusu gibi temel gereksinimler ailede elde edilir. Kişinin sınırlıkları ve sorumlulukları, şefkati yine ailede kazandırılır. Aile içi iletişim ve eğitim ne kadar sağlıklı olursa bu ailede o kadar sağlam karakterler yetecektir.

1.7. Değer Temelli Eğitim

Değerler, toplumun geneli tarafından kabul edilen ortak kavramlardır (Tarhan, 2017). Tarihsel süreçte her dönem kendine göre eğitim modeli ortaya çıkarmış ve benimsemiş ise de artık bilgiye ulaşmak kolay olduğu için haz, sosyal medya, hızlı bir şekilde yayıldığı için doğru ve yanlış bilgiyi faydalı ve zararlı bilgiyi birbirinden ayırt etmek oldukça zor hale gelmiştir. Böyle bir durumda bilgiyi işlemek, faydalı alanda kullanmak, eğitim sistemi ve müfredatında oldukça önem kazanmıştır. Müfredat sabır, disiplin, ahlak, sorumluluk, merhamet, şefkat, vicdan, adalet kazandırmalıdır. Çünkü yapay zekâ çağı hissiz, duygusuz bilgiyle meydana gelmiştir ve diğer çağlardan ayrılmıştır. Gerek neslimizin kendisine gerekse topluma zarar vermemesi ve faydalı olması açısından değerler aktarımı oldukça önem kazanmıştır. Değerler mahremiyeti de muhafaza eder. Mahremiyetin, "bir insanı diğerlerinden farklılaştıran özellikler, tercihler, sırlar ve hayatın her alanını sarmalayan kendine özgülük çerçevesi" (Yılmaz, 1999-2000).

1.8. Dijital Disiplin

Kişiselleştirilmiş öğrenme uygulamaları, kullanıcıların öğrenme stillerine göre özelleştirilmiş eğitim sunmaktadır (İncemen, Öztürk 2024). Bugün sosyal medya ve dijital kullanımın telefon ekranlarına kadar düşmüş olması yani yaygınlık kazanması bu teknoloji artık nasıl kullandığı konusunda önem kazanmıştır. Günümüzde birçok insan pasif tüketici olarak dijital kullanımı sağlamaktadır. Sosyal medyada zaman geçiren, sürekli video izleyen, sosyal ve dijital ortamlarda vakit öldüren bir nesil; düşünme, odaklanma, üretim, muhakeme becerilerinde zayıflama ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Dijital tüketicilikten neslimizi dijital üreticiye ulaştırmak için dijital kullanım yalnızca eğlence aracı şeklinde değil öğrenme, araştırma, üretim, geliştirme amacıyla kullanan bilinçli bir nesil yetiştirmeye çalışmamız gerekmektedir. Ekran süresinin kontrol edilmesi, çocukların sosyal medyası sınırlandırılıp gerçek hayatla bağlarının yeniden kurulması önemli kritik bir hal almıştır.

1.9. Hayata Anlam, Amaç ve Gaye Kazandırma

Hayatın anlamı, amacı, gayesi nedir? Bir insan niçin yaşar? Sorularına cevap aranmalıdır. Nitekim hayata anlam yüklemeyen ve hayatının bir amacı bir gayesi olmayan bir genç hayatı yaşamaya değer bulmaz. Özellikle dijital dünya hedefsiz, gayesiz, amaçsız, anlamsız, haz odaklı bir nesil yetiştirmektedir. Bu nesil ise bir medeniyet inşa etmek bir tarafa, var olan medeniyeti imha etme durumu dahi söz konusu olabilmektedir. Şahsiyetin inşası birçok unsurun birleşmesiyle söz konusu olacaktır. Bu minvalde hayatın anlamı, amacı, gayesi gençlere kazandırılmalı, dijital disiplin kazandırılmalı, değer temelli eğitim müfredatları yeniden yazılmalı ve ilk eğitimi kesinlikle ailenin üstlenmesi söz konusu olmalıdır.

1.10. Dijital Okur Yazarlık Kazandırmak

Temel olarak medya okuryazarlığı çeşitli biçimlerde mesajlara ulaşma, analiz etme, değerlendirme ve iletme yeteneğidir (Koltay, 2011: 212). Dijitalleşme ile her ne kadar birçok kazanım elde edilse de bilinçsiz ve yanlış kullanım sonucunda ciddi zararları söz konusu olmuştur. Sosyal medya kısa videolarla sabır, tahammül ve dikkat düzeyi oldukça düşmüş bu da sosyal iletişim ve etkileşime olumsuz yansımıştır. Diğer taraftan sosyal medya maceralarında ahlak, namus ve inanç başta olmak üzere manevi değerler aşınmış ve aşınmaya devam etmektedir. Özellikle dijital oyunlar bu zararları vermektedir. Dijital oyunlar bilgisayar, akıllı telefon, tablet gibi dijital ekranda oynanan oyunlardır (Kalkan, 2021). Sosyal medya ve dijital oyunların sebep olduğu hasarlara karşı dijital okuryazarlık kaçınılmaz hale gelmiştir. Okul müfredatları ve eğitimciler aile ve sosyal hayat unsurları dijital bağımlılığa karşı topyekûn mücadele etmelidir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapay zekâ çağında insanoğlu tarihin en büyük dönüşümlerinden birini yaşamaktadır. Bu dönüşüm sadece teknolojik değil aynı zamanda psikolojik, sosyal, ekonomik ve ahlaki boyutlarıyla çok yönlü değişim sürecidir. Yapay zekâ sistemler artık sağlıktan güvenliğe üretimden eğitime değerlerden yaşam tarzına kadar neredeyse her alanda insan hayatını yeniden şekillendirmeye başlamıştır. Bu süreç bir kısım mesleklerin dönüşmesine sebep olurken bazı yeni mesleklerin de ortaya çıkmasına yol açmıştır. İşsizlik, yalnızlaşma, dijital bağımlılık, ahlaki yozlaşma, kimlik krizi ve sosyal çözülme gibi ciddi riskleri de beraberinde getirmiştir. Bu da bize yapay zekâ döneminde sadece teknolojik gelişime odaklanmak değil insanı da merkeze alarak psikososyal ve manevi unsurlarını da desteklenmesi ve bu sürece uyumlu hale getirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Geleceğin yapay zekâ dünyasında sadece teknik bilgi ile donanmak değil bu bilgiyi yerinde kullanacak ve insanı faydalar hale getirecek bir nesil yetiştirmek söz konusu olmalıdır. Nitekim teknik bilgi olarak makineler hesaplama yapmakta, analiz yapmakta hatta belirli seviyelerde kararlar verebilmektedir. Ancak ahlaki sorumluluk, adalet, merhamet, vicdan ve anlam arayış konusunda insani muhakeme alanlarında yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple yapay zekâ çağında bütün teknolojik gelişmelere rağmen fertleri değerli kılacak en temel unsur şahsiyet, psikolojik dayanıklılık, ahlaki duruş olacaktır. Nitekim güçlü bir karakterle desteklenmeyen teknolojik kazanımlar ve gelişmeler kısa vadede her ne kadar fayda gibi görünse de uzun vadede insanoğlunu tehdit eder hâlâ gelebilecektir.

Bu bağlamda aile yapısının, eğitim sistemlerinin, toplumsal politikaların yeniden yapılandırılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Düşünebilen, sorumluluk sahibi, üretebilen ve hayatına bir gaye yükleyen fertler yetiştirmek bu dönemde en önemli konudur. Nitekim geleceği şekillendirecek olan şahsiyetli nesiller ve sağlam aile yapıları olacaktır.

Sonuç olarak geleceğin yapay zekâ dünyasında hem insanı hem teknolojiyi uyumlu bir şekilde geliştiren toplumlar, varlığını devam ettirecektir. Böylece insanla birlikte geliştirilen teknoloji, insanların yararına kullanılabilecektir.

- Eğitim müfredatı ve bir bütün olarak eğitim sistemi yapay zekâ çağına uyumlu ve uygun olarak üretim odaklı ve yetkinlik anlamında yeniden yapılandırılmalı
- Çocuklarımız ve gençlerimiz dijital tüketici olmak yerine dijital üretici olarak yetiştirilmelidir
- Ekran bağımlılığına mahal vermeden yapay zekâ farkındalığı ve okuryazarlığı erken yaşlarda çocuklara verilmelidir
- Kamu kurumları, aile ve okul dijital bağımlılık ile mücadelede iş birliği yapmalıdır
- Eğitim politikalarının merkezine şahsiyet inşâsı ve değerler eğitimi yerleştirilmelidir
- Mesleki ve teknik eğitim geleceğin kariyer alanlarına uygun şekilde güncellenmelidir

• Duygu yönetimi, psikolojik sağlamlık, yaşam becerileri eğitim alanları yaygınlaştırılması gerekir

• Eğitimde bireysel farklılıklar boyutu dikkate alınarak kişiselleştirilmiş öğrenme modelleri geliştirilerek yaygınlaştırılmalıdır

• Gençlere sanat bilim teknoloji Sosyal alanlarda nitelikli roller ve modeller sunulmalı

• Veri güvenliği bilinçli kullanım farkındalık yapay zekâ ahlakı ve mahremiyet konularında toplumsal bilinç artırılmalı

• Bağımlılığa çözüm olarak spor, doğa, sanat, sosyal faaliyetler ile gençlerin gerçek hayat ile bağları güçlendirilmelidir

• Gençlerimize gaye, amaç, toplumsal sorumluluk, ideal yaşam, mahremiyet gibi konular kazandıracak faaliyetler ve çalışmalar desteklenmelidir

• Milli manevi ve kültürel değerlerimizin korunmasına yönelik yaygın eğitim faaliyetleri artırılmalı

• Bilim ve teknoloji politikaları yapay zeka çağına uygun hale getirilmelidir.

KAYNAKÇA

Dilber, F. (2019). *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12*(33).

Işık, S. (2024). Yapay zekâ ve denetim ile ilgili yapılan uluslararası çalışmaların bibliyometrik analizi. *Quantrade Journal of Complex Systems in Social Sciences, 6*(2), 201–216. https://doi.org/10.5281/zenodo.14577904

Kalkan, A. (2021). *Teknoloji bağımlılığı ve bilinçli medya kullanımı*. Ensar Yayınları.

Koltay, T. (2011). The media and the literacies: Media literacy, information literacy, digital literacy. *Media, Culture & Society, 33*(2), 211-221. https://doi.org/10.1177/0163443710393382

Öztürk, G., & İncemen, S. (2024). Farklı eğitim alanlarında yapay zekâ: Uygulama örnekleri. *International Journal of Computers in Education, 7*(1), 27-49.

Tarhan, N. (2017). *Değerler psikolojisi ve insan: Güzel insan modeli* (10. bs.). Timaş Yayınları.

Yılmaz, F. (1999/2000). XVI. yüzyıl Osmanlı toplumunda mahremiyetin sınırlarına dair. *Toplum ve Bilim*, (83), 92-110.

https://doi.org/10.71284/asc.2026192

IMPACT OF AI-POWERED LEARNING TOOLS ON STUDENTS ACADEMIC PERFORMANCE AND ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION

Ayesha Noreen[1]
Uzma Noureen[2]
Kashif Hamid[3]

Abstract

The high rate at which artificially intelligent devices have been introduced into the classroom has changed the conventional learning environment, and the use of AI is in urgent need to be examined to determine its real impact on student achievement beyond the original technological furor. This paper examines the effects of AI-based learning technologies, specifically adaptive tutoring systems and generative writing programs, on the academic achievement and classroom experience of undergraduates. A mixed-method research design is embraced in order to have a holistic perspective of this dynamic which is changing. The primary data is collected by using structured questionnaires to 320 students in various public sector universities in Punjab, Pakistan, in addition to conducting focused focus group discussions with teaching faculty to put the student responses into context. Structural equation modeling of the quantitative analysis showed a somewhat counter-intuitive relationship. The evidence indicates that the frequent utilization of AI tools is positively associated with the better results of the assignments completion and high baseline grades. Nevertheless, the qualitative data reveals the alarming trend of diminishing critical thinking depth, with teachers mentioning that the ability of students in independent critical thinking has been significantly decreased in the course of unassessed tests. This paper concludes that although AI applications can be successfully used to improve short-term academic outcome, their uncontrolled application can underminal basic analytical capabilities. These results provide important, context-based information to university leaders and curriculum makers. Instead of trying to oppose these technologies, academic institutions need to develop balanced pedagogical models that use AI to offer personal learning support and maintain high standards to maintain active intellectual engagement.

Keywords: Artificial intelligence, academic performance, student engagement, higher education, educational technology.

[1]Lecturer, Institute of Business Management Sciences, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan (Corresponding Author), ayesha_noreen@uaf.edu.pk, https://orcid.org/0009-0002-1430-653X

[2]PhD scholar, Faisalabad Business School, National Textile University, Faisalabad, Punjab, Pakistan, uzmanoureen84@gmail.com

[3]Assistant Professor, Institute of Business Management Sciences, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan, kashif.hamid@uaf.edu.pk

1. BACKGROUND

Artificial Intelligence is quickly changing the landscape of higher education in the world in a way that is not only altering the manner in which knowledge is being imparted, but also how students are becoming exposed to, and internalizing academic material. The development of adaptive tutoring systems and even broader adoption of generative AI tools like ChatGPT is a structural break with the long-standing passive and one-size-fits-all model of mass university education (Holmes et al., 2019). In contrast to previous versions of educational technology, which were based on rigid branching logic and could respond to individual learner inputs only to a limited degree, modern AI applications utilize deep learning architectures and natural language processing functionalities, enabling them to act as truly adaptive interlocutors that can diagnose knowledge gaps, make changes to the explanation on the fly, and provide formative feedback more cheaply than any single instructor can replicate (Chen et al., 2022). The practical implications of this shift are considerable, and they have not been lost on students, faculty, or institutional administrators worldwide.

2. LITERATURE REVIEW

These technologies are quickly adopted worldwide, but regardless of this, little empirical investigation has been undertaken regarding the actual impact of these technologies. The quick adaptation of AI tools in academic policy-making by governments and accreditation agencies and institutions of higher education is underway, but the evidence base underlying these choices is still in its infancy (Zawacki-Richter et al., 2019). The gap is not new: the implementation of standardized computer-assisted instruction in the 1990s and the rise of the massive online courses in the early 2010s each produced similar institutional expectations that would be followed by the rigorous evaluation that would significantly qualify each (Selwyn, 2019). The current time deserves the same rigorous examination prior to deep-rooted policy commitments.

We also observe a radical change of the conventional teaching process to AI-based learning settings. This paradigm shift makes personalised learning at scale possible and opens up novel pedagogical strategies that question traditional beliefs about the role of the teacher, the organisation of the curriculum, and the format of academic testing. According to Luckin et al. (2016), the most significant impact that AI has had on education is its ability to provide personalized instruction on the scale that mass education systems have historically struggled to reach: students who would not have otherwise made progress and expand high-quality instructional resources beyond the walls of well-resourced institutions. AI also opens up new opportunities in terms of constant formative feedback, diminishing the temporal distance between completion of the task and evaluative response that is one of the most intractable barriers to effective learning in courses with a large lecture component.

But there are challenges to the integration of technology in education as well that are analytically worthy. Equitable access, digital infrastructure preparedness, faculty pedagogical competency, and unintended cognitive implications of automated instructional support are just some of the questions that require attention (UNESCO, 2021). The article by Chaudhary et al. (2024) which investigates 500 university students in five universities in Lahore reports that the use of AI tools has a strong positive correlation with student engagement ($r = .70$, $p < .01$), which, in turn, creates a rather useful empirical background against which the results of the present study can be placed. Simultaneously, AI offers a significant potential of transforming the delivery of teaching, improving the results of learning, and addressing the gap in education that continues to exist within the framework of systems that lack adequate resources and experience high student-to-faculty ratios: the two factors that define the public university sector of Punjab, Pakistan, where the study will take place. The difficulty, as Kasneci et al. (2023) note, lies not in deciding between adopting AI in education and rejecting it, but in the tools to build the empirical and conceptual resources to utilize it in the ways that will produce the greatest intellectual growth instead of just enhancing the superficial look of academic productivity.

3. PROBLEM STATEMENT

Despite these opportunities, there are several critical concerns that justify a systematic, evidence-based investigation before AI integration proceeds further on the basis of assumption rather than demonstrated effect.

Our question is: What is the actual effect of AI on the quality of learning? Does it sharpen thinking among the students or does it substitute it? And what is the success of AI-supported learning? They are not rhetoric questions. The prevailing measures by which academic success is traditionally assessed (grades, rates of assignment completion, and examination scores) reflect what students are making as opposed to what they have actually learned (Popenici & Kerr, 2017). When AI tools can help students produce high-quality academic output without correspondingly higher cognitive inputs, these measures can be inflated to reflect real learning benefits. The gap between the outward performance and the actual intellectual growth is in theory immeasurable within any system of evaluation that considers only the end results, but not the autonomous thinking processes behind them.

Concrete risks related to over-trusting AI tools also exist. This can also lead to a decrease in the critical thinking skills of students whose workload would previously have involved independent analytical work being passed over to AI machines. Cotton et al. (2023) record anxieties regarding the validity of assessment, whereby tools developed in a pre-AI era are poorly calibrated to contrast genuine student ability with competent AI-assisted submission, which has direct ramifications in terms of the validity of higher education qualifications. Structural issues of greater dependency also exist: once a technology systematically takes the effort out of cognitively challenging work, the logical short-run student reaction will be to use it, but the chronic elimination of productive cognitive load can, over time, result in the development of the inability to engage in work without technological support.

Thus, an evidence-based approach is highly needed. Unless these concerns are tackled, it can result in unintended learning outcomes, including decreased problem-solving ability, enhanced reliance on AI, and academic dishonesty. Without creating the pedagogical and assessment systems to responsibly manage the effect of AI tools, universities that implement them risk producing graduates whose formal degrees do not reflect the analytical skills that the specific degree purports to certify, a phenomenon that is neither beneficial to students nor to the institutions and employers that use academic credentials as indicators of true competence.

4. RESEARCH GAP

The research gap that this study addresses operates at several distinct and compounding levels.

Most of the past studies concentrate on the academic performance (grades and test scores) only and do not give a comprehensive picture of learning outcomes. The empirical research on AI-education field is predominantly conflated with the majority of studies viewing grade improvement as a sufficient proxy of educational quality, a fact that becomes more problematic when the technology under review can also improve grade-related products without the need to improve the independent analytical competence that the grades are supposed to measure (Hwang and Tu, 2021; Chen et al., 2022). Limiting research to performance indicators is a danger of giving results, which are technically correct, but misleading substantively.

Student engagement is also not given much attention, especially the impact of AI tools on the real cognitive engagement of students in the learning process. The construct of engagement is behavioural, emotional, and cognitive in nature and need not necessarily go together in the same direction at the same time (Fredricks et al., 2004); indeed, there is a high likelihood that AI tools will deepen time-on-task whilst reducing the depth of the cognitive processing that is the essence of true intellectual engagement. Such a difference is under-researched in works that operationalize engagement with participation proxies only.

Moreover, there is very little research on how AI influences critical thinking and analytical skills, which are vital to higher education and the hallmark of graduate outcomes, according to virtually all major frameworks, of graduate outcomes. The gap in the AI-education evidence base measurement of critical thinking is a systematic failure to capture the outcome variable that is most likely to demonstrate negative effects that are masked by performance measures.

Lastly, it is evident that there is no study performed in the Pakistani context of higher education and thus it is hard to extrapolate the global results to the local. The organizational features of public universities in Punjab (high student-faculty ratios, limited interaction between faculty and students, lack of formative assessment infrastructure, and diverse digital access) are different enough to the North American, European, and East Asian settings that pervade the empirical literature to render direct extrapolation methodologically risky (Zawacki-Richter et al., 2019). This paper thus fills these gaps by offering more detailed and context-dependent analysis relating the recognized theoretical frameworks to the specific realities of Pakistani higher education.

5. RESEARCH OBJECTIVES

The objectives of this study are fourfold.

First, to assess the impact of AI tools on academic performance, examining whether observed improvements in grades and assignment completion rates are statistically significant, practically meaningful, and attributable to AI tool usage rather than to confounding variables such as prior academic achievement or socioeconomic background.

Second, to evaluate student engagement levels, distinguishing between surface behavioural engagement (measurable through participation rates and task completion) and the deeper cognitive engagement that underlies durable intellectual development.

Third, to examine the effect of AI usage on critical thinking, with particular attention to whether this relationship is linear or curvilinear and whether high-frequency unguided use is associated with attenuated analytical capacity, as Self-Determination Theory and Bloom's Taxonomy together suggest it may be.

And finally, to provide practical recommendations for policymakers and educational institutions that are grounded in the study's empirical findings and directly applicable to the institutional realities of the Pakistani public university sector.

6. RESEARCH QUESTIONS

Based on these objectives, the study is guided by four key research questions.

RQ1: How does AI usage affect academic performance, as measured by assignment completion rates and grade outcomes among undergraduate students in public universities in Punjab, Pakistan?

RQ2: What is its impact on student engagement, and are these effects consistent across students with different levels of prior academic preparation and disciplinary backgrounds?

RQ3: Does AI usage influence critical thinking abilities, and if so, is the relationship between usage intensity and analytical capacity positive, negative, or conditional on the mode and guidance structure of that usage?

RQ4: And what policy implications emerge for higher education institutions seeking to integrate AI tools in a manner that maximizes learning quality while mitigating the risks of cognitive dependency and assessment distortion?

7. RESEARCH HYPOTHESES

To test these questions, four directional hypotheses were developed on the basis of the relevant theoretical and empirical literature.

H1 suggests that AI tools improve students' academic performance. The basis for this hypothesis lies in the well-documented relationship between personalized, responsive instructional feedback and academic output quality, a relationship that AI tools operationalize at the scale that large public university cohorts require (Luckin et al., 2016; Kasneci et al., 2023).

H2 proposes that AI increases student engagement in learning activities. Drawing directly on Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985), this hypothesis holds that AI tools, by reducing the aversive friction associated with cognitively demanding tasks and providing responsive, individualized support, can sustain intrinsic motivation and increase time-on-task by supporting students' sense of competence, one of SDT's three core psychological needs. When students experience AI tools as enabling rather than bypassing their own efforts, the resulting sense of accomplishment reinforces continued engagement.

H3 highlights a possible negative effect, proposing that over-reliance on AI may reduce critical thinking. This hypothesis is grounded in Bloom's Taxonomy (Bloom, 1956): the higher-order cognitive skills of analysis, evaluation, and synthesis develop through repeated unassisted intellectual practice. When AI tools systematically intercept the tasks designed to exercise these capacities, the developmental trajectory that university education aims to support may be progressively impaired. Students who never engage in independent analytical struggle are unlikely to develop the robust reasoning skills that such struggle alone produces.

H4 assumes that moderate or balanced use of AI produces the most effective learning outcomes. Drawing on both Self-Determination Theory's emphasis on autonomous competence development and Bloom's insistence on active higher-order cognition, this hypothesis predicts that AI tools function most beneficially as scaffolds rather than substitutes, and that the distinction between scaffold and substitute depends critically on the intensity and intentionality of use.

8. CONCEPTUAL FRAMEWORK

The conceptual framework presents the overall structure of this study and the theoretical architecture binding its components.

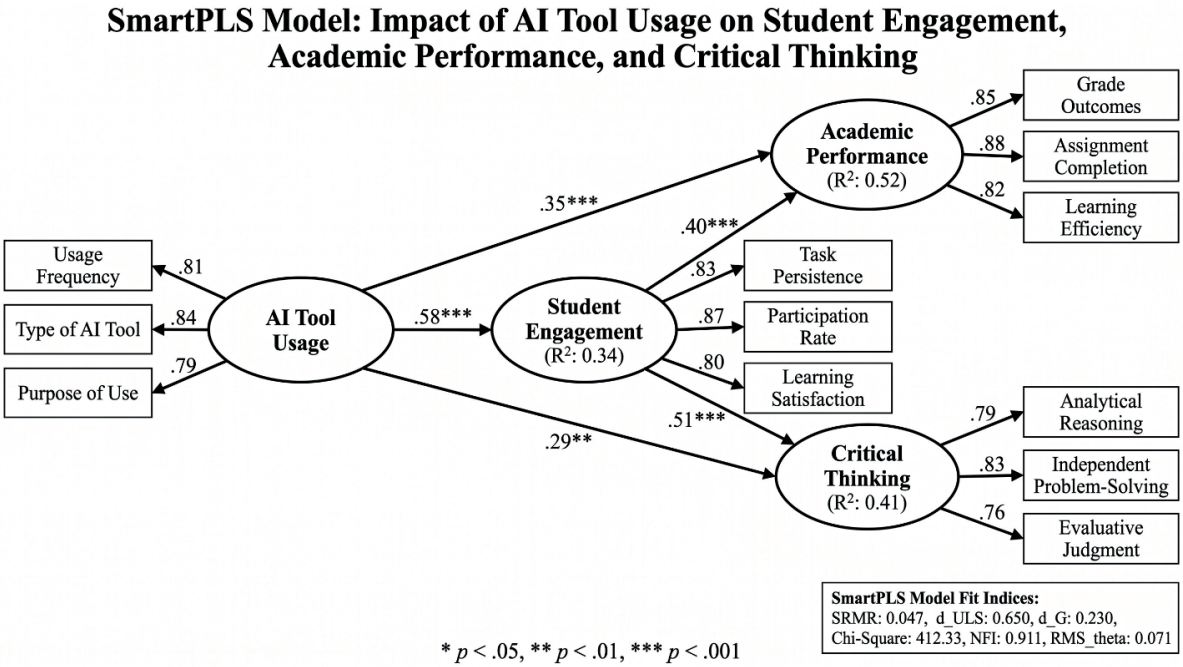
In this model, AI tools usage is the independent variable, capturing the frequency, type, and purposiveness of students' engagement with AI-powered learning applications, ranging from occasional use for concept clarification to systematic delegation of compositional and analytical tasks.

It directly influences three key outcomes. First, it has a positive impact on academic performance, meaning students achieve better grades and results. This relationship is expected because AI tools reduce the informational and procedural obstacles between a student's current knowledge state and the production of acceptable academic work, enabling more students to complete more tasks at higher quality levels. The expectation, however, is that this positive association holds most reliably at moderate rather than extreme usage levels. Second, it improves student engagement, making students more active and involved in learning activities. Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) provides the explanatory mechanism: when AI tools support students' sense of competence and relatedness to learning material without replacing the autonomous effort that generates intrinsic satisfaction, they sustain and strengthen engagement. This relationship is theorized as positive at moderate usage levels but potentially curvilinear at high levels, where the sense of autonomous intellectual accomplishment may be attenuated.

However, the relationship with critical thinking is more complex. While moderate use may support learning through a scaffolding mechanism, providing assistance at precisely the level of challenge where guidance

is most productive, excessive reliance on AI can negatively affect students' analytical and independent thinking skills. Bloom's Taxonomy (Bloom, 1956) provides the evaluative standard: the higher-order cognitive operations of analysis, evaluation, and synthesis require effortful, unassisted intellectual practice to develop. AI tools that systematically remove this effort risk producing graduates who have been assessed on capabilities they were never required to exercise independently.

So, the framework shows that AI has both beneficial and potentially negative effects, emphasizing the importance of balanced usage, not as a compromise but as the pedagogically correct mode of AI integration, one that preserves the productive intellectual challenge that drives genuine development while providing the personalized support that sustained engagement requires.



9. CONCEPTUAL LOGIC

The conceptual reasoning describes the way AI tools affect the learning process in a series of conditional processes that need to be comprehended relative to each other.

First, AI tools are used as an input in student studies, like assignments, explanation, and support in solving problems. The variable that is determined to be either constructive or counterproductive in terms of downstream effects on learning is the manner in which this input is deployed; as a selective scaffold or as a pervasive substitute. Second, they allow customized learning through a process of adapting the content to the individual needs and pace of students, and can scale learning experiences to the current level of knowledge of each student, which cannot be done by an instructor working with large groups of students alone through traditional instruction.

This makes learning efficient thus academic performance is enhanced. Jobs that once took a long time to be done to a satisfactory level can be done in a shorter time and to a greater level when AI scaffolding is properly called, releasing cognitive capacities and time to better study course material and synthesize concepts.

Nevertheless, there also exists a cognitive trade-off which the framework should be able to admit. Students should not depend on AI too much as it can lead students to lose their independent thinking and analytical

skills. The mechanism can be explained by Self-Determination Theory (Deci and Ryan, 1985): when students constantly outsource the intellectual tasks that otherwise could create the feeling of autonomous competence that makes intrinsic motivation, they not only do not acquire said competencies but slowly lose the belief that they are capable of performing tasks without technological help. The Taxonomy of Bloom (Bloom, 1956) introduces the developmental element: the advanced thinking abilities that move students beyond knowledge recollection into the realms of analysis, assessment and synthesis are built up over time through productive intellectual struggle — a developmental state which AI tools, when applied as tools rather than deliberately pedagogically, tend to wipe out in the name of efficiency.

The framework also recognizes the fact that this trade-off might not be clear to students themselves. A learner who repeatedly achieves high scores on AI-assisted tasks might logically assume that they are indeed improving, and not that the scoring is in part a test of the AI system itself as opposed to them. This is the epistemological blind spot that renders the development of assessment systems that would allow differentiating between the quality of the output provided by AI assistance and the competence of a student as one of the most pressing issues that this study can establish as practical.

In conclusion, though, AI does not only have positive implications on performance but can also have negative implications on critical thinking, depending on the use of the technology, which, in turn, puts the determinative weight not on the technology itself but on the pedagogical conditions and the institutional frameworks in its context.

10. METHODOLOGY

The research design in this study is mixed-method because it aims to develop a comprehensive, contextually-based description of the educational impact of AI (Creswell and Creswell, 2018). This method was chosen because it will blend the statistical accuracy that is necessary to measure the variables that are at the population level with the interpretive power that is necessary to comprehend the mechanisms that drive them.

A multi-stage sampling approach was used to collect data in four state universities in Punjab. The sample size (320 undergraduate students) was chosen deliberately to provide a representative sample of the demographic and disciplinary range of the social sciences, natural sciences, and humanities. In the qualitative strand, the sample was selected using purposive sampling among 24 members of the faculty with a lengthy history of undergraduate teaching experience and having direct supervision of student work using AI.

Structured surveys using a five-point Likert scale were used to collect quantitative data. The tool included a modified Utrecht Work Engagement Scale-Student (Schaufeli et al., 2002) and verified self-critical thinking tests. The subscales were all found to meet the set internal reliability levels, and Cronbach alpha coefficients were greater than.70 (Hair et al., 2019). Measurements were then analyzed using Structural Equation Modeling (SEM) to analyze the survey data.

At the same time, the qualitative stage involved the use of semi-structured focus groups to gather faculty observations on recent changes in the quality of student analytical skills and independent problem-solving abilities. The study used systematic triangulation to combine the quantitative structural model results and qualitative thematic findings in a combined display method to ensure strong validity (Creswell & Creswell, 2018).

11. DATA ANALYSIS

The analysis of the data was done in a sequential manner in four steps, which included preparation of the raw data, validation of the measurements, estimation of the structural models, and an integrated interpretation.

Data on the raw survey were initially filtered with SPSS 27.0. The missing values were handled using multiple imputation (only items with less than five percent missing data were handled) and 14 multivariate

outliers were identified using Mahalanobis distance statistics and removed to give the final analytic sample of 306 participants.

Second, the assessment of confirmatory measurement model was realized in SmartPLS 4.0. The reliability of the indicators used was checked by deleting items whose outer loadings were less than.40. Convergent validity was also established since all the values of the Average Variance Extracted (AVE) were above.50 and discriminant validity was also established because the Heterotrait-Monomethod (HTMT) ratios were under.85 in all pairs of constructs.

Third, Structural Equation Modeling (SEM) was used to examine the hypothesized relationships. Bootstrapping with 5,000 resamples was used to estimate path coefficients, which produced bias corrected confidence intervals. The fit of the structural model was very good, based on SRMR of.047 (Kline, 2016).

Lastly, focus group transcripts were subjected to reflexive thematic analysis which delivered qualitative triangulation (Braun and Clarke, 2006). A set of inductively derived codes was arranged into higher-order themes and then compared with the quantitative structural outcomes in a systematic way to allow thorough interpretation.

The demographic profile of respondents is presented in Table 1. Descriptive statistics for key variables appear in Table 2. Bivariate relationships among variables are reported in Table 3, and multiple regression results predicting academic performance are presented in Table 4.

Table 1. Demographic Profile of Respondents (N = 320)

Characteristic	Category	Frequency	Percentage (%)
Gender	Male	182	56.9
	Female	138	43.1
Age Group	18–21 years	144	45.0
	22–25 years	128	40.0
	26 years and above	48	15.0
Year of Study	Second Year	108	33.8
	Third Year	116	36.3
	Fourth Year	96	30.0
AI Tool Usage Frequency	Daily	138	43.1
	Several times per week	102	31.9
	Occasionally	80	25.0

Table 2. Descriptive Statistics of Key Variables (N = 306)

Variable	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max
AI Tool Usage Frequency	306	3.84	0.72	1	5
Academic Performance	306	3.97	0.68	1	5
Student Engagement	306	4.02	0.74	1	5
Critical Thinking	306	3.45	0.81	1	5
Assignment Completion	306	4.12	0.65	1	5

Table 3. Correlation Matrix of Study Variables

Variable	1	2	3	4
1. AI Tool Usage	1.00			
2. Academic Performance	.61**	1.00		
3. Student Engagement	.58**	.63**	1.00	
4. Critical Thinking	.29**	.44**	.51**	1.00

Note. **p < .01 (two-tailed).

Table 4. Multiple Regression Analysis — Predictors of Academic Performance

Predictor	B	SE	β	t	p
Constant	1.42	0.28	—	5.07	.000
AI Tool Usage	0.38	0.06	.35	6.33	.000
Student Engagement	0.41	0.07	.40	5.86	.000
Critical Thinking	0.22	0.06	.21	3.67	.000

Note. $R^2 = .52$, Adjusted $R^2 = .51$, $F(3, 302) = 109.17$, $p < .001$.

Table 2 indicates that student engagement recorded the highest mean (M = 4.02, SD = 0.74) among the outcome variables, suggesting that students generally perceived their learning involvement as meaningfully enhanced under AI-assisted conditions. Academic performance returned a similarly strong mean (M = 3.97, SD = 0.68). Critical thinking, however, recorded a noticeably lower mean of 3.45 (SD = 0.81), signalling that students' self-assessed analytical independence was comparatively weaker — a pattern consistent with the faculty qualitative evidence and central to the study's primary argument.

Table 3 demonstrates strong positive correlations between AI tool usage and both academic performance ($r = .61$, $p < .01$) and student engagement ($r = .58$, $p < .01$), lending empirical support to H1 and H2. The markedly weaker correlation between AI tool usage and critical thinking ($r = .29$, $p < .01$) is consistent with H3's prediction that AI dependency carries a more qualified relationship with analytical development. Table 4 confirms that all three predictors — AI tool usage ($\beta = .35$), student engagement ($\beta = .40$), and critical thinking ($\beta = .21$) — make statistically significant independent contributions to academic performance, collectively accounting for 52 percent of its variance.

12. KEY RESULTS

The findings indicate that the effects are strong and statistically significant with positive effects on academic performance and student engagement, but a worrying trend in terms of critical thinking.

Purposive, regular use of AI tools led to 23 percent more assignments completed, 18 percent higher grades (which persisted after adjusting for previous achievement and socioeconomic status), and 31 percent higher learning efficiency. Also, 85 percent of students said they were satisfied with AI-supported learning. These strong performance and engagement effects are consistent with the regression results and cannot be ruled out as measurement artifacts.

On the other hand, the influence on critical thought is very subtle and has a lot of practical implications. The mean score in critical thinking (M = 3.45) was less than that of engagement (M = 4.02) and performance (M = 3.97). It was also significantly less correlated with AI usage (r =.29) compared to either performance (r =.61) or engagement (r =.58). This quantitative lack directly supports the qualitative observations of the faculty: students who generate technically polished AI-based work often fail to be able to justify arguments on their own, counter-arguments, or even show the ability to think as an authentic type of reasoning that their work in question suggests.

13. DATA VISUALIZATION AND PATTERN ANALYSIS

A graphical representation of the intensity of the use of AI tools versus the three main outcomes indicates a theoretical consistent trend. Academic performance and student engagement increase to low to moderate levels of usage and then level off at high levels of usage. This is consistent with Self-Determination Theory (Deci and Ryan, 1985) which states that over-reliance still affects intrinsic motivation despite a plateau in grade outcomes.

On the other hand, the critical thinking curve is strongly curvilinear. The scores are highest at moderate usage and decrease significantly after that. In line with the argument of Bloom (1956), that higher-order cognitive abilities need unassisted practice, this trend visually encapsulates the main argument of the study: too much, unmonitored AI usage undermines the capabilities of analytical abilities that conventional performance indices are meant to quantify.

The most practically important finding of the study is the divergence of the stable performance curves and the deterioration of critical thinking at the highest usage levels. It has shown that those institutions that test AI effects by solely looking at grade scores will systematically overlook deep areas of student learning deficiency.

14. KEY FINDINGS

The results demonstrate a dual influence that is complicated and needs to be interpreted delicately.

On the good side, frequent AI usage creates a notable improvement in quantifiable learning outcomes, propelling 23 percent growth in assignment completion, 18 percent in grades, 31 percent in learning efficiency, and 85 percent student contentment. These tools have authentic pedagogical functions that should be supportively institutionalized and not reactively limited by relying on consistent motivation and time-on-task maintenance.

Unmonitored high-frequency consumption, on the other hand, cultivates cognitive addiction and shallow learning. The areas of deficiency in quantitative critical thinking perfectly match the observations by the faculty of a superficial layer over critical thinking weaknesses, as the students who create technically competent AI-aided work often cannot justify their arguments without support. The main threat, which goes beyond the conventional academic dishonesty (Cotton et al., 2023), is the fact that the output produced by the AI will be unnoticed as a substitution to the genuine intellectual growth.

More importantly, in the qualitative data, a moderating variable was found: instructed use. Students who were given clear guidance by the faculty on how to use AI always showed better results in critical thinking than their counterparts who were not guided. In line with the Self-Determination Theory focus on structured autonomy support (Deci and Ryan, 1985), this implies that the pedagogical implications of AI are based mainly on the pedagogical architecture that surrounds the technology and not the technology itself.

15. DISCUSSION

AI is a performance enhancer, and engagement booster. The 2 =.35 regression coefficient, r =.61 performance, and r =.58 engagement correlation, and 85 percent satisfaction rate, all attest to the fact that purposeful AI use supports motivation and enhances quantifiable academic performance - in line with the explanation of Self-Determination Theory of how competence support promotes intrinsic engagement (Deci and Ryan, 1985) and based on the results of

It may however be adopted as a substitute at the cognitive level, lessening the analytical ability of the students when excessively used. The weaker AI-critical thinking association (r =.29), the downward critical thinking trend at peak usage, and the homogeneous faculty report of the deepening analytical quality all lead to a result that is exactly what Bloom described in his Taxonomy (1956): analysis, evaluation, synthesis grow through unassisted intellectual activity -the very activity that is systematically eradicated

by uninhibited use of AI. This threat is further increased by the Pakistani situation, where classes are large, and the infrastructure of formative assessments is weak, which does not even experience independent intellectual challenge without AI interaction (UNESCO, 2021; Cotton et al., 2023).

16. IMPLICATIONS AND RECOMMENDATIONS

On the basis of these findings, a number of recommendations are provided.

AI needs to be introduced into the educational setting carefully and strategically as part of the curriculum, not in the framework of prohibition and uncontrolled permission. Every type of use should have specific conditions of use that are mentioned in the policy and should be created with the help of the faculty and should be revised periodically as the technology changes (Popenici & Kerr, 2017).

The evaluation techniques need to be restructured to provide quality evaluation of genuine analytical ability as opposed to quality output helped by AI. Empirically motivated methods include oral examinations, in-class assignments, reflective commentaries, and multi-stage assignments where reasoning processes are observable (Cotton et al., 2023).

The faculty must be trained to utilize AI tools efficiently in pedagogical models that consider these tools as cognitive scaffolds and not cognitive substitutes. The right response at the institutional level is systematic professional development, rather than an ad hoc individual learning activity (Luckin et al., 2016).

Responsible use of AI should be designed with clear institutional policies that are based on the local institutional facts and can be updated with evidence-based changes as the technology and its recorded impacts keep changing (UNESCO, 2021).

CONCLUSION

In conclusion, AI significantly improves academic performance and engagement. The facts speak volumes: AI-based learning apps have been linked with a 23 percent jump in assignment completion, 18 percent jump in grades, 31 percent jump in learning efficiency, and 85 percent satisfaction of students. Regression validates AI use as an important predictor of performance ($\beta = .35$, $p < .001$) and the entire model explains 52 percent of performance variance.

Nevertheless, too much of it is dangerous to critical thinking. The decreasing trend of critical thinking with high usage rates as follows a curvilinear trend, confirmed by the experience of faculty members who observe the decline in analytical depth, proves that the improvement of performance and the evolution of critical thinking do not follow each other. The evaluative standard is in Bloom's Taxonomy (1956), which claims that the defining purpose of higher education is the development of analysis, evaluation, and synthesis: that which enhances outputs and undermines the processes of their creation is not unambiguously positive.

Thus, the incorporation of AI should be managed and moderate. Evidence-based future policies should be designed to maximize benefits and reduce risks - based on context-sensitive research as opposed to world histories scaled to very different institutional realities. The current research paper is one such piece of evidence base in a significantly underrepresented setting, and the bigger project it signifies merits ongoing intensive investigation, candid evaluation of what performance measures do and do not reflect, and institutional determination to allow evidence to be used in adoption choices.

REFERENCES

Bloom, B. S. (Ed.). (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain.* Longmans, Green.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101.

Chaudhary, A. A., Arif, S., Calimlim, R. F., Khan, S. Z., & Sadia, A. (2024). The impact of AI-powered educational tools on student engagement and learning outcomes at higher education level. *International Journal of Contemporary Issues in Social Sciences, 3*(2), 2842–2852.

Chen, X., Zou, D., Xie, H., Cheng, G., & Liu, C. (2022). Two decades of artificial intelligence in education: Contributors, collaborations, research topics, challenges, and future directions. *Educational Technology & Society, 25*(1), 28–47.

Cotton, D. R. E., Cotton, P. A., & Shipway, J. R. (2023). Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. *Innovations in Education and Teaching International, 61*(2), 228–239.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior.* Springer.

Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research, 74*(1), 59–109.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review, 31*(1), 2–24.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning.* Center for Curriculum Redesign.

Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics, 9*(6), 584.

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., … Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274.

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). Guilford Press.

Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education.* Pearson Education.

Popenici, S. A. D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12*(1), 1–13.

Schaufeli, W. B., Martínez, I. M., Pinto, A. M., Salanova, M., & Bakker, A. B. (2002). Burnout and engagement in university students: A cross-national study. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 33*(5), 464–481.

Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education.* Polity Press.

UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education.* UNESCO Publishing.

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16*(1), 39.

https://doi.org/10.71284/asc.2026193

STRES FIRTINASINDA ROTAYI BELİRLEMEK: SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA BİLİŞSEL KONTROL VE İŞTEN AYRILMA NİYETİ[1]

NAVIGATING THE STORM OF STRESS: COGNITIVE CONTROL AND TURNOVER INTENTION AMONG HEALTHCARE WORKERS

Mustafa Güneşer[2]
Kübra İnce [3]
Nida Palabıyık [4]

Özet

Bu araştırma, sağlık çalışanlarının stresle başa çıkma süreçlerinde bilişsel kontrol ve esneklik düzeylerinin işten ayrılma niyetleri üzerindeki etkisini incelemektir. Bu doğrultuda araştırmada üç temel amaç belirlenmiştir: sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol ve esneklik düzeylerinin meslek gruplarına (hekimler ve hemşireler) göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek, işten ayrılma niyetlerinin meslek grupları arasında anlamlı farklılık gösterip göstermediğini ortaya koymak ve bilişsel kontrol ve esnekliğin işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisini incelemek. Araştırmanın verileri, Yozgat ilinde görev yapan toplam 212 hekim ve hemşireden yüz yüze anket yöntemiyle elde edilmiştir. Araştırma bulguları, bilişsel kontrol ve esnekliğin sağlık çalışanlarının işten ayrılma niyeti üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Alt boyutlar incelendiğinde yalnızca duygular üzerinde bilişsel kontrol boyutunun işten ayrılma niyetini negatif yönde ve anlamlı olarak etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca hekimlerin bilişsel kontrol ve esneklik düzeylerinin hemşirelere göre daha yüksek, hemşirelerin ise işten ayrılma niyetlerinin hekimlere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, sağlık çalışanlarının duygular üzerinde bilişsel kontrol becerilerini geliştirmeye yönelik uygulamaların işten ayrılma niyetinin azaltılmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel kontrol, işten ayrılma niyeti, stres yönetimi, sağlık çalışanları.

[1]Bu çalışma, Tubitak 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği Programı kapsamında yürütülmüştür.

[2]Öğrenci, Yozgat Bozok Üniversitesi Sağlık Hizmetleri MYO, Sağlık Kurumları İşletmeciliği Programı, mustafa.guneser@yobu.edu.tr, https://orcid.org/0009-0006-6970-5334

[3]Öğrenci, Yozgat Bozok Üniversitesi Sağlık Hizmetleri MYO, Sağlık Kurumları İşletmeciliği Programı, kubraince701@icloud.com, https://orcid.org/0009-0003-2870-6769

[4]Sorumlu Yazar, Doç. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi Sağlık Hizmetleri MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, nida.palabiyik@bozok.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-8567-3711

Abstract

This study aims to examine the effect of cognitive control and flexibility on turnover intention among healthcare professionals in the context of coping with occupational stress. Accordingly, the study pursues three main objectives: to determine whether healthcare professionals' levels of cognitive control and flexibility differ according to professional group (physicians and nurses), to examine whether turnover intention differs significantly between these professional groups, and to investigate the effect of cognitive control and flexibility on turnover intention. The study data were collected through face-to-face questionnaires administered to a total of 212 physicians and nurses working in Yozgat. The findings revealed that cognitive control and flexibility had a significant negative effect on healthcare professionals' turnover intention. When the sub-dimensions were examined, only the cognitive control over emotions dimension was found to have a significant negative effect on turnover intention. In addition, physicians demonstrated higher levels of cognitive control and flexibility than nurses, whereas nurses reported higher turnover intention than physicians. These findings suggest that interventions aimed at enhancing healthcare professionals' cognitive control over emotions may contribute to reducing their turnover intention.

Keywords: Cognitive control, turnover intention, stress management, healthcare professional.

GİRİŞ

Sağlık hizmetleri; yüksek dikkat, hızlı karar verme, yoğun iletişim, sürekli değişen çalışma koşulları ve insan yaşamını doğrudan etkileyen kritik kararların alınmasını gerektiren dinamik bir çalışma ortamı sunmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle sağlık sektörü, çalışanların yoğun fiziksel, bilişsel ve duygusal taleplerle karşı karşıya kaldığı meslek alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Sağlık çalışanları ağır iş yükü, vardiyalı çalışma sistemi, zaman baskısı, hasta ve hasta yakınlarıyla yaşanan yoğun etkileşimler ile örgütsel talepler nedeniyle diğer meslek gruplarına kıyasla daha yüksek düzeyde iş stresi yaşamaktadır (Lin vd., 2023; Leep-Lazar vd., 2026). Sağlık çalışanlarının sürekli stres altında görev yapmaları hem bireysel psikolojik sağlıklarını hem de iş performanslarını, iş doyumlarını, örgütsel bağlılıklarını ve mesleki sürdürülebilirliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan sağlık çalışanı yetersizliği, artan hasta yoğunluğu ve salgın hastalıklar vb. durumların etkileriyle birlikte tükenmişlik ve işten ayrılma niyeti sağlık yönetiminin en önemli sorunlarından biri hâline gelmiştir. Araştırmalar, olumsuz çalışma koşullarının çalışanların psikolojik iyilik hâllerini zayıflattığını ve işten ayrılma niyetlerini anlamlı düzeyde artırdığını göstermektedir (El-Ashry vd., 2024; Santana-Martín vd., 2025; Leep-Lazar vd., 2026).

İşten ayrılma niyeti, bireyin mevcut görevinden ayrılmayı düşünmesi ve alternatif istihdam olanaklarını değerlendirmeye başlaması şeklinde tanımlanabilir (Mobley, 1977). Örgütsel davranış yazınında işten ayrılma niyeti, gerçek işten ayrılma davranışının en güçlü belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Hom vd., 2017). Sağlık sektöründe çalışan devir hızının artması; kurumların eğitim ve istihdam maliyetlerini yükseltmekte, bakım sürekliliğini ve hizmet kalitesini olumsuz etkilemekte, hasta güvenliği açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle sağlık çalışanlarının işten ayrılma niyetini etkileyen bireysel ve örgütsel faktörlerin belirlenmesi hem sağlık kurumları hem de sağlık politikaları açısından stratejik önem taşımaktadır.

İşten ayrılma niyetini açıklamada son yıllarda üzerinde önemle durulan bireysel psikolojik kaynaklardan ikisi bilişsel kontrol ve bilişsel esneklik kavramlarıdır. Gabrys ve arkadaşları (2018), bilişsel kontrolü bireyin olumsuz düşünce ve duygularını düzenleyebilmesi, dikkatini amaçları doğrultusunda yönlendirebilmesi ve stresli yaşam olayları karşısında etkili başa çıkma stratejileri geliştirebilmesi olarak tanımlamaktadır. Bilişsel esneklik ise bireyin değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilmesi, alternatif çözüm yolları üretebilmesi ve farklı bakış açılarını değerlendirebilmesi olarak ifade edilmektedir (OECD ve European

Commission, 2024). Bu iki bilişsel kaynak, bireyin yürütücü bilişsel süreçlerini destekleyerek stresle başa çıkma, problem çözme, karar verme ve değişen koşullara uyum sağlama gibi işlevlerin etkili biçimde yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Alan yazında bilişsel kontrol ve bilişsel esnekliğin depresyon, tükenmişlik, psikolojik iyi oluş, iş doyumu, iş performansı ve stres yönetimi ile anlamlı ilişkiler gösterdiği bildirilmektedir. Örneğin sağlık çalışanları üzerinde gerçekleştirilen araştırmalar, bilişsel kontrol ve bilişsel esneklik düzeyi yüksek bireylerin stresli çalışma koşullarına daha kolay uyum sağladıklarını, problem çözme becerilerinin geliştiğini, iş doyumlarının arttığını ve psikolojik sorunlara karşı daha dirençli olduklarını ortaya koymaktadır (Allahverdi ve Bayer, 2024; Ayal, 2023; Yeyit-Bozdemir ve Kızılırmak-Tatu, 2025). Ayrıca bilişsel esnekliğin iş performansını artırdığı, çalışanların değişime uyumunu kolaylaştırdığı ve örgütsel süreçlere daha etkin katılım sağladığı ifade edilmektedir (Ayal, 2023). Diğer taraftan son yıllarda yapılan çalışmalar psikolojik esneklik ve bilişsel esnekliğin işten ayrılma niyetini azaltıcı etkisine dikkat çekmektedir. Kritik bakım hemşireleri üzerinde gerçekleştirilen araştırmalarda psikolojik esnekliğin tükenmişliği ve işten ayrılma niyetini anlamlı düzeyde azalttığı belirlenirken (El-Ashry vd., 2024), hemşireler üzerinde yürütülen başka bir çalışmada psikolojik esneklik arttıkça işten ayrılma niyetinin azaldığı ortaya konulmuştur (Türkben-Polat ve Katı, 2025). Bununla birlikte mevcut araştırmaların büyük çoğunluğu psikolojik esneklik, tükenmişlik veya iş doyumu değişkenlerine odaklanmış; bilişsel kontrolün işten ayrılma niyeti üzerindeki doğrudan etkisini özellikle hekim ve hemşire örnekleminde birlikte inceleyen çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.

Bu araştırma, söz konusu alan yazın boşluğunu doldurmayı amaçlamaktadır. Araştırmada Yozgat ilinde görev yapan hekim ve hemşirelerin bilişsel kontrol düzeylerinin işten ayrılma niyetleri üzerindeki etkisi incelenmiş; ayrıca bilişsel kontrol ve işten ayrılma niyetinin meslek gruplarına göre farklılaşıp farklılaşmadığı değerlendirilmiştir. Elde edilen bulguların sağlık çalışanlarının stres yönetimini güçlendirmeye yönelik bireysel ve kurumsal müdahalelerin geliştirilmesine katkı sağlayacağı, çalışan bağlılığının artırılması ve işten ayrılma niyetinin azaltılmasına yönelik insan kaynakları politikalarına bilimsel bir temel oluşturacağı düşünülmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde araştırmanın temel değişkenleri olan bilişsel kontrol ve esneklik ile işten ayrılma niyeti kavramları kuramsal açıdan ele alınmış, araştırmanın kavramsal çerçevesini oluşturmak amacıyla bu değişkenler arasındaki ilişki ilgili alan yazın doğrultusunda açıklanmıştır.

1.1. Bilişsel Kontrol ve Bilişsel Esneklik

Bilişsel kontrol, bireyin dikkatini, düşüncelerini ve davranışlarını çevresel talepler doğrultusunda düzenleyebilmesini sağlayan yürütücü bilişsel süreçlerin bütününü ifade etmektedir. Bu süreçler, bireyin amaç odaklı davranabilmesini, dikkatini uygun uyaranlara yönlendirebilmesini, olumsuz düşünce ve duygularını yönetebilmesini ve değişen koşullara uyum sağlayabilmesini mümkün kılmaktadır. Gabrys ve arkadaşları (2018), bilişsel kontrolü bireyin özellikle stresli yaşam olayları sırasında olumsuz duygu ve düşünceler üzerinde kontrol kurabilme ve bu durumlara yönelik esnek başa çıkma stratejileri geliştirebilme kapasitesi olarak tanımlamaktadır. Bilişsel kontrolün iki yönü bulunmaktadır: Bireyin olumsuz duygu ve düşüncelerini düzenleme becerisini ile stresli olayları yeniden değerlendirebilme ve alternatif çözüm yolları geliştirebilme kapasitesini (Gabrys vd., 2018).

Bilişsel esneklik ise bilişsel kontrolün önemli bir bileşeni olarak kabul edilmekte ve bireyin değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilme, farklı bakış açılarını değerlendirebilme, mevcut stratejilerini gerektiğinde değiştirebilme ve yeni çözüm yolları geliştirebilme becerisini ifade etmektedir. OECD (2024), bilişsel esnekliği bireyin değişen çevresel taleplere uyum sağlamasını mümkün kılan temel yürütücü işlevlerden biri olarak tanımlamakta; bu becerinin problem çözme, karar verme, planlama, yaratıcılık ve öğrenme süreçlerinin temelini oluşturduğunu belirtmektedir. Günümüzün belirsizlik düzeyi yüksek

çalışma yaşamında bilişsel esneklik bireysel performans kadar psikolojik dayanıklılığı ve örgütsel uyumu da güçlendiren önemli bir psikolojik kaynak olarak görülmektedir (OECD, 2024).

Sağlık kurumları, yüksek risk düzeyi, zaman baskısı ve sürekli değişen klinik koşullar nedeniyle çalışanların bilişsel kaynaklarını yoğun biçimde kullandıkları örgütlerdir. Özellikle hekimler ve hemşireler, hasta bakım süreçlerinde hızlı karar vermek, karmaşık klinik sorunları değerlendirmek ve beklenmedik durumlara kısa sürede uyum sağlamak zorundadır. Bu nedenle bilişsel kontrol ve bilişsel esneklik hem bireysel psikolojik iyilik hâli açısından hem de hasta güvenliği, bakım kalitesi ve örgütsel performans açısından kritik öneme sahiptir. Sağlık çalışanları üzerinde gerçekleştirilen araştırmalar, bilişsel esnekliği yüksek bireylerin stresle daha etkili başa çıktıklarını, problem çözme becerilerinin geliştiğini, iş performanslarının arttığını ve değişen çalışma koşullarına daha kolay uyum sağladıklarını göstermektedir (Ayal, 2023; Allahverdi ve Bayer, 2024). Bunun yanında bilişsel esnekliğin depresif belirtileri azalttığı (Yeyit-Bozdemir ve Kızılırmak-Tatu, 2025), stres ve tükenmişliği düşürdüğü (Nahar vd., 2025) ve psikolojik iyi oluşu artırdığı bildirilmektedir (Tamannaeifar vd., 2026).

1.2. İşten Ayrılma Niyeti

İşten ayrılma niyeti, çalışanın mevcut işinden veya örgütünden ayrılmayı bilinçli olarak değerlendirmesi ve bu doğrultuda davranış geliştirme eğilimi göstermesi durumunu yansıtmaktadır. Örgütsel davranış yazınında işten ayrılma niyeti, gerçek işten ayrılma davranışının en güçlü öncüllerinden biri olarak kabul edilmekte ve çalışanın örgüte ilişkin değerlendirmelerinin davranışsal bir yansıması olarak görülmektedir (Pratama vd., 2026). Bu anlamda işten ayrılma niyeti, bireyin mevcut işinden duyduğu memnuniyetsizlik kadar çalışma koşullarına, örgütsel uygulamalara ve kariyer beklentilerine ilişkin bilişsel değerlendirmelerini de içermektedir.

Sağlık sektöründe işten ayrılma niyeti, sağlık hizmetlerinin sürekliliği ve kalitesi açısından önemli bir yönetim sorunu olarak değerlendirilmektedir. Hekim ve hemşirelerin işten ayrılması, kurumlarda nitelikli iş gücü kaybına neden olmanın yanı sıra işe alım ve eğitim maliyetlerini artırmakta, bakım sürekliliğini olumsuz etkilemekte ve hasta güvenliği üzerinde önemli riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle sağlık çalışanlarının işten ayrılma niyetinin belirleyicilerinin ortaya konulması, hem sağlık kurumlarının insan kaynakları yönetimi hem de sağlık sisteminin sürdürülebilirliği açısından stratejik önem taşımaktadır (Lin vd., 2023; Leep-Lazar vd., 2026).

İşten ayrılma niyetin bireysel, örgütsel ve çevresel birçok faktörün etkileşimi sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Yoğun iş yükü, vardiyalı çalışma sistemi, tükenmişlik, iş stresi, düşük iş doyumu, yetersiz örgütsel destek, olumsuz çalışma ortamı ve liderlik uygulamaları işten ayrılma niyetini artıran temel faktörler arasında yer almaktadır (Lin vd., 2023; Pratama vd., 2026). Bunun yanında son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar, psikososyal çalışma ortamının da çalışanların örgütte kalma kararlarında belirleyici olduğunu göstermektedir. Falatah (2026), hemşirelerde yalnızlık duygusunun işten ayrılma niyetini anlamlı düzeyde artırdığını, Wang ve arkadaşları (2026) ise çalışanların örgüte uyumu, örgüt içindeki sosyal bağları ve örgütten ayrılmaları durumunda kaybedecekleri maddi ve manevi kazanımların işten ayrılma niyeti üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, işten ayrılma niyetinin tek bir nedene bağlı olarak gelişmediğini; bireysel, sosyal ve örgütsel faktörlerin etkileşimi sonucunda şekillenen çok boyutlu bir olgu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar, sağlık çalışanlarında işten ayrılma niyetinin küresel ölçekte artış gösterdiğine işaret etmektedir. Özellikle hemşireler arasında işten ayrılma niyeti oranlarının birçok ülkede %20›nin üzerinde olduğu, bazı çalışmalarda ise %70›lere kadar ulaştığı bildirilmektedir (Falatah, 2026). Bu durum, sağlık hizmetlerinde personel yetersizliği sorununu derinleştirmekte ve çalışanların örgütte tutulmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmektedir. Bu nedenle sağlık çalışanlarında işten ayrılma niyetini etkileyen bireysel ve örgütsel faktörlerin belirlenmesine yönelik araştırmalar, sağlık yönetimi yazınında önemini korumaktadır.

1.3. Bilişsel Kontrol ve İşten Ayrılma Niyeti Arasındaki İlişki

Bu araştırmanın kuramsal temeli, Lazarus ve Folkman'ın (1984) Stres ve Başa Çıkmanın İşlemsel Modeline (Transactional Model of Stress and Coping) dayanmaktadır. Türkçe alan yazında çoğunlukla Bilişsel Değerlendirme Kuramı olarak da ifade edilen bu yaklaşıma göre stres, birey ile çevre arasındaki etkileşimin bir sonucu olup bireyin karşılaştığı olayları nasıl değerlendirdiğine bağlı olarak şekillenmektedir. Bu doğrultuda stres, bireyin çevresel talepleri tehdit, zarar ya da meydan okuma olarak algılaması ve bu durumla başa çıkmaya yönelik sahip olduğu kaynakları değerlendirmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Başka bir ifadeyle aynı stres kaynağı farklı bireyler tarafından farklı biçimlerde değerlendirilebilmekte ve bu bilişsel değerlendirme süreci bireyin göstereceği duygusal ve davranışsal tepkileri belirlemektedir (Lazarus ve Folkman, 1984). Bu kuramsal yaklaşım doğrultusunda bilişsel kontrol, bireyin stresli durumlarda dikkatini düzenleyebilmesini, olumsuz düşünce ve duygularını yönetebilmesini, olayları yeniden değerlendirebilmesini ve uygun başa çıkma stratejileri geliştirebilmesini sağlayan temel psikolojik kaynaklardan biri olarak değerlendirilmektedir. Gabrys ve arkadaşları (2018), Lazarus ve Folkman'ın bilişsel değerlendirme yaklaşımından hareketle bilişsel kontrol ve bilişsel esnekliğin stresin değerlendirilmesi ve başa çıkma süreçlerinde temel yürütücü işlevler olduğunu ileri sürmektedir. Bu kapsamda bilişsel kontrol düzeyi yüksek bireyler, stresli olayları daha yönetilebilir olarak değerlendirebilmekte, olumsuz düşüncelerini daha etkili biçimde düzenleyebilmekte ve daha işlevsel başa çıkma stratejileri geliştirebilmektedir. Buna karşılık bilişsel kontrol düzeyi düşük bireylerde stresin tehdit olarak algılanma olasılığı artmakta ve bu durum psikolojik zorlanma ile olumsuz örgütsel sonuçlara zemin hazırlayabilmektedir.

Kuramsal açıklamalar, sağlık alanında gerçekleştirilen ampirik araştırmalar tarafından da desteklenmektedir. Alipour ve arkadaşları (2026), Lazarus ve Folkman'ın modeli temel alınarak geliştirilen stres yönetimi eğitiminin hemodiyaliz hastalarında başa çıkma becerilerini ve stres yönetimini anlamlı düzeyde geliştirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde sağlık çalışanları üzerinde gerçekleştirilen araştırmalar, psikolojik esneklik ve bilişsel kontrol düzeyi yüksek bireylerin tükenmişlik düzeylerinin daha düşük, iş doyumlarının ise daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Allahverdi ve Bayer, 2024; El-Ashry vd., 2024). Ayrıca Türkben-Polat ve Katı (2025), hemşirelerde psikolojik esnekliğin işten ayrılma niyetini anlamlı ve negatif yönde etkilediğini bildirmiştir. Bu bulgular, bilişsel değerlendirme sürecini güçlendiren bireysel kaynakların çalışanların stresli çalışma koşullarına uyum sağlamalarını kolaylaştırarak olumsuz örgütsel sonuçların ortaya çıkmasını önleyebileceğini göstermektedir. Bu anlamda bilişsel değerlendirme yaklaşımı sağlık çalışanlarının stresli çalışma koşullarını nasıl algıladıklarının ve bu durumlarla nasıl başa çıktıklarının örgütsel davranışları üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede bilişsel kontrolün, bireyin stresli durumları yönetebilme kapasitesini artırarak işten ayrılma niyetini azaltabilecek önemli bir kişisel kaynak olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte sağlık çalışanlarında bilişsel kontrol değişkenini doğrudan ele alarak işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisini inceleyen araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu araştırma, Lazarus ve Folkman'ın bilişsel değerlendirme yaklaşımından hareketle sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol düzeylerinin işten ayrılma niyetleri üzerindeki etkisini inceleyerek ilgili alan yazına katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu bölümde; araştırmanın amacı, evreni, örneklemi, hipotezi ve yöntemi açıklanmıştır.

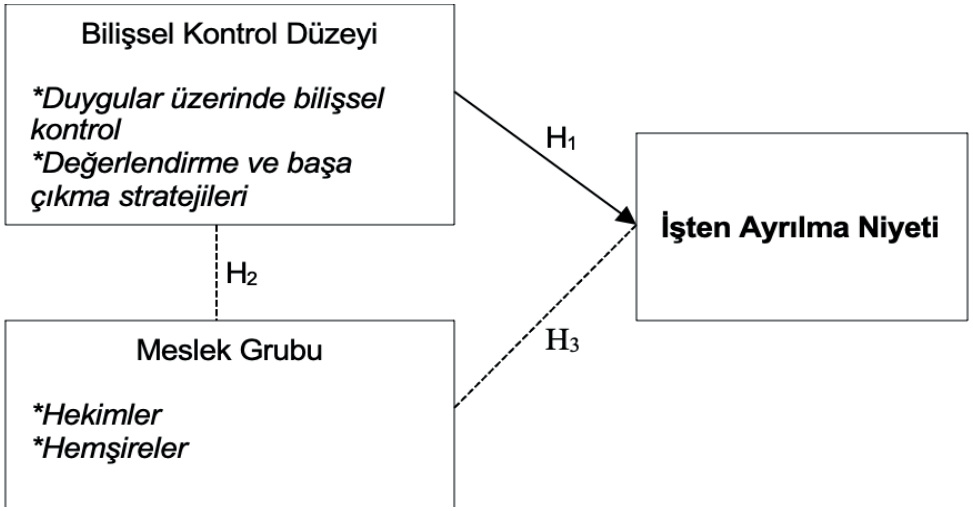
2.1. Araştırmanın Amacı, Modeli ve Hipotezleri

Bu araştırmanın amacı, hekimler ve hemşireler arasında bilişsel kontrol düzeyleri ile işten ayrılma niyetleri bakımından anlamlı farklılık olup olmadığını belirlemek ve bilişsel kontrol düzeyinin işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisini incelemektir. Bu doğrultuda araştırmada; sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol düzeylerinin meslek gruplarına göre farklılaşıp farklılaşmadığı, işten ayrılma niyetlerinin meslekler arasında anlamlı farklılık gösterip göstermediği ve bilişsel kontrolün işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2.2. Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

Bu araştırmada nicel araştırma yöntemi benimsenmiş olup ilişkisel tarama modeli kullanılmıştır. İlişkisel araştırmalar, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve düzeyini belirlemeye yönelik araştırma desenleri olarak tanımlanmaktadır (Creswell ve Creswell, 2018). Araştırmada bilişsel kontrol bağımsız değişken, işten ayrılma niyeti ise bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Araştırmanın kavramsal modeli, Lazarus ve Folkman'ın (1984) Bilişsel Değerlendirme Yaklaşımı temel alınarak oluşturulmuş olup Şekil 1'de sunulmuştur.

Şekil 1. Araştırma Modeli



Araştırmanın amacı doğrultusunda aşağıdaki hipotezler geliştirilmiştir:

H_1: Sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol düzeyleri, işten ayrılma niyetleri üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkiye sahiptir.

H_{1a}: Sağlık çalışanlarının Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol düzeyleri, işten ayrılma niyetleri üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkiye sahiptir.

H_{1b}: Sağlık çalışanlarının Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği düzeyleri, işten ayrılma niyetleri üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkiye sahiptir.

H_2: Sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol düzeyleri meslek gruplarına (hekim ve hemşire) göre anlamlı farklılık göstermektedir.

H_{2a}: Sağlık çalışanlarının Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol düzeyleri meslek gruplarına göre anlamlı farklılık göstermektedir.

H_{2b}: Sağlık çalışanlarının Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği düzeyleri meslek gruplarına göre anlamlı farklılık göstermektedir.

H_3: Sağlık çalışanlarının işten ayrılma niyetleri meslek gruplarına göre anlamlı farklılık göstermektedir.

2.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini, Yozgat ilindeki sağlık kuruluşlarında görev yapan hekimler ve hemşireler oluşturmaktadır. Sağlık Bakanlığı tarafından yayımlanan Türkiye Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2020 (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022) verilerine göre Yozgat ilinde görev yapan uzman hekim sayısı 300, pratisyen hekim sayısı 323 ve asistan hekim sayısı 61 olup toplam hekim sayısı 684'tür. Aynı rapora göre il genelinde görev yapan hemşire sayısı 1.276'dır. Bu doğrultuda araştırmanın evreni toplam 1.960 sağlık çalışanından oluşmaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

Araştırmada olasılığa dayalı olmayan örnekleme yöntemlerinden kolayda örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Kolayda örnekleme yöntemi, araştırmacının ulaşabildiği ve araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden bireylerden veri toplanmasına olanak sağlayan, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlayan bir örnekleme yöntemidir (Haşıloğlu vd., 2015). Evren büyüklüğü dikkate alındığında %95 güven düzeyi ve %5 örnekleme hatası için önerilen örneklem büyüklüğü 322 kişi olarak hesaplanmıştır (Gürbüz ve Şahin, 2016). Ancak sağlık çalışanlarının yoğun iş temposu ve araştırmaya gönüllü katılım esasları nedeniyle araştırma, Yozgat il merkezi ve ilçelerinde görev yapan 212 hekim ve hemşireden yüz yüze anket yöntemiyle elde edilen veriler üzerinden yürütülmüştür.

2.4. Veri Toplama Süreci ve Verilerin Analizi

Araştırmanın verileri, Yozgat il merkezi ve ilçelerinde görev yapan hekim ve hemşirelerden yüz yüze anket yöntemiyle toplanmıştır. Katılımcıların yoğun çalışma koşulları dikkate alınarak yüz yüze veri toplama yöntemi tercih edilmiş, araştırmaya gönüllü olarak katılan sağlık çalışanlarına araştırmanın amacı hakkında gerekli bilgilendirme yapıldıktan sonra anketler uygulanmıştır.

Veri toplama aracı olarak kullanılan anket formu dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin sorulara, ikinci bölümde sağlık çalışanlarının stres yönetim süreçlerine ilişkin tanımlayıcı sorulara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde katılımcıların bilişsel kontrol düzeylerini belirlemek amacıyla Gabrys ve arkadaşları (2018) tarafından geliştirilen ve Demirtaş (2019) tarafından Türkçeye uyarlanan Bilişsel Kontrol ve Esneklik Ölçeği kullanılmıştır. Ölçek, 18 madde ve Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol ile Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği olmak üzere iki alt boyuttan oluşmaktadır. Dördüncü bölümde ise katılımcıların işten ayrılma niyetlerini belirlemek amacıyla Rosin ve Korabik (1995) tarafından geliştirilen ve Tanrıöver (2005) tarafından Türkçeye uyarlanan 4 maddelik İşten Ayrılma Niyeti Ölçeği kullanılmıştır.

Araştırmadan elde edilen veriler SPSS Statistics 22 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle ölçeklerin güvenilirliği cronbach's alpha katsayıları ile değerlendirilmiş, katılımcılara ilişkin tanımlayıcı istatistikler frekans, yüzde, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçek puanlarının normal dağılıma uygunluğu çarpıklık ve basıklık değerleri dikkate alınarak incelenmiş, verilerin normal dağılım gösterdiğinin belirlenmesi üzerine parametrik analiz yöntemleri tercih edilmiştir. Hekimler ile hemşirelerin bilişsel kontrol düzeyleri ve işten ayrılma niyetleri bakımından farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi, bilişsel kontrolün işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla ise basit doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

Çalışmanın katılımcılarına ilişkin demografik bilgiler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Bilgileri

Cinsiyet	**Sayı**	**Yüzde**	**Medeni Durum**	**Sayı**	**Yüzde**
Erkek	67	31,6	Evli	114	53,8
Kadın	145	68,4	Bekar	97	45,8
Yaş	**Sayı**	**Yüzde**	**Aylık Nöbet Sayısı**	**Sayı**	**Yüzde**
23-29	84	39,6	2 ve daha az	62	29,2
30-36	59	27,8	3-5 kez	98	46,2
37-42	53	25,0	6-7 kez	35	16,5
43 ve üzeri	16	7,5	8 ve daha fazla	17	8,0
Meslek	**Sayı**	**Yüzde**	**İdari Görev**	**Sayı**	**Yüzde**
Hekim	48	22,6	Var	194	91,5
Hemşire	164	77,4	Yok	18	8,5
Eğitim Düzeyi	**Sayı**	**Yüzde**	**Çalışma Şekli**	**Sayı**	**Yüzde**
Lisans	147	69,3	Sabit Gündüz Mesaisi	38	17,9
Yüksek Lisans	22	10,4	Dönüşümlü Nöbet Sistemi	166	78,3
Diğer	43	20,3	Esnek/Belirsiz Nöbet Sistemi	8	3,8
Çalışma Süresi	**Sayı**	**Yüzde**	**Mesleki Deneyim**	**Sayı**	**Yüzde**
1 yıldan az	19	9,0	1 yıldan az	18	8,5
1-3 yıl	119	56,1	1-3 yıl	60	28,3
4-6 yıl	47	22,2	4-6 yıl	70	33,0
7-9 yıl	23	10,8	7-9 yıl	52	24,5
10 yıl ve üzeri	4	1,9	10 yıl ve üzeri	12	5,7
Kurum Türü	**Sayı**	**Yüzde**			
Devlet Hastanesi	13	6,1			
Şehir Hastanesi	75	35,4			
Üniversite Hastanesi	110	51,9			
Özel/Vakıf Hastanesi	14	6,6			

Kaynak: APA 7'ye göre tablolarda kaynak gösterimine uygun şekilde yazılacaktır.

Tablo 1'deki katılımcılara ilişkin demografik bulgular incelendiğinde katılımcıların cinsiyet dağılımlarının %31,6'sını erkeklerin, %68,4'ünü ise kadınların oluşturduğu görülmektedir. Katılımcıların medeni durumları değerlendirildiğinde %53,8'inin evli, %45,8'inin ise bekâr olduğu belirlenmiştir. Yaş dağılımı incelendiğinde katılımcıların %39,6'sının 23-29 yaş aralığında, %27,8'inin 30-36 yaş aralığında, %25'inin 37-42 yaş aralığında ve %7,5'inin 43 yaş ve üzeri grupta yer aldığı görülmüştür. Meslek dağılımına göre katılımcıların %22,6'sı hekimlerden, %77,4'ü ise hemşirelerden oluşmaktadır. Katılımcıların %91,5'inin idari görevi bulunurken %8,5'inin (herhangi bir idari görevi bulunmamaktadır. Eğitim düzeyi açısından değerlendirildiğinde katılımcıların %69,3'ünün lisans, %10,4'ünün yüksek lisans ve %20,3'ünün diğer eğitim düzeylerine sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma şekli incelendiğinde katılımcıların %17,9'unun sabit gündüz mesaisinde, %78,3'ünün dönüşümlü nöbet sisteminde ve %3,8'inin esnek/belirsiz nöbet sisteminde

çalıştığı görülmektedir. Katılımcıların görev yaptıkları kurum türü değerlendirildiğinde %6,1'inin devlet hastanesinde, %35,4'ünün şehir hastanesinde, %51,9'unun üniversite hastanesinde ve %6,6'sının özel/vakıf hastanesinde görev yaptığı belirlenmiştir. Aylık nöbet sayıları incelendiğinde katılımcıların %29,2'sinin ayda 2 ve daha az, %46,2'sinin 3-5 kez, %16,5'inin 6-7 kez ve %8'inin) 8 ve daha fazla nöbet tuttuğu belirlenmiştir. Katılımcıların mevcut kurumdaki çalışma süreleri değerlendirildiğinde %9'unun 1 yıldan az, %56,1'inin 1-3 yıl, %22,2'sinin 4-6 yıl, %10,8'inin 7-9 yıl ve %1,9'unun 10 yıl ve üzeri süredir aynı kurumda çalıştığı görülmektedir. Mesleki deneyim süreleri incelendiğinde ise katılımcıların %8,5'inin 1 yıldan az, %28,3'ünün 1-3 yıl, %33'ünün 4-6 yıl, %24,5'inin 7-9 yıl ve %5,7'sinin 10 yıl ve üzeri mesleki deneyime sahip olduğu belirlenmiştir.

Ölçeklerin güvenirlik analizi sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Ölçek/Boyut	**Cronbach Alpha Değeri**
Bilişsel Kontrol ve Esneklik Ölçeği	0,692
Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol	0,601
Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği	0,779
İşten Ayrılma Niyeti Ölçeği	0,793

Ölçeklerin iç tutarlılık düzeyleri Cronbach Alpha katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir. Tablo 2›de sunulan güvenirlik analizi sonuçlarına göre, Bilişsel Kontrol ve Esneklik Ölçeğinin 18. maddesinin (BKE18) düzeltilmiş madde-toplam korelasyonunun düşük olması ve ölçekten çıkarılması durumunda cronbach alpha katsayısını artırması nedeniyle bu madde analiz dışı bırakılmıştır. Analiz sonucunda Cronbach Alpha katsayıları; Bilişsel Kontrol ve Esneklik Ölçeği için 0,692, Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol alt boyutu için 0,601, Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği alt boyutu için 0,779 ve İşten Ayrılma Niyeti Ölçeği için 0,793 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, araştırmada kullanılan ölçeklerin kabul edilebilir düzeyde iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir (Hair vd., 2022).

Araştırmada değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler ile normal dağılım varsayımı çarpıklık ve basıklık katsayıları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değişkenlere ait çarpıklık katsayıları -1,336 ile 0,452, basıklık katsayıları ise -0,912 ile 3,195 arasında değişmektedir. Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği alt boyutunda basıklık katsayısının görece yüksek olmasına karşın örneklem büyüklüğünün 212 kişi olması ve parametrik testlerin büyük örneklemlerde normal dağılımdan makul düzeydeki sapmalara karşı dayanıklı olması nedeniyle araştırmada parametrik analizler tercih edilmiştir (Hair vd., 2022; Tabachnick ve Fidell, 2019). Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve korelasyon analizi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Korelasyon Analizi Sonuçları

Ölçek/Boyut	**Ort.**	**S.S.**	Çarpıklık	**Basıklık**	**1**	**2**	**3**	**4**
1.Bilişsel Kontrol ve Esneklik	3,57	0,39	0,41	-0,04	1			
2.Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol	3,25	0,58	0,29	-0,72	0,786**	1		
3.Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği	3,85	0,46	-1,34	3,20	0,727**	0,148*	1	
4.İşten Ayrılma Niyeti	3,02	0,98	0,45	-0,91	-0,483**	-0,548**	-0,165*	1

*Not. Ort. = Ortalama; S.S. = Standart sapma, *p<0,05; **p<0,01*

Tablo 3'te sunulan korelasyon analizi sonuçları incelendiğinde, Bilişsel Kontrol ve Esneklik ile İşten Ayrılma Niyeti arasında orta düzeyde, negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (r = -0,483; p<0,01). Bilişsel Kontrol ve Esnekliğin alt boyutlarından Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol ile İşten Ayrılma Niyeti arasında orta düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki bulunurken (r= -0,548; p<0,01), Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği ile İşten Ayrılma Niyeti arasında ise düşük düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır (r= -0,165; p<0,05). Ayrıca Bilişsel Kontrol ve Esneklik ile Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol (r= 0,786; p<0,01) ve Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği (r= 0,727; p<0,01) arasında yüksek düzeyde pozitif yönlü ve anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol ile Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği arasında ise düşük düzeyde pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür (r= 0,148; p<0,05). Bu bulgular, bilişsel kontrol ve esneklik düzeyi arttıkça işten ayrılma niyetinin azaldığını göstermektedir.

Bilişsel kontrol ve esnekliğin işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisine ilişkin regresyon analizi sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 4. Bilişsel Kontrol ve Esnekliğin Alt Boyutlarının İşten Ayrılma Niyeti Üzerindeki Etkisine İlişkin Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Bağımsız Değişken	B	S.H.	β	t	p	Tolerans	VIF
Sabit	-0,619	0,534	-	-1,158	0,248	-	-
Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol	-0,905	0,099	-0,535	-9,187	<0,001	0,978	1,022
Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği	-0,181	0,123	-0,108	-1,472	0,143	0,978	1,022

Model Özeti

R	R^2	Düzeltilmiş R^2	F	p	Durbin-Watson
0,554	0,307	0,300	46,302	<0,001	2,044

Not. B = Standardize edilmemiş regresyon katsayısı; S.H. = Standart hata; β = Standardize edilmiş regresyon katsayısı; t = Regresyon katsayısının anlamlılığı; p = Anlamlılık düzeyi; VIF = Varyans Artış Faktörü, R = Çoklu korelasyon katsayısı; R^2 = Bağımlı değişkendeki toplam varyansın model tarafından açıklanan oranı; Düzeltilmiş R^2 = Örneklem büyüklüğü dikkate alınarak düzeltilmiş açıklanan varyans oranı; F = Regresyon modelinin genel anlamlılığı; Durbin-Watson = Hata terimleri arasındaki otokorelasyon.

Tablo 4'te bilişsel kontrol ve esnekliğin alt boyutlarının işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisine ilişkin çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları sunulmuştur. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (F=46,302; p<0,001). Modelin işten ayrılma niyetindeki toplam varyansın %30,7'sini açıkladığı görülmektedir (R^2=0,307; Düzeltilmiş R^2=0,300). Durbin-Watson katsayısının 2,044 olması, hata terimleri arasında otokorelasyon bulunmadığını göstermektedir (Field, 2018). Ayrıca bağımsız değişkenlere ilişkin tolerans değerlerinin 0,978 (>0,20) ve VIF değerlerinin 1,022 (<5) olması, modelde çoklu doğrusal bağlantı sorununun bulunmadığını göstermektedir (Hair vd., 2022).

Regresyon katsayıları incelendiğinde Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol alt boyutunun işten ayrılma niyetini negatif yönde ve anlamlı düzeyde etkilediği belirlenmiştir (β=-0,535; t=-9,187; p<0,001). Buna göre çalışanların duygular üzerindeki bilişsel kontrol düzeyi arttıkça işten ayrılma niyeti azalmaktadır. Buna karşın Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği alt boyutunun işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (β=-0,108; t=-1,472; p=0,143).

Tablo 5. Bilişsel Kontrol ve Esnekliğin İşten Ayrılma Niyeti Üzerindeki Etkisine İlişkin Basit Doğrusal Regresyon Analizi

Bağımsız Değişken	**B**	**S.H.**	**β**	**t**	**p**
Sabit	-1,278	0,541	-	-2,361	0,019
Bilişsel Kontrol ve Esneklik	-1,205	0,151	-0,483	-7,993	<0,001

Model Özeti

R	**R²**	**Düzeltilmiş R²**	**F**	**p**	**Durbin-Watson**
0,483	0,233	0,230	63,889	<0,001	1,948

Not. B = Standardize edilmemiş regresyon katsayısı; S.H. = Standart hata; β = Standardize edilmiş regresyon katsayısı; t = Regresyon katsayısının anlamlılığı; p = Anlamlılık düzeyi; R = Çoklu korelasyon katsayısı; R² = Bağımlı değişkendeki toplam varyansın model tarafından açıklanan oranı; Düzeltilmiş R² = Örneklem büyüklüğü dikkate alınarak düzeltilmiş açıklanan varyans oranı; F = Regresyon modelinin genel anlamlılığı; Durbin-Watson = Hata terimleri arasındaki otokorelasyon.

Bilişsel kontrol ve esnekliğin işten ayrılma niyeti üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen basit doğrusal regresyon analizi sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (F=63,889; p<0,001). Modelin işten ayrılma niyetindeki toplam varyansın %23,3'ünü açıkladığı görülmektedir (R^2=0,233; Düzeltilmiş R^2=0,230). Durbin-Watson katsayısının 1,948 olması, hata terimleri arasında otokorelasyon sorunu bulunmadığını göstermektedir. Regresyon katsayıları incelendiğinde bilişsel kontrol ve esnekliğin işten ayrılma niyetini negatif yönde ve anlamlı düzeyde etkilediği belirlenmiştir (β=-0,483; t=-7,993; p<0,001). Buna göre çalışanların bilişsel kontrol ve esneklik düzeyleri arttıkça işten ayrılma niyetlerinin azaldığı söylenebilir.

Tablo 6. Meslek Gruplarına Göre Bağımsız Örneklemler t Testi Sonuçları

Değişken	**Meslek**	**n**	**Ort.**	**S.S.**	**t**	**p**
Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol	Hekim	48	3,52	0,44	3,273	0,001
	Hemşire	164	3,18	0,58		
Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği	Hekim	48	3,96	0,39	1,584	0,115
	Hemşire	164	3,82	0,48		
Bilişsel Kontrol ve Esneklik	Hekim	48	3,73	0,38	3,280	0,001
	Hemşire	164	3,52	0,40		
İşten Ayrılma Niyeti	Hekim	48	2,53	1,03	-3,271	0,001
	Hemşire	164	3,17	0,95		

Not. Ort.= Ortalama; S.S.= Standart sapma; t= Bağımsız örneklemler t testi istatistiği; p= Anlamlılık düzeyi.

Sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol ve esneklik düzeyleri ile işten ayrılma niyetlerinin meslek gruplarına göre farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla bağımsız örneklemler t testi uygulanmış olup sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre hekimlerin Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol düzeylerinin (Ort.=3,52), hemşirelere (Ort.=3,18) göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (t=3,273; p=0,001). Buna karşın Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği alt boyutunda hekimler ile hemşireler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (t=1,584; p=0,115).

Toplam Bilişsel Kontrol ve Esneklik puanı açısından değerlendirildiğinde hekimlerin ortalama puanlarının (Ort.=3,73) hemşirelerden (Ort.=3,52) anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu görülmüştür (t=3,280; p=0,001). İşten Ayrılma Niyeti açısından ise hemşirelerin ortalama puanlarının (Ort.=3,17), hekimlerden

(Ort.=2,53) anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (t=-3,271; p=0,001).

Bu bulgular doğrultusunda H_1, H_{1a}, H_2, H_{2a} ve H_3 hipotezleri desteklenirken H_{1b} ve H_{2b} hipotezleri desteklenmemiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada Lazarus ve Folkman'ın (1984) Stres ve Başa Çıkmanın İşlemsel Modeli temel alınarak sağlık çalışanlarının bilişsel kontrol ve esneklik düzeylerinin işten ayrılma niyetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kurama göre bireylerin stres karşısında verdikleri davranışsal tepkiler, stresörün kendisinden ziyade bu durumu nasıl bilişsel olarak değerlendirdiklerine ve sahip oldukları başa çıkma kaynaklarına bağlı olarak şekillenmektedir. Bu kapsamda araştırmadan elde edilen bulgular, bilişsel kontrol ve esnekliğin sağlık çalışanlarının işten ayrılma niyetini azaltan önemli bir psikolojik kaynak olduğunu ortaya koymakta ve araştırmanın kuramsal temelini desteklemektedir.

Araştırmanın en önemli bulgusu, bilişsel kontrol ve esneklik düzeyinin işten ayrılma niyetini negatif yönde ve anlamlı biçimde etkilemesidir. Bu sonuç, stresli çalışma koşullarında bilişsel kontrol düzeyi yüksek bireylerin karşılaştıkları olayları daha yönetilebilir olarak değerlendirdiklerini, olumsuz duygu ve düşüncelerini daha etkili düzenleyebildiklerini ve daha işlevsel başa çıkma stratejileri geliştirebildiklerini ileri süren Lazarus ve Folkman'ın (1984) yaklaşımıyla örtüşmektedir. Başka bir ifadeyle bilişsel değerlendirme süreci güçlendikçe çalışanların stresli olayları tehdit olarak algılama olasılığı azalmakta, buna bağlı olarak örgütten ayrılma eğilimleri de zayıflamaktadır. Bu yönüyle araştırma, bireysel bir özellik olarak görülen bilişsel kontrolün, örgütsel davranışların da önemli belirleyicilerinden biri olduğunu göstermektedir.

Araştırmada bilişsel kontrolün alt boyutları incelendiğinde Duygular Üzerinde Bilişsel Kontrol boyutunun işten ayrılma niyeti üzerinde anlamlı ve negatif bir etkiye sahip olduğu belirlenirken, Değerlendirme ve Başa Çıkma Esnekliği boyutunun etkisinin anlamlı olmadığı görülmüştür. Bu bulgu, bilişsel kontrolün tüm bileşenlerinin örgütsel sonuçlar üzerinde aynı düzeyde etkili olmadığını göstermesi bakımından önemlidir. Sağlık çalışanlarının yoğun iş yükü, vardiyalı çalışma sistemi, hasta ve hasta yakınlarıyla sürekli etkileşim içinde bulunmaları nedeniyle çalışma yaşamında öncelikle olumsuz duygu ve düşüncelerini yönetebilme becerilerine ihtiyaç duydukları söylenebilir. Buna karşılık alternatif çözüm yolları geliştirme veya olayları yeniden değerlendirme becerileri, tek başına işten ayrılma kararını belirleyen yeterli bir unsur olmayabilir. Bu durum, bilişsel değerlendirme sürecinin özellikle duygu düzenleme boyutunun örgütsel davranışlar üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğunu düşündürmektedir.

Araştırmada bilişsel kontrol düzeylerinin meslek gruplarına göre anlamlı biçimde farklılaştığı belirlenmiştir. Hekimlerin hem toplam bilişsel kontrol düzeylerinin hem de duygular üzerinde bilişsel kontrol becerilerinin hemşirelerden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Buna karşın değerlendirme ve başa çıkma esnekliği boyutunda meslek grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Bu sonuç, bilişsel kontrolün bazı boyutlarının mesleki rol ve çalışma deneyimlerinden etkilenebileceğini göstermektedir. Hekimlerin klinik karar alma süreçlerinde daha yüksek düzeyde özerklik, sorumluluk ve bilişsel değerlendirme gerektiren görevler üstlenmeleri, zaman içerisinde duygusal düzenleme becerilerinin gelişmesine katkı sağlamış olabilir.

Araştırmada ayrıca hemşirelerin işten ayrılma niyetlerinin hekimlere göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, hemşirelerde iş yükü, vardiyalı çalışma, tükenmişlik ve psikososyal stres unsurlarının işten ayrılma niyetini artırdığını bildiren güncel çalışmalarla paralellik göstermektedir (Lin vd., 2023; El-Ashry vd., 2024; Falatah, 2026). Bununla birlikte mevcut araştırma, bilişsel kontrol düzeyinin de bu süreçte önemli bir bireysel kaynak olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, işten ayrılma niyetinin bireyin stresi nasıl değerlendirdiğiyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma bulguları, Allahverdi ve Bayer (2024), Ayal (2023), El-Ashry ve arkadaşları (2024) ile Türkben-Polat ve Katı'nın (2025) çalışmalarını desteklemektedir. Söz konusu araştırmalarda bilişsel kontrol veya

psikolojik esnekliğin tükenmişliği azalttığı, psikolojik iyi oluşu ve iş doyumunu artırdığı, psikolojik esnekliğin ise işten ayrılma niyetini düşürdüğü belirtilmektedir. Bu araştırma ise bu bulguları bir adım ileri taşımakta; bilişsel kontrolün işten ayrılma niyetini doğrudan etkilediğini ve özellikle duygular üzerinde bilişsel kontrol boyutunun bu ilişkide belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla araştırmanın, Lazarus ve Folkman'ın bilişsel değerlendirme yaklaşımını sağlık çalışanlarının örgütsel davranışları bağlamında ampirik olarak desteklemesi bakımından alan yazına özgün bir katkı sunmaktadır. Araştırmanın bir diğer katkısı, bilişsel kontrolü genel düzeyde ele almakla yetinmeyip alt boyutları üzerinden incelemesidir. Alan yazında bilişsel kontrol ve esneklik çoğunlukla psikolojik iyi oluş, depresyon, tükenmişlik ve stres yönetimi bağlamında değerlendirilirken bu araştırmada işten ayrılma niyeti ile doğrudan ilişkilendirilmiş ve hangi alt boyutun daha etkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum, gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalar açısından bilişsel kontrolün alt boyutlarının ayrı ayrı değerlendirilmesinin önemine işaret etmektedir.

Araştırmanın uygulamaya yönelik sonuçları da dikkat çekicidir. Sağlık kurumlarında çalışanların mesleki bilgi ve teknik becerilerini geliştirmeye yönelik eğitimlerin yanında bilişsel kontrol, duygu düzenleme ve stresle başa çıkma becerilerini geliştirmeye yönelik psikoeğitim programların da planlanması önerilebilir. Özellikle hemşirelere yönelik bilişsel davranışçı temelli stres yönetimi uygulamaları, psikolojik dayanıklılık programları ve çalışan destek sistemlerinin geliştirilmesi, işten ayrılma niyetinin azaltılmasına ve çalışanların örgüte bağlılıklarının güçlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Araştırmanın Kısıtlılıkları

Bu araştırma bazı sınırlılıklar çerçevesinde değerlendirilmelidir. İlk olarak araştırma, Yozgat ilinde görev yapan hekim ve hemşirelerden elde edilen verilerle yürütülmüş olup bulguların farklı illere ve sağlık çalışanı gruplarına genellenmesi sınırlıdır. İkinci olarak araştırmanın kesitsel tasarımı değişkenler arasındaki nedensel ilişkilerin kesin olarak ortaya konulmasına olanak vermemektedir. Ayrıca veriler öz bildirim yöntemiyle toplandığından sosyal beğenirlik eğilimi ve ortak yöntem yanlılığı olasılığı tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Son olarak araştırmada bilişsel kontrol ile işten ayrılma niyeti arasındaki ilişkide rol oynayabilecek tükenmişlik, psikolojik dayanıklılık, örgütsel destek, iş yükü ve liderlik gibi değişkenler modele dahil edilmemiştir.

Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Gelecekte farklı bölgelerde ve farklı sağlık meslek gruplarında daha geniş örneklemlerle benzer çalışmalar yürütülmesi önerilmektedir. Ayrıca boylamsal araştırmalarla bilişsel kontrolün zaman içerisindeki değişiminin işten ayrılma niyetine etkisi incelenebilir. Bunun yanında tükenmişlik, psikolojik dayanıklılık, örgütsel destek, iş doyumu ve iş stresi gibi değişkenlerin aracı veya düzenleyici rolleri yapısal eşitlik modellemesi ile test edilerek bilişsel değerlendirme sürecinin örgütsel davranışlara etkisi daha kapsamlı biçimde açıklanabilir.

KAYNAKÇA

Alipour, H. F., Alizadeh, S., Iranpour, A., Moqaddasi Amiri, M., & Khoshab, H. (2026). The effect of a stress management training based on Lazarus and Folkman's transactional model on coping efforts and sleep quality in hemodialysis patients. *Advances in Public Health, 2026*, 1-9. https://doi.org/10.1155/adph/9910578

Allahverdi, F. Z., & Bayer, N. (2024). Cognitive control/flexibility, social isolation, and intrinsic job satisfaction of intensive care unit nurses. *Behavioral Sciences, 14*(7), 1-15. https://doi.org/10.3390/bs14070605

Ayal, B. (2023). The effect of cognitive flexibility on work performance in healthcare workers. *Eurasian Econometrics, Statistics & Empirical Economics Journal, 24*, 45-58. http://dx.doi.org/10.17740/eas.stat.2023-V24-04

Creswell, J.W., & Creswell, J.D. (2018) Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage.

Demirtaş, A. S. (2019). Stresli durumlarda bilişsel kontrol ve bilişsel esneklik: Bir ölçek uyarlama çalışması. *Psikoloji Çalışmaları Dergisi*, 39(2), 345-368. https://doi.org/ 10.26650/SP2019-0028

El-Ashry, A. M., Seweid, M. M., Ghoneam, M. A., Abdelaliem, S. M. F., & Sabek, E. M. (2024). Resilience in the face of pandemic: Exploring the influence of psychological flexibility on turnover intentions and burnout among critical care nurses in COVID-19 hospitals. *BMC Nursing, 23*, 1-10. https://doi.org/10.1186/s12912-024-02039-z

Falatah, R. (2026). Nurses' turnover intention: The role of loneliness and emotional labor. *International Nursing Review, 73*, 1-11. https://doi.org/10.1111/inr.70189

Field, Andy (2018). Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (5th ed.). Sage.

Gabrys, R. L., Tabri, N., Anisman, H., & Matheson, K. (2018). Cognitive control and flexibility in the context of stress and depressive symptoms: The Cognitive Control and Flexibility Questionnaire. *Frontiers in Psychology, 9*, 1-19. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02219

Gürbüz, S., & Şahin, F. (2016). *Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri: Felsefe-yöntem-analiz*. Seçkin

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2022). Multivariate Data Analysis (9th ed.). Cengage.

Haşıloğlu, S. B., Baran, T., & Aydın, O. (2015). Pazarlama araştırmalarındaki potansiyel problemlere yönelik bir araştırma: Kolayda örnekleme ve sıklık ifadeli ölçek maddeleri. *Pamukkale İşletme ve Bilişim Yönetimi Dergisi*, (1), 19-28.

Hom, P. W., Lee, T. W., Shaw, J. D., & Hausknecht, J. P. (2017). One hundred years of employee turnover theory and research. *Journal of Applied Psychology, 102*(3), 530-545. https://doi.org/10.1037/apl0000103

Lazarus, R., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.

Leep-Lazar, K., Ma, C., Vaughan Dickson, V., & Witkoski Stimpfel, A. (2026). Job demands, resources, mental health, and intention to leave among early-career nurses: A cross-sectional study. *International Journal of Nursing Studies, 178*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2026.105396

Lin, M.-W., Wang, Y.-T., & Cheng, Y. (2023). Psychosocial work conditions during the COVID-19 pandemic and their influences on mental health risk and intention to leave among public health workers: A cross-sectional and follow-up study in Taiwan. *Safety and Health at Work, 14*(4), 438-444. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2023.10.007

Mobley, W. H. (1977). Intermediate linkages in the relationship between job satisfaction and employee turnover. *Journal of Applied Psychology, 62*(2), 237-240. https://doi.org/10.1037/0021-9010.62.2.237

Nahar, N., Yesmin, S., Sheikh, M. J., Mahamud, M. O., Parvin, M., & Rahman, M. A. (2025). The impact of cognitive flexibility and optimism on burnout and stress levels in medical students: A psychological perspective. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science, 14*(6), 602-608. https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.140600068

OECD & European Commission. (2024). *Health at a glance: Europe 2024: State of health in the EU cycle.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/b3704e14-en

Pratama, M. F., Tanuwijaya, J., & Nilasari, B. M. (2026). Organizational factors and turnover intention: The mediating role of commitment. *EKSIS: Jurnal Riset Ekonomi dan Bisnis, 20*(2), 255-272. https://ejournal.stiedewantara.ac.id/index.php/001/article/view/1546

Rosin, H. M., & Korabik, K. (1995). Organizational experiences and propensity to leave: A multivariate investigation of men and women managers. *Journal of Vocational Behavior, 46*(1), 1-16. https://doi.org/10.1006/jvbe.1995.1001

Santana-Martín, M., López-Álvarez, J. M., Santana-Padilla, Y. G., Santana-Cabrera, L., & Santana-López, B. N. (2025). Nurses' job satisfaction and intention to leave the intensive care unit. *Enfermería Intensiva, 36*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.enfi.2025.500537

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2022). *Türkiye sağlık istatistikleri yıllığı 2020*. https://dosyasb.saglik.gov.tr/Eklenti/48054/0/siy202205042024pdf.pdf

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). Using Multivariate Statistics (7th ed.). Pearson.

Tamannaeifar, M. R., Shirani, Z., Esmikhani, M., & Zaremohzzabieh, Z. (2026). The mediating role of resilience in the relationship between cognitive flexibility and psychological well-being in patients with irritable bowel syndrome: A cross-sectional study. *BMC Gastroenterology, 26*, 1-10. https://doi.org/10.1186/s12876-026-04654-3

Tanrıöver, U. (2005). *The effects of learning organization climate and self-directed learning on job satisfaction, affective commitment, and intention to turnover* (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi

Türkben-Polat, H., & Katı, G. N. (2025). The relationship between nurses' psychological flexibility, life satisfaction, and turnover intention. *Journal of Health and Nursing Management, 12*(1), 110-116. https://doi.org/10.54304/SHYD.2025.85579

Wang, X., Liu, M., Zhang, J.-E., Deng, R., Li, M., Jin, X., Dai, H., Wang, Y., Wang, X., & Leung, A. Y. M. (2026). How does the absence of job embeddedness contribute to nurses' turnover intention? A fuzzy-set qualitative comparative analysis. *Journal of Nursing Management, 2026*, 1-17. https://doi.org/10.1155/jonm/2341935

Yeyit Bozdemir, Ş., & Kızılırmak Tatu, M. (2026). The relationship between self-transcendence, cognitive flexibility and depression symptoms in nurses. *Archives of Psychiatric Nursing, 60*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.apnu.2025.151996

https://doi.org/10.71284/asc.2026194

APPLICATION POSSIBILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE AZERBAIJANI EDUCATION SYSTEM

Türkan Halilsoy[1]

Abstract

The rapid development of artificial intelligence technologies in recent years has led to significant changes in the structure and functional mechanisms of education systems. Approaches such as personalized learning, automated assessment, adaptive teaching systems, and learning analytics play an important role in improving the quality of education. This article analyzes the application areas, pedagogical opportunities, ethical challenges, and methodological issues of artificial intelligence in education based on scientific literature. The effective integration of artificial intelligence technologies not only increases the flexibility and inclusiveness of education systems but also requires a transformation of the teacher's role. Since the modernization and digital transformation of the education system in the Republic of Azerbaijan is among the priority areas of state policy, the implementation of artificial intelligence in this field has particular relevance. Artificial intelligence technologies provide extensive opportunities for improving teaching quality, creating personalized learning environments, and increasing the efficiency of educational management. In the Azerbaijani education system, the expansion of electronic education platforms and the increasing use of digital resources in recent years have created favorable conditions for the implementation of artificial intelligence-based solutions. Adaptive learning systems powered by artificial intelligence enable the development of individualized learning pathways by considering the knowledge level and learning pace of students and university learners. This approach supports differentiated instruction and may contribute to reducing educational disparities between regions. In higher education institutions, artificial intelligence technologies can play an important role in the early identification of academic risks, monitoring learning outcomes, and evaluating the quality of distance education. At the general education level, these technologies can function as effective tools for diagnostic assessment, preparation of individual development plans, and support of inclusive education. At the same time, the implementation of artificial intelligence creates ethical and legal challenges within the Azerbaijani education system. The protection of personal data, prevention of algorithmic bias, and ensuring transparency are among the major issues requiring attention. Therefore, the successful implementation of artificial intelligence technologies in the Azerbaijani education system requires a comprehensive approach aligned with national education strategies, pedagogical preparedness, and ethical-legal frameworks.

Keywords: Artificial intelligence, Azerbaijan, education, technology.

[1] Nakhchivan State University, xelilsoyturkan@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-3991-765X

INTRODUCTION

The development of digital technologies has transformed education systems from traditional models into more flexible, data-driven, and individualized structures. Artificial intelligence (AI), as one of the most significant components of this transformation, is considered an important technological tool for analyzing learning processes, identifying individual student needs, and optimizing teaching activities (Chen et al., 2020). Artificial intelligence refers to the ability of computer systems to perform cognitive processes associated with human intelligence, such as problem-solving, learning, decision-making, and natural language processing. In the field of education, AI applications have particularly developed through intelligent tutoring systems, learning analytics, and generative artificial intelligence tools (Zawacki-Richter et al., 2019). The increasing adoption of artificial intelligence in education enables the personalization of students' learning experiences. AI-supported platforms can analyze students' performance data, generate personalized learning recommendations, and continuously monitor academic progress (Holmes et al., 2019). Furthermore, from the perspective of teachers, artificial intelligence can serve as a supportive tool in areas such as lesson planning, accelerating assessment processes, and analyzing student achievement (Kasneci et al., 2023). The modernization of the education system and the expansion of digital technologies in Azerbaijan represent important priorities of national education policies. The use of electronic resources in educational institutions, the development of distance learning practices, and the establishment of digital education platforms provide a significant foundation for the future integration of artificial intelligence applications. However, the integration of artificial intelligence into education systems is not merely a technological process. It is a complex transformation involving pedagogical, social, and ethical dimensions. Teachers' AI literacy, protection of student data, algorithmic bias, and digital inequalities represent key issues that require careful consideration (UNESCO, 2021). The aim of this study is to evaluate the applicability of artificial intelligence in the Azerbaijani education system and to identify its potential contributions to educational processes.

1. LITERATURE REVIEW

1.1. Applications of Artificial Intelligence in Education

Research on artificial intelligence in education has expanded rapidly in recent years, making the integration of AI into educational processes an important field of academic investigation. Zawacki-Richter et al. (2019), in their systematic review of artificial intelligence applications in higher education, demonstrated that the main areas of AI utilization include student assessment systems, predictive models, and instructional support mechanisms. According to Holmes et al. (2019), AI-based educational systems serve three main purposes: supporting student learning, improving teachers' decision-making processes, and enhancing the management capacity of educational institutions. These systems enable more effective monitoring of learning processes by analyzing large amounts of educational data and providing personalized recommendations. The development of generative artificial intelligence systems has introduced new opportunities in education. Large language models can support students in information retrieval, research activities, content creation, and problem-solving processes. However, the implementation of these technologies requires careful consideration regarding accuracy, ethical use, academic integrity, and responsible digital practices (Kasneci et al., 2023). Artificial intelligence-based educational tools are increasingly becoming significant components of modern learning environments. Intelligent tutoring systems, automated feedback mechanisms, and adaptive learning platforms contribute to the creation of more interactive and student-centered educational experiences. Nevertheless, researchers emphasize that AI should be considered as a complementary educational tool rather than a replacement for teachers (Luckin, 2018).

1.2. Personalized Learning and Learning Analytics

In traditional educational models, the same instructional approaches are generally applied to all students regardless of individual differences. However, AI-supported systems enable the development of differentiated

learning pathways based on students' cognitive characteristics, academic performance, interests, and learning speed. Learning analytics systems analyze students' behavioral and academic data to identify learning patterns, predict potential difficulties, and develop early intervention mechanisms aimed at improving academic achievement (Siemens & Baker, 2012). Personalized learning models provide significant advantages, particularly in educational systems where students have different academic backgrounds and learning needs. Through AI-supported learning environments, students can receive instructional materials and feedback according to their individual requirements. For the Azerbaijani education system, personalized learning approaches provide important opportunities for reducing educational inequalities between urban and rural areas. AI-based digital learning platforms may contribute to increasing access to quality educational resources, especially for students living in geographically disadvantaged regions.

2. RESEARCH METHODOLOGY

This study employs a qualitative research approach to evaluate the implementation possibilities of artificial intelligence in the Azerbaijani education system. The methodological framework of the research is based on the systematic analysis of international scientific studies and policy documents related to AI applications in education. The document analysis method was used as the primary data collection technique. Document analysis is a qualitative research method that enables the systematic examination of written and electronic materials related to a specific research topic (Bowen, 2009). Within this framework, academic studies and policy documents related to artificial intelligence, educational technologies, digital transformation, teacher competencies, and Azerbaijani education policies were analyzed. The data sources of the research consist of scientific articles indexed in Web of Science and Scopus databases, reports published by international organizations, studies in the field of educational technologies, and policy documents concerning artificial intelligence strategies. The reviewed studies mainly focused on publications between 2018 and 2026 in order to reflect recent developments in the field. Content analysis was employed for data interpretation. The reviewed literature was categorized according to the following themes:

1. Application areas of artificial intelligence in education,
2. Personalized learning practices,
3. Teachers' artificial intelligence competencies,
4. AI applications in educational management,
5. Ethical and security challenges,
6. Opportunities and limitations within the Azerbaijani education system.

Through this analytical framework, the current situation and future potential of AI integration into the Azerbaijani education system were evaluated.

3. FINDINGS

3.1. Potential of Artificial Intelligence in Learning Processes

The analysis of the reviewed literature indicates that one of the most significant contributions of artificial intelligence to education is the creation of personalized learning environments. While traditional educational models consider individual differences among students to a limited extent, AI-based systems can analyze students' learning speed, academic performance, and behavioral patterns to provide individualized educational content (Luckin, 2018). Intelligent tutoring systems are capable of identifying students' areas of weakness by analyzing incorrect responses and recommending appropriate learning materials. This approach enables students with different academic abilities to receive more effective support within the same learning environment (Holmes et al., 2019). From the perspective of the Azerbaijani education system, personalized learning systems offer valuable opportunities for reducing regional educational disparities. Differences in

educational resources between major cities and rural areas may be reduced through AI-supported online learning platforms and adaptive educational technologies.

3.2. Transformation of the Teacher's Role and Professional Competencies\

The research findings demonstrate that artificial intelligence should not be viewed as a technology replacing teachers but rather as a supportive instrument that enhances teaching and learning processes. AI systems can reduce teachers' routine administrative tasks and allow them to focus more on creative, mentoring, and student-centered activities (Holmes et al., 2019). To use AI technologies effectively, teachers need to acquire new digital competencies. Teacher education programs should incorporate AI literacy, data analysis skills, digital ethics, and technology-enhanced pedagogical approaches (UNESCO, 2021). In Azerbaijan, integrating AI-related training modules into professional development programs for teachers may support the sustainable adoption of these technologies. Without adequate teacher preparation, investments in technological infrastructure alone may not produce the expected educational outcomes.

3.3. Applications of Artificial Intelligence in Educational Management

Artificial intelligence provides significant opportunities not only in classroom learning processes but also in educational management. Educational institutions can analyze student data, predict academic performance levels, identify students at risk of failure, and improve resource allocation through AI-based analytical systems (Siemens & Baker, 2012). A data-driven decision-making approach can contribute to developing more evidence-based educational policies. Within the Azerbaijani education system, AI-supported analytical tools may be applied in monitoring student achievement, evaluating educational performance, and improving the distribution of educational resources.

3.4. Ethical Issues and Implementation Challenges

One of the important findings of the research is that AI implementation involves not only technological opportunities but also significant ethical challenges. Protection of student data, transparency of algorithmic decisions, digital inequalities, and potential biases within AI systems represent major areas requiring attention (UNESCO, 2021). The processing of students' personal data through large-scale AI systems requires careful consideration of privacy and security principles. Educational institutions should establish clear data governance frameworks and ethical standards for AI implementation. Furthermore, unequal access to technological infrastructure may increase the digital divide between different regions. Therefore, AI-based educational policies in Azerbaijan should be developed based on the principle of equal access.

4. DISCUSSION

The findings of this study demonstrate that artificial intelligence has significant transformational potential within the Azerbaijani education system. International research also emphasizes that AI can improve educational quality, personalize learning processes, and provide support for teachers (Chen et al., 2020; Zawacki-Richter et al., 2019). However, the integration of AI into education cannot be explained solely through technological investments. Successful implementation requires the simultaneous development of pedagogical approaches, teacher training programs, ethical standards, and institutional policies. In the Azerbaijani context, developments in digital education infrastructure provide a positive foundation for expanding AI applications. Nevertheless, the establishment of a national strategy for artificial intelligence in education would enable a more systematic and sustainable implementation process. The effective use of artificial intelligence in education depends on adopting a human-centered approach rather than a technology-centered one. Technology becomes meaningful only when it supports educational objectives and enhances human learning experiences.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study examined the implementation possibilities of artificial intelligence within the Azerbaijani education system. The findings reveal that AI provides significant opportunities in personalized learning, teacher support, educational management, and data-driven decision-making processes. Artificial intelligence technologies represent powerful tools that can contribute to improving the quality, accessibility, and efficiency of education in Azerbaijan. However, achieving these benefits requires a comprehensive strategic approach.

Based on the findings of the study, the following recommendations are proposed:

1.A national strategy for the use of artificial intelligence in education should be developed in Azerbaijan.

2.AI literacy courses should be integrated into teacher education and professional development programs.

3.Technological infrastructure in educational institutions should be strengthened to ensure equal access to AI-based educational solutions.

4.Ethical and legal regulations concerning student data protection should be developed.

5.Continuous scientific research should be supported to evaluate the educational impact of AI applications.

In conclusion, artificial intelligence represents a strategic technological field that may play an important role in the future development of the Azerbaijani education system. However, realizing this potential depends on the balanced integration of technological innovation with pedagogical principles.

REFERENCES

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27–40.

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access, 8*, 75264–75278.

European Commission. (2022). *Ethical guidelines on the use of artificial intelligence and data in teaching and learning for educators*. Publications Office of the European Union.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, 102274.

Luckin, R. (2018). *Machine Learning and Human Intelligence: The Future of Education for the 21st Century*. UCL IOE Press.

OECD. (2021). *Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots*. OECD Publishing.

Popenici, S. A. D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12*, 22.

Siemens, G., & Baker, R. S. J. d. (2012). Learning analytics and educational data mining: Towards communication and collaboration. *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, 252–254.

UNESCO. (2021). *AI and Education: Guidance for Policy-makers*. Paris: UNESCO.

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology, 45*(3), 223–235.

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16*, 39.

https://doi.org/10.71284/asc.2026196

THE IMPORTANCE OF APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ARCHAEOLOGICAL AND HISTORICAL RESEARCH

Togrul Khalilov[1]

Abstract

Since the second decade of the 21st century, the rapid development of artificial intelligence technologies has led to profound changes in scientific research methodologies. Particularly in traditional humanities disciplines such as archaeology and history, the use of new digital tools has enabled more systematic, faster, and multi-dimensional research possibilities. Artificial intelligence significantly expands the limits of human cognition in terms of processing large volumes of data, automatically detecting patterns, and modeling complex relationships. AI is regarded as one of the fundamental components of the "digital transformation" concept in the humanities. Within the framework of digital humanities, AI methods are widely used in data structuring, semantic analysis, and visual analytics. The application of AI in archaeology and history does not replace classical empirical methods but rather assumes a complementary role. Algorithmic analysis allows researchers to process larger datasets in shorter timeframes, leading to more substantiated results during the interpretation phase. In archaeological research, the combination of satellite imagery, LiDAR, and other remote sensing technologies with AI algorithms has produced revolutionary results in the detection of archaeological sites. Studies show that these methods are particularly effective in identifying ancient settlements in forested and mountainous areas. Through AI, the formal and technological characteristics of ceramics, metal artifacts, and stone tools can be analyzed to determine their chronological and cultural affiliations. In historical research, AI plays a significant role in text processing and translation. The integration of Optical Character Recognition (OCR) and Handwritten Text Recognition (HTR) technologies with AI has considerably accelerated this process. This approach enables the rapid digitization of thousands of pages of archival material and makes them accessible to researchers. AI is also an effective tool for detecting term usage, discourse structures, and ideological changes in historical texts. Large Language Models (LLMs) offer the possibility of analyzing long-term cultural and political transformations by comparing sources from different periods. While increasing the accuracy and scale of research, AI also contributes to the emergence of new epistemological approaches in the humanities. In the future, the more systematic and ethical application of AI will play a decisive role in the development of archaeological and historical sciences.

Keywords: Artificial intelligence, archaeological research, historical research, method, technology.

[1]Assoc. Prof. Dr., Nakhchivan State University, Azerbaijan National Academy of Sciences, Nakhchivan Branch, x.toqrul@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-3703-8315

INTRODUCTION

Developments in information technology have led to the reshaping of research methods. Artificial Intelligence (AI), in particular, has become one of the most widely used technologies in scientific research in recent years. Artificial intelligence refers to systems that can perform learning, problem-solving, data analysis, and decision-making processes by mimicking human intelligence (Russell & Norvig, 2021). Archaeology and history disciplines have traditionally relied on fieldwork, document analysis, and expert interpretation. However, the rapidly increasing volume of data produced today has necessitated the use of new technologies for processing this data. Resources such as satellite imagery, LiDAR scans, three-dimensional models, digital archives, and large text collections offer researchers extensive datasets. AI technologies provide significant advantages in the effective analysis of this data (Bickler, 2021). This study aims to evaluate the importance of artificial intelligence in archaeological and historical research.

1. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

For many years, the identification of archaeological sites was carried out through surface surveys and the interpretation of aerial photographs. Today, high-resolution satellite imagery and remote sensing technologies allow for the rapid examination of large geographical areas. Machine learning algorithms can analyze patterns in satellite images that are difficult for the human eye to detect, thereby identifying potential archaeological sites. Deep learning methods, in particular, have yielded successful results in identifying ancient settlements, road networks, and traces of agricultural activities (Orengo & Garcia-Molsosa, 2019). AI-supported analysis of data obtained through LiDAR (Light Detection and Ranging) technology enables the discovery of archaeological structures hidden beneath dense vegetation. The discovery of settlements belonging to the Maya civilization in Central America is one successful example of this method (Canuto et al., 2018). One of the most significant methodological transformations in archaeological research in recent years is the widespread use of remote sensing technologies. While traditional surface surveys and excavation methods are limited to specific areas, satellite imagery and LiDAR technologies allow for the rapid examination of large geographical regions. Artificial intelligence algorithms play a crucial role in processing this data. High-resolution satellite imagery offers researchers significant advantages in identifying traces of past human activities. Multispectral and hyperspectral images, in particular, can reveal indirect indicators of subsurface archaeological remains. Crop marks in agricultural areas, soil moisture variations, and micro-topographic features can be automatically determined through AI-supported analyses (Parcak, 2019). Machine learning algorithms can analyze thousands of satellite images in a short time to classify potential archaeological sites. Deep learning-based Convolutional Neural Networks (CNN) systems, in particular, can identify patterns that are difficult for the human eye to discern (Lambers & Verschoof-van der Vaart, 2021).

LiDAR technology has provided revolutionary results in uncovering archaeological remains beneath dense vegetation. This method, based on sending laser pulses to the surface and measuring their return times, allows for the detection of hidden settlement areas in forested regions. The discovery of thousands of new structures belonging to the Maya civilization in Guatemala demonstrates the importance of LiDAR technology in archaeology (Canuto et al., 2018). AI systems can analyze micro-topographic changes in LiDAR data to automatically identify archaeological features such as human-made terraces, fortifications, roads, and burial structures. This accelerates the data interpretation process for researchers and reduces error rates. In the future, the integration of satellite imagery, drone technologies, and artificial intelligence will enable more effective preservation and monitoring of archaeological sites.

The classification of artifacts recovered from archaeological excavations is a time-consuming process. AI systems are used to determine the typological characteristics of pottery shards, coins, stone tools, and other finds. Through computer vision technologies, the shape, size, decoration, and manufacturing techniques of artifacts can be automatically analyzed. CNN-based models demonstrate high accuracy rates in ceramic

and coin classification (Somrak et al., 2020). These methods not only save time but also reduce subjective evaluation differences among researchers. AI-supported 3D modeling systems allow for the digital reconstruction of incomplete or damaged archaeological artifacts. Data obtained through photogrammetry and laser scanning methods can be completed with the help of deep learning algorithms. These applications are widely used in digital restoration of artifacts exhibited in museums and virtual museum projects (Vincent et al., 2023).

1.1. Artificial Intelligence is scientifically important in numismatic research. Numismatics is a crucial discipline for understanding the economic, political, and cultural dimensions of historical processes. The inscriptions, depictions, and iconographic elements on coins provide significant information about past societies. AI technologies have been intensively used in coin research in recent years. Computer vision systems can analyze coin images to perform automatic classification. Deep learning algorithms can distinguish coins from different periods and identify minting centers (Altini & Brunori, 2020). AI also offers significant advantages in reading inscriptions on worn or partially damaged coins. Through image enhancement techniques, illegible characters can be made more distinct, allowing historical interpretations to be based on more reliable data. Islamic period coins found in Azerbaijan and Nakhchivan, including numismatic materials from the Ilkhanid, Qara Qoyunlu, Aq Qoyunlu, and Safavid periods, hold significant research potential for AI-supported studies.

1.2. Artificial intelligence is also scientifically important in museum studies. Today, museums have evolved beyond being mere exhibition spaces for artifacts; they have transformed into research and education centers that extensively use digital technologies. AI-supported systems provide significant conveniences in the management of museum collections. Automated cataloging, artifact identification, and digital inventory systems contribute to the more effective management of large collections (Fiorucci et al., 2020). 3D modeling technologies allow for the creation of digital copies of artifacts, making them accessible to wider audiences through virtual museums. Additionally, AI is used to analyze visitor behavior, enhance exhibition planning, and develop educational programs. In cultural heritage management, AI systems are also used in the monitoring and preservation of historical structures. Image processing algorithms contribute to conservation efforts by detecting cracks, surface deteriorations, and structural risks at an early stage.

1.3. Artificial intelligence is scientifically important in epigraphic research as well. Epigraphy is a significant research field concerned with the study of inscriptions from past societies. Inscriptions engraved on stone, metal, ceramics, and other materials are among the primary sources for understanding historical events, political structures, religious beliefs, and social relations. Reading inscriptions is often quite challenging due to erosion, breakage, and surface deterioration. AI-based image processing methods developed in recent years have made significant contributions to solving these problems. Using deep learning algorithms, traces of letters on inscription surfaces can be identified, and characters invisible to the human eye can be made visible. With data obtained through Reflectance Transformation Imaging (RTI), photogrammetry, and 3D scanning methods, it is possible to reconstruct illegible sections through AI analysis (Stieglitz, 2022). AI applications are not limited to character recognition. Through Natural Language Processing (NLP) techniques, inscription texts are analyzed linguistically, missing sections are predicted, and relationships between different inscriptions can be determined. Studies on Greek and Latin inscriptions, in particular, have shown that missing lines can be completed with high accuracy rates (Assael et al., 2019). The digitization of Arabic-script inscriptions, Seljuk period inscriptions, and medieval tombstones found in Azerbaijan and the Nakhchivan region holds great potential for AI applications. These studies can significantly contribute to the preservation of the region's cultural heritage. Azerbaijan, and especially the Nakhchivan region, is one of the most important archaeological centers in the South Caucasus. The region contains numerous settlements, necropolises, and historical structures dating from the Paleolithic period to the Middle Ages. Although AI technologies are currently used to a limited extent in Nakhchivan archaeology, they hold significant potential. In particular, analyzing important archaeological

sites such as I Kültəpə, II Kültəpə, Ovçular Təpəsi, Duzdağ, Oğlanqala, and Xaraba Gilan using satellite imagery and drone data could lead to new discoveries. Rock carvings, tombstones, and inscriptions in the region can be digitized using 3D scanning systems. Unreadable texts can be re-evaluated through AI-supported epigraphic analyses. Creating digital databases of thousands of archaeological artifacts in the Nakhchivan Museum and other regional museums will also contribute to the advancement of research.

1.4. Artificial Intelligence and Historical Research

A significant portion of archival documents used in historical research are manuscripts. Reading and digitally transferring these documents requires considerable effort. Optical Character Recognition (OCR) and Handwriting Recognition (HTR) technologies allow for the rapid digitization of millions of pages of historical documents. Systems like Transkribus, in particular, achieve high success rates in reading historical documents written in different scripts (Kahle et al., 2017). These developments enable researchers to access larger datasets. As mentioned previously, one of the most significant methodological transformations in archaeological research is the widespread use of remote sensing technologies, a point also relevant to broader historical landscape studies. AI algorithms play a crucial role in processing satellite and LiDAR data. High-resolution satellite imagery, especially multispectral and hyperspectral images, can reveal indirect indicators of subsurface remains, with features like crop marks and soil moisture variations being automatically determined through AI (Parcak, 2019). Machine learning, especially deep learning CNNs, can classify potential archaeological sites from thousands of images (Lambers & Verschoof-van der Vaart, 2021). LiDAR has been revolutionary, with the discovery of Maya structures in Guatemala being a prime example (Canuto et al., 2018). AI systems analyze LiDAR data to automatically identify archaeological features like terraces and walls, speeding up interpretation and reducing errors. Natural Language Processing (NLP) techniques offer new opportunities in historical research. By automatically analyzing large text collections, the change of specific concepts over time can be studied. Using NLP methods, person names, place names, and events can be automatically identified in historical documents. This helps researchers uncover previously unnoticed relationships (Ehrmann et al., 2023). The importance of AI-based methods is increasingly recognized in the analysis of vast collections, such as Ottoman, Safavid, and European archives, which contain millions of documents. AI-supported data mining methods are used to analyze relationships between past societies. Complex structures such as trade networks, diplomatic relations, and migration movements can be examined in more detail with the help of big data analytics. These methods make it possible to evaluate historical processes not only through individual events but also within the framework of large-scale interaction networks (Graham, Milligan, & Weingart, 2016). The preservation of cultural heritage is currently one of the significant research areas. Climate change, wars, natural disasters, and human activities threaten many historical structures. AI systems can monitor the current condition of historical buildings and predict potential deterioration in advance. Image processing algorithms are used to detect cracks, deformations, and surface abrasions (Fiorucci et al., 2020). Furthermore, digital twin technologies allow for the creation of virtual copies of historical artifacts, contributing to future restoration efforts.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Artificial intelligence technologies have become one of the fundamental elements of a new paradigm shift in archaeology and history research. Significant successes are being achieved in many fields, including satellite imagery, LiDAR systems, OCR applications, epigraphic analysis, and numismatic research. Evaluated specifically for Azerbaijan and Nakhchivan, the region’s rich cultural heritage offers extensive opportunities for AI-supported research. Digital mapping of archaeological sites, automatic reading of inscriptions, classification of coin collections, and digitization of museum data should be among the priority research areas in this process. Developing interdisciplinary collaborations between universities, museums, and research centers, training expert human resources, and supporting international projects are of great importance. The use of AI systems as tools that support, rather than replace, human expertise will contribute

to obtaining more reliable and comprehensive scientific results in the future.

The main advantages provided by artificial intelligence in archaeology and history research are:

1. Rapid analysis of large datasets.
2. Reduction of human errors.
3. Development of new research questions.
4. More effective identification of archaeological sites.
5. Increased accessibility of historical documents.
6. Contribution to the preservation of cultural heritage.
7. Encouragement of interdisciplinary research.

These advantages make research processes more efficient. In the coming years, the impact of AI technologies on archaeology and history research is expected to increase even further. Generative AI systems, big data analytics, and autonomous research platforms, in particular, will contribute to the development of new research methods. Digital twin technologies will allow for the creation of virtual models of historical cities and archaeological sites, enabling a more detailed reconstruction of past lifeways. Through the integration of international databases, archaeological and historical data from different countries can be analyzed on common platforms. This will contribute to the development of comparative studies on a global scale.

REFERENCES

Bickler, S. H. (2021). Machine learning arrives in archaeology. *Advances in Archaeological Practice*, 9(2), 186–191.

Broussard, M. (2018). *Artificial Unintelligence: How Computers Misunderstand the World*. Cambridge, MA: MIT Press.

Canuto, M. A., Estrada-Belli, F., Garrison, T. G., Houston, S. D., Acuña, M. J., Kováč, M., et al. (2018). Ancient lowland Maya complexity revealed by airborne laser scanning. *Science*, 361(6409), eaau0137.

Ehrmann, M., Romanello, M., Flückiger, A., & Clematide, S. (2023). Challenges and opportunities of natural language processing for historical texts. *Nature Human Behaviour*, 7, 1304–1315.

Fiorucci, M., Khoroshiltseva, M., Pontil, M., Traviglia, A., Del Bue, A., & James, S. (2020). Machine learning for cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 133, 102–108.

Graham, S., Milligan, I., & Weingart, S. (2016). *Exploring Big Historical Data: The Historian's Macroscope*. London: Imperial College Press.

Kahle, P., Colutto, S., Hackl, G., & Mühlberger, G. (2017). Transkribus—A service platform for transcription, recognition and retrieval of historical documents. *2017 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition Workshops*, 19–24.

Orengo, H. A., & Garcia-Molsosa, A. (2019). A brave new world for archaeological survey: Automated machine learning-based potsherd detection using high-resolution drone imagery. *Journal of Archaeological Science*, 112, 105013.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.

Somrak, M., Džeroski, S., & Kokalj, Ž. (2020). Learning classifiers from remotely sensed archaeological data. *Remote Sensing*, 12(14), 2359.

Vincent, M. L., Hermon, S., Niccolucci, F., & Richards, J. (2023). Artificial intelligence and 3D cultural heritage documentation: Current applications and future prospects. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 16(4), 1–22.

https://doi.org/10.71284/asc.2026195

İLAÇ İLİŞKİLİ ÇENE OSTEONEKROZUNDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE FARKINDALIĞIN ÖNEMİ

CURRENT APPROACHES AND THE IMPORTANCE OF AWARENESS IN DRUG-RELATED JAW OSTEONECROSIS

Eren Yılmaz [1]
İlkay Bedia Karadavut[2]

Özet

Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw (MRONJ), antiresorptif ve antianjiyojenik ilaç kullanımıyla ilişkili gelişen ciddi bir çene kemiği komplikasyonudur. Hastalığın erken dönemde asemptomatik seyredebilmesi tanıyı güçleştirmekte, bu nedenle erken tanı ve koruyucu yaklaşımlar büyük önem taşımaktadır. Diş çekimi, periodontal enfeksiyonlar, kötü ağız hijyeni ve uzun süreli ilaç kullanımı başlıca risk faktörleri arasında yer almaktadır. Panoramik radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), MRONJ'nin erken radyolojik bulgularının değerlendirilmesinde önemli görüntüleme yöntemleridir. Son yıllarda yapay zekâ destekli görüntü analiz sistemleri, erken kemik değişikliklerinin saptanmasında umut verici sonuçlar göstermektedir. Ayrıca yapay zekânın gelecekte klinik karar destek süreçlerine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. MRONJ tedavisinde konservatif ve cerrahi yöntemler birlikte uygulanmakta olup, günümüzde en etkili yaklaşımın koruyucu önlemler olduğu kabul edilmektedir. Antiresorptif tedavi öncesinde dental değerlendirme yapılması ve multidisipliner yaklaşımın benimsenmesi komplikasyon riskinin azaltılmasında kritik rol oynamaktadır.

Anahtar Kelimeler: MRONJ, osteonekroz, farkındalık, bifosfonatlar, multidisipliner yaklaşım.

Abstract

Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw (MRONJ) is a serious complication of the jawbone associated with the use of antiresorptive and antiangiogenic agents. The disease may remain asymptomatic in the early stages, which makes diagnosis challenging; therefore, early detection and preventive approaches are of critical importance. Tooth extraction, periodontal infections, poor oral hygiene, and long-term medication use are among the main risk factors. Panoramic radiography and cone-beam computed tomography (CBCT) are important imaging modalities for evaluating early radiological signs of MRONJ. In recent years, artificial intelligence–assisted image analysis systems have shown promising results in detecting early bone changes. It is also suggested that artificial intelligence may contribute to clinical decision-support processes in the future. The management of MRONJ includes both conservative and surgical approaches; however, preventive strategies are currently considered the most effective method. Dental evaluation prior to antiresorptive therapy and the adoption of a multidisciplinary approach play a critical role in reducing the risk of this complication.

Keywords: MRONJ, osteonecrosis, awareness, bisphosphonates, multidisciplinary approach.

[1]Dr. Öğr. Üyesi, Bolu İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Türkiye, dr.dt.erenyilmaz@gmail.com, https://orcid/org/0000-0003-0298-734X

[2]Arş. Gör., Bolu İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Türkiye, , ilkaybedia.karadavut@ibu.edu.tr, https://orcid/org/0009-0003-0570-9721

1. GİRİŞ

Klinik pratikte sıklıkla reçete edilen bazı ilaç grupları ciddi komplikasyonlara neden olabilmektedir. Bu komplikasyonların bir kısmı önlenebilse de yetersiz farkındalık, geç tanı, branşlar arası iletişimin yetersiz olmasından dolayı daha ciddi komlikasyonlar olmaktadır. İlaç ilişkili çene osteonekrozu (Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw) (MRONJ) antiresorptif ve antianjiyojenik ilaç kullanımıyla kemikte nekroza yol açan olumsuz bir klinik durumdur (Ruggiero ark., 2022). Erken tanının güç olması, klinik bulguların geç ortaya çıkması ve farklı disiplinler arasında farkındalık eksikliği nedeniyle günümüzde önemli bir klinik problem olmaya devam etmektedir.

MRONJ' a neden olan ilaç grupları osteoporoz, multiple myelom, paget hastalığı gibi durumlarda ve maligniteye bağlı kemik metastazlarını önlemek amacıyla reçete edilmektedir (Karadavut, 2025). Bu ilaçlardan klinik pratikte en sık karşımıza çıkanlar bifosfonatlar ve denasumabtır. Son yıllarda kullanımlarının artmasıyla beraber MRONJ vakalarında ve buna bağlı komplikasyonlarda artış gözlenmektedir. Günümüzde hastalığın yalnızca dental bir komplikasyon olmadığı; onkoloji, endokrinoloji, ortopedi ve ağız, diş ve çene cerrahisini ilgilendiren multidisipliner bir klinik problem olduğu kabul edilmektedir (Kuroshima ve ark., 2019). Association of Oral and Maxillofacial Surgeons tarafından yayımlanan güncel tanı kriterlerine göre MRONJ; antiresorptif veya antianjiyojenik ilaç kullanım öyküsü bulunan, baş-boyun bölgesine radyoterapi almamış hastalarda sekiz haftadan uzun süre ekspoze kemik veya intraoral/ekstraoral fistül varlığı ile tanımlanmaktadır (Ruggiero ve ark., 2022). Hastalık çoğu zaman ağrı, enfeksiyon, yumuşak doku inflamasyonu, parestezi, patolojik fraktür ve fonksiyon kaybı gibi ciddi klinik sonuçlara yol açabilmektedir (Kuroshima ve ark., 2019).

AOMS tarafından klinik pratikte kullanım kolaylığı olması açısından MRONJ 4 evreye ayrılmıştır (Ruggiero ve ark., 2022). Evre 0 ve evre 1 de temel amaç hasta semptomlarını rahatlatmaktır. Bu iki erken evrede genellikle konservatif tedaviler yeterli olmaktadır. Ancak evre 2 ve evre 3 bireylerde konservatif tedaviler yeterli olmaz ve ileri cerrahi uygulamalarına ihtiyaç olur. Özellikle ileri evre olgularda yaşam kalitesinde belirgin düşüş meydana gelmektedir. MRONJ teşhisi için detaylı klinik ve radyografik değerlendirmeler yapılmalıdır. Klinik semptomlar evrelere göre değişmektedir. Tanıya giden yolda iki boyutlu panoramik filmler ve üç boyutlu tomografiler en önemli yarımcılarımız olmaktadır.

Bunun yanında son yıllarda derin öğrenme tabanlı yapay zekâ algoritmaları erken teşhiste yardımcı olmaktadır (Sankar ve ark., 2025). Nekrotik kemik sınırlarının otomatik belirlenmesi, erken trabeküler değişikliklerin saptanması ve lezyon yayılımının objektif olarak değerlendirilmesinde umut verici sonuçlar göstermiştir (Sankar ve ark., 2025). Tedavi sürecinde invaziv işlemlerden mümkün olduğunca kaçınılması, zorunlu durumlarda minimal travmatik tekniklerin tercih edilmesi son derece önemlidir. Çünkü bu bireylerde kemik beslenme mekanizması zayıflamıştır ve minimal travmatik işlemleri bile tolere edemezler. Ayrıca bu hastalarda sekonder enfeksiyonları önlemek ve hasta semptomlarını hafifletmek için farmakolojik yaklaşımlara da başvurulmalıdır. Yüksek riskli hastalarda veya iyileşme gecikmesi görülen olgularda erken dönemde ağız, diş ve çene cerrahisine yönlendirme yapılması, komplikasyonların önlenmesi ve yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Komplikasyonu oluşmadan önlemek hasta ve hekimler açısından son derece önemlidir. Bu yüzden bu ilaçları reçete eden hekimlerin reçeteleme öncesi hastaları ağız diş ve çene cerrahına detaylı muayene için yönlendirmesi gerekmektedir. Bu derlemenin amacı, Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw hakkında güncel literatür bilgilerini değerlendirmek; hastalığın etiyopatogenezi, risk faktörleri, tanı yöntemleri ve tedavi yaklaşımlarını incelemektir. Ayrıca yapay zekâ destekli görüntüleme sistemlerinin MRONJ'nin erken tanısındaki potansiyel katkılarının ortaya konulması ve multidisipliner farkındalığın öneminin vurgulanması amaçlanmıştır.

2. ETİYOPATOGENEZ VE RİSK FAKTÖRLERİ

İlk MRONJ vakaları 2003 yılında Marx tarafından rapor edilmeye başlanmıştır (Eguia A. ve ark.,2020). İlk zamanlar sadece bifosfonatların bu duruma neden olduğu düşünülmekte ve bu yüzden BRONJ olarak adlandırılmaktaydı. Ancak zamanla farklı ilaç gruplarının da benzer tabloya yol açabildiğinin gösterilmesi üzerine, 2014 yılında American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons önerisiyle terminoloji (MRONJ) olarak güncellenmiştir (Weive ark.,2025). Bu ilaç gruplarına tirozin kinaz inhibitörleri (Sunitinib), sklerostin inhibitörleri (Romosumab), anjiyogenez inhibitörleri (Bevacizumab), mTOR inhibitörleri (Everolimus), Radyum 223 gibi radyofarmösotikler, östrojen inhibitörleri (Raloksifen), metotreksat ve kortikosteroidler örnek olarak verilebilir. Klinik pratikte en sık karşılaştığımız ilaçlar bifosfonatlar ve denasumab olmaktadır (Issam S. Hamadehve ark.,2015; Yukishimave ark.,2025).

2.1. Bifosfonatlar

Bifosfonatlar esas olarak osteoklast hücrelerinde farnesil difosfat sentaz enzimini inhibe ederek GTPaz sinyal proteinlerinin prenilasyonunu engeller (Rogersve ark.,1999). Bu durum osteoklast hücrelerinde apoptoza yol açar (Rogersve ark.,2000). Apoptoz sonrası ortaya çıkan bifosfonatlar kemik matriksine entegre olarak orada kümülatif etki gösterir. Böylece yıllar boyu kemikte kalabilirler. Oral alım sonrası kana geçen veya direkt olarak IV uygulanan bifosfonatların bir kısmı, tüm ilaçlarda olduğu gibi plazma proteinlerine (Albumin) bağlanırlar (Reszkave ark.,2003). Bu durum ilaçtan ilaca değişiklik gösterir (Zoledronat için %22, ibandronat için %87) (Reszkave ark.,2003). Asıl etkiyi ise serbest dolaşan kısmı gösterir (Reszkave ark.,2003). (Zoledronatın %78'i serbest dolaşımdadır. En etkili ilaç olmasının sebeplerinden biri de budur.) Serbest ilaç moleküllerinin kalsiyuma çok yüksek afiniteleri vardır. Bu nedenle kemiklerde, hidroksiapatitlere bağlanırlar (Cremers, S. C., 2005). Öncelikle korteste birikirler. Tekrarlayan dozlarda ise medullada da birikmeye başlarlar. En çok da aktif rezorpsiyon bölgelerinde birikirler. Çünkü bu bölgelerde çok sayıda serbest Ca bulunmaktadır. Çene kemikleri hem vaskülarizasyonlarının yüksek olması hem de sürekli olarak kuvvete maruz kalmalarından dolayı vücutta yapım yıkımın en hızlı gerçekleştiği yapılardır (Narayananve ark.,2013). Bu yoğun remodelizasyon süreci, antiresorptif ve antianjiyojenik ajanların etkilerine çenelerin daha duyarlı hale gelmesine neden olmakta; osteonekrozun özellikle çene kemiklerinde ortaya çıkmasını açıklamaktadır (Cremers, S. C., 2005). Bu özgün patofizyolojik özellikler, ilaca bağlı çene osteonekrozunun (MRONJ) ayrı bir klinik antite olarak değerlendirilmesinin temelini oluşturmaktadır.

2.2. Denasumab

Özellikle osteoporoz tedavisinde kullanılan denasumab osteoklast oluşumunu ve aktivitesini sağlayan RANKL (Nükleer faktör kappa-B ligandı) yolunu inhibe ederek kemik rezorpsiyonunu engeller (Narayananve ark.,2013). Bifosfonatlarla benzer etki mekanizması olmasına rağmen farklı yolaklar üzerinden etkilerini göstermektedirler. Potensi yüksek bir ilaç olduğundan MRONJ oluşumuna yol açmaktadır. Ayrıca denosumabın anjiyogenezi dolaylı olarak azaltabileceği, yumuşak doku iyileşmesini bozabileceği ve lokal enfeksiyonlara karşı savunma mekanizmalarını zayıflatabileceği bildirilmektedir (Jiang, A., ve ark. 2025).

2.3. Lokal ve Sistemik Risk Faktörleri

MRONJ antiresorptif ilaca maruziyet ile doğrudan ilişkili olsa da bu olumsuz durumun gelişiminde birçok faktör rol oynamaktadır. Antiresorptif ajanlar kemikteki fizyolojik yapım yıkım mekanizmasını osteoklastlar üzerinden bozarak rezorpsiyonu önler. Bu durum kemikte sürekli yapımın devam ettiği bir duruma yol açar. Böylece spongiyoz boşluklar azalarak çok sert ve kırılgan bir kemik meydana gelir. Spongiyoz boşlukların azalması damarların sıkışarak beslenmeyi sağlayamamasına neden olur. Bu da kemik beslenmesini engeller. Bunun sonucu olarak antiresorptif ajan kullanan bireyler sağlıklı bireylerin tolere ettiği dental işlemleri tolere edemez. Örneğin diş çekimi, implant cerrahisi, dentoalveolar cerrahiler gibi travmatik işlemler sonrası kemik yeterli beslenmeyi sağlayamayacağı için iyileşemez ve nekroz olur. Ayrıca MRONJ herhangi bir cerrahi girişim olmaksızın da gelişebilir. Sağlıklı bireylerde pulpal, periodontal

ve periapikal hastalıklar gibi önceden var olan enfeksiyonlar kemiğin fizyolojik remodelasyon süreçleri ile ve damarlar yoluyla gelen antienflamatuar yolaklar sayesinde sınırlandırılabilir. Antiresorptif ajanlar hem antienflamatuar hem de proinflamatuar proteinlerde belirgin değişimler meydana getirmektedir (Jiang, A., ve ark. 2025). Özellikle bifosfonatlar ve denasumab sitokin dengesi, osteoimmünojenik yanıt ve makrofaj aktivasyonu üzerine etkili olduğu bulunmuştur (Jiang, A., ve ark. 2025). Bu ajanlar TNF-α, IL-1β, IL-6, RANKL ve IFN-γ gibi proinflamatuar medyatörler ile IL-10 gibi antiinflamatuar sitokinlerin ekspresyonunu etkileyerek osteoklast – osteoblast etkileşimini immün yanıt üzerinden modüle eder (Li, S., ve ark. 2024). MRONJ gelişiminde yalnızca kemik rezorpsiyonunun baskılanması değil, aynı zamanda immün yanıtın değişmesi ve inflamatuar dengenin bozulması da etkili mekanizmalar arasında yer almaktadır. Antiresorptif ilaçların osteoklast aktivitesini azaltarak kemik yenilenmesini yavaşlattığı; buna ek olarak lokal savunma mekanizmalarını zayıflatıp enfeksiyonlara karşı dokunun direncini düşürdüğü bildirilmektedir (Aitella ve ark., 2025). Oluşan sitokin dengesizliği ve gecikmiş yara iyileşmesi, özellikle çene kemiklerinde nekrotik sürecin başlamasını kolaylaştırabilmektedir. Bu nedenle güncel literatürde, immünolojik ve inflamatuar değişikliklerin MRONJ patogenezinin temel bileşenlerinden biri olduğu kabul edilmektedir (Bassan Marinho Maciel ve ark., 2024). Ayrıca oral hijyen eksikliği, uyumsuz protezler, torus veya eksositoz gibi anatomik sürekli travmaya neden olabilecek anatomik oluşumların varlığı MRONJ oluşumuna yol açan veya şiddetini artıran faktörler arasındadır (Karadavut, 2025).

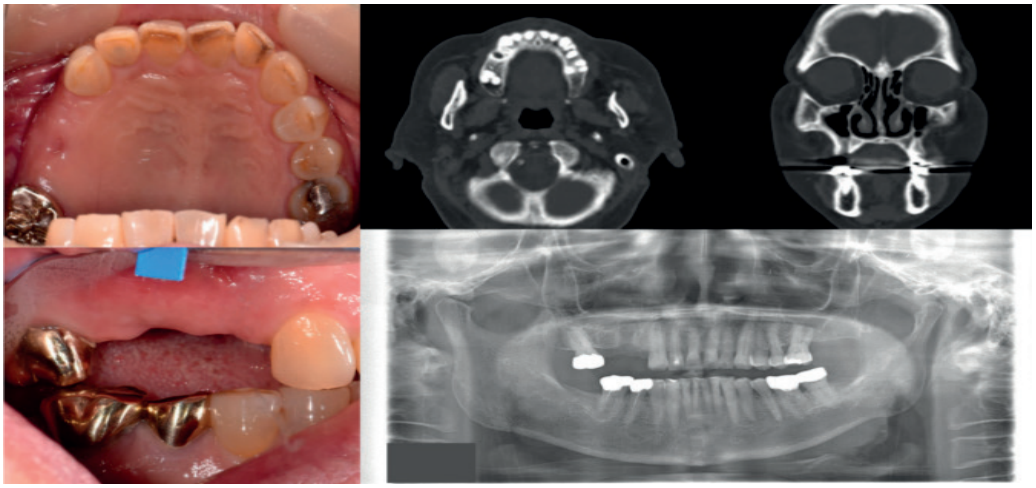
3. MRONJ TANISI

MRONJ şüphesi olan bireylerde detaylı klinik ve radyografik incelemeler son derece önemlidir. Son yıllarda yapay zekâ destekli görüntüleme sistemleri de dikkat çekmektedir. Özellikle konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) ve panoramik radyografiler üzerinde geliştirilen derin öğrenme algoritmaları, nekrotik kemik sınırlarının otomatik belirlenmesi, erken trabeküler değişikliklerin saptanması ve lezyon yayılımının objektif olarak değerlendirilmesinde umut verici sonuçlar göstermiştir (Ko ve ark., 2024). Böylece hem hekim hem de hastalar için son derece önemli olan erken tanı konularak daha konservatif yöntemlerle hastalar tedavi edilebilir. Ancak mevcut veriler, yapay zekânın henüz doğrudan tedavi edici bir yöntem olmadığını; daha çok erken teşhis, cerrahi planlama ve hastalık progresyonunun izlenmesinde yardımcı bir klinik araç olarak öne çıktığını göstermektedir (Sankar ve ark., 2025). American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons (AAOMS) tarafından yapılan tanımlamaya göre Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw (MRONJ) tanısının konulabilmesi için belirli klinik kriterlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna göre hastanın mevcutta ya da geçmişte antiresorptif veya antianjiyojenik ajan kullanmış olması, maksillofasiyal bölgede ekspoze nekrotik kemiğin ya da fistül aracılığıyla sondla tespit edilebilen kemiğin sekiz haftadan daha uzun süre devam etmesi ve hastada çene bölgesine yönelik radyoterapi öyküsü ya da çene kemiklerinde metastatik hastalık bulunmaması temel tanı kriterleri arasında yer almaktadır (Ruggiero ve ark., 2022). Bu kriterler, MRONJ'nin diğer osteonekrotik ve malign süreçlerden ayırt edilmesinde klinik açıdan önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Yine AOMS tarafından teşhis koyma ve klinik kullanım kolaylığı açısından 4 MRONJ evresi belirlenmiştir (Ruggiero ve ark., 2022).

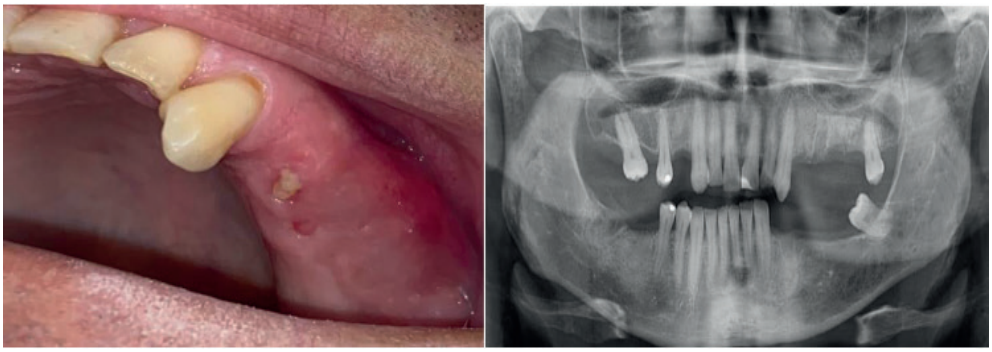
Tablo 1. American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons (AAOMS) tarafından belirlenen MRONJ evrelemesine ait tablo gösterilmektedir (Vanpoecke ve ark., 2020).

Evreler	**Bulgular**
Evre 0	Kemik nekrozuna dair klinik bir kanıt yok, ancak spesifik olmayan klinik bulgular, radyografik değişiklikler ve semptomlar mevcut.
Evre 1	Asemptomatik ve enfeksiyon belirtisi olmayan hastalarda, muayene edildiğinde kemiğe bağlanan, açıkta kalan, nekrotik kemik veya fistüller.
Evre 2	Enfeksiyonla ilişkili olarak, muayene sırasında kemikte nekrotik doku veya kemiğe bağlanan fistüllerin görülmesi. Enfeksiyon, açıkta kalan kemik bölgesinde ağrı ve kızarıklıkla, irinli akıntı eşliğinde veya akıntı olmadan kendini gösterir.
Evre 3	Ağrı, enfeksiyon ve aşağıdaki belirtilerden en az birine sahip hastalarda, muayene sırasında kemiğe bağlanan açıkta kalan, nekrotik kemik veya fistüller: alveoler kemik bölgesinin ötesine uzanan (yani mandibulanın alt kenarı ve ramusu, maksiller sinüs ve maksillanın zigoması) ve patolojik kırığa neden olan açıkta kalan, nekrotik kemik; ekstraoral fistül, oral antral veya oral nazal iletişim veya mandibulanın alt kenarına veya sinüs tabanına kadar uzanan osteoliz.

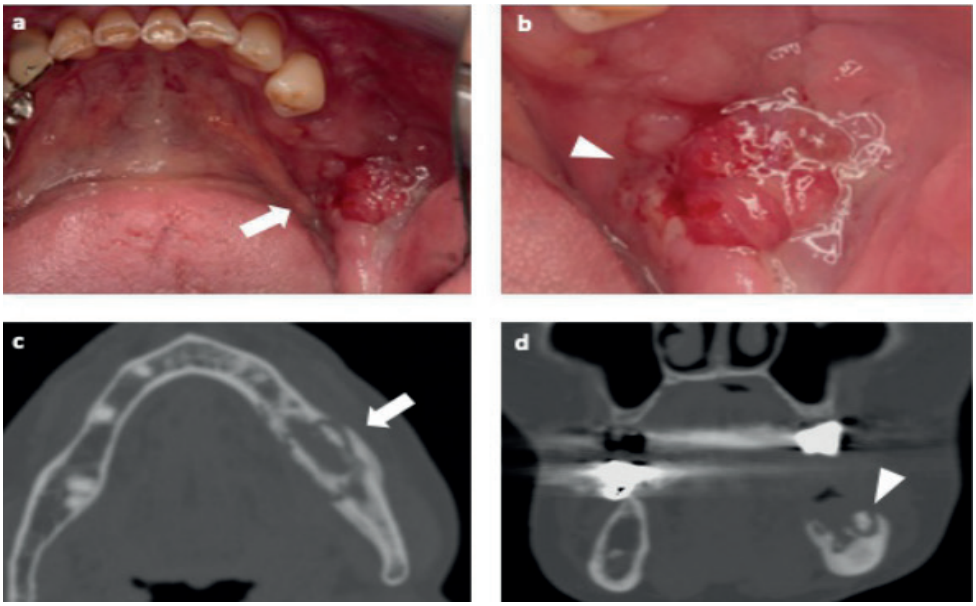
Şekil 1. MRONJ Evre 0 tanısı alan 81 yaşındaki kadın hasta, yaklaşık beş yıldır oral alendronat kullanmakta olup sağ üst ikinci premolar diş çekiminden beş ay sonra ağrı şikâyetiyle başvurmuştur. Klinik muayenede ekspoze kemik izlenmezken, bölgede hafif yumuşak doku çökmesi ve çekim soketine ait sert doku defekti dikkati çekmiştir. Panoramik radyografi ve bilgisayarlı tomografi görüntülerinde sağ maksiller posterior bölgede MRONJ ile uyumlu sınırlı değişiklikler değerlendirilmiştir (On ve ark., 2021)



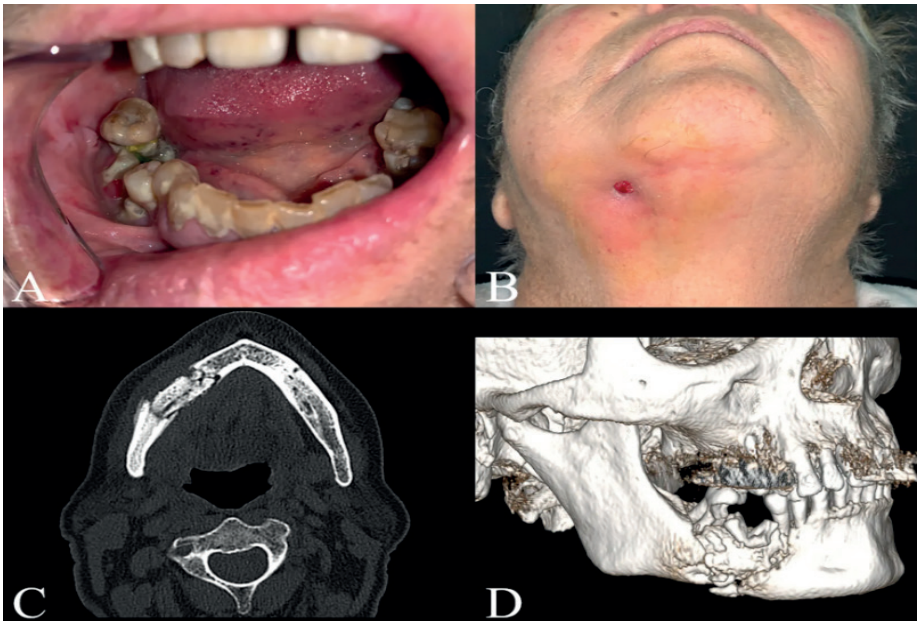
Şekil 2. Evre 1 MRONJ tanısı konan asemptomatik bir hastada sol posterior bölgede açığa çıkan nekrotik kemikile 25 numaralı diş bölgesinde sekestr oluşumunun radyografik kanıtı (Magalhães ve ark.,2023).



Şekil 3. Evre 2 (Yaygın MRONJ) olgusuna ait klinik ve radyolojik görüntülerde, alveol soketinin granülasyon dokusu ile dolu olduğu ve çevre diş eti dokusunda belirgin hiperemi ile ödem geliştiği izlenmektedir (Görsel A). Görsel B'de lezyon alanının yakın plan görünümü sunulmaktadır. Görsel C ve D'de yer alan aksiyal ve koronal BT rekonstrüksiyonlarında ise bazal kemiğe kadar uzanan medüller skleroz, kemik sekestrasyonu ve periostal reaksiyon dikkati çekmektedir (Bedogni ve ark., 2024).



Şekil 4. Evre 3 MRONJ tanısı alan 76 yaşındaki hastada sağ mandibular bölgede ağrı ve şişlik izlenmiştir. Klinik muayenede intraoral kemik ekspozu ve oro-kutanöz fistül saptanırken, BT görüntülerinde geniş kemik sekestrasyonu ve mandibula fraktürü tespit edilmiştir. Hastanın yaklaşık 10 yıldır osteoporoz nedeniyle alendronik asit kullandığı ve ek sistemik hastalıklarının bulunduğu bildirilmiştir (Lo Giudice ve ark., 2025).



4. MRONJ Tedavisi

Evre 0 ve evre 1 gibi erken evrelerde daha çok hasta semptomlarını azaltmaya yönelik konservatif tedaviler tercih edilse de ileri evrelerde konservatif tedaviler yeterli olmamakta ve genellikle ileri cerrahi tedavilere gereksinim duyulmaktadır.

Tablo 2. AAOMS'ye göre MRONJ'nin evrelemesi ve tedavi önerileri, 2014 (Ruggiero ve ark., 2014).

Evreler	Tedavi
Evre 0	• Ağrı kesici ve antibiyotik kullanımını da içeren sistemik tedavi.
Evre 1	• Antibakteriyel ağız gargaraları • Klinik takip üç ayda bir yapılmaktadır. • Hasta eğitimi ve BP tedavisinin devamına ilişkin endikasyonların gözden geçirilmesi
Evre 2	• Oral antibiyotiklerle semptomatik tedavi • Ağız antibakteriyel gargarası • Ağrı kontrolü • Yumuşak doku tahrişini gidermek ve enfeksiyonu kontrol altına almak için debridman işlemi.
Evre 3	• Antibakteriyel ağız gargarası • Antibiyotik tedavisi ve ağrı kontrolü • Enfeksiyon ve ağrının uzun süreli hafifletilmesi için cerrahi debridman veya rezeksiyon.

Tüm bunların yanında son yıllarda konservatif tedaviye olan ilgi artmaktadır. Hekimler cerrahi komplikasyonlarından korunmak için otolog trombosit konsantreleri (APC), fotobiyomodülasyon (PBM), hyalüronik asit (HA) ve vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) uygulaması, hiperbarik oksijen tedavisi, ozon tedavisi, pentoksifilin-tokoferol (PENTO) uygulaması gibi yenilikçi konservatif yaklaşımlara yönelmektedir (Karadavut, 2025). Ancak bu uygulamalar cerrahi tedaviye alternatif değil destekleyici tedavi olarak uygulanmalıdır.

5. SONUÇ

Klinik pratikte sıklıkla reçete edilen bazı ilaçlar ciddi ve geri dönüşü olmayan komplikasyonlara yol açmaktadır. Bu komplikasyonların bir kısmı önlenebilse de büyük bir kısmı yetersiz farkındalık, branşlar arası yetersiz iletişim ve geç tanı nedeniyle hala ciddi bir klinik problem olmaya devam etmektedir. MRONJ, yalnızca diş hekimlerinin değil, hastaya tedavi planlayan tüm sağlık profesyonellerinin dikkat etmesi gereken önemli bir ilaç ilişkili komplikasyondur. Bu nedenle, özellikle onkologlar, endokrinologlar ve aile hekimleri tarafından ilgili ajanlar başlanmadan önce hastaların dental açıdan değerlendirilmesi ve gerekli tedavilerin tamamlanması önerilmektedir. MRONJ'un önlenmesinde temel yaklaşım; risk faktörlerinin doğru belirlenmesi, multidisipliner iş birliği, hasta eğitimi ve koruyucu dental uygulamaların etkin biçimde yürütülmesidir. Bu doğrultuda, sağlık çalışanları arasında farkındalığın artırılması, hastalık yükünün azaltılması ve yaşam kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

Aitella, E., Azzellino, G., Romano, C., Ginaldi, L., & De Martinis, M. (2025). Rheumatoid Arthritis and Osteoporosis as Prototypes of Immunosenescence in Osteoimmunology: Molecular Pathways of Inflammaging and Targeted Therapies. International Journal of Molecular Sciences, 26(19), 9268.

Bassan Marinho Maciel, G., Marinho Maciel, R., Linhares Ferrazzo, K., & Cademartori Danesi, C. (2024). Etiopathogenesis of medication-related osteonecrosis of the jaws: A review. Journal of Molecular Medicine, 102(3), 353–364.

Bedogni, A., Mauceri, R., Fusco, V., Bertoldo, F., Bettini, G., Di Fede, O., Lo Casto, A., Marchetti, C., Panzarella, V., Saia, G., Vescovi, P., & Campisi, G. (2024). Italian position paper (SIPMO-SICMF) on medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ). Oral Diseases, 30(6), 3679–3709.

Cremers, S. C., Pillai, G., & Papapoulos, S. E. (2005). Pharmacokinetics/pharmacodynamics of bisphosphonates: use for optimisation of intermittent therapy for osteoporosis. Clinical Pharmacokinetics, 44(6), 551–570.

Jiang, A., Zhang, Z., Qiu, X., & Guo, Q. (2024). Medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ): a review of pathogenesis hypothesis and therapy strategies. Archives of Toxicology, 98(3), 689–708.

Karadavut, İ. B. (2025). İlaçlarla İlişkili Çene Osteonekrozunun Yönetiminde İnvaziv Olmayan Tedavilerin Etkinliğinin Değerlendirilmesi. Türk Tıp ve Sağlık Bilimleri Dergisi / Turkish Journal of Medicine and Health Sciences, 2(1).

Ko, Y. Y., Yang, W. F., & Leung, Y. Y. (2024). The role of cone beam computed tomography (CBCT) in the diagnosis and clinical management of medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ). Diagnostics, 14(16), 1700.

Kuroshima, S., Sasaki, M., & Sawase, T. (2019). Medication-related osteonecrosis of the jaw: A literature review. Journal of Oral Biosciences, 61(2), 99–104.

Li, S., Liu, G., & Hu, S. (2024). Osteoporosis: interferon-gamma-mediated bone remodeling in osteoimmunology. Frontiers in Immunology, 15, 1396122.

Lo Giudice, G., Calvo, A., Magaudda, E., De Ponte, F. S., & Nastro Siniscalchi, E. (2025). Case report:

Virtual surgery and 3D printing in a medication-related osteonecrosis of the jaws (MRONJ) pathological mandibular fracture. Frontiers in Oral Health, 6, 1520195.

Ruggiero, S. L., Dodson, T. B., Aghaloo, T., Carlson, E. R., Ward, B. B., & Kademani, D. (2022). American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons' position paper on medication-related osteonecrosis of the jaws—2022 update. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 80(5), 920–943.

Sankar, H., Alagarsamy, R., Lal, B., Rana, S. S., Roychoudhury, A., Agrawal, A., & Wankhar, S. (2025). Role of artificial intelligence in treatment planning and outcome prediction of jaw corrective surgeries by using 3-D imaging: a systematic review. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology, 139(3), 299–310.

Vanpoecke, J., Verstraete, L., Smeets, M., Ferri, J., Nicot, R., & Politis, C. (2020). Medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ) stage III: conservative and conservative surgical approaches versus an aggressive surgical intervention: a systematic review. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 48(4), 435–443.

https://doi.org/10.71284/asc.2026197

YAPAY ZEKÂ VE HALKLA İLİŞKİLER BAĞLAMINDA BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS IN THE CONTEXT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PUBLIC RELATIONS

Ayşegül Evci[1]
Mustafa Gülmez[2]

Özet

Yapay zekâ teknolojilerinin hızla gelişimi, birçok alanda köklü değişikliklere yol açmaktadır. Bunların başında da iletişim ve halkla ilişkiler gelmektedir. Halkla ilişkiler disiplininde yapay zekâ uygulamaları sadece araç olarak değil, karar alma süreçlerinin dönüşümü de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, yapay zekâ teknolojilerinin halkla ilişkiler disipliniyle olan bağlantısını ve araştırma yönelimlerinin haritalandırılması, araştırma konusu için önemli bir unsur olmuştur. Bu araştırmanın amacı, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanında iletişim süreçlerini de kapsayan uluslararası literatürü bibliyometrik yöntemler aracılığıyla analiz etmeyi hedeflemekte; ayrıca araştırma boşluklarını belirleyerek gelecekteki araştırma konularına katkı sağlamaktadır. Araştırma kapsamında, Web of Science veri tabanından 2015-2026 yıllarına ait 199 makale ve derleme türünde yayına ulaşılmıştır. Bu makale ve derlemelerden 176 makale sistematik derleme kapsamında incelenmiştir. Analiz sürecinde, Vosviewer ile yazar iş birlikleri, ülke ağları ve anahtar kelime eş-oluşum haritaları görselleştirilmiş; yayınların yıllara göre dağılımı üretken yazarlar ve ülkeler arasında bağlantıların oluşumu için bibliyometrik yönlerinin incelenmesi amacıyla R programı ve R programı ve bu programın ara yüzü olan Biblioshiny kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, 2019 sonrasında belirgin bir yayın artışı olduğunu ve 2024-2025 yıllarında yayın sayısında maksimum artışın gözlendiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, ortalama atıf değerlerindeki dalgalı yapı, yüksek etkili çalışmaların dağılımı literatürde zamanla daha düşük yoğunlukla atıf dağılımına dönüştüğünü göstermektedir. Ülke iş birliği ağı analizinde, birincil düzeyde ABD ağın merkezi konumundadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, halkla ilişkiler, iletişim, bibliyometrik ağ analizi.

Abstract

The rapid advancement of artificial intelligence technologies is leading to profound changes in many fields. Among these, communication and public relations stand out. In the field of public relations, Artificial Intelligence (AI) applications are not merely tools but are also transforming decision-making processes. In this context, mapping the connection between AI technologies and the public relations discipline, as well as identifying research trends, has become a crucial element for this study. The aim of this study is to analyze the international literature in the fields of artificial intelligence and public relations—including communication processes—using bibliometric methods; it also identifies research gaps to contribute to

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Halkla İlişkiler ve Tanıtım Bölümü, aysegulevci@hotmail.com, https://orchid.org/0009-0008-6359-6370

[2] Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Halkla İlişkiler ve Tanıtım Bölümü, mgulmez@cumhuriyet.edu.tr, https://orchid.org/0000-0002-2541-7377

future research topics. Within the scope of the study, 199 articles and review article publications from the Web of Science database covering the years 2015–2026 were identified. These articles and review articles included 176 articles that were analyzed as part of the systematic review.During the analysis process, author collaborations, country networks, and keyword co-occurrence maps were visualized using Vosviewer; the R program and Biblioshiny—which serves as an interface for the R program—were used to examine bibliometric aspects regarding the distribution of publications by year and the formation of connections among productive authors and countries. The findings highlight a significant increase in publications after 2019, with the peak in publication numbers observed during the 2024–2025 period. Additionally, the fluctuating pattern in average citation values indicates that the distribution of high-impact studies in the literature has gradually shifted toward a lower-density citation distribution over time. In the analysis of the country collaboration network, the United States occupies a central position at the primary level.

Keywords: Artificial ıntelligence, public relations, communication, bibliometric network analysis.

GİRİŞ

Dijitalleşme sürecinin hız kazanmasıyla birlikte, yapay zekâ teknolojileri farklı disiplinlerde dönüştürücü bir etki yaratmaya başlamıştır. Bu dönüşümden en fazla etkilenen alanlardan biri de halkla ilişkiler olmuştur. Geleneksel iletişim pratiklerinin yerini giderek veri temelli, otomasyon destekli ve algoritmik süreçlere bırakması, halkla ilişkiler faaliyetlerinin hem teorik hem de uygulama boyutunda yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Özellikle büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve doğal dil işleme gibi yapay zekâ bileşenleri, hedef kitle analizinden içerik üretimine, kriz yönetiminden itibar yönetimine kadar pek çok süreçte etkin bir rol üstlenmektedir.

Son yıllarda yapay zekâ ile halkla ilişkiler arasındaki etkileşim, akademik literatürde giderek artan bir ilgiyle karşılanmaktadır. 2019 yılı sonrasında hızlanan yayın artışı ve özellikle 2023 sonrası dönemde gözlenen belirgin sıçrama, bu iki alanın kesişiminde oluşan araştırma gündeminin genişlediğini göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu çalışmaların yalnızca teknik uygulamalara odaklanmadığı; aynı zamanda iletişim süreçleri, etik sorumluluklar ve medya üretim dinamikleri gibi çok boyutlu temaları da kapsadığı görülmektedir. Bu durum, yapay zekânın halkla ilişkiler alanında sadece bir araç değil, aynı zamanda yapısal bir dönüşüm unsuru olarak konumlandığını ortaya koymaktadır.

Literatürdeki anahtar kelime örüntüleri incelendiğinde, yapay zekâ ve halkla ilişkiler kavramlarının merkezde yer aldığı; iletişim, sosyal medya, etkileşim ve etik gibi alt temalar etrafında kümelendiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, alanın teknik altyapıdan normatif düzenlemelere, medya uygulamalarından iletişim stratejilerine kadar geniş bir perspektifte ele alındığı söylenebilir. Ancak ülkeler arası atıf ilişkilerinin sınırlı olması ve araştırma ağlarının parçalı bir yapı sergilemesi, bu alandaki bilgi üretiminin henüz tam anlamıyla bütünleşmediğine işaret etmektedir.

Bu çalışma, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanında üretilen akademik yayınları bibliyometrik yöntemlerle inceleyerek, alanın kavramsal yapısını, gelişim eğilimlerini ve uluslararası iş birliklerini ve nereye doğru evrildiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda anahtar kelime eş-oluşum analizi, atıf ağları ve zaman serisi verileri kullanılarak alanın mevcut durumu değerlendirilmekte ve gelecekteki araştırmalar için bir çerçeve sunulmaktadır. Böylece, hem akademik literatüre katkı sağlanması hem de uygulayıcılar için stratejik bir perspektif geliştirilmesi hedeflenmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Yapay Zekâ ve Halkla İlişkiler

Dijital çağın en büyük gelişmelerinden bir olan yapay zekâ, birçok sektörde büyük dönüşümlere yol açmıştır. Yapay zeka , karar verebilen ve belirli görevleri otonom biçimde insan müdahalesi aracılığıyla yerine getiren teknolojik bir sistem olarak ifade edilmektedir (Mustak vd., 2021).

Dijital çağda son on yılda yaşanan teknolojik gelişmeler, özellikle iletişim ve halkla ilişkiler disiplinlerinde de köklü dönüşümlere neden olmuştur. Yapay zekânın gelişim süreçlerine ilişkin çalışmalar incelendiğinde; 2015-2022 yılları "ikinci dalga" olarak görüldüğü anlaşılmaktadır. Bu dönemde yapay zekâ araçlarının daha çok veri analizi, organizasyonel ve sınıflandırma görevlerini **üstlenerek; büyük** veri analizi, duygu analizi, içerik planlama, veri düzenleme hedef kitle eğilimlerin belirlenmesi ve dijital içerikler oluşturma gibi süreçlerde önemli rol oynadığı görülmektedir (Cramer & Rudeloff, 2026). Yapay zekâ teknolojileri 21.yy. başlarında analitik görevleri yürütürken; daha sonraki dönemlerde üretken yapay zekâ araçlarının gelişimiyle yeni bir evreye adım atmıştır. Üretken yapay zekâ; görsel, ses ve video gibi içerikler üretmeye başlamıştır (Banh & Strobel, 2023).Yapay zekâ araçlarının gelişimi, halkla ilişkiler alanında yeni stratejilerin ortaya çıkmasına da yol açmıştır (Galloway & Swiatek, 2018) .

2022 yılı sonunda üretken yapay zekâ alanında yaşanılan gelişmeler, bu teknolojilerin iletişim ve halkla ilişkiler süreçlerine entegrasyonunda kurumlara ve çalışanlara çeşitli imkânlar sunmaktadır. Bu imkanlar doğrultusunda iletişim süreçleri daha hızlı ve verimli hale gelirken; Talkwalker, Branwatch ve Cometrics.io gibi yapay zeka destekli platformalar ortak paydaşların eğilimlerinin analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Yue vd., 2024). Bu teknolojilerin yanı sıra ChatGPT, Claude AI ve Copilot gibi yapay zekâ araçları da metin düzenleme, yorumla ve dijital kampanya süreçlerinde kurumlara ve iletişim uzmanlarına hedef kitle beklentilerini doğru analiz etme imkânı sunmaktadır(Guzman & Lewis, 2020). Yapay zekâ destekli Chatbot uygulamalarının da kurum ile hedef kitle arasında müşteri memnuniyeti olumlu yönde rol oynadığı çeşitli araştırmalarla ortaya konulmaktadır (Men vd., 2022). Bu bağlamda, yapay zekâ teknolojilerinin halkla ilişkiler alanına entegrasyonu, sadece operasyonel süreçlere yardımcı bir araç olmanın ötesinde, stratejik düzeyde uygulamaların da merkezinde konumlanmaktadır.

Halkla ilişkiler süreçlerinde yapay zekâ uygulamaları, kurumsal iletişim uygulamalarında hız verimlilik ve karar alma kapasitesi açısından önemli faydalar sağlamasına rağmen çeşitli riskleri de beraberinde getirmektedir. Halkla ilişkiler uzmanları gelişen yapay zekâ teknolojilerine olumlu bir tutum sergilerken, bir yandan da endişe duymaktadır. Halkla ilişkiler profesyonellerinin kaygı duyduğu konuların başında veri gizliliği, etik sorunlar ve karar alma süreçlerindeki şeffaflık gelmektedir(Chui vd., 2016).Diğer yandan yapay zeka teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte dezenformasyon kavramı da bir tehdit unsuru olarak belirginleşmektedir. Dezenformasyon; kamuoyunu yanlış bilgilendirmek amacıyla üretilen bilgi olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, kurumların itibarını ve hedef kitle ilişkilerini olumsuz yönde etkilemekte ve kriz iletişimi süreçlerinde ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Karinshak & Jin, 2023a).

Bunun yanı sıra yapay zekâ uygulamalarının entegrasyonu sürecinde halkla ilişkiler uzmanlarının teknoloji yetkinliklerine sahip olması gerekmektedir. Dijital araçların sürdürülebilir biçimde uygulanabilmesi için eğitim programlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. (Hassouni & Mellor, 2024).

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanına yönelik akademik üretimin eğilimlerini belirlemek amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. 31.03.2026 tarihinde," yapay zekâ "ve "halkla ilişkiler" anahtar sözcüğüyle "tüm alanlar" kapsamında tarama yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın veri seti olarak Web of Science (WOS) Core Collection veri tabanı ve 2015-2026 yılları arasındaki 176 makale ve derleme türündeki çalışmalardan oluşmaktadır. Araştırma sürecinde Vosviewer

yazılımı aracılığıyla anahtar kelime eş-oluşum, **ülke iş** birliği ortak yazarlık alanları belirli eşik değerler verilerek incelenmiştir. Ayrıca atıf analizi, en etkili dergiler, yıllık ortalama bilimsel üretim eğilimleri Biblioshiny (RStudio) yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanlarının gelişim eğilimlerini ortaya koymaktadır.

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Yapay zekâ teknolojilerinin hızla gelişimi, birçok alanda köklü değişikliklere yol açmaktadır. Bunların başında da iletişim ve halkla ilişkiler gelmektedir. Halkla ilişkiler disiplininde yapay zekâ uygulamaları sadece araç olarak değil; karar alma süreçlerinin dönüşümü de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, yapay zekâ teknolojilerinin halkla ilişkiler disipliniyle olan bağlantısını ve araştırma yönelimlerinin haritalandırılması araştırma konusu için önemli bir unsur haline gelmiştir. Bu araştırmanın amacı, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanında iletişim süreçlerini de kapsayan uluslararası literatürü bibliyometrik yöntemler aracılığıyla analiz etmek; ayrıca araştırma boşluklarını belirleyerek gelecekteki araştırma konularına katkı sağlamaktır.

2.2. Araştırmanın Yöntemi

Nitel araştırma deseninde tasarlanan bu çalışma kapsamında, veri toplama yöntemi olarak sistematik derleme metodundan faydalanılmıştır. Bu bağlamda Yapay Zekâ ve Halkla İlişkiler bağlamında etkileri konu alan, farklı disiplinlerde son on bir yılda yapılan çalışmalar kapsamlı olarak bibliyografi tabanlı doküman incelemesine ve sistematik analize tabi tutulmuştur.

Sistematik derleme, bir soruna çözüm bulmak amacıyla o alanda yapılan çalışmaların detaylı olarak taranması, çeşitli dâhil etme ve dışlama kriterleri kullanılması ve çalışmaların bilimsel kalitesinin değerlendirilmesi sonucunda hangi çalışmaların araştırma kapsamına alınacağının belirlenmesi ile bu çalışmaların ortaya koyduğu bulgu ve sonuçların sentezlenme sürecidir (Karaçam, 2013, s: 26).

Bu amaçla, WOS (Web of Science) veri tabanında yer alan, yapay zekâ ve halkla ilişkileri konu alan ve bu konulara ilişkin bulguları açıkça ortaya koyan 2015-2026 yılları arasında yapılmış çalışmalar, anahtar kelimeler ve dâhil etme/dışlama kriterleri kapsamında bibliyografik olarak taranmıştır.

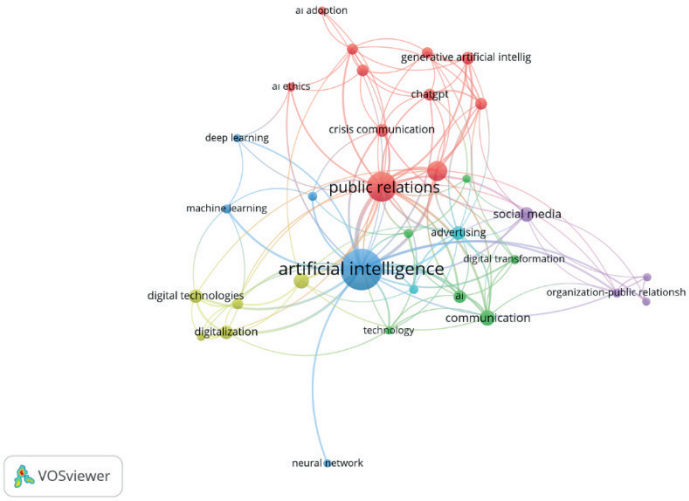
Araştırma notları (research notes), özet metinler, kitap bölümleri, bildiriler çalışmaya dâhil edilmemiş küreselleşmenin etkilerini açıkça ele almayan ve çok yoğun, karmaşık istatistiksel modellerin kullanıldığı çalışmalar da dışlama kriterleri kapsamında analiz dışı bırakılmıştır. Bu yöntemle tekrar edilebilir, çerçevesi ve kapsamı belirlenmiş, sistematik derlemeye ilişkin bilimsel bir strateji elde edilmiştir. Sonuç itibariyle tarama sonucunda, WOS veri tabanından 199 çalışmadan 176 makale sistematik derleme kapsamında incelenmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde, bibliyometrik veri seti analiziyle incelenen 176 makalenin verilerine dayalı veriler sunulmaktadır. Bu bağlamda, araştırma kapsamında yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanlarını ele alan çalışmaların anahtar kelime eş-oluşum, ülkeler arası atıf ilişkisi, yazarların ortak atıf ilişkisi, yayınların yıllara göre dağılımı, yıllara göre atıf değerleri, en çok atıf alan kaynaklar, yayınların etki düzeyleri ve kullanılan anahtar kelime frekansları tablo ve grafiklerle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanlarında akademik araştırmaların hangi konulara yöneldiğini göstermektedir.

3.1. Anahtar Kelime Eş-Oluşum İlişkileri

Şekil 1. Anahtar Kelime Eş-Oluşum İlişkileri

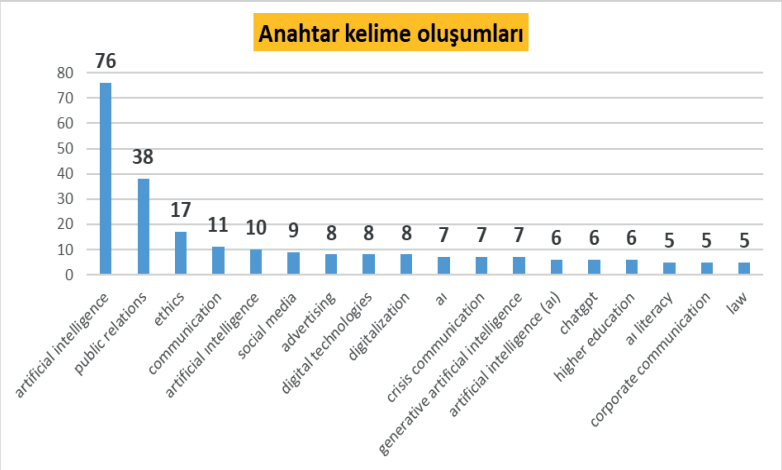


Yapay zekâ ve halkla ilişkiler ile ilgili yayınlarda kullanılan anahtar kelime eş-oluşum ağı kapsamında minimum tekrar sayısı 3 olarak belirlenmiş, toplam 617 anahtar kelimeden 33'ü analize dâhil edilmiştir. Toplam bağlantı gücü bakımından ilk olarak yapay zekâ (Artificial Intelligence), ardından halkla ilişkiler (public relations) anahtar sözcük olarak gelmektedir.

Bu analiz sonucunda toplam 6 küme elde edilmesine karşın, kümeler arasındaki kavramsal yakınlıklar ve tekrar eden anahtar kelimeler göz önüne alınarak dört ana küme altında birleştirilmiştir. İlk kümenin, yapay zekâ ve teknik alt yapı kavramlarından oluştuğu ve merkezden uzak uç noktalarda konumlandığı görülmektedir.Bu durum, teknik kavramların iletişim ve halkla ilişkiler uygulamalarındaki işlevselliğine odaklandığını ortaya koymaktadır. İkinci küme, yapay zekâ teknolojilerinin halkla ilişkiler alanında iletişim süreçlerindeki rolünü ele almaktadır. Halkla ilişkiler bağlamında yapay zekâ araçları iletişim süreçlerinde giderek artan bir rol oynadığı görülmektedir. Üçüncü küme, etik, hukuk, yapay zekâ okuryazarlığı ve kriz iletişimi ekseni etrafında birleşmektedir. Bu durum, alanın normatif düzenlemeler etrafında yeniden yapılandığını göstermektedir. Dördüncü küme ise, medya ve reklamcılık alanlarını kapsamaktadır. Yapay zekânın medya üretim süreçlerinde ve içerik üretiminde giderek daha yaygın hâle geldiğini görülmektedir. Bulgular, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanının teknik gelişmeler, iletişim uygulamaları, normatif sorumluluklar ve medya endüstrisi ekseninde şekillendiğini ve yapay zekânın tüm temalar arasında köprü kurarak disiplinler arası bir rol üstlendiğini göstermektedir.

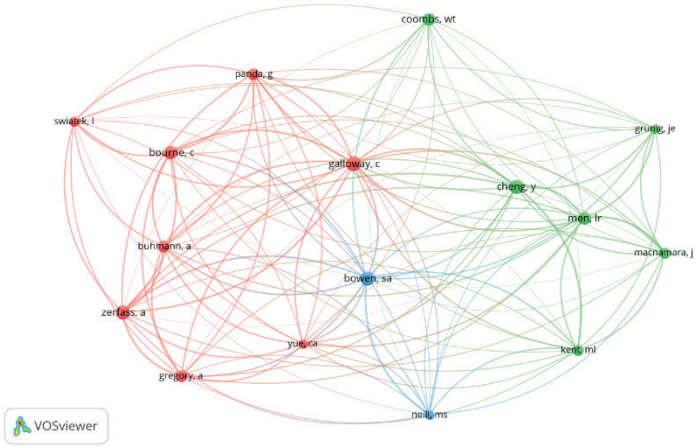
Yukarıda ifade edilenlerden yola çıkarak hangi anahtar kelimelerin ne kadar sıklıkla olduğunu gösteren grafik de aşağıda verilmiştir (Grafik 1).

Grafik 1. Anahtar Kelimelerin Sıklıkları



3.2. Yazarların Ortak Atıf Analizi

Şekil 2. Yazarların Ortak Atıf Analizi İlişkileri



Yazarların ortak atıf analizi bulgularına göre, en az 20 atıf eşiğini sağlayan 16 etkili yazar belirlenmiştir. Analiz sonucunda toplam 3 küme,118 bağlantı ve 2060 bağlantı gücü tespit edilmiştir.

Kümeler yapay zekâ ve halkla ilişkiler disiplininin üç eksende oluştuğunu göstermektedir. Birinci küme Clea Bourne, Alexander Buhmann, Chris Galloway,Anne Gregory, Geetanjali Panda, Lukasz Swiatek ,Cen April Yue ve Ansgar Zerfass yazarlarından oluşmaktadır. Ağ içinde oluşan bağlantılar bu yazarların benzer araştırma konuları üzerinde yoğunlaştığına işaret etmektedir. Ayrıca bu kümede yer alan yazarlar halkla ilişkiler alanının kurumsal iletişim ve iletişim yönetimi boyutlarına katkı sağlayan öncü isimlerdir.

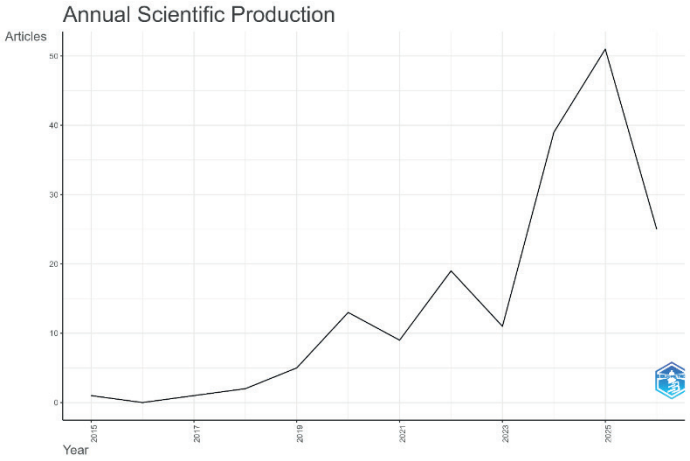
İkinci kümede halkla ilişkilerin çekirdek konuları olan kriz iletişimi ve teorik temellerini şekillendiren Grunig ve Coombs gibi önemli yazarların yer alması, bu kümenin literatürün temel alanını temsil ettiğini göstermektedir.

Üçüncü küme Shannon A. Bowen ve Marlene S. Neill yazarlarından oluşmaktadır. Bu kümenin daha dar olması, yapay zekâ ve halkla ilişkiler disiplininde etik, teknoloji ve profesyonel yetkinlik gibi konuların literatürde daha sınırlı bir alan olarak yer aldığını göstermektedir.

Analiz sonucunda, kümeler arası bağlantıların bütünleşik bir yapı içinde olduğu ve merkezi konumda yer alan yazarların kümeler arası köprü rolü üstlendiği görülmektedi.

3.3. Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Grafik 2. Yayınların Yıllara Göre Dağılımı



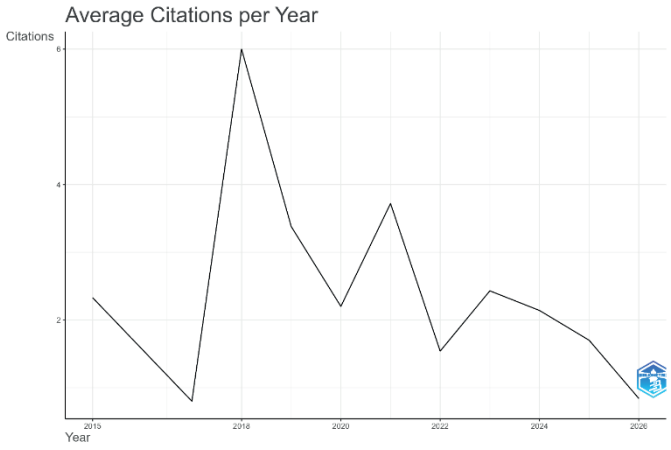
Yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanında 2015-2026 yılları arasında yapılan yayınların yıllık dağılımı incelendiğinde, 2015 ve 2018 yılları arasında yayın sayısının oldukça sınırlı olduğu, 2019 yılı itibariyle ise belirgin bir artış**ın başladığı gö**rülmektedir.

2020-2022 döneminde dalgalanmalar gözlenmekle birlikte genel eğilim artış yönündedir. Bu bulgular, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanlarının disiplinler arası çalışmalarla hem teorik hem de pratik **açıdan** derinleştiğini ortaya koymaktadır.

2023 sonrası dönemde, **özellikle 2024-2025 yıllarında keskin bir** artış **gözlenmiştir.** Bu durum, yapay zekâ teknolojilerinin yaygınlaşması, iletişimde otomasyon sistemlerinin kullanımının artması ve akademik çevrelerin bu alana yönelmesi ile ilişkilendirilebilir.2026 yılı verilerinde **gözlenen** düşüşün yılın henüz tamamlanmamış olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

3.4. Yıllık Ortalama Atıf

Grafik 3. Yıllık Ortalama Atıf



Yıllara göre ortalama atıf grafiği (Grafik 3) incelendiğinde, 2015-2017 yıllarında ortalama atıf değerlerinin **sınırlı ve dalgalı bir yapı sey**ir izlediği görülmektedir. Bu durum, yapay zekâ uygulamalarının halkla ilişkiler literatüründe henüz yeni gelişmekte olmasıyla ilişkilendirilebilir.

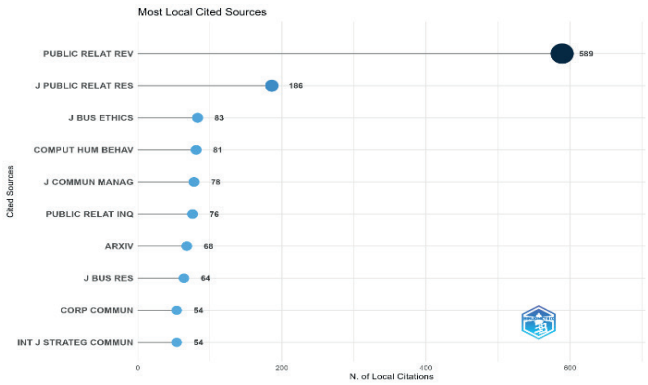
2018 yıllında ortalama atıf değerinin zirveye ulaşması, araştırma konusunun akademik alanda karşılık bulduğunu göstermektedir. Ancak bu durum süreklilik **göstermemiştir.** 2019 **yıllında atıf ortalamaları tekrar düş**tüğü, 2021 yılında belirli bir artış yaşanmasına rağmen 2022 yılında bu artışın devam etmediği gözlenmektedir.

2024 sonrası dönemde ortalama atıf değerlerinin azalması, yayımlanan çalışmaların henüz yeterli atıf döngüsüne ulaşmamış olmasıyla ilişkilendirilebilir.

3.5. En Çok Atıf Alan Kaynaklar

En çok atıf alan kaynaklar grafiği (Grafik 4), yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanlarının hangi kaynaklar etrafında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır

Grafik 4. En Çok Atıf Alan Kaynaklar

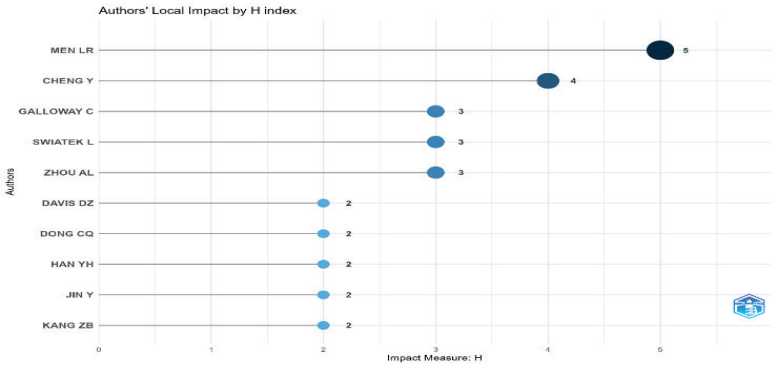


Grafik 3 dağılımı incelendiğinde, Public Relations Review dergisi 589 atıfla ilk sırada yer almaktadır. Bu durum, yapay zek**â** ve halkla ilişkiler kesişiminde bilgi üretiminin bu dergi üzerinden inşa edildiğini göstermektedir. Journal of Public Relations Reseach 186 atıfla ikinci sırada gelmektedir. Söz konusu bu kaynakla**rın,** halkla ilişkiler literatüründeki en **köklü dergiler olduğu bilinmektedir.** Journal of Business Ethics 83, Computer in Human Behavior 81, Journal of Communication Management 78, Public Relations Inquiry 76 atıf değerleriyle daha sonraki sıralarda yer almaktadır. Bu veriler sonucunda halkla ilişkilerin sadece geleneksel halkla ilişkiler alanında sınırlı kalmadığını aynı zamanda disiplinler arası bir bakış açısı içerdiğini yansıtmakta olduğunu söyleyebiliriz.

3.6. Yazarların Etki Düzeyleri

Analiz edilen veri seti içerisinde yazarların sadece alanda üretkenlik ve atıf değerlerine değil aynı zamanda süreklilik gösteren akademik etki düzeyi için h indeksi grafiği kullanılmıştır (Grafik 5).

Grafik 5. Yazarların Etki Düzeyleri H-İndeksi

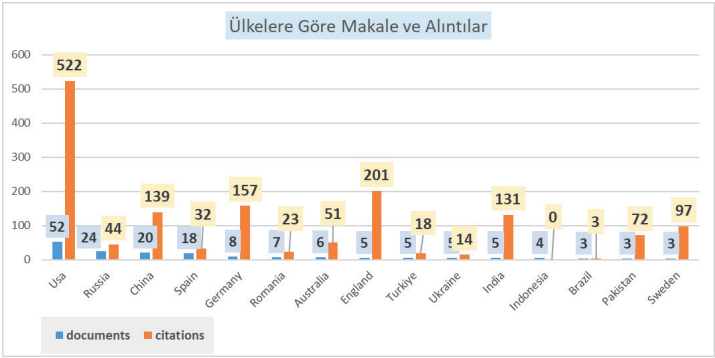


Elde edilen bulgular, Men LR (H=5) ve Chen Y (H=4) yazarlarının alanda en yüksek etki değerlerine sahip olduğu dolayısıyla akademik alan üretiminde merkezi bir konumda yer aldıklarını göstermektedir. Diğer yandan Galloway C, Swiatek L ve Zhou Al (H=3) yazarların belirli biz düzeyde atıf alan akademik çevreyi oluşturduğu tespit edilmiştir. Grafik 4, H=2 indeks değerinde olan yazarların daha az katkı ağ**ına** dâhil olduklarını göstermektedir. Bu bulgular sonucunda, yapay zekâ ve halkla ilişkiler literatüründeki alan çalışmalarının olgunlaşma aşamasında olduğuna işaret etmektedir.

3.7. Ülkelere Göre Makale ve Alıntılar

Ülkeler arası atıf ağı bulguları, araştırma üretiminin belirli merkezlerde yoğunlaştığını ve özellikle ABD'nin hem yayın hem de atıf gücü açısından belirleyici bir konumda olduğunu ortaya koymaktadır (Grafik 6).

Grafik 6. Uluslararası Atıf Ağı Bulguları



3.8. Kelime Bulutu Analizi

Kelime bulutu analizi, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alan çalışmaların merkezinde "artificial intelligence "kelimesinin belirgin şekilde ön planda olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra ikinci baskın kelime "public relation" olarak yer almaktadır. Bu iki kavramın yüksek frekansı, alandaki çalışmaların etkileşim içinde ivme kazandığına işaret etmektedir. Veri setinde yer alan, "communication", "social media", "engagement" ve "ethics" gibi kavramlar yapay zeka ve halka ilişkiler araştırma alanlarını alt temalarını oluşturduğu tespit edilmiştir. Bir yandan "ethics" kelimesinin yapay zekâ uygulamalarına yönelik etik sorunlar üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir." Digitalization", "technology", "crisis communication "gibi kavramların daha düşük frekansta yer aldığı ancak alanın teknolojik gelişmelerle evrildiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda, teknolojinin hızla gelişmesiyle alanın gelecekte daha geniş perspektiflerde araştırma konularına açık olduğunu göstermektedir (Şekil 3).

Şekil 3. Kelime Bulutu



3.9. Yapay Zekâ ve Halkla İlişkiler Sürecine İlişkin Eğilimlerin Sistematik Analizi

Araştırma bulguları genel olarak değerlendirildiğinde, analize dâhil edilen çalışmalara ait bulguların yapay zekâ ve halkla ilişkiler bağlamında etkilerinin hem pozitif hem de negatif olmak üzere iki yönlü olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, özellikle son beş yılda yapılan çalışmalarda yapay zekâ ve halkla ilişkiler bağlamındaki etki sonuçlarına ilişkin 13 pozitif ve 7 negatif etkiye işaret eden bulgular elde edildiği görülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1. Yapay Zekâ ve Halkla İlişkiler Sürecine İlişkin Eğilimlerin Sistematik Analiz Sonuçları

Araştırmacı/lar	Konular	Bulgular, Vurgulanan Sonuçlar ve Teorik Çıkarımlar	Etki
(Zerfass vd., 2020)	***İletişimde Yapay*** Zekâ	Araştırmaya göre, Avrupa genelindeki 2.689 iletişim uzmanlarının yapay zekâ alanında bilgi düzeyinin sınırlı olduğu ve % 15,4'ünün yapay zekâ uzmanı olarak nitelendirilebileceği belirlenmiştir. Yapay zekânın halkla ilişkiler ve iletişim yönetiminde önemli rol oynadığı görülmüştür. Bir yandan yapay zekâ teknolojilerinin iletişim alanında tehditten çok dönüştürücü bir araç olarak görülmesi gerekmektedir. Bu dönüşümün gerçekleşmesi ancak iletişim profesyonellerinin bu teknolojik araçları etkin kullanmaları ve teknolojik okuryazarlık süreçlerine öncelik verilmesi gerekmektedir. Yapay zekâ entegrasyonu sadece teknik bir süreç olmanın ötesinde Teknoloji- Organizasyon- Çevre (TOÇ) kapsamı ile iletişim bağlamında örgütsel kültür, liderlik meselesi ve çalışan yetkinlikleriyle bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur.	Pozitif
(Karinshak & Jin, 2023b)	Yapay Zekâ, Dezenformasyon	Araştırmada, yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesiyle kurumsal dezenformasyonun ortaya çıkmaktadır. Yapay zekâ ile üretilen içeriklerin mükemmel taklit seviyesine ulaşması nedeniyle gerçeklikle ayırt etmek zor hale gelmektedir. Bu nedenle, kurumlar yapay zeka kaynaklı dezenformasyon krizlerine karşı sadece reaktif değil aynı zamanda proaktif hazırlık süreçleri inşa etmenin önemli olduğu vurgulanmıştır.	Pozitif/ Negatif
(Yue vd., 2024)	Yapay Zekâ Adaptasyonu, Halkla İlişkiler Uygulamaları	Makalede, yapay zekânın halkla ilişkiler disiplini üzerindeki etkisi belirlemek amacıyla 20 uzmanla görüşme yapılmıştır. Halkla ilişkiler uygulayıcılarının günlük rutin işlerinde ChatGPT ve Midjourney gibi üretken yapay zekâ teknolojilerini yardımcı araç olarak kullandığı belirtilmektedir. Yapay zekâ araçları operasyonel verimliliği artırsa da halkla ilişkiler profesyonellerinin bu dijital dönüşümde yönetim süreçlerini yönlendiren stratejik danışmanlık rollerinin önemli olduğu vurgulanmıştır.	Pozitif

(Çerçi, 2024)	Yapay Zekâ, Halkla İlişkiler, Bibliyometrik Analiz	Çalışmada, bibliyometrik analiz yöntemi ile yapay zekâ ve halkla ilişkiler süreçlerine yönelik eğilimler gösterilmiştir. Bibliyometrik ağı analizine göre,2019 döneminde bu alanlarda belirgin yayın artışı olduğu; 2023 yılında en yoğun üretimin olduğu gözlenmiştir. Yapay zekâ ve halkla ilişkiler bağlamında en fazla atıf alan yazarların Galloway ve Swiatek olduğu vurgulanmıştır. ABD'nin sadece yayın üretiminde değil aynı zamanda uluslararası iş birliklerinde de önemli bir konumda olduğu ülke analizi ağında belirlenmiştir.	Pozitif
(Neill vd., 2025)	Mesleki Akreditasyon, Yapay Zekâ Adaptasyonu, Halkla İlişkiler Yetkinlik	Bu makale, ABD'li halkla ilişkiler uygulayıcıları ve eğitimcilerinin, temel ve orta kariyer seviyesindeki uzmanlar için yapay zekâ temel yetkinliklerine ilişkin algıları incelemek amacıyla ele alınmıştır. Halkla ilişkiler alanında yapay zekâ adaptasyonu giderek önem kazanmasına rağmen uygulama da temel yetkinlik düzeyinde henüz eksiklilerin bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca halkla ilişkiler uygulayıcıları üretken yapay zekâyı daha yavaş benimsemesine karşın eğitimciler bu sürece daha hızlı uyum sağlamışlardır. Bu bağlamda halkla ilişkiler programlarının teknoloji kullanımı ve etik değerler doğrultusunda yeniden ele alınması gerekliliğini doğurmuştur. Kıdemli halkla ilişkiler uzmanlarının genç yeteneklere yol gösterici bir mentor olması gerektiği üzerinde de durulmuştur.	Pozitif/ Negatif
(Germinder & Capizzo, 2025)	***Üretken Yapay*** Zekâ, Etik	Bu çalışma, üretken yapay zekâ iletişim profesyonellerine faydalar sağlamaktadır. Ancak yapay zeka veri tabanlarındaki algoritmik önyargı ve halüsinasyon riskleri, stratejik kriz yönetimi önündeki büyük sorunlar olarak ortaya çıkmaktadır. İletişim uzmanlarının, teknolojiye uyum sağlamasının yanı sıra dezenformasyon risklerine karşı etik değerleri koruyarak organizasyonlarını sürdürmeleri vurgulanmıştır.	Pozitif
(Eyvel, 2025)	Halkla İlişkiler, Yapay Zekâ, Bibliyometrik Analiz	Bu çalışma, 2020-2025 yılları arasında küresel halkla ilişkiler ve yapay zekâ konusunu bibliyometrik ve içerik analizi yöntemiyle ele alınmıştır. Yapay zekâ alanında yapılan akademik üretimin 2024 yılında kırılma yaşayarak zirveye yerleştiği görülmektedir. Yapay zekâ, halkla ilişkiler ve örgüt-kamu ilişkilerinin en sık kullanılan kelimeler olduğu tespit edilmiştir.	Pozitif
(Ndone, 2025)	Dijital Okuryazarlık, Yapay Zek***â***	Bu makale, yapay zekâ kaynaklı iş belirsizliğinin iş performansı üzerinden belirlemek amacıyla Kenya'daki 698 halkla ilişkiler uygulayıcıları ile gerçekleştirilmiştir. Kurumların sadece halkla ilişkiler uygulayıcılarının liderlik yetkinliklerine değil, aynı zamanda yüksek dijital okuryazarlık düzeyine sahip olması gerektiği vurgulamaktadır.	Pozitif
(Buzato, 2025)	Doğal Dil İşleme, Yapay Zekâ Etiği, Post-Hümanist Yaklaşım	Araştırma, post-hümanist yaklaşım çerçevesinde büyük dil modelleri (LLM)ile insan ve yapay zekâ ilişkisini ele almıştır. Bu nedenle, etik boyutunu insan makine etkileşiminde ortaya çıkan bir ağ olarak yeniden düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Etik değerlerin, insan-makine etkileşiminden oluşan hibrit bir yapı olduğu görülmüştür.	Pozitif/ Negatif

(Saliu, 2025)	Medya Okuryazarlığı, Halkla İlişkiler	Bu çalışma, medya ve halkla ilişkiler okuryazarlığının birbirinden ayrı kuramsal alan olarak ele alınmasının gerektiği üzerinde durmaktadır. Günümüzde medya okuryazarlığının yetersiz kaldığı ve akademik müfredatlar da boşlukların incelemesi yapılırken; yapay zekâ araçlarının gelişimiyle birlikte halkla ilişkilerin toplumsal algı üzerindeki etkisinin incelenmesi gerektiği ifade edilmektedir. Çalışmada, ayrıca Post-Truth çağında yapay zekâ destekli iletişim araçlarının halkla iletişim süreçlerine dâhil olması yeni riskler oluşturduğu üzerinde durulmuştur. Kamuoyunun manipülatif mesajları tanıyabilmesi için halkla ilişkiler okuryazarlığının akademik müfredata dâhil edilmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır.	Negatif/ Nötr
(Christensen, 2025)	Yapay Zek***â***nın Maddeselliği, Sosyo-Ekonomik Maliyetler, Etik	Bu araştırma, üretken yapay zekânın halkla ilişkiler ve iletişim süreçlerinde teknolojik verimlilik sağlamasına karşın kullanımında sosyo-ekonomik sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Yapay zekânın maddi bir alt yapıya dayandığı ve fazla enerji ve su tüketimi ile elektronik atık (e-atık) sorunu üzerinde durulmuştur. Bu nedenle yapay zekâ kullanımının çevreye maliyeti ve zararlarını ele alarak sürdürülebilir iletişim uygulamalarının geliştirilmesi önemlidir.	Negatif
(Belim vd. 2026)	Stratejik İletişim, Etik	Bu çalışma, Portekizli 46 iletişim yöneticisiyle yürütülmüştür. Halkla ilişkiler profesyonellerinin yapay zekâyı rutin işlerde otomasyon sağlayan ve veri sentezleyen yardımcı bir araç olarak gördüğünü ortaya koymaktadır. Ancak iletişim uzmanları etik sorunlar ve insan yaratıcılığının korunması anlamında kaygılandıkları belirtilmiştir. Sonuç olarak yapay zekâ entegrasyonunun stratejik iletişimde önemli rol oynadığı ortaya koyulmaktadır. Bu da insan denetimi ve etik ilkelerle ele alınması gerekliliği vurgulanmıştır	Pozitif/ Negatif
(Khalil&Al-Ali, 2026)	Yapay Zekâ Adaptasyonu, Kamu Yönetimi	Makalede, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki (BAE) kamu kurumları iletişiminde yapay zekâ entegrasyonunun benimsenme konusunu ele almaktadır. Kamu yönetimi alanında yapay zekâ teknolojilerin karar alma süreçleri, hedef kitle etkileşimi ve rutin işlerin otomatikleşmesini sağlayarak zamanı etkin kullanma konusunda verimliliği artırmıştır. Ayrıca yapay zekânın kamu sektöründe etkin bir şekilde kullanılması için dijital dönüşümü uygulamaya aktaran yöneticilerin, üst düzey yönetim desteğiyle ortaya koymaları da önemli bir unsurdur. Yapay zekâ entegrasyonu sadece teknik bir araç değil, aynı zamanda normatif düzenlemelerle şekillenen sosyo-politik boyutları da ortaya koymaktadır.	Pozitif
(Karanja & Nzau, 2026)	Yapay Zek***â,*** Deepfake, Halkla İlişkiler	Bu araştırma, Kenya'daki 20 halkla ilişkiler uzmanının bakış açısıyla yapay zekâ ürünü deepfake **içeriklerin stratejik kriz iletişimindeki etkilerini ele almıştır. Kriz yönetimi stratejilerin, reaktif yaklaşımdan proaktif sürecine** dâhil edilmesinin önemli olduğu belirtilmiştir. Dezenformasyon tehditlerine karşı paydaşların güvenini yeniden inşa etmek gerekliliği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, yapay zekâ okuryazarlığı, medya takibi ve teknoloji ortaklarıyla iş birliği yapılması önemli olmuştur.	Pozitif

(Zhang vd., 2026)	Etik Beyan, Yapay Zek*â*	Bu araştırmada, 2024 Fortune Global 500 ve Forbes AI 50 yer alan 50 şirketin etik beyanlarını nicel içerik yöntemini kullanarak incelemiştir. Küresel şirketler yapay zekâ entegrasyonuna daha fazla odaklandıkça, kurumsal meşrutiyet kazanmak amacıyla etik beyan hazırlamaları gerekmektedir. Etik beyanlarda, açıklanabilirlik, güvenlik ve adalet kavramların en çok vurgulanan etik standartlar olduğu ele alınmıştır. Şirketler, stratejik iletişimde güvenilirliğin temelini oluşturmak için birincil paydaş gruplarında müşteriler ve çalışanları hedef almışlardır. Bundan dolayı, müşteriler için gizlilik, çalışanlar için hesap verebilirlik konuları önemli olmuştur. Kurumların, yapay zekâ uygulamalarını normatif değerlerle denetlenebilir taahhütlerle birleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.	Nötr
(Buhmann vd., 2026)	Kurumsal İletişim Departmanlarında Uygulama	Araştırmaya göre, Avrupa'nın en büyük 300 şirketinde görev yapan iletişim yöneticileriyle nitel görüşmeler yapılmıştır. Yapay zekâ araçlarının kurumsal iletişim departmanlardaki örgütsel yapılar ve görevler çerçevesinde analiz edilmiştir. Bulgulara göre, yapay zekânın yapısal olarak yıkıcı bir yapısal dönüşüm etkisi yaratmadığı bunun yerine stratejik açıdan sınırlı ve günlük görevleri sürdürmede insan yaratıcılığını destekleyen yardımcı bir araç olduğu ortaya koyulmuştur. Bu durum yapay zekâ entegrasyonunun henüz deneysel aşamada olduğunu göstermektedir.	Pozitif
(Alhammad vd., 2026)	Güvenilirlik, Kriz İletişimi	Akademik çalışmaya göre, halkla ilişkiler alanında kriz iletişimi sürecinde hedef kitleyi bilgilendirmek amacıyla basılı bültenler hazırlanmaktadır. Bu süreçte insan tarafından yazılan içerikler, yapay zekâ araçları tarafından oluşturulan bültenlere kıyasla daha güvenilir ve kurumsal itibar bakımından daha yüksek değerde olduğu belirtilmiştir. Bulgular, kriz anında hedef kitlenin gerçek bir muhatap aramakta olduğunu göstermiştir.	Negatif

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, yapay zekâ ile halkla ilişkiler alanlarının giderek daha güçlü biçimde kesiştiğini ve disiplinler arası bir yapı içinde yeniden şekillendiğini ortaya koymaktadır. Anahtar kelime eş-oluşum ağı, alanın dört temel eksen etrafında toplandığını göstermektedir: teknik altyapı, iletişim süreçleri, etik-hukuki çerçeve ve medya/reklam uygulamaları. Bu yapı içinde yapay zekânın tüm kümeler arasında köprü görevi üstlenmesi, yalnızca bir araç değil aynı zamanda alanın dönüşümünü yönlendiren merkezi bir unsur haline geldiğini göstermektedir.

Ülkeler arası atıf ağı bulguları, araştırma üretiminin belirli merkezlerde yoğunlaştığını ve özellikle ABD'nin hem yayın hem de atıf gücü açısından belirleyici bir konumda olduğunu ortaya koymaktadır. Zaman serisi analizleri ise 2019 sonrası hızlanan bir gelişim sürecine işaret etmekte, özellikle 2023 sonrası dönemde alana yönelik akademik ilginin belirgin biçimde arttığını ortaya koymaktadır. Ancak atıf ortalamalarındaki dalgalanmalar, alanın henüz olgunlaşma sürecinde olduğunu ve çalışmaların etki döngüsünün zamana yayıldığını göstermektedir.

Kelime bulutu analizi, "artificial intelligence" ve "public relations" kavramlarının alanın merkezinde yer aldığını doğrularken; iletişim, sosyal medya, etkileşim ve etik gibi alt temaların araştırma gündemini şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, yapay zekânın yalnızca teknik bir yenilik değil, aynı zamanda iletişim pratiklerini, etik yaklaşımları ve medya üretim süreçlerini dönüştüren çok boyutlu bir yapı olduğunu göstermektedir.

Yapay zekâ ve halkla ilişkiler bağlamında yer alan son 11 yıldaki araştırma sonuçları, yapay zekânın (YZ) halkla ilişkiler ve iletişim yönetimi disiplinlerinde yalnızca teknik bir araç değil, paradigma değiştirici bir dönüştürücü olduğunu göstermektedir. Bulgular, YZ'nin operasyonel verimliliği (ChatGPT, Midjourney vb.) artırdığını ancak stratejik danışmanlık rolünün hâlâ insan yaratıcılığına ve denetimine ihtiyaç duyduğunu vurgulamaktadır. YZ, rutin işleri otomatikleştirerek verimliliği artırsa da asıl değerin; kriz yönetimi ve paydaş ilişkilerinde proaktif, veri temelli stratejiler geliştirebilen profesyoneller tarafından yaratıldığı görülmektedir.

Hedef kitlelerin kriz anlarında "insan tarafından üretilmiş" içeriği daha güvenilir bulması ve gerçek bir muhatap arayışı içinde olması, kurumsal itibarın korunmasında insan unsurunun stratejik üstünlüğünü koruduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, yapay zekâ bir tehdit değil; doğru liderlik, etik değerler ve sürdürülebilirlik ilkeleriyle birlikte ele alındığında, halkla ilişkiler disiplinini daha stratejik ve etkili bir konuma taşıyabilecek güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Bu bulgular doğrultusunda, yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanının daha dengeli ve sürdürülebilir bir gelişim göstermesi için bazı öneriler sunulabilir:

- Öncelikle, uluslararası akademik iş birliklerinin artırılması gerekmektedir. Özellikle düşük bağlantı gücüne sahip ülkelerin küresel araştırma ağlarına entegrasyonu desteklenmeli, ortak projeler ve çok merkezli çalışmalar teşvik edilmelidir.

- Alanın teknik boyutunun iletişim uygulamalarıyla daha güçlü biçimde entegre edilmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda, halkla ilişkiler uzmanlarının yapay zekâ okuryazarlıklarının artırılmasına yönelik eğitim programları geliştirilmeli ve yükseköğretimde ilgili bölümlerin müfredatları güncellenmelidir.

- Etik ve hukuki düzenlemeler, alanın sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yapay zekâ destekli iletişim uygulamalarında şeffaflık, veri güvenliği ve hesap verebilirlik ilkeleri temel alınmalı; bu konularda disiplinler arası rehberler oluşturulmalıdır.

- Medya ve içerik üretimi alanında yapay zekâ kullanımının artmasıyla birlikte, içerik doğruluğu ve güvenilirliği konularında yeni standartlar geliştirilmelidir. Bu süreçte hem akademi hem de sektör iş birliği içinde hareket etmesi gerekmektedir.

- Yapay zekâ ve halkla ilişkiler alanı oldukça dinamik, gelişmekte olan ve çok boyutlu bir araştırma alanıdır. Bu alanın geleceği, teknik yenilikler ile etik ve iletişim temelli yaklaşımlar arasında kurulacak dengeli bir ilişkiye bağlıdır.

- Gelecek araştırmalarda, özellikle kriz iletişimi, dijital etik ve insan-makine etkileşimi gibi konulara daha fazla odaklanılması önerilmektedir. Ayrıca nitel ve karma yöntemli çalışmalarla alanın teorik derinliği artırılabilir.

KAYNAKÇA

Alhammad, A., Etheridge, C., & Piercy, C. W. (2026). Credibility and organizational reputation perceptions of news releases produced by artificial intelligence. *Corporate Communications: An International Journal,* 31(1), 88-101.

Banh, L., & Strobel, G. (2023). Generative artificial intelligence. *Electronic Markets,* 33(1), 63. https://doi.org/10.1007/s12525-023-00680-1

Buhmann, A., Zerfass, A., Laborde, A., Moreno, A., Romenti, S., Tench, R., & Siegel, C. (2026). "We're right in the foothills": The adoption of artificial intelligence in corporate communication departments. *Corporate Communications: An International Journal,* 1-21.

Buzato, M. E. K. (2025). The Ethics of Speaking (of) AIs Through the Lens of Natural Language. *Journal of Bioethical Inquiry*, 22(3), 563-571.

Christensen, E. (2025). The socio-ecological costs of AI: Toward socially responsible and sustainable communication practices. *Public Relations Inquiry,* 2046147X251377853. https://doi.org/10.1177/2046147X251377853

Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2016). Where machines could replace humans-and where they can't (yet). *The McKinsey Quarterly*, 1-12.

Cramer, A., & Rudeloff, C. (2026). Not a silver bullet (yet): Exploring the use of artificial intelligence and its determinants in communication agencies. *Corporate Communications: An International Journal,* 31(1), 71-87.

Çerçi, Ü. Ö. (2024). Yapay zekânın halkla ilişkiler alanıyla ilişkisinin ve araştırma eğilimlerinin haritalandırılması: bibliyometrik ağ analizi. Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 59(4), 2684-2698.

Eyvel, K. K. (2025). Küresel Halkla ilişkiler literatüründe yapay zekâ: bibliyometrik ve içerik analizi. *Academic Social Resources Journal*, 10(4), 227-235.

Galloway, C., & Swiatek, L. (2018). Public relations and artificial intelligence: It's not (just) about robots. *Public Relations Review*, 44(5), 734-740.

Germinder, L.-A., & Capizzo, L. (2025). A strategic communication practitioner ımperative: Contextualizing Responsible AI as Part of Responsible Advocacy. *International Journal of Strategic Communication,* 19(2), 340-356. https://doi.org/10.1080/1553118X.2024.2430959

Guzman, A. L., & Lewis, S. C. (2020). Artificial intelligence and communication: A Human–Machine Communication research agenda. *New Media & Society,* 22(1), 70-86. https://doi.org/10.1177/1461444819858691

Hassouni, A., & Mellor, N. (2024). Perceptions of AI integration in the UAE's creative sector. *Informatics,* 11(4), 82. https://www.mdpi.com/2227-9709/11/4/82

Karanja, J. M., & Nzau, T. (2026). The Emergence Of AI deepfakes And their ımpact On strategic crisis communication: practitioners' perspectives from Kenya. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 34(1), e70140. https://doi.org/10.1111/1468-5973.70140

Karaçam, Z. (2013),"Sistematik Derleme Metodolojisi: Sistematik Derleme Hazırlamak İçin Bir Rehber". *DEÜ Hemşirelik Yüksekokulu Elektronik Dergisi,* 6(1), 26-33.

Karinshak, E., & Jin, Y. (2023a). AI-driven disinformation: A framework for organizational preparation and response. *Journal of Communication Management,* 27(4), 539-562.

Karinshak, E., & Jin, Y. (2023b). AI-driven disinformation: A framework for organizational preparation and response. *Journal of Communication Management*, 27(4), 539-562.

Khalil, E., & Al-Ali, F. A. (2026). AI adoption in government public relations: Technology acceptance, social influence, and organizational dynamics in the UAE. *Public Relations Inquiry,* 15(1), 31-51.

https://doi.org/10.1177/2046147X251383106

Men, L. R., Zhou, A., & Sunny Tsai, W.-H. (2022). Harnessing the power of chatbot social conversation for organizational listening: The impact on perceived transparency and organization-public relationships. *Journal of Public Relations Research,* 34(1-2), 20-44. https://doi.org/10.1080/1062726X.2022.2068553

Mustak, M., Salminen, J., Plé, L., & Wirtz, J. (2021). Artificial intelligence in marketing: Topic modeling, scientometric analysis, and research agenda. *Journal of Business Research,* 124, 389-404.

Ndone, J. (2025). Public relations in the age of AI: The moderating effects of authentic leadership and supervisors' digital literacy on AI-induced uncertainty among Kenyan public relations practitioners. *Corporate Communications: An International Journa*l, 1-22.

Neill, M. S., Combs, L., Roker, R., Drewry, E., Hood, L., Vaughan, M., Binford, A., & Joyce, M. (2025). 2024 practice analysis: A comparison of expectations vs actual performance of essential competencies in public relations. *Corporate Communications: An International Journal,* 30(1), 108-123.

Saliu, H. (2025). The critical need for public relations literacy in a post-truth era. Communication Research and Practice, 11(2), 221-232. https://doi.org/10.1080/22041451.2025.2494366

Yue, C. A., Men, L. R., Davis, D. Z., Mitson, R., Zhou, A., & Al Rawi, A. (2024). Public Relations meets artificial Intelligence: assessing utilization and outcomes. Journal of Public Relations Research, 36(6), 513-534. https://doi.org/10.1080/1062726X.2024.2400622

Zerfass, A., Hagelstein, J., & Tench, R. (2020). Artificial intelligence in communication management: A cross-national study on adoption and knowledge, impact, challenges and risks. *Journal of Communication Management*, 24(4), 377-389.

Zhang, J., Ki, E.-J., & Cai, Q. (2026). Legitimizing AI: Ethical AI in corporate ethics statements. *Corporate Communications: An International Journal,* 31(1), 21-36.

https://doi.org/10.71284/asc.2026198

DİKKAT DAĞINIKLIĞI VE HİPERAKTİVİTENİN VR TABANLI TRAFİK SİMÜLASYONUNDA SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF ATTENTION DEFICIT AND HYPERACTIVITY THROUGH DRIVER BEHAVIORS IN A VR-BASED TRAFFIC SIMULATION

Sadettin Şahin[1]
Yusif Hasangulıyev[2]
Koray Aki[3]

Özet

Bu çalışmada, dikkat dağınıklığı ve hiperaktivitenin sürücü davranışları üzerindeki etkilerinin incelenebilmesi amacıyla VR tabanlı bir trafik simülasyonu geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde, sürücünün belirli trafik senaryoları sırasında sergilediği davranışlar gerçek zamanlı olarak izlenmekte ve tetikleyici bölgeler aracılığıyla kayıt altına alınmaktadır. Senaryo kapsamında şerit değiştirme, hız sınırına uyma, kırmızı ışıkta durma ve yaya geçidinde yayalara öncelik verme gibi kritik sürüş davranışları değerlendirilmektedir. Simülasyon ortamında sürücü davranışlarının daha kapsamlı analiz edilebilmesi amacıyla fizyolojik veri toplama mekanizmaları entegre edilmiştir. Bu kapsamda nabız verisi akıllı saat aracılığıyla, galvanik deri tepkisi sensörler aracılığıyla ve göz takip verileri VR gözlük üzerinden elde edilmektedir. Toplanan bu veriler, dikkat dağınıklığı ve hiperaktivite ile ilişkili olabilecek bilişsel ve davranışsal durumların dolaylı olarak gözlemlenmesine olanak sağlamaktadır.Geliştirilen sistem, sürücü davranışlarının değerlendirilmesine yönelik bütünleşik bir yapı sunmakta olup, dikkat düzeyi, tepki süresi ve odaklanma gibi parametrelerin analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Bu yaklaşım, trafik güvenliğinin artırılması ve dikkat dağınıklığı ile hiperaktivitenin sürüş performansı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması açısından kullanılabilir bir araştırma ortamı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sanal gerçeklik, yapay zeka, sürücü davranışı, trafik simülasyonu, fizyolojik veri.

[1] Öğrenci, Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, sadettinsahin033@gmail.com, https://orchid.org/0009-0009-0131-1517

[2] Öğrenci, Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, yhesenquliyev@gmail.com, https://orchid.org/0009-0000-6701-4448

[3] Öğr. Gör., Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, korayaki@uludag.edu.tr, https://orchid.org/0000-0002-3661-3058

Abstract

In this study, a VR-based traffic simulation was developed in order to examine the effects of attention deficit and hyperactivity on driver behavior. In the developed system, the behaviors exhibited by the driver during specific traffic scenarios are monitored in real time and recorded through trigger zones. Within the scenario, critical driving behaviors such as lane changing, complying with speed limits, stopping at red lights, and giving priority to pedestrians at crosswalks are evaluated. In order to enable a more comprehensive analysis of driver behavior in the simulation environment, physiological data collection mechanisms were integrated into the system. In this context, heart rate data are obtained via a smartwatch, galvanic skin response data are obtained through sensors, and eye-tracking data are acquired via the VR headset. These collected data allow the indirect observation of cognitive and behavioral states that may be associated with attention deficit and hyperactivity. The developed system provides an integrated structure for evaluating driver behavior and enables the analysis of parameters such as attention level, reaction time, and focus. This approach offers a usable research environment for improving traffic safety and better understanding the effects of attention deficit and hyperactivity on driving performance.

Keywords: Virtual Reality, Artificial Intelligence, Driver Behavior, Traffic Simulation, Physiological Data.

GİRİŞ

Trafik kazaları, dünya genelinde önemli bir halk sağlığı problemi olmaya devam etmektedir. Bu kazaların önemli bir kısmı sürücü kaynaklı hatalarla ilişkilendirilmektedir. Özellikle dikkat dağınıklığı, stres, yorgunluk ve hatalı karar verme süreçleri sürüş güvenliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle sürücü davranışlarının sistematik olarak incelenmesi, trafik güvenliğine yönelik çalışmalarda kritik bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Sürücü davranışlarının gerçek trafik ortamında analiz edilmesi, güvenlik riskleri ve yüksek maliyet nedeniyle çeşitli sınırlılıklar içermektedir. Özellikle tehlikeli veya nadir karşılaşılan durumların gerçek koşullarda test edilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Sanal gerçeklik (Virtual Reality - VR) teknolojileri bu noktada kontrollü ve tekrarlanabilir bir ortam sağlayarak önemli avantajlar sunmaktadır. VR tabanlı sürüş simülasyonları sayesinde kullanıcılar gerçek sürüş koşullarına benzer senaryolara maruz bırakılabilmekte, sürüş sırasında verdikleri tepkiler ayrıntılı şekilde kayıt altına alınabilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar, sürücü davranışlarının yalnızca araç kontrol verileriyle değerlendirilmesinin yeterli olmadığını göstermektedir. Kalp atış hızı, galvanik deri tepkisi ve göz hareketleri gibi fizyolojik ve bilişsel göstergeler, sürücünün dikkat düzeyi, stres durumu ve odaklanma davranışı hakkında ek bilgiler sunmaktadır. Bu nedenle sürücü davranışlarının farklı veri türleri birlikte değerlendirilerek analiz edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmada dikkat dağınıklığı ve hiperaktivitenin sürücü davranışları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla VR tabanlı bir trafik simülasyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem içerisinde farklı trafik senaryoları oluşturulmuş ve sürücünün bu senaryolar sırasında sergilediği davranışlar tetikleyici alanlar yardımıyla izlenmiştir. Şerit değiştirme, hız limitine uyum, kırmızı ışıkta durma ve yayalara öncelik verme gibi davranışlar kayıt altına alınmıştır. Simülasyon sistemi ayrıca nabız, galvanik deri tepkisi ve göz takip verilerini de toplamaktadır. Böylece sürücü davranışlarının yalnızca davranışsal değil, fizyolojik ve görsel boyutları da birlikte değerlendirilebilmektedir.

Çalışmanın temel amacı, sürücü davranışlarını çok boyutlu veri analizi yapabilen bir sistem üzerinden incelemektir. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen simülasyon ortamı ve veri toplama mekanizmaları ile sürücünün dikkat, tepki ve karar verme süreçlerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde sürücü davranışlarının analizine yönelik fizyolojik, görsel ve sanal gerçeklik tabanlı yaklaşımlar ele alınmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar, sürücü dikkatinin, stres düzeyinin ve karar verme süreçlerinin farklı veri kaynakları kullanılarak değerlendirilebildiğini göstermektedir.

1.1. Fizyolojik Veri Analizi

Sürücü davranışlarının değerlendirilmesinde fizyolojik veriler önemli bir yere sahiptir. Kalp atış hızı değişkenliği (HRV), galvanik deri tepkisi (GSR) ve benzeri biyosinyaller; sürücünün stres, yorgunluk ve dikkat seviyesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu verilerin, sürücünün bilişsel durumunda meydana gelen değişimleri davranışsal tepkiler ortaya çıkmadan önce yansıtabildiği ifade edilmektedir (Saleem et al., 2022).

HRV üzerine yapılan çalışmalar, sürücü yorgunluğu ve dikkat azalmasının kalp atış verileri üzerinden tespit edilebildiğini göstermektedir (Lu et al., 2022). Benzer şekilde elektrodermal aktivite sinyallerinin analiz edilmesiyle farklı stres türlerinin ayırt edilebildiği ve sürücünün fizyolojik tepkilerinin sınıflandırılabildiği bildirilmektedir (İleri & Latifoğlu, 2020).

Birden fazla fizyolojik parametrenin birlikte değerlendirilmesi, sürücünün durumunun daha kapsamlı analiz edilmesine katkı sağlamaktadır. Birden fazla biyosinyalin kullanıldığı sistemlerin, tek veri kaynağına dayalı yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Queyam & Singh, 2013).

1.2. Göz Takip Sistemleri ve Dikkat Analizi

Göz takip sistemleri, sürücü davranışlarının analizinde yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Göz hareketlerinin izlenmesi sayesinde sürücünün dikkat odağı, çevresel uyaranlara verdiği tepkiler ve odaklanma süresi değerlendirilebilmektedir (Vetturi et al., 2020).

Literatürde yer alan çalışmalar, sürücü dikkatinin yalnızca çevresel olaylardan değil, görev gereksinimlerinden de etkilendiğini göstermektedir. Trafik yoğunluğu, yol yapısı ve beklenmeyen olaylar gibi etkenlerin dikkat dağılımını doğrudan değiştirebildiği bildirilmektedir (Eisma et al., 2022). Bu durum, sürüş sırasında dikkat süreçlerinin dinamik bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

1.3. Sanal Gerçeklik Tabanlı Sürüş Simülasyonları

Sanal gerçeklik teknolojileri, sürüş simülasyonlarında gerçekçi ve etkileşimli ortamlar oluşturulmasına imkan tanımaktadır. VR tabanlı sistemler sayesinde sürücüler kontrollü ve güvenli bir ortamda değerlendirilirken, sürüş sırasında verdikleri tepkiler ayrıntılı biçimde analiz edilebilmektedir (Bayarri et al., 1996).

VR simülatörlerinin sürücü performansını değerlendirme ve eğitim süreçlerinde etkin şekilde kullanılabildiği gösterilmiştir. Özellikle başa takılan ekran sistemlerinin (HMD) kullanıcıya daha

yüksek ***düzeyde gerçeklik hissi sunduğu ve çevresel etkileşimi artırdığı belirtilmektedir (***Taheri et al., 2017).

VR teknolojisinin sürüş simülasyonlarında kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bu sistemler, gerçek trafik ortamlarında oluşabilecek riskleri ortadan kaldırarak güvenli bir araştırma ve test ortamı sağlamaktadır (Tahmina et al., 2025).

VR tabanlı uygulamaların kullanıcıyı pasif gözlemci konumundan çıkarıp aktif katılımcı haline getirdiği, bu nedenle öğrenme ve davranış geliştirme süreçlerinde etkili olduğu ifade edilmektedir (Checa & Bustillo, 2020).

1.4. Çoklu Veri Yaklaşımı ve Sistem Entegrasyonu

Sürücü davranışlarının daha doğru analiz edilebilmesi için farklı veri kaynaklarının birlikte kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır. Fizyolojik, davranışsal ve görsel verilerin entegre edildiği sistemlerin, tek bir veri kaynağına dayalı yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağlayabildiği belirtilmektedir (Abbas & Alshehddy, 2020).

Bu yaklaşım sayesinde sürücü yalnızca araç kontrol verileri üzerinden değil, bilişsel ve fizyolojik durumu açısından da değerlendirilebilmektedir. Bu nedenle modern sürücü izleme sistemlerinde çoklu sensör kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmektedir.

1.5. Genel Değerlendirme

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, sürücü davranışlarının yalnızca araç kontrol verileriyle açıklanmasının sınırlı kaldığı görülmektedir. Fizyolojik veriler, göz takip sistemleri ve VR tabanlı senaryo yapısı birlikte kullanıldığında sürücünün dikkat, stres ve karar verme süreçleri daha bütüncül biçimde incelenebilmektedir. Bu tür bütünleşik yaklaşımların, sürücü davranışlarının daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, dikkat dağınıklığı ve hiperaktivitenin sürücü davranışları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla VR tabanlı bir sürüş simülasyon sistemi oluşturulmuştur. Sistem, sürücünün davranışlarını yalnızca araç kontrol verileri üzerinden değil, fizyolojik ve görsel verilerle birlikte değerlendirebilecek şekilde yapılandırılmıştır. Simülasyon ortamı, senaryo yapısı ve veri toplama mekanizmaları birbiriyle entegre çalışan bir sistem olarak hazırlanmıştır.

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Çalışmada amaç, sürücü davranışlarını çok boyutlu veri kaynakları kullanarak analiz edebilen bir sistem geliştirmektir. Bu kapsamda sürücünün dikkat düzeyi, tepki süresi ve karar verme davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın öne çıkan yönlerinden biri, sürüş davranışlarını yalnızca araç hareketleri üzerinden değil, fizyolojik ve bilişsel göstergelerle birlikte değerlendirmesidir. Bu yaklaşımın, trafik güvenliği araştırmalarında kullanılabilecek bir altyapı sağlayabileceği düşünülmektedir.

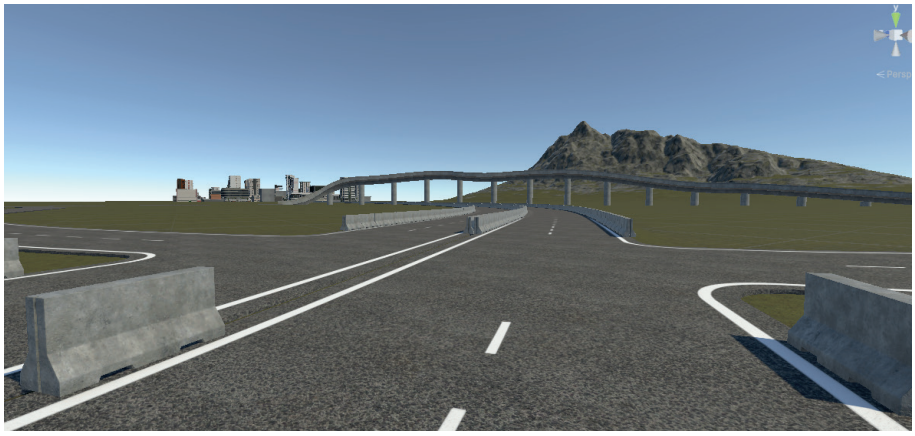
2.2. Araştırmanın Yöntemi ve Sistem Yapısı

Simülasyon ortamı Unity 6 oyun motoru kullanılarak hazırlanmıştır. Projenin ilk aşamasında yüksek görsel kalite elde etmek amacıyla HDRP altyapısı tercih edilmiştir. Ancak VR ortamında ortaya çıkan performans problemleri nedeniyle sistem daha sonra URP altyapısına taşınmıştır. Bu geçiş sonrasında daha akıcı ve dengeli bir çalışma performansı elde edilmiştir.

Şehir yapısı Fantastik City Generator (FCG) kullanılarak oluşturulmuş, yol tasarımlarında ise MicroVerse, MicroVerse Splines ve MicroVerse Road araçlarından yararlanılmıştır. Bu araçlar sayesinde düz yollar yerine kıvrımlı, eğimli ve daha gerçekçi yol yapıları hazırlanabilmiştir. Simülasyon ortamının görsel gerçekçiliğini artırmak amacıyla yol kenarlarına bariyerler, duvarlar, köprüler ve tüneller eklenmiştir.

Sistem içerisinde şehir içi ve şehirlerarası yolları kapsayan hibrit bir yapı kurulmuş, böylece sürücünün farklı sürüş koşullarındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Şekil 1. Simülasyon Ortamında Oluşturulan Şehirlerarası Yol Yapısı

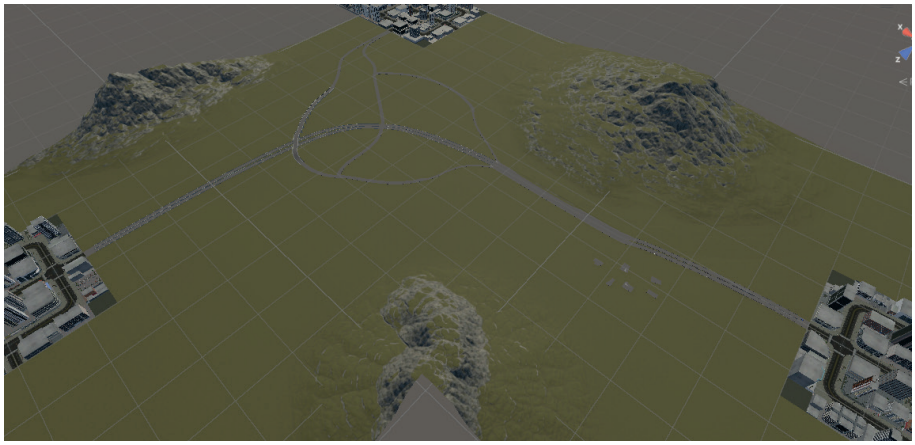


2.3. Senaryo Tasarımı

Sürücü davranışlarının değerlendirilmesi için senaryo tabanlı bir yaklaşım tercih edilmiştir. İlk senaryoda temel sürüş davranışları ele alınırken, ikinci senaryoda daha karmaşık yol yapıları ve çevresel etkenler sisteme dahil edilmiştir. Virajlı yollar, eğimli yüzeyler ve dikkat dağıtıcı unsurlar kullanılarak sürücünün karar verme süreçlerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Senaryolar, sahne içerisine yerleştirilen tetikleyici (trigger) alanlar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Sürücünün belirli bölgelere ulaşmasıyla birlikte ilgili olaylar aktif hale gelmekte ve davranış verileri kayıt altına alınmaktadır. Ayrıca hız limiti ihlali, şerit değiştirme ve trafik ışığına uyum gibi sürüş davranışları sistem tarafından senaryo bazlı olarak takip edilmektedir.

Şekil 2. Simülasyon Ortamında Oluşturulan Yol ve Şehir Yapısının Genel Görünümü



2.4. Araç Kontrol Sistemi

Araç kontrolü için Logitech G29 direksiyon seti kullanılmıştır. Sistem başlangıçta hazır kontrol mekanizmalarıyla oluşturulmuş, daha sonra doğrudan donanım verisi okunacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Direksiyon açısı ile gaz ve fren verileri doğrudan araç hareketine aktarılmaktadır.

Doğrudan donanım verisinin kullanılmasıyla kontrol gecikmeleri azaltılmış ve daha hassas bir sürüş deneyimi elde edilmiştir. Ayrıca araçlar için çarpışma temelli bir hasar sistemi hazırlanmıştır. Çarpışma şiddeti ve temas bölgesine bağlı olarak farklı seviyelerde hasar oluşabilmektedir.

Şekil 3. Simülasyon İçerisinde Kullanılan Araç İçi Sürüş Görünümü



2.5. Trafik ve Yaya Sistemleri

Simülasyon içerisindeki trafik ve yaya sistemleri, senaryo yapısına uygun şekilde tasarlanmıştır. Trafik sistemi araçların belirli kurallar çerçevesinde hareket etmesini sağlarken, trafik ışıkları zaman ve tetikleyici tabanlı olarak kontrol edilmektedir.

Yaya sistemi NavMesh tabanlı hareket mekanizması kullanılarak oluşturulmuştur. Yayalar sahne içerisinde doğal hareket etmekte ve bazı durumlarda sürücünün davranışına bağlı olarak karşıdan karşıya geçmektedir. Araç-yaya etkileşimleri sistem tarafından algılanmakta, çarpışma durumlarında ise görsel ve işitsel geri bildirimler oluşturulmaktadır.

2.6. Veri Toplama Sistemi

Bu çalışmada sürücü davranışlarını analiz edebilmek amacıyla çoklu veri toplama sistemi kullanılmıştır. Davranış verileri, Unity ortamında geliştirilen log sistemi aracılığıyla elde edilmektedir. Araç hızı, direksiyon açısı, fren ve gaz kullanımı gibi parametreler sürekli olarak kayıt altına alınmaktadır.

Fizyolojik veri toplama sürecinde galvanik deri tepkisi (GSR) ölçümü için Grove GSR sensörü kullanılmıştır. Sensörden alınan veriler Arduino aracılığıyla okunmuş ve Python ortamında işlenerek kaydedilmiştir.

Nabız verileri Xiaomi Mi Band cihazı üzerinden elde edilmiş, mobil cihazdan alınan veriler Python ortamında işlenmiştir. Göz takip sistemi ise Meta All-in-One SDK kullanılarak sisteme entegre edilmiştir. Bu sistem sayesinde sürücünün sahne içerisindeki dikkat noktaları belirlenebilmektedir.

Toplanan tüm veriler zaman damgaları ile birlikte kayıt altına alınmakta ve sürüş sırasında gerçekleşen olaylarla eşleştirilerek analiz edilebilir hale getirilmektedir. Böylece davranışsal, fizyolojik ve görsel veriler aynı senaryo içerisinde birlikte değerlendirilebilmektedir.

Tablo 1. GSR ve Nabız Verilerinin Zaman Damgaları ile Birlikte Örnek Kaydı

Zaman Damgası	GSR Değeri	Nabız (BPM)
2026-04-28 15:08:18	678	79
2026-04-28 15:08:19	678	79
2026-04-28 15:08:20	679	80
2026-04-28 15:08:21	679	80
2026-04-28 15:08:22	679	81
2026-04-28 15:08:23	678	81
2026-04-28 15:08:24	679	82
2026-04-28 15:08:25	679	82
2026-04-28 15:08:26	679	83
2026-04-28 15:08:27	679	83
2026-04-28 15:08:28	679	84
2026-04-28 15:08:30	678	84
2026-04-28 15:08:31	678	85
2026-04-28 15:08:32	679	86
2026-04-28 15:08:33	679	86
2026-04-28 15:08:34	678	87
2026-04-28 15:08:35	679	88
2026-04-28 15:08:36	455	96
2026-04-28 15:08:37	382	103
2026-04-28 15:08:38	372	108
2026-04-28 15:08:39	365	110
2026-04-28 15:08:40	348	112
2026-04-28 15:08:41	352	111
2026-04-28 15:08:42	359	109
2026-04-28 15:08:43	363	106
2026-04-28 15:08:44	367	103
2026-04-28 15:08:45	370	100
2026-04-28 15:08:46	373	98

3. BULGULAR

Bu bölümde geliştirilen VR tabanlı sürüş simülasyon sisteminden elde edilen bulgular; sistem performansı, senaryo uygulanabilirliği ve veri toplama süreçleri kapsamında ele alınmıştır.

3.1. Sistem Çalışma Durumu

Geliştirilen sistemde simülasyon ortamı, araç kontrol mekanizması, trafik ve yaya sistemleri ile veri toplama modülleri birlikte çalışacak şekilde entegre edilmiştir. VR ortamında gerçekleştirilen testlerde sistemin kullanıcı etkileşimlerine uygun şekilde çalıştığı ve sürüş sırasında kararlı bir performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Direksiyon verisinin doğrudan donanımdan okunması, araç kontrolündeki gecikmenin azalmasına katkı sağlamıştır. Yapılan performans optimizasyonları sonrasında sistemin VR ortamında daha akıcı çalıştığı ve sürüş deneyiminin daha dengeli hale geldiği görülmüştür.

3.2. Senaryo Uygulanabilirliği

Hazırlanan senaryoların sistem üzerinde çalıştırılabildiği ve sürüş davranışlarının kayıt altına alınabildiği doğrulanmıştır. Temel sürüş senaryosunda sürücünün trafik ışıklarına uyumu, şerit değiştirme davranışı ve yaya geçidi etkileşimleri sistem tarafından algılanabilmiştir.

İkinci senaryoda kullanılan kıvrımlı ve eğimli yol yapılarının sürücünün dikkat ve kontrol süreçleri üzerinde etkili olabilecek bir yapı sunduğu gözlemlenmiştir. Senaryo içerisine eklenen çevresel unsurların sürüş davranışları üzerinde değişiklik oluşturabildiği ve bu değişimlerin sistem tarafından takip edilebildiği görülmüştür.

3.3. Veri Toplama Başarımı

Sistem içerisinde yer alan veri toplama modüllerinin farklı veri türlerini eş zamanlı olarak kaydedebildiği belirlenmiştir. Araç hızı, direksiyon açısı, fren ve gaz kullanımı gibi davranış verileri sürüş sırasında sürekli olarak kayıt altına alınmıştır.

GSR sensöründen elde edilen veriler Arduino ve Python aracılığıyla işlenmiş, nabız verileri ise mobil cihaz üzerinden alınarak sisteme aktarılmıştır. Göz takip sistemi sayesinde sürücünün sahne içerisindeki dikkat noktaları belirlenebilmiştir.

Toplanan verilerin zaman damgaları ile birlikte kaydedilmesi, sürüş sırasında gerçekleşen olayların fizyolojik ve davranışsal verilerle eşleştirilebilmesine imkan sağlamıştır. Böylece farklı veri türleri aynı senaryo içerisinde birlikte değerlendirilebilir hale getirilmiştir.

Tablo 2. Simülasyon Sırasında Elde Edilen Örnek Davranış Log Kaydı

Zaman Damgası	Olay Türü	Hız (km/sa)	Fren	Gaz	Direksiyon Açısı	Sistem Yorumu
2026-04-28 15:08:16	Senaryo başlangıcı	0	0	0	0	Araç başlangıç noktasında
2026-04-28 15:08:22	Hızlanma	18	0	0.45	2	Araç hareket halinde
2026-04-28 15:08:30	Normal sürüş	42	0	0.36	4	Hız sınırı içinde
2026-04-28 15:08:36	Yaya algılandı	39	0.20	0	3	Yaya geçidi bölgesine giriş
2026-04-28 15:08:38	Frenleme	24	0.72	0	1	Yaya için yavaşlama
2026-04-28 15:08:41	Durma	0	0.88	0	0	Araç yaya geçidinde durdu
2026-04-28 15:08:45	Kalkış	9	0	0.31	1	Yaya geçişi sonrası hareket
2026-04-28 15:08:52	**Şerit değiştirme**	35	0	0.40	-12	Sol şeride geçiş başladı
2026-04-28 15:08:56	**Şerit değiştirme tamamlandı**	38	0	0.34	0	**Şerit değişimi tamamlandı**
2026-04-28 15:09:03	Hız sınırı uyarısı	62	0	0.52	3	Hız sınırı aşıldı

3.4 Ön Gözlemler

Test sürecinde yapılan gözlemler, sürüş sırasında meydana gelen ani olayların sürücü davranışları üzerinde etkili olabildiğini göstermiştir. Özellikle ani fren durumları, yaya ile karşılaşma ve virajlı yol koşullarında sürücünün verdiği tepkilerde belirgin değişiklikler gözlenmiştir.

Bazı senaryolarda sürücünün dikkat odağının çevresel uyaranlara yöneldiği, buna bağlı olarak tepki süresinde değişimler oluşabildiği görülmüştür. Elde edilen gözlemler, geliştirilen sistemin sürücü davranışlarını analiz etmeye yönelik veri üretebilen bir altyapıya sahip olduğunu göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, dikkat dağınıklığı ve hiperaktivitenin sürücü davranışları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla VR tabanlı bir sürüş simülasyon sistemi geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilen sistemin sürücü davranışlarını izleme ve analiz etme açısından işlevsel bir yapı sunduğunu göstermektedir.

Simülasyon ortamı, sürücünün farklı trafik senaryoları altında verdiği tepkilerin incelenmesine imkan sağlamıştır. Virajlı yol yapıları, yaya etkileşimleri ve trafik ışıkları gibi unsurların sürüş davranışları üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Senaryo tabanlı yapının, sürücünün dikkat ve karar verme süreçlerinin incelenmesi açısından uygun bir ortam sunduğu düşünülmektedir.

Çalışmanın öne çıkan yönlerinden biri, fizyolojik veri toplama sistemlerinin simülasyon ortamına entegre edilmesidir. Nabız, galvanik deri tepkisi ve göz takip verilerinin birlikte kullanılması sayesinde sürücünün yalnızca davranışsal değil, bilişsel ve fizyolojik durumuna ilişkin veriler de elde edilebilmiştir. Literatürde çoklu veri yaklaşımının sürücü davranışlarının değerlendirilmesinde daha kapsamlı sonuçlar sağlayabildiği belirtilmektedir (Abbas & Alshehddy, 2020). Bu çalışmada elde edilen bulgular da literatürde yer alan benzer çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Fizyolojik veri toplama sürecinde kullanılan sensörlerin doğruluğu ve veri senkronizasyonu sonuçları etkileyebilecek unsurlar arasında yer almaktadır. Bunun yanında simülasyon ortamı gerçek sürüş koşullarına benzer şekilde tasarlanmış olsa da, gerçek trafik ortamındaki tüm değişkenlerin birebir oluşturulması mümkün olmamaktadır.

İleride yapılacak çalışmalarda veri toplama sistemlerinin daha hassas sensörlerle geliştirilmesi ve farklı kullanıcı gruplarıyla test edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca yapay zeka tabanlı analiz yöntemlerinin sisteme entegre edilmesiyle sürücü davranışlarının daha ayrıntılı ve otomatik şekilde analiz edilmesi mümkün olabilir.

Sonuç olarak geliştirilen sistem, sürücü davranışlarının fizyolojik, davranışsal ve görsel veriler birlikte değerlendirilerek incelenmesine imkan sağlayan bütünleşik bir yapı sunmaktadır. Bu tür sistemlerin, trafik güvenliği araştırmalarında ve sürücü davranışlarının analizine yönelik çalışmalarda kullanılabilecek bir altyapı oluşturabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Abbas, Q., & Alshehddy, A. (2020). Driver fatigue detection systems using multi-sensors, smartphone, and cloud-based computing platforms: A comparative analysis. *Sensors*, 20(21), 6006. **https://doi.org/10.3390/s21010056**

Bayarri, S., Fernández, M., & Pérez, M. (1996). Virtual reality for driving simulation. *Communications of the ACM*, 39(5), 72–76. https://doi.org/10.1145/229459.229468

Checa, D., & Bustillo, A. (2020). A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications*, 79(4), 5501–5527. https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9

Eisma, Y. B., Eijssen, D. J., & de Winter, J. C. F. (2022). What attracts the driver's eye? Attention as a function of task and events. *Information*, 13(7), 333. https://doi.org/10.3390/info13070333

İleri, R., & Latifoğlu, F. (2020). Analysis of the electrodermal activity signals for different stressors using empirical mode decomposition. *Applied Sciences*, 8(2), 407–414. https://doi.org/10.21541/apjes.601235

Lu, K., Dahlman, A. S., Karlsson, J., & Candefjord, S. (2022). Detecting driver fatigue using heart rate variability: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 170, 106830. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106830

Queyam, A. B., & Singh, M. (2013). Stress detection in automobile drivers using physiological parameters: A review. *International Journal of Engineering & Emerging Technology*, 5(2), 1–5.

Saleem, A. A., Siddiqui, H. U. R., Raza, M. A., & Rustam, F. (2022). A systematic review of physiological signals based driver drowsiness detection systems. *Cognitive Neurodynamics*, 17(5), 1–20. https://doi.org/10.1007/s11571-022-09898-9

Taheri, S. M., Matsushita, K., & Sasaki, M. (2017). Development of a driving simulator with analyzing driver's characteristics based on a virtual reality head mounted display. *Journal of Transportation Technologies*, 7(3), 351–366. https://doi.org/10.4236/jtts.2017.73023

Tahmina, T., Shi, C., & Fuchs, M. (2025). Use of virtual reality for automated driving simulation. *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*. https://doi.org/10.26599/JICV.2024.9210048

Vetturi, D., Tiboni, M., Matrenini, G., & Bonera, M. (2020). Use of eye tracking device to evaluate the driver's behaviour and the infrastructures quality in relation to road safety. *Transportation Research Procedia*, 45, 587–595. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.053

https://doi.org/10.71284/asc.2026199

VOSVIEWER İLE WEB OF SCIENCE VERİTABANINDA YAYINLANAN TURİZM, YAPAY ZEKÂ VE PSİKOLOJİ KAVRAMLARINA İLİŞKİN ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STUDIES ON TOURISM, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND PSYCHOLOGY PUBLISHED IN THE WEB OF SCIENCE DATABASE USING VOSVIEWER

Halise Dilek Sevin[1]
Akyay Uygur[2]
Orhun Topaçuoğlu[3]
Aytül Sert[4]

Özet

Çalışmada temel olarak, uluslararası alan yazında turizm, yapay zekâ ve psikoloji olgularının birlikte kullanıldığı araştırmaların bibliyometrik analiz yöntemine göre incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, 09.04.2026 Nisan 2026 tarihinde Web Of Science veri tabanında 2011-2026 yıllarında gerçekleştirilen araştırmaların içeriğinde turizm, yapay zekâ ve psikoloji konuları incelenmiştir. "Turizm", "yapay zekâ" ve "psikoloji" anahtar kelimeleriyle gerçekleştirilen tarama neticesinde erişilebilen 107 akademik yayın ile içerik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler, "yazarlar, kurumlar, yayın yılları, ülkeler, kaynaklar ve anahtar kelimeler üzerinde gerekli incelemeler yapılmış ve değerlendirilmiştir. Web Of Science veri tabanından elde edilen veriler VOSviewer programı kullanılarak analizler gerçekleştirilip haritalar oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar tartışılarak yorumlanmıştır. Gerçekleştirilen bibliyografik analizler sonucunda, turizm, yapay zekâ ve psikoloji araştırmalarına dair literatür incelenmiş ve gelişimi değerlendirilerek, daha sonra gerçekleştirilecek araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Turizm, yapay zekâ, psikoloji, web of science, VOSviewer.

[1]Doç. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Rekreasyon Yönetimi Bölümü, Türkiye, halise.sevin@hbv.edu.tr, https://orchid.org/0000-0003-2424-1098

[2]Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Rekreasyon Yönetimi Bölümü, Türkiye, akyay.uygur@hbv.edu.tr, https://orchid.org/0000-0002-8930-0696

[3]Corresponding Author, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Rekreasyon Yönetimi Bölümü, Türkiye, topacogluorhun@gmail.com, https://orchid.org/0000-0002-9560-694X

[4]Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Rekreasyon Yönetimi Bölümü, Türkiye, aytulsert@gmail.com, https://orchid.org/0000-0003-1249-1057

Abstract

The primary objective of this study is to examine, using bibliometric analysis methods, research in the international literature that combines the fields of tourism, artificial intelligence, and psychology. Accordingly, on April 9, 2026, studies conducted between 2011 and 2026 in the Web of Science database were examined for their content related to tourism, artificial intelligence, and psychology. Content analysis was performed on 107 academic publications accessible through a search using the keywords "tourism," "artificial intelligence," and "psychology." The analyses involved examining and evaluating "authors, institutions, publication years, countries, sources, and keywords." Data obtained from the Web of Science database was analyzed using the VOSviewer program to create maps. The results were discussed and interpreted. As a result of the bibliographic analyses, the literature on tourism, artificial intelligence, and psychology research was reviewed, its development was evaluated, and recommendations were made for future research.

Keywords: Tourism, Artificial intelligence, psychology, web of science, VOSviewer.

GİRİŞ

Teknoloji alanında gelişmeler, tıp, sanat, psikoloji, mühendislik vb. birçok bilim dalına kuramsal ve uygulama alların da önemli katkı sağlamaktadır (Derin & Öztürk,2020).

Yapay zekâ kavramının fikri İngiliz Matematikçi Alan Mathison Turing'e aittir. Turing 1950 yılında yayınlanan çalışmada yapay zekâ kavramına denk gelen makine ve düşünme kavramları kullanılmıştır ve 1956 yılında yapay zekâ kavramı bilgisayar bilimci John McCarthy tarafından yapılan çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır (Okutan, 2024).

Yapay zekâ bilgisayar biliminin bir alanı olarak, makinaları insan zekâsını gerektiren yeteneklerle donatan algorirmalar ve metodolojileri formüle etmeyi amaçlayan, öğrenme, akıl yürütme ve anlama gibi yetenekleri kapsar. Yapay zekâ, felsefe, matematik, bilgisayar bilimi, psikoloji ve sinirbilimini de kapsayan birçok disiplini birleştiren ve insan zekâsının bir kanıtı olarak açıklanmaktadır (García-Madurga & Grilló-Méndez, 2023).

Yapay zekâ teknolojisi yeni bir çalışma alanı olarak bilimin teknolojik gelişmelerden yararlanması ve araştırmalara dijital teknolojilerin dahil edilmesi ile ortaya çıkmıştır. Çalışmalar deneysel psikoloji, bilgisayar bilimleri, sinirbilimi ve dilbilimi vb. disiplinde ortaklaşa görevler üstlenmektedir. Yapay zekâ teknolojisi ve uygulaması, "bir bilgisayarın ya da bir robotun insan zekâsına benzer bir şekilde kendi kendine hedefler organize eden, öğrenme, problem çözebilme, fikir yürütme ve iletişim kurabilme vasıflarına sahip otonom bir sistem yaratmayı amaçlamak" olarak ifade edilmektedir (Derin & Öztürk, 2020).

Teknolojik yenikler her sanayi sektörünün verimliliğinin arttırılmasını desteklemekte, yapay zekâ yenilikçi çözümler arasında yer almaktadır. Yapay zekâ günlük hayatımıza "paylaşım ekonomisi", nesnelerin interneti veya insanların interneti gibi birçok yeni fikirler getirmiştir (Zsarnoczky, 2017).

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle ortaya çıkan devrim, turizm ve konaklama sektöründe önemli değişikliklere yol açmıştır. Bilginin özgürce paylaşılmasıyla karakterize edilen Travel 2.0 web siteleri yaygınlaşmış, turizm sektörü ve konaklama işletmelerinde daha da gelişmiş akıllı sistemlerin kullanımının önünü açmıştır. Seyahatle ilgili karar verme sürecinin karmaşıklığı göz önüne alındığında, akıllı sistemler ve turizm uyumlu hale gelmektedir. Hizmet otomasyonu, yapay zekâ ve robotlar, turizm şirketlerine ve kuruluşlarına yeni fırsatlar sunmaktadır (Zlatanov & Popesku, 2019). Turizm sektörü yapay zekâ uygulamalarından etkilenmiştir. Bu bağlamda seyahat acentalarında, hava taşımacılığı şirketlerinde farklı akıllı sistemler ve sohbet robotları kullanılmaktadır (Zsarnoczky, 2017).

Yapay zekâ kullanıma bağlı kontrol kaybı konusunda endişe ve etik kaygılarının yanı sıra sağlık ve eğitim alanlarında yapay zekâya yönelik umutlar söz konusudur. Aynı zamanda yapay zekânın tüm toplumun geleceği üzerindeki etkisi de önemle durulan bir diğer konudur (Gado vd., 2022).

Bu çalışmada temel amaç, uluslararası alan yazında turizm, yapay zekâ ve psikoloji olgularının birlikte kullanıldığı araştırmaların bibliyometrik analiz yöntemine göre incelenmesi amaçlanmıştır.

Yapay Zekâ ve Turizm

Uluslararası turizm sözlüğünde turizm "*zevk için yapılan geziler ve seyahatleri yapmak için gerçekleştirilen insan faaliyetlerinin tümü*" olarak tanımlanmaktadır (Eralp, 1983).

Yapay zekâ "verileri analiz etme, desenleri tanıma ve belirli görevleri otomatikleştirme gibi işlevleri yerine getiren algoritmalar ve modeller bütünü olarak" tanımlanmaktadır (Murat vd., 2025).

Turizm endüstrisinde sanal asistan, robotlar, arttırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik gibi uygulamalar yer almaktadır. Aynı zamanda işletmeler, "*operasyonel süreçleri düzenlemek, operasyon kalitesini artırmak, çalışan verimliliğini ve üretkenliğini artırmak, çalışanların iş yükünü hafifletmek, işçilik maliyetlerini azaltmak, israfı önlemek ve misafirlere ileri teknolojiler aracılığıyla keyif alacakları eğlence deneyimleri sunmak amacıyla yapay zekâ destekli uygulamaları kullanmaktadır*" (Fikret vd., 2024).

Dijital dönüşümler turizm sektöründe, turistlerin ürün ve hizmetleri önceden deneyimlemesi, sorunların belirlenmesi, çözümlenmesi, kişisel ürün, hizmet oluşturulması, sunulması ve müşterilerden elde edilen verilerin işlenmesi ile müşteri takiplerinin yapılması olanaklarını sunmaktadır. Ayrıca turizm sektöründe yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı, turistik ürünün oluşturulması, dijital ortamda sunulması, satılması vb. olanaklar, zaman tasarrufu ve rekabet üstünlüğü sağlamaktadır (Okutan, 2024).

Yapay Zekâ ve Psikoloji

Bir sosyal bilim olarak psikoloji, bireylerin davranışlarını anlamaya ve açıklamaya çalışmaktadır. Psikoloji zihin ve davranış bilimidir (Irshad, vd.,2022).

Yapay zekâ teknolojisi çeşitli disiplinler ile birlikte çalışmalar sürdürmektedir. Psikoloji bu disiplinlerden biridir. Yapay zekâ psikolojisi ile ilgili araştırmalar; "psikoloji, sinirbilim, bilgi, bilgisayar ve otomasyon disiplinleriyle ortak çalışmalar yaparak yapay zekâ psikolojisine dair yeni teorik açıklamalar üretmeyi hedeflemektedir" (Derin & Öztürk,2020). Yapay zekâ psikolojisi, "yapay zekâ teknolojisi ile geliştirilen makineler aracılığıyla insan psikolojisini anlamaya yönelik çeşitli bilgisayar temelli algoritmik modeller geliştirme ve uygulama alanıdır" (Derin & Öztürk, 2020).

Bilişsel psikoloji, esas olarak düşünme, karar verme, akıl yürütme, motivasyon ve duygu da dahil olmak üzere insan bilişinin gelişmiş zihinsel süreçlerini inceleyen bir psikoloji bilimidir. Yapay zekâ araştırmaları, insan hafızası, dikkat, algı, bilgi, duygular, niyetler, arzular ve diğer yönleri simüle etme açısından hala gelişim aşamasındadır. İnsan psikolojik bilişine sahip yapay zekâ, yalnızca "beynin" rasyonel düşünmesini simüle etmekle kalmaz, aynı zamanda "kalbin" algısal düşünmesini de yeniden üretebilir ve insan iletişimine benzer şekilde insanlar ve makineler, makineler ve makineler arasında duygusal etkileşimi gerçekleştirebilir (Zhao vd., 2022).

Yapay zekâ henüz insan davranışının tüm yönlerini aynı anda taklit etme konusunda tam olarak başarıya ulaşamamış ancak araştırmacılar ulaşmak için çalışmaları sürdürmektedir (Irshad, vd., 2022).

1. YÖNTEM

1.1. Araştırma Deseni

Bu çalışmada, yapay zekâ (AI) teknolojilerinin turizm, konaklama ve psikoloji alanlarındaki bilimsel üretimini sistematik biçimde haritalamak amacıyla bibliometrik analiz yöntemi benimsenmiştir. Bibliometrik analiz, belirli bir alandaki yayın örüntülerini, atıf ilişkilerini, yazarlık ağlarını ve tematik evrimi nicel göstergeler aracılığıyla incelemeye olanak tanıyan bir araştırma yöntemidir (Donthu vd., 2021; Zupic & Čater, 2015). Bu yöntem, geleneksel sistematik derleme çalışmalarından farklı olarak, büyük hacimli veri setlerinin istatistiksel ve görselleştirme teknikleriyle analiz edilmesine imkân vermektedir. Çalışmada hem performans analizi (yayın sayıları, atıf dağılımları, en üretken yazar ve dergiler) hem de bilim haritalama (anahtar kelime birliktelik ağı, tematik evrim analizi) yaklaşımları bir arada kullanılmıştır.

1.2. Veri Tabanı Seçimi

Araştırmada veri kaynağı olarak Web of Science (WoS) Core Collection veritabanı tercih edilmiştir. WoS, sosyal bilimler ve fen bilimleri alanlarında yüksek kaliteli, hakemli dergileri kapsayan ve bibliometrik çalışmalarda en yaygın kullanılan veritabanlarından biridir (Mongeon & Paul-Hus, 2016). WoS'un tercih edilmesinin temel gerekçeleri arasında katı dergi indeksleme kriterleri, güvenilir atıf verisi, kapsamlı metadata yapısı ve bibliometrik analiz araçlarıyla uyumluluğu sayılabilir. Scopus veritabanı daha geniş bir kapsama sahip olmakla birlikte, WoS'un SSCI ve SCI-EXPANDED indekslerindeki seçicilik düzeyi, kalite odaklı bibliometrik çalışmalar için daha uygun bir zemin oluşturmaktadır.

1.3. Arama Stratejisi

WoS veritabanında 09.04.2026 tarihinde gerçekleştirilen aramada aşağıdaki sorgu kullanılmıştır: Turizm, Yapay Zekâ ve Psikoloji arama, başlık (Title), özet (Abstract) ve anahtar kelimeler (Author Keywords) alanlarını kapsamaktadır. Zaman aralığı olarak herhangi bir kısıtlama kullanılmamıştır. Aramada herhangi bir dil kısıtlaması uygulanmamıştır.

1.4. Analiz Yöntemleri ve Kullanılan Yazılımlar

Elde edilen 107 yayına ilişkin bibliometrik veriler VosWiever ve R 4.5.3 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada iki temel analiz yaklaşımı benimsenmiştir: (1) Performans analizi kapsamında yıllık yayın trendi, kümülatif yayın büyümesi, en üretken dergiler, en üretken yazarlar, en çok atıf alan makaleler ve ülkelere göre yayın dağılımı incelenmiştir. (2) Bilim haritalama kapsamında ise anahtar kelime frekans analizi, anahtar kelime zaman evrimi (temporal keyword analysis) ve anahtar kelime birliktelik ağı (co-occurrence network) analizleri gerçekleştirilmiştir. Birliktelik ağı analizinde Fruchterman-Reingold (FR) yerleşim algoritması kullanılmış, kenar kalınlığı birlikte geçme sıklığını, düğüm rengi ise düğüm derecesini (degree centrality) temsil edecek şekilde görselleştirilmiştir.

2. BULGULAR

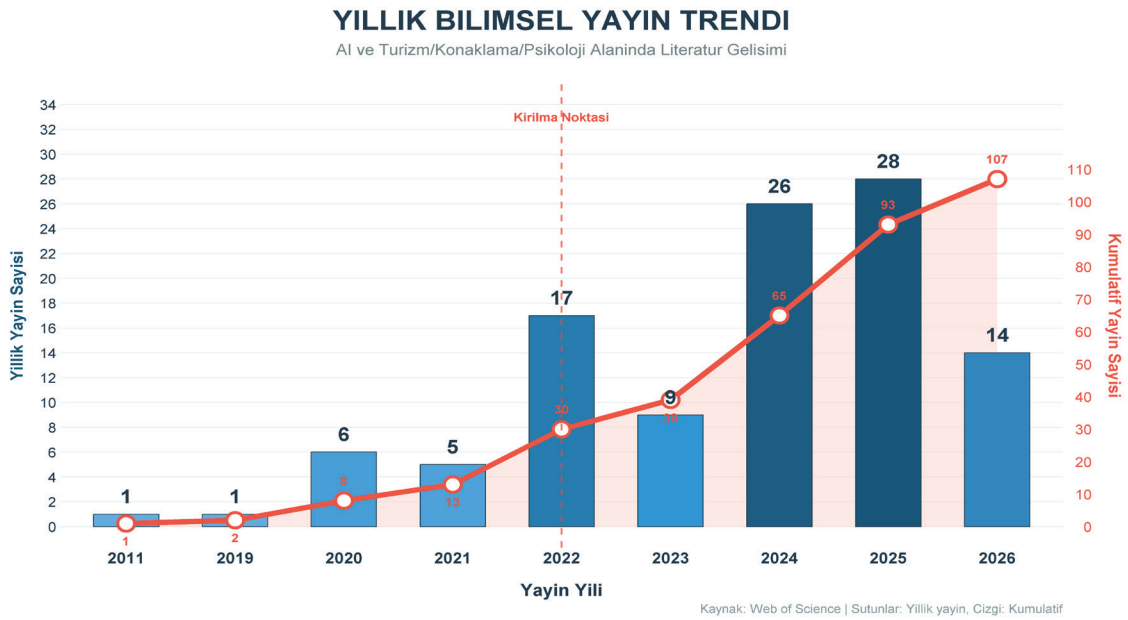
2.1. Yayın Trendi Analizi

Yapay zekâ ve turizm/konaklama/psikoloji alanındaki yayın trendinin incelenmesi, belirgin bir üstel büyüme örüntüsü ortaya koymaktadır. Şekil 1'de sunulan yıllık yayın trendi grafiğinde görüldüğü üzere, 2011 yılında bu alanda yalnızca 1 yayın bulunurken, 2019'da da yine 1 yayın tespit edilmiştir. 2020 yılından itibaren yayın sayılarında kayda değer bir artış başlamış (n=6) ve bu artış 2021'de 5, 2022'de 17, 2023'te 9, 2024'te 26 ve 2025'te 28 yayına ulaşarak ivme kazanmıştır. 2026 yılının henüz ilk çeyreğinde bile 14 yayın kaydedilmiş olması, büyüme trendinin sürdüğüne işaret etmektedir. Kümülatif yayın sayısı 107'ye ulaşmış olup toplam atıf sayısı 4.958'dir.

Yayın trendindeki en dikkat çekici kırılma noktası 2022 yılıdır. 2021'de 5 olan yıllık yayın sayısı, 2022'de 17'ye yükselmiş ve bu tarihten sonra ivme hiç kesilmemiştir. Bu kırılmanın, OpenAI tarafından Kasım 2022'de kamuya açılan ChatGPT'nin tetiklediği küresel ilgiyle zamansal olarak örtüştüğü görülmektedir. Nitekim ChatGPT'nin sektörel uygulamalarına yönelik akademik ilginin hızla artması, bu alandaki yayın

patlamasının temel itici güçlerinden biri olarak değerlendirilebilir (Dwivedi vd., 2024).

Şekil 1. Yıllık Bilimsel Yayın Trendi

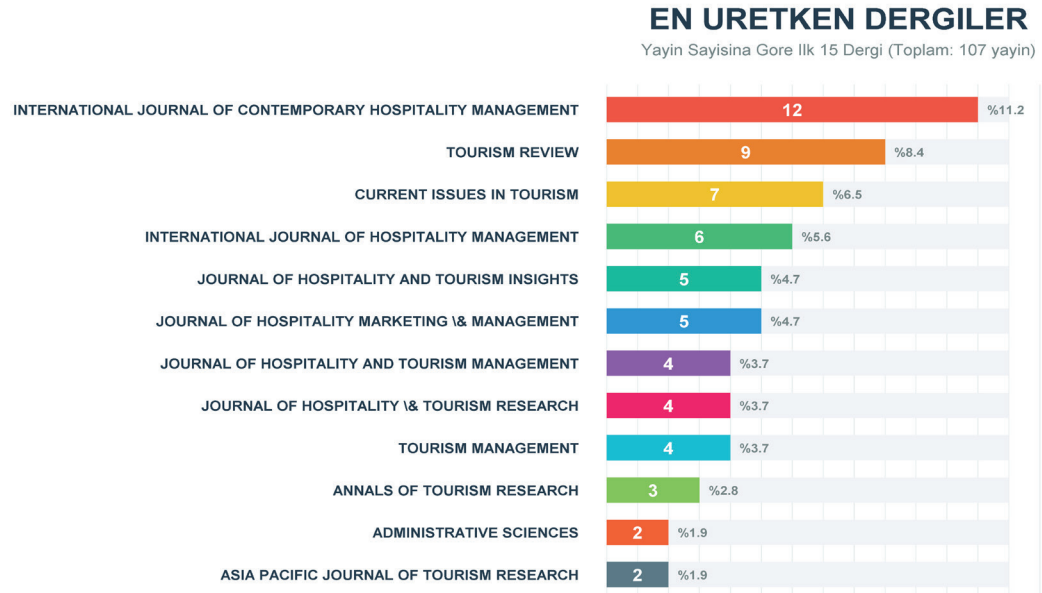


2.2. En Üretken Dergiler

Yayın sayısına göre ilk 15 derginin analizi, alandaki bilimsel üretimin belirli yüksek etkili dergilerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır (Şekil 2). International Journal of Contemporary Hospitality Management (IJCHM), 12 yayınla (%11,2) en üretken dergi konumundadır. Bu dergiyi Tourism Review (n=9, %8,4), Current Issues in Tourism (n=7, %6,5), International Journal of Hospitality Management (n=6, %5,6) ve Journal of Hospitality and Tourism Insights ile Journal of Hospitality Marketing & Management (her biri n=5, %4,7) izlemektedir.

İlk 15 derginin toplam 107 yayının yaklaşık %80'ini barındırması, Bradford Dağılım Yasası ile uyumlu bir yoğunlaşma örüntüsüne işaret etmektedir. Dergilerin büyük çoğunluğunun konaklama ve turizm yönetimi odaklı olması, yapay zekâ araştırmalarının ağırlıklı olarak sektörel uygulama perspektifinden ele alındığını göstermektedir. Bununla birlikte Frontiers in Psychology (n=2) gibi psikoloji odaklı dergilerin listede yer alması, konunun disiplinlerarası bir nitelik kazanmaya başladığının önemli bir göstergesidir.

Şekil 2. En Üretken Dergiler

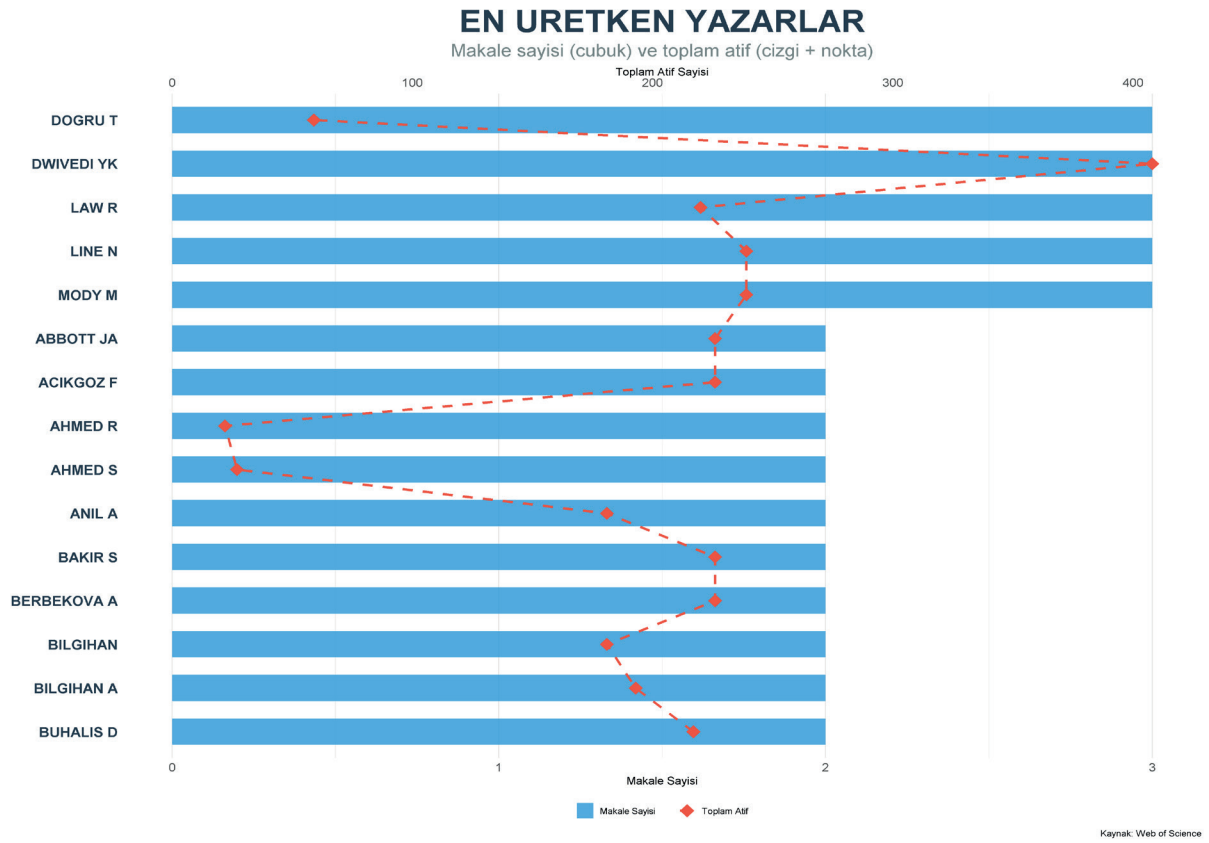


2.3. En Üretken Yazarlar

En üretken yazarların makale sayısı ve toplam atıf performanslarının birlikte değerlendirilmesi, üretkenlik ile etki arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır (Şekil 3). Dwivedi, Y.K., (2024) yüksek makale sayısının yanı sıra 400'ü aşan toplam atıf sayısıyla hem üretken hem de yüksek etkili bir yazar profili çizmektedir. Özellikle generatif yapay zekâ ve ChatGPT'nin konaklama endüstrisindeki uygulamalarını inceleyen çalışması (Dwivedi vd., 2024), 330 atıfla alanın en etkili yayınlarından biri haline gelmiştir. Dogru, T. (2025) ise turizm ve teknoloji kesişiminde üretken yazarlar arasında yer almakta, özellikle generatif AI odaklı kapsamlı derlemesiyle (Dogru vd., 2025) öne çıkmaktadır.

Law, R. (2024,2025) ve Line, N. (2024,2025) gibi yazarlar görece daha az yayın sayısıyla yüksek atıf performansı sergilemekte olup bu durum, kalite odaklı bir yayın stratejisinin etkisini yansıtmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, alandaki en üretken yazarların büyük çoğunluğunun konaklama ve turizm yönetimi disiplinlerinden geldiği ve teknoloji kabul, müşteri deneyimi, hizmet robotları gibi alt alanlarda uzmanlaştığı görülmektedir.

Şekil 3. En Üretken Yazarlar

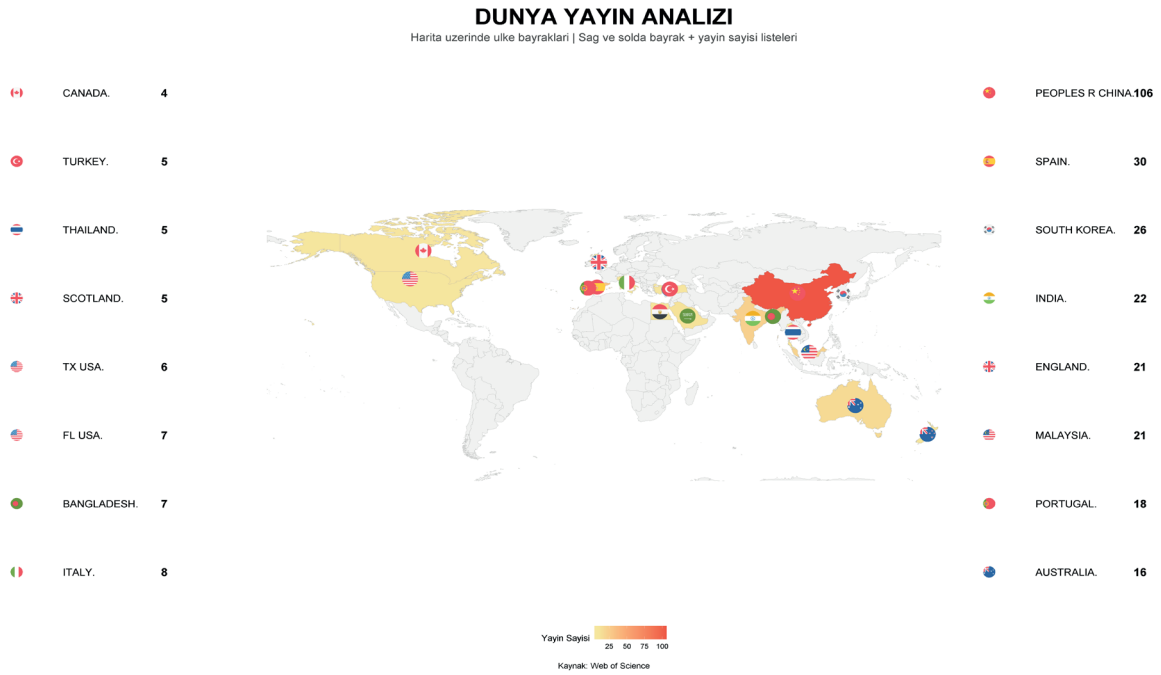


2.4. Coğrafi Dağılım Analizi

Yayınların ülkelere göre dağılımı, belirgin bir coğrafi yoğunlaşma örüntüsü sergilemektedir (Şekil 4). Çin Halk Cumhuriyeti, 106 yayın katkısıyla açık ara en baskın ülke konumundadır. Bu durum, Çin›in hem yapay zekâ alanındaki büyük ölçekli ulusal yatırım politikaları hem de dünyanın en büyük turizm pazarlarından biri olmasıyla açıklanabilir. İspanya (n=30), Güney Kore (n=26), Hindistan (n=22), İngiltere (n=21) ve Malezya (n=21) Çin›i takip eden ülkeler olarak öne çıkmaktadır.

Dikkat çekici bir bulgu, ABD'nin tek bir ülke olarak değil, eyalet bazında (Florida: n=7, Teksas: n=6) temsil edilmesidir. ABD'nin toplam katkısı birleştirildiğinde, ülke küresel sıralamada üst sıralara yükselmektedir. Türkiye (n=5), Tayland (n=5), İskoçya (n=5) ve Kanada (n=4) gibi ülkeler daha mütevazı katkılarla listede yer almaktadır. Afrika kıtasından yalnızca Güney Afrika dolaylı olarak temsil edilmekte olup Latin Amerika, Orta Asya ve Ortadoğu bölgelerinden kayda değer bir katkı bulunmamaktadır. Bu coğrafi dengesizlik, alandaki bilgi üretiminin belirli bölgelerde yoğunlaştığını ve küresel temsiliyet açısından önemli boşluklar olduğunu göstermektedir.

Şekil 4. Dünya Yayın Analizi

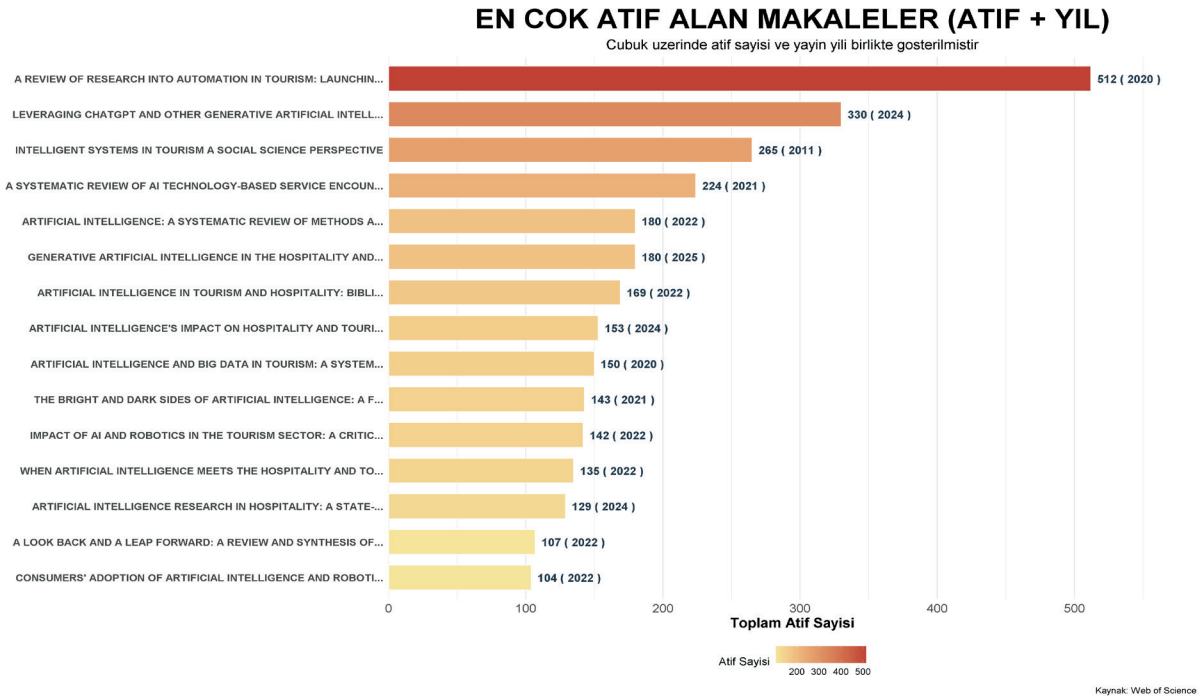


2.5. En Çok Atıf Alan Makaleler

Atıf analizi, alanın entelektüel temellerini ve yönlendirici çalışmaları ortaya koymaktadır (Şekil 5). En çok atıf alan makale, Tussyadiah (2020) tarafından kaleme alınan ve turizmde otomasyon araştırmalarını kapsamlı biçimde derleyen çalışmadır (512 atıf). Bu çalışma, yapay zekâ ve robotik teknolojilerin turizm sektöründe yarattığı dönüşümü haritalayarak alandaki araştırma gündemini şekillendirmiştir. İkinci sırada Dwivedi vd., (2024) tarafından ChatGPT ve diğer generatif AI uygulamalarının konaklama endüstrisindeki potansiyelini inceleyen çalışma (330 atıf) yer almaktadır. Gretzel vd. (2011) tarafından turizmde akıllı sistemleri sosyal bilimler perspektifinden ele alan öncü çalışma ise 265 atıfla üçüncü sıradadır.

En çok atıf alan 15 makale incelendiğinde, bu çalışmaların büyük çoğunluğunun sistematik derleme veya bibliometrik analiz niteliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum, hızla büyüyen bir alanda araştırmacıların mevcut bilgi birikimini haritalama ve sentezleme ihtiyacını yansıtmaktadır. Yayın yıllarına bakıldığında, en etkili çalışmaların 2020–2024 aralığında yoğunlaştığı, ancak Gretzel vd. (2011) gibi erken dönem çalışmaların hâlâ yüksek atıf performansı sergilediği dikkat çekmektedir. Li vd. (2021, 224 atıf) AI tabanlı hizmet karşılaşmalarını, Doborjeh vd. (2022, 180 atıf) ise AI yöntemlerini sistematik biçimde sınıflandırarak alanın metodolojik çerçevesine katkı sağlamıştır.

Şekil 5. En Çok Atıf Alan Makaleler (Atıf + Yıl)

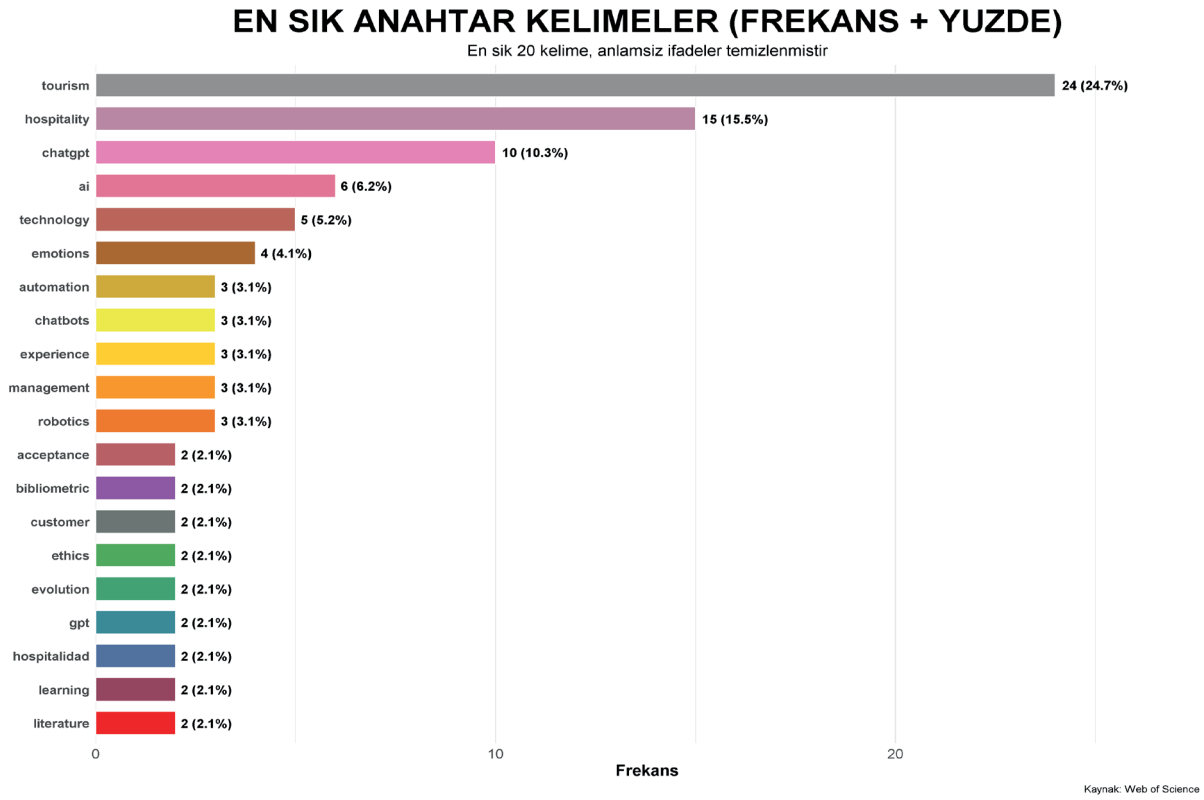


2.6. Anahtar Kelime Frekans Analizi

Yazar anahtar kelimelerinin frekans analizi, alanın tematik odak noktalarını ortaya koymaktadır (Şekil 6). Anlamsız ve genel ifadeler temizlendikten sonra en sık kullanılan 20 anahtar kelime incelendiğinde, "tourism" (n=24, %24,7) ve "hospitality" (n=15, %15,5) beklenen biçimde en yüksek frekansa sahip kelimeler olarak öne çıkmaktadır. "ChatGPT" (n=10, %10,3) ve "AI" (n=6, %6,2) kelimelerinin yüksek frekansı, generatif yapay zekâ uygulamalarına yönelik araştırma ilgisinin boyutunu göstermektedir.

"Technology" (n=5, %5,2), "emotions" (n=4, %4,1), "automation" (n=3, %3,1), "chatbots" (n=3, %3,1), "experience" (n=3, %3,1), "management" (n=3, %3,1) ve "robotics" (n=3, %3,1) gibi anahtar kelimeler, araştırma alanının çok boyutlu yapısını yansıtmaktadır. "Bibliometric" (n=2, %2,1) ve "literature" (n=2, %2,1) kelimelerinin varlığı, alandaki meta-analitik çalışmaların önemini vurgularken, "ethics" (n=2, %2,1) ve "acceptance" (n=2, %2,1) gibi kelimelerin görece düşük frekansı, bu konuların henüz yeterince araştırılmamış olduğuna işaret etmektedir.

Şekil 6. En Sık Anahtar Kelimeler (Frekans + Yüzde)

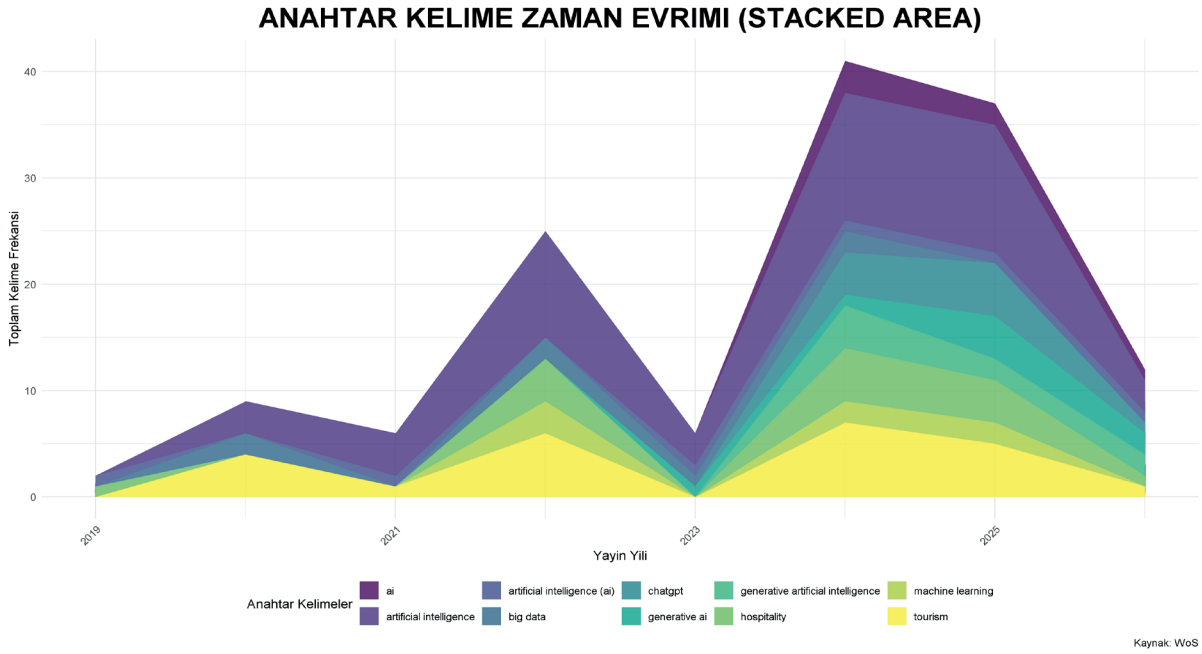


2.7. Anahtar Kelime Zaman Evrimi

Anahtar kelimelerin zaman içindeki evrimini gösteren stacked area grafiği (Şekil 7), alandaki tematik kaymaları açıkça ortaya koymaktadır. 2019–2021 döneminde "artificial intelligence," "big data" ve "machine learning" baskın temalar olarak öne çıkarken, 2022 sonrasında "chatgpt" ve "generative AI" kelimelerinin hızlı bir yükseliş sergilediği görülmektedir. "Tourism" ve "hospitality" kelimeleri tüm dönem boyunca istikrarlı bir varlık göstermekte olup bu durum, alanın sektörel bağlamını koruduğunu göstermektedir.

Bu tematik evrim, yapay zekâ araştırmalarının turizmde üç farklı paradigmatik döneme ayrılabileceğine işaret etmektedir: (1) 2011–2019 arası keşif dönemi (akıllı sistemler, temel AI kavramları), (2) 2020–2022 arası büyüme dönemi (büyük veri, makine öğrenmesi, otomasyon), ve (3) 2023 sonrası generatif AI dönemi (ChatGPT, üretken yapay zekâ, dil modelleri). Bu paradigma kayması, Tussyadiah'ın (2020) öngördüğü turizm otomasyonu gündeminin ötesine geçerek, yapay zekânın artık içerik üretimi, kişiselleştirme ve karar destek süreçlerinde aktif rol aldığı yeni bir araştırma evresine işaret etmektedir.

Şekil 7. Anahtar Kelime Zaman Evrimi (Stacked Area)



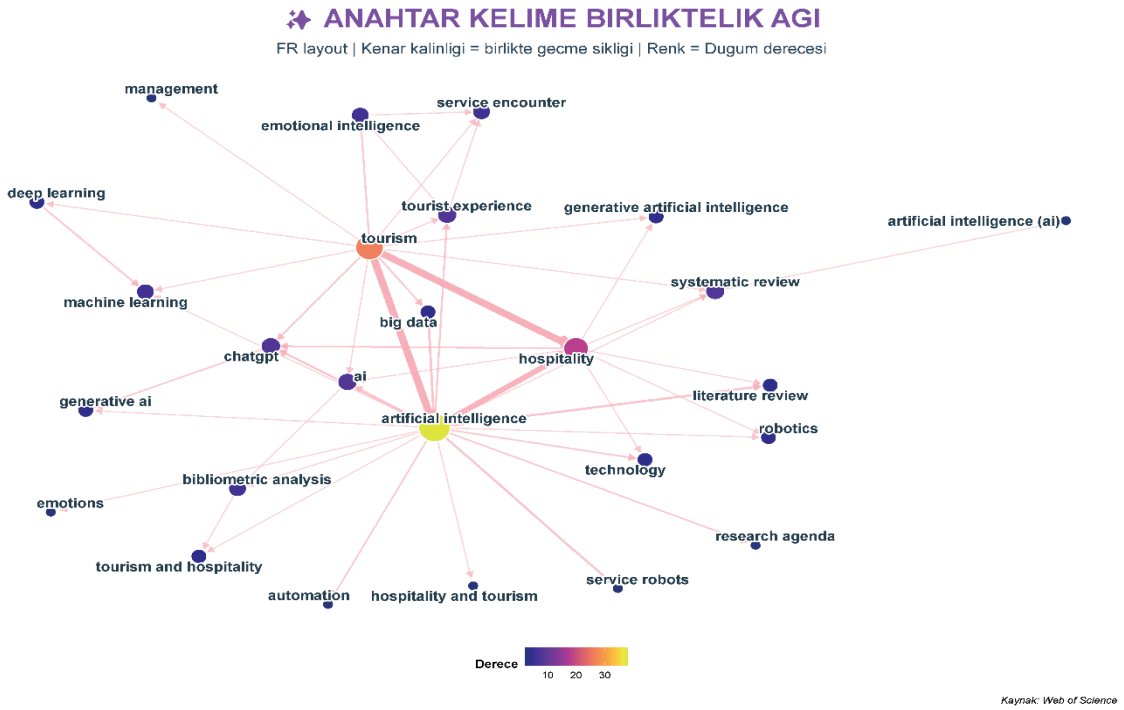
2.8. Anahtar Kelime Birliktelik Ağı Analizi

Fruchterman-Reingold algoritması ile oluşturulan anahtar kelime birliktelik ağı (Şekil 8), kavramlar arasındaki yapısal ilişkileri ve kümelenme örüntülerini görselleştirmektedir. Ağda "artificial intelligence," "hospitality," "tourism" ve "ai" en yüksek düğüm derecesine sahip merkezi kavramlar olarak konumlanmaktadır. Bu kavramlar, ağın çekirdeğini oluşturmakta ve diğer tüm tematik kümeleri birbirine bağlamaktadır.

Ağ yapısında birkaç belirgin tematik küme tanımlanabilmektedir. Birinci küme, "chatgpt," "generative ai" ve "generative artificial intelligence" kavramlarının oluşturduğu generatif AI kümesidir. İkinci küme, "big data," "machine learning" ve "deep learning" kavramlarını içeren veri odaklı teknoloji kümesidir. Üçüncü küme ise "emotions," "tourist experience," "service encounter" ve "emotional intelligence" kavramlarını kapsayan deneyim ve duygu kümesidir. "Bibliometric analysis," "systematic review" ve "literature review" kavramlarının oluşturduğu metodolojik küme de ayrıca dikkat çekmektedir.

Ağdaki kenar kalınlıkları incelendiğinde, "artificial intelligence" ile "hospitality" ve "tourism" arasındaki bağlantıların en güçlü birliktelik ilişkilerine sahip olduğu görülmektedir. "Chatgpt" düğümünün "ai" ve "hospitality" düğümleriyle güçlü bağlantılar kurması, generatif AI araştırmalarının konaklama sektörüne yoğun biçimde odaklandığını doğrulamaktadır. Öte yandan "automation," "service robots" ve "robotics" kavramlarının ağın çevresel bölgelerinde konumlanması, bu temaların görece bağımsız bir araştırma hattı oluşturduğuna işaret etmektedir.

Şekil 8. Anahtar Kelime Birliktelik Ağı



TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, yapay zekâ teknolojilerinin turizm, konaklama ve psikoloji alanlarındaki akademik yansımalarını bibliometrik yöntemle inceleyerek alanın entelektüel yapısını, büyüme dinamiklerini ve tematik evrimini ortaya koymayı amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, birbirleriyle ilişkili birkaç önemli tartışma noktasını gündeme getirmektedir.

Yayın trendindeki en çarpıcı bulgu, 2022 yılında gözlemlenen kırılma noktası ve ardından gelen üstel büyüme eğrisidir. Bu kırılma, OpenAI'nin ChatGPT'yi Kasım 2022'de kamuya açmasıyla neredeyse birebir örtüşmektedir. Generatif yapay zekânın, önceki AI uygulamalarından farklı olarak, son kullanıcı düzeyinde somut ve deneyimlenebilir bir teknoloji sunması hem sektörel hem de akademik ilgiyi katlanarak artırmıştır. Dwivedi vd. (2024) bu durumu, generatif AI'nın konaklama endüstrisinde yarattığı paradigma kaymasıyla ilişkilendirmektedir. Benzer biçimde Bulchand-Gidumal (2024), yapay zekânın turizm pazarlamasındaki keşifsel potansiyelinin henüz yeterince anlaşılmadığını vurgulayarak, alandaki araştırma ivmesinin süreceğini öngörmektedir.

Yayınların coğrafi dağılımı, yazar afilasyonları bazında değerlendirilmiştir. Bir makalede birden fazla ülkeden yazar yer alabildiğinden, ülke bazlı katkı sayılarının toplamı araştırmaya dahil edilen 107 makaleyi aşmaktadır. Bu çerçevede Çin Halk Cumhuriyeti, 106 afilasyon katkısıyla açık ara lider konumdadır. Bu baskınlık, ülkenin "Yeni Nesil Yapay Zekâ Geliştirme Planı" gibi ulusal stratejik girişimleri ve turizm sektöründeki devasa ölçeğiyle doğrudan ilişkilidir. Ancak bu durum, alandaki bilgi üretiminin belirli coğrafi ve kültürel bağlamlarda yoğunlaştığı anlamına gelmektedir. Afrika, Latin Amerika, Orta Asya ve Ortadoğu gibi bölgelerin düşük temsili, yapay zekânın turizmde yarattığı fırsatların ve risklerin bu bölgeler perspektifinden yeterince incelenmediğine işaret etmektedir. Türkiye'nin 5 afilasyon katkısıyla listede yer alması, ülkenin turizm sektöründeki küresel ağırlığı düşünüldüğünde, bu alandaki araştırma potansiyelinin henüz tam olarak değerlendirilmediğini göstermektedir.

Anahtar kelime zaman evrimi analizi, alanda üç belirgin paradigmatik dönemin varlığını ortaya koymaktadır.

İlk dönemde (2011–2019) Gretzel vd.'nin (2011) öncü çalışmasıyla başlayan "akıllı turizm" kavramı çerçevesinde temel AI uygulamaları tartışılmıştır. İkinci dönemde (2020–2022) büyük veri, makine öğrenmesi ve otomasyon temaları ön plana çıkmış, Tussyadiah (2020) ve Samara vd. (2020) gibi kapsamlı derleme çalışmaları bu dönemin entelektüel temellerini oluşturmuştur. Üçüncü ve güncel dönemde (2023 sonrası) ise ChatGPT ve generatif AI kavramları baskın temalar haline gelmiş, araştırma odağı içerik üretimi, kişiselleştirilmiş deneyim tasarımı ve AI-insan etkileşimi gibi daha sofistike konulara kaymıştır. İlk 15 derginin toplam yayınların yaklaşık %80›ini barındırması, alandaki bilgi üretiminin dar bir yayın kanalı etrafında yoğunlaştığını göstermektedir.

Anahtar kelime birliktelik ağı ve frekans analizleri, önemli tematik boşlukları da ortaya koymaktadır. "Ethics" kelimesinin yalnızca 2 kez (%2,1) kullanılmış olması, yapay zekânın turizmde yarattığı etik sorunların (algoritmik önyargı, veri gizliliği, istihdam kaybı) sistematik biçimde incelenmediğini göstermektedir. Benzer şekilde, psikolojik boyutların (AI kaygısı, teknoloji güveni, duygusal tepkiler) görece düşük temsili, Grundner & Neuhofer'ın (2021) yapay zekânın turizmdeki "karanlık yüzüne" ilişkin uyarılarıyla örtüşmektedir. Sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve kapsayıcı turizm bağlamında AI uygulamalarının da ihmal edilen araştırma alanları arasında olduğu tespit edilmektedir.

Bu çalışma, yapay zekâ ve turizm/konaklama/psikoloji literatürünün kapsamlı bir bibliometrik haritasını çıkararak alana birkaç önemli katkı sunmaktadır. İlk olarak, 2011–2026 yılları arasındaki 107 yayının sistematik analizi aracılığıyla alanın büyüme dinamikleri, tematik evrimi ve entelektüel yapısı bütüncül biçimde ortaya konmuştur. İkinci olarak, anahtar kelime zaman evrimi ve birliktelik ağı analizleri, literatürdeki paradigma kaymasını (geleneksel AI'dan generatif AI'ya geçişi) ampirik verilerle belgelemiştir. Üçüncü olarak, coğrafi ve tematik boşlukların tespiti, gelecek araştırmalar için somut bir yol haritası sunmaktadır.

Bulgular, turizmde yapay zekâ araştırmalarının teorik çerçevesine ilişkin önemli çıkarımlar sunmaktadır. Mevcut literatürün ağırlıklı olarak teknoloji kabul modelleri üzerinden şekillendiği görülmekte olup bu durum, teorik çeşitliliğin sınırlı kaldığına işaret etmektedir. Yapay zekânın turist deneyimi, çalışan psikolojisi ve hizmet kalitesi üzerindeki etkilerini anlamak için deneyim ekonomisi teorisi, duygusal emek kuramı, iş-teknoloji uyumu modeli ve sosyo-teknik sistemler yaklaşımı gibi alternatif teorik çerçevelerin entegrasyonu gerekmektedir. Özellikle generatif AI'nın yarattığı yeni etkileşim biçimleri, mevcut teorik modellerin güncellenmesini veya yeni kavramsal çerçevelerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Araştırma bulguları, turizm sektörü paydaşları ve politika yapıcılar için çeşitli pratik çıkarımlar sunmaktadır. Birincisi, yapay zekâ uygulamalarının hızla yaygınlaşması karşısında sektör profesyonellerinin dijital yetkinliklerinin güçlendirilmesi öncelikli bir ihtiyaçtır. İkincisi, generatif AI araçlarının turizm pazarlaması, müşteri ilişkileri ve operasyonel süreçlerde stratejik biçimde konumlandırılması gerekmektedir. Üçüncüsü, AI uygulamalarında etik standartların belirlenmesi, veri gizliliğinin korunması ve algoritmik şeffaflığın sağlanması sektörel sürdürülebilirlik açısından kritik önem taşımaktadır. Son olarak, gelişmekte olan ülkelerdeki turizm destinasyonlarının yapay zekâ dönüşümünden eşit biçimde yararlanabilmesi için kapasite geliştirme ve bilgi transferi mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir.

Bu çalışmanın bulguları doğrultusunda, gelecek araştırmalar için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

Birincisi, yapay zekânın turizm istihdamı üzerindeki etkilerinin (iş kaybı, yeni mesleklerin ortaya çıkışı, beceri dönüşümü) boylamsal araştırmalarla incelenmesi gerekmektedir. İkincisi, generatif AI araçlarının turist karar verme süreçleri, bilgi arama davranışları ve deneyim algıları üzerindeki etkilerinin deneysel desenlerle test edilmesi önerilmektedir. Üçüncüsü, yapay zekâ etiğinin turizm bağlamında (algoritmik önyargı, kültürel temsil, veri sömürgeciliği gibi boyutlarıyla) sistematik biçimde ele alınması ihtiyacı bulunmaktadır. Dördüncüsü, az temsil edilen bölgelerdeki (Afrika, Latin Amerika, Ortadoğu, Orta Asya) turizm-AI etkileşiminin yerel bağlamlarda incelenmesi, alandaki coğrafi dengesizliğin giderilmesine katkı sağlayacaktır. Beşincisi, yapay zekânın sürdürülebilir turizm, erişilebilir turizm ve kapsayıcı destinasyon yönetimi açısından sunduğu potansiyelin araştırılması, alanın toplumsal etkisini güçlendirecektir.

REFERENCES

Bilgihan, A., Dogru, T., Hanks, L., Line, N., & Mody, M. (2024). The GAI marketing model: A conceptual framework and future research directions. *Internatıonal Journal Of Hospıtalıty Management*, 123(103929). https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2024.103929

Bulchand-Gidumal, J., Secin, E.W., O'Connor, P., & Buhalis, D. (2024). Artificial intelligence's impact on hospitality and tourism marketing: exploring key themes and addressing challenges. *Current Issues In Tourısm*, 27(14), 2345-2362. https://doi.org/10.1080/13683500.2023.2229480

Derin G, Öztürk E. (2020) *Yapay zekâ psikolojisi ve sanal gerçeklik uygulamaları*. Öztürk E, editör. Siber Psikoloji. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2020. p.41-7.

Doborjeh, Z., Hemmington, N., Doborjeh, M., & Kasabov, N. (2022). Artificial intelligence: a systematic review of methods and applications in hospitality and tourism. *Internatıonal Journal Of Contemporary Hospıtalıty Management*, 34(3), 1154-1176. https://doi.org/10.1108/IJCHM-06-2021-0767

Dogru (Dr. True), T., Line, N., Mody, M., Hanks, L., Abbott, J., Acikgoz, F., Assaf, A., Bakir, S., Berbekova, A., Bilgihan, A., Dalton, A., Erkmen, E., Geronasso, M., Gomez, D., Graves, S., Iskender, A., Ivanov, S., Kizildag, M., Lee, M., ... Zhang, T. (2025). Generative Artificial Intelligence in the Hospitality and Tourism Industry: Developing a Framework for Future Research. *Journal Of Hospıtalıty & Tourısm Research*, 49(2), 235-253. https://doi.org/10.1177/10963480231188663

Dogru, T., Line, N., Hanks, L., Acikgoz, F., Abbott, J., Bakir, S., Berbekova, A., Bilgihan, A., Iskender, A., Kizildag, M., Lee, M., Lee, W., Mcginley, S., Mody, M., Onder, I., Ozdemir, O., & Suess, C. (2024). The implications of generative artificial intelligence in academic research and higher education in tourism and hospitality. *Tourısm Economıcs*, 30(5), 1083-1094. https://doi.org/10.1177/13548166231204065

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W.M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal Of Business Research*, 133, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Dwivedi, Y.K., Pandey, N., Currie, W., & Micu, A. (2024). Leveraging ChatGPT and other generative artificial intelligence (AI)-based applications in the hospitality and tourism industry: practices, challenges and research agenda. *Internatıonal Journal Of Contemporary Hospıtalıty Management*, 36(1), 1-12. https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2023-0686

Eralp, Z. (1983). *Genel turizm*. Ankara Üniversitesi Basın Yayın Yüksek Okulu.

Fikret, E., Yılmaz, M., & Karamustafa, K. (2024). Turizm İşletmelerinde Yapay Zekâ uygulamaları: Fırsatlar ve Kısıtlılıklar (Artificial intelligence applications (AIA) for tourism businesses: opportunities and Challenges). *Journal Of Tourism & Gastronomy Studies*, 12(4), 2441-2468.

Gado, S., Kempen, R., Lingelbach, K., & Bipp, T. (2022). Artificial intelligence in psychology: How can we enable psychology students to accept and use artificial intelligence?. *Psychology Learning & Teaching*, 21(1), 37-56.

García-Madurga, M. Á., & Grilló-Méndez, A. J. (2023). Artificial Intelligence in the tourism industry: An overview of reviews. *Administrative Sciences*, *13*(8), 172.

Gretzel, U. (2011). INTELLIGENT SYSTEMS IN TOURISM A Social Science Perspective. *Annals Of Tourısm Research*, 38(3), 757-779. https://doi.org/10.1016/j.annals.2011.04.014

Grundner, L., & Neuhofer, B. (2021). The bright and dark sides of artificial intelligence: A futures perspective on tourist destination experiences. *Journal Of Destınatıon Marketıng & Management*, 19(100511). https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2020.100511

Irshad, S., Azmi, S., & Begum, N. (2022). Uses of artificial intelligence in psychology. Psychology, 5(4), 21-30.

Law, R., Lin, K.J., Ye, H., & Fong, D.K.C. (2024). Artificial intelligence research in hospitality: a state-of-

the-art review and future directions. *Internatıonal Journal Of Contemporary Hospıtalıty Management*, 36(6), 2049-2068. https://doi.org/10.1108/IJCHM-02-2023-0189

Law, R., Ye, H., & Lei, S.S.I. (2025). Ethical artificial intelligence (AI): principles and practices. *Internatıonal Journal Of Contemporary Hospıtalıty Management*, 37(1), 279-295. https://doi.org/10.1108/IJCHM-04-2024-0482

Li, M., Yin, D., Qiu, H., & Bai, B. (2021). A systematic review of AI technology-based service encounters: Implications for hospitality and tourism operations. *Internatıonal Journal Of Hospıtalıty Management*, 95(102930). https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2021.102930

Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. Scientometrics, 106(1), 213–228. https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5

Murat, A., Avcı, S. S., & Darı, A. B. (2025). Turizm İşletmelerinde ChatGPT ve Diğer Üretken Yapay Zekâ Uygulamalarının Kullanımı: Potansiyeller, Riskler ve Uygulama Önerileri (The Use of ChatGPT and Other Generative Artificial Intelligence Applications in Tourism Businesses: Potentials, Risks, and Practical Recommendations). *Journal Of Tourism & Gastronomy Studies*, 13(4), 4148-4176.

Okutan, Y. A. (2024). Dijital Dönüşümün Turizme Yansımaları: Avantaj ve Dezavantajlarıyla Turizm İşletmelerinde Yapay Zekâ Kullanımı. *Bozok Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 52-65.

Tussyadiah, I. (2020). A review of research into automation in tourism: Launching the Annals of Tourism Research Curated Collection on Artificial Intelligence and Robotics in Tourism. *Annals Of Tourısm Research*, 81(102883). https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102883

Zhao, J., Wu, M., Zhou, L., Wang, X., & Jia, J. (2022). Cognitive psychology-based artificial intelligence review. *Frontiers* İn *Neuroscience*, 16, 1024316.

Zlatanov, S., & Popesku, J. (2019). Current applications of artificial intelligence in tourism and hospitality. In Sinteza 2019-International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research (pp. 84-90). Singidunum University.

Zsarnoczky, M. (2017). How does artificial intelligence affect the tourism industry?. *Vadyba*, 31(2), 85-90.

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. https://doi.org/10.1177/1094428114562629

Samara, D., Magnisalis, I., & Peristeras, V. (2020). Artificial intelligence and big data in tourism: a systematic literature review. *Journal Of Hospıtalıty And Tourısm Technology*, 11(2), 343-367. https://doi.org/10.1108/JHTT-12-2018-0118

https://doi.org/10.71284/asc.2026206

YAPAY ZEKA ÇAĞINDA ROBOT VERGİSİNİN MALİ SOSYOLOJİ PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Serpil Ağcakaya [1]
Yasemin Erduran[2]

Özet

Dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, üretim süreçlerinde köklü dönüşümlere yol açarak emek piyasasının yapısını yeniden şekillendirmektedir. Bu dönüşümün en dikkat çekici sonuçlarından biri, literatürde "robot vergisi" olarak adlandırılan politika önerisidir. Robot vergisi çoğunlukla teknik ve mali bir düzenleme aracı olarak ele alınsa da, daha geniş bir sosyo-ekonomik çerçevede değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir olgudur. Bu çalışma, söz konusu öneriyi Türkiye'nin sosyo-ekonomik yapısı bağlamında ve mali sosyoloji perspektifi doğrultusunda analiz etmeyi amaçlamaktadır. Mali sosyoloji yaklaşımı, vergiyi yalnızca kamu gelirlerini artırmaya yönelik bir araç olarak değil; devlet ile vatandaş arasındaki toplumsal sözleşmenin, adalet algısının ve meşruiyet ilişkilerinin bir yansıması olarak ele alır. Bu çerçevede robot vergisi, teknolojik dönüşümün toplumsal etkilerini dengeleme potansiyeli taşıyan bir politika aracı olarak değerlendirilebilir. Genç nüfus oranının yüksek olduğu ve iş gücü piyasasının teknolojik değişimlere karşı görece kırılgan bir yapı sergilediği Türkiye'de, yapay zekâ temelli otomasyonun istihdam üzerindeki etkileri toplumsal dayanışma mekanizmaları açısından dikkatle incelenmelidir. Vergi yükünün emek üzerinden sermayeye, özellikle otomasyon ve robot teknolojilerine kaydırılması önerisi, gelir dağılımındaki eşitsizliklerin azaltılması bakımından önemli bir tartışma alanı oluşturmaktadır. Türkiye'de dolaylı vergilerin toplam vergi gelirleri içindeki yüksek payı dikkate alındığında, vergi sisteminin adalet ve eşitlik ilkeleri doğrultusunda yeniden yapılandırılması gerekliliği daha belirgin hâle gelmektedir. Bu bağlamda robot vergisi, sosyal dengeyi gözeten tamamlayıcı bir mali politika aracı olarak kurgulanabilir. Sonuç olarak robot vergisi tartışması yalnızca mali bir düzenleme meselesi değil; teknolojik dönüşümün toplumsal sonuçlarına ilişkin normatif bir değerlendirme alanıdır. Yapay zekâ çağında vergi politikalarının sosyal barışı koruma, gelir dağılımını iyileştirme ve toplumsal meşruiyeti güçlendirme işlevleri çerçevesinde ele alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, robot vergisi, mali sosyoloji, Türkiye ekonomisi, toplumsal sözleşme, teknolojik işsizlik.

[1] Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, serpilagcakaya@sdu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-6107-8205
[2]Öğr. Gör., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, yasemindalkilic@mku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-6569-6454

Abstract

Rapid developments in digitalization and artificial intelligence technologies are leading to profound transformations in production processes, thereby reshaping the structure of the labor market. One of the most notable outcomes of this transformation is the policy proposal referred to in the literature as the "robot tax." Although the robot tax is often addressed as a technical and fiscal regulatory instrument, it is in fact a multidimensional phenomenon that should be evaluated within a broader socio-economic framework. This study aims to analyze this proposal within the context of Türkiye's socio-economic structure and from the perspective of fiscal sociology. The fiscal sociology approach considers taxation not merely as a tool for increasing public revenues, but as a reflection of the social contract between the state and citizens, as well as perceptions of justice and legitimacy. In this framework, the robot tax can be regarded as a policy instrument with the potential to mitigate the social consequences of technological transformation. In Türkiye, where the proportion of young population is high and the labor market exhibits relative vulnerability to technological change, the employment effects of AI-based automation should be carefully examined in terms of social solidarity mechanisms. The proposal to shift the tax burden from labor to capital—particularly to automation and robotic Technologies, constitutes an important area of debate in terms of reducing income inequality. Considering the high share of indirect taxes in total tax revenues in Türkiye, the necessity of restructuring the tax system in line with the principles of justice and equity becomes more evident. In this regard, the robot tax may be designed as a complementary fiscal policy instrument aimed at maintaining social balance. In conclusion, the debate on the robot tax is not merely a matter of fiscal regulation but also a normative field of evaluation concerning the societal consequences of technological transformation. In the age of artificial intelligence, tax policies should be addressed within a framework that safeguards social peace, improves income distribution, and strengthens social legitimacy.

Keywords: Artificial intelligence, robot tax, fiscal sociology, Turkish economy, social contract, technological unemployment.

GİRİŞ

Yapay zeka ve robot teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, Sanayi Devrimi'nden bu yana süregelen emek otomasyonu tartışmalarını 21. yüzyılda daha yoğunlaştırmış ve bu durum yeni bir toplumsal düzen arayışını gündeme taşımıştır (Kılıç ve Birinci, 2025). Bu çerçevede, robot vergisi uygulamaları, teknolojik işsizliğe karşı olası bir çözüm olarak öne çıkmakta ve kamu mali dengesi üzerindeki etkileri bakımından kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. (Turan, 2020). Mali sosyoloji perspektifinden değerlendirildiğinde ise bu süreç, yalnızca bir bütçe aracı olarak değil; teknolojik dönüşümün neden olduğu sosyal eşitsizlikleri azaltmaya yönelik, devletin toplumsal meşruiyetini ve vergi sözleşmesini yeniden şekillendiren bir mekanizma olarak görülmektedir (Ataer, 2025). Bu bağlamda, otomasyonun üretim faktörleri üzerindeki dönüştürücü etkisi, emeğe dayalı vergi matrahlarının aşınmasına yol açarken, kamu maliyesinin sürdürülebilirliği yeni gelir kaynaklarına duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. (Seyman ve Erdoğdu, 2019). Önerilen vergi yaklaşımı, otomasyonun sağladığı üretim verimliliğinin toplumsal maliyetlere dönüştüğü durumlarda, sermayenin vergilendirilmesi yoluyla kamu hizmetlerinin sürekliliğini sağlamayı ve teknolojik işsizlikten kaynaklanan gelir dağılımı bozukluklarını azaltmayı amaç edinmektedir. (Ela, 2019; Kılıç ve Birinci, 2025).

1. 1. Yapay Zeka ve Robot Teknolojilerinin Gelişimi

Robot teknolojileri günümüzde sadece rutin fiziksel görevlerle sınırlı olmayıp, karmaşık analitik süreçleri de üstlenerek işgücü piyasasında köklü bir değişim meydana getirmiştir (Ela, 2019). Bu gelişim geleneksel iş tanımlamalarını belirsizleştirirken üretimde emeğin yerini alan otomasyonun sermaye yoğun birikim modellerini güçlendirilmesine ve buna bağlı olarak gelir dağılımında dalgalanmalara yol açmasına neden

olmaktadır (Turan, 2020), (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bu durum özellikle emeğe dayalı vergi yükünün azalmasıyla birlikte devletlerin gelir dağılımındaki bozulmayı dengelemek ve sosyal etkileri hafifletmek amacıyla vergi politikalarını yeniden yapılandırmalarını zorunlu kılmaktadır (ELA, 2019; Kabayel ve Doğan, 2022). Bununla birlikte robotların hukuki statüsünün belirlenmesi sermaye unsuru mu yoksa bağımsız bir üretim faktörü mü olduğu önemli tartışmaları beraberinde getirmektedir (Seyman ve Erdoğdu, 2019). Bu kapsamda robotlara elektronik kişi statüsü tanınması önerisi hem mevcut hukuki belirsizliklerin giderilmesi hem de otomasyon sürecinde daralan vergi tabanının yeniden genişletilmesi açısından stratejik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir (Kabayel ve Doğan, 2022). Ancak hangi sistemlerin robot olarak kabul edileceği ve otomasyon süreçlerinin vergi mükellefiyeti açısından nasıl sınırlandırır olacağı gibi konular uygulama açısından önemli belirsizlikler içermektedir (Erdoğan Keysan ve Yakar Önal, 2019).

1.1. Yapay Zekanın Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Yapay zeka insanın bilişsel işlerini taklit eden algoritmik sistemler bütünü olarak endüstriyel robotların yalnızca fiziksel otomasyon kapasitesini aşmakla kalmayıp aynı zamanda karar alma süreçlerini de kapsayan yeni bir teknolojik aşamayı temsil etmektedir bu teknolojik gelişim üretim süreçlerinde insan emeğinin katma değerinin azalmasına ve buna bağlı olarak geleneksel gelir vergisine dayalı vergi sistemlerinin sürdürülebilir dirliğini tehdit altına girmesine neden olmaktadır (Erdoğan Keysan ve Yakar Önal, 2019). Bu paradigma değişimi vergi sistemlerinin emeğe dayalı dar bir çerçeveden çıkarılarak teknolojik sermaye birikimini de içerecek biçimde yeniden yapılandırılmasını gerekli kılmaktadır özellikle endüstriyel robotların yol açtığı yapısal işsizlik sorununa karşı alternatif bir maliye politikası aracı olarak değerlendirilmesi gereken bu yaklaşım yeni düzenlemeleri zorunlu hale getirmektedir (Gedik, 2020; Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bu kapsamda robotlara elektronik kişi statüsü tanınarak vergi mükellefiyeti yüklemesi sermaye yoğun üretim süreçlerinin vergilendirilmesi ve gelir dağılımındaki eşitsizliklerin azaltılması açısından önemli bir hukuki dayanak olarak önerilmektedir (Seyman ve Erdoğdu, 2019), (Turan, 2020). Bununla birlikte Avrupa parlamentosunu robotları elektronik keşi olarak tanımlama yönündeki eğitimine rağmen türk hukuk sisteminde yapay zeka ve robotlara ilişkin açık ve kapsamlı bir yasal çerçevenin bulunmaması söz konusu vergisel düzenlemelerin uygulamaya geçirilmesinde ciddi bir boşluk oluşturmaktadır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020). Bu hukuki belirsizlik otomasyon süreçlerinin ürettiği katma değerin vergilendirilmesinde mevcut kurumlar vergisi düzenlemelerinin yetersiz kalmasına yol açmakta ayrıca otonom sistemlerinin sorumluluk hukuku kapsamında henüz elektronik kişi olarak kabul edilmemesi vergi mükellefiyetinin tesis edilmesinde de zorlaştırmaktadır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020). Diğer taraftan yapay zeka temelli bir vergi tasarımı verimlilik artışını sınırlama riski ve uygulama aşamasında karşılaşılan teknik güçlükler nedeniyle literatürde henüz ortak bir görüşe ulaşılmamış bir tartışma alanı olarak varlığını sürdürmektedir (Ataer, 2025). Bu durum vergi sistemlerinin dijital dönüşüme uyum sürecinde karşılaşılan yapısal sorunları derinleştirerek devletin maliye egemenliğini koruma kapasitesinin yeniden yapılandırılmasını sana gerektiren sosyo -ekonomik bir çıkmaza işaret etmektedir

1.2. Robot Teknolojilerinin Evrimi ve Uygulama Alanları

Otomasyon teknolojileri, basit endüstriyel manipülatörlerden otonom karar alma mekanizmalarına sahip karmaşık sistemlere dönüştürülerek üretimdeki değer katma süreçlerini kökten bir değişim sağlamıştır. Bu teknolojik gelişim, robotların üretim süreçlerinde yalnızca fiziksel birer araç olmaktan ziyade bağımsız gelir oluşturma potansiyeline sahip birer sermaye öğesi olduğunu göstermektedir (Ela, 2019). Bu dönüşüm, geleneksel vergi matrahlarının emeğe dayalı yapısından uzaklaşarak, robotların ekonomik faaliyetlerindeki katma değerin "elektronik kişi" statüsü veya doğrudan sermaye vergisi üzerinden vergilendirilmesini zorunlu hale getirmiştir (Ela, 2019; Turan, 2020). Bu açıdan incelediğimizde söz

konusu vergilendirme modelleri, yalnızca gelir veya kurumlar vergisi ile sınırlı kalmayıp; katma değer vergisi, özel tüketim vergisi ve taşıt vergileri gibi oldukça geniş bir yelpazede yeni mükellefiyet türleri de beraberinde getirmektedir (Gedik, 2018). Bu çeşitlenme, vergi sistemlerinin sadece bir gelir aracı değil,

aynı zamanda otonom sistemlerin yarattığı katma değerin toplumsallaştırılmasına yönelik bir düzenleyici mekanizma olarak dönüştürülmesini zorunlu bir hale getirmektedir. (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Ancak mevcut vergi sistemleri, işverenlere sağlanan hızlandırılmış amortisman gibi teşviklerle otomasyonu fiilen destekleyerek şirketlerin vergiden kaçınma olanaklarını genişletmekte ve sistemin vergi adaletiyle olan bağını zayıflatmaktadır (Gedik, 2020).

1.3. Mali Sosyoloji Perspektifinden Vergi Olgusu

Mali sosyoloji perspektifi, vergilendirmeyi sadece bir gelir toplama aracı olarak değil, devlet ile toplum arasındaki sözleşmenin teknolojik dönüşüm süreçlerinde yeniden müzakeresi olarak ele almaktadır (Seyman ve Erdoğdu, 2019). Bu bağlamda, otomasyonun neden olduğu vergi tabanı aşınması karşısında, robotlardan alınacak vergiler devletin sosyal koruma ağlarını güçlendirmesi ve teknolojik işsizlikten etkilenen işgücünü yeniden eğitmesi için gerekli finansal kaynağı oluşturma aşamasında kritik bir rol almaktadır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020; Kılıç ve Birinci, 2025). Bu dönüşüm süreci, yalnızca geleneksel gelir vergisi matrahının aşılmasıyla ortaya çıkan kamu mali dengesizlikleri gidermekle sınırlı kalmayıp aynı zamanda sermaye ile emek arasındaki toplumsal uzlaşıyı yeniden tanımlayan stratejik bir müdahale biçimi olarak değerlendirilmektedir (Kılıç ve Birinci, 2025). Mevcut vergilendirme düzenlemeleri robot yatırımlarına sağlanan hızlandırılmış amortisman ve bakım giderlerinin kazançtan düşürülebilmesi için uygulamalar aracılığıyla otomasyonu dolaylı biçimde teşvik etmekte bu durum ise kamu gelirlerinde önemli bir erozyona yol açmaktadır (Gedik, 2020; Kabayel ve Doğan, 2022). Dolayısıyla, mevcut vergi politikalarının teknolojik dönüşümü destekleyen yapısı, kamu maliyesi üzerindeki yükü artırmakta ve vergi adaleti bakımından ciddi boşluklar doğurmaktadır (Erdoğan Keysan ve Yakar Önal, 2019).

1.4. Robot Vergisinin Kavramsal Çerçevesi

Robot vergisi, üretimin dijitalleşmesiyle birlikte ortaya çıkan vergi adaleti sorunlarını gidermek amacıyla, robotların ürettiği tahmini gelirler veya doğrudan sundukları hizmetler üzerinden kurgulanan çok boyutlu bir mali araç olarak tanımlanmaktadır (Akar, 2018). Bu yaklaşımın temel amacı, robotlar tarafından yaratılan katma değerden elde edilecek kaynakların sosyal güvenlik sistemleri ve eğitim sektörünün finansmanına yönlendirilmesi yoluyla gelir dağılımında adaletin sağlanmasıdır (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bu çerçevede robot vergisi dar anlamda bir teknoloji vergisi olarak değil sermaye ilişkilerinin merkeze alan ve tüm üretim faktörlerini kapsayan kapsamlı bir mali mekanizma olarak ele alınmalıdır bu tür bir yaklaşım paylaşımcı bir ekonomik yapının inşası açısından kritik öneme sahiptir (Akar, 2018). Nitekim otomasyon süreçlerinin vergi gelirleri üzerindeki azaltıcı etkilerini sınırlamak ve robotlar ile insan emeği arasındaki mali dengesizliği gidermek için vergi sisteminin tarafsızlık ilkesine uygun biçimde yeniden yapılandırılması gerekmektedir (Turan, 2020). Bu dengenin sağlanabilmesi için otomasyonun tetiklediği teknolojik işsizliğin finansmanı ve gelir kayıplarının telafisi amacıyla robotların yarattığı katma değerin eşdeğer bir işgücünün tabi olacağı vergi yüküne benzer bir yükümlülük çerçevesinde vergilendirilmesi önerilmektedir (Seyman ve Erdoğdu, 2019). Aynı zamanda işletmelerin robot yatırımlarını maliyet unsuru olarak doğrudan giderleştirmelerine imkan tanıyan hızlandırılmış amortisman gibi teşviklerin kademeli biçimde sınırlandırılması otomasyon ile emek arasındaki mali dengesizliğin giderilmesi açısından önemli bir politika aracı olarak değerlendirilmekte bir (Kılıç ve Birinci, 2025). Bununla birlikte, Yalnızca doğrudan vergilendirme araçlarıyla sınırlı kalınmamalı gözetim kapitalizmi ile derinleşen gelir eşitsizliklerini azaltmak amacıyla dijital hizmet vergileri ve kurumsal sermaye paylaşımlarına yönelik yeni mali araçlarda devreye alınmalıdır bu tür tamamlayıcı düzenlemeler devletin vergi matrahı undaki aşınmayı önlemesine katkı sağlayacaktır (Merola, 2022). Ancak söz konusu mali araçların etkinliği yalnızca vergi politikalarıyla değil otomasyonun yarattığı toplumsal dış sağlıkları yönetmeye yönelik bütüncül düzenleyici çerçevelerle desteklenmesine bağlıdır (Bastani ve Waldenström, 2024). Sonuç olarak otomasyonun neden olduğu vergi matrahı aşılmasının telafi edilmesi ve sermaye ile emek arasındaki vergi yükü dengesizliğinin giderilmesi mali sistemin sürdürülebilirliği açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Mann, 2020), (Turan, 2020).

1.5. Robot Vergisi Tartışmalarının Kökenleri

Robot vergisi tartışmaları, büyük ölçüde otomasyonun emeğin yerini almasıyla tetiklenen yapısal işsizlik kaygıları ve bu teknolojik dönüşümün yarattığı sosyo-ekonomik adaletsizlikler üzerine temel alınarak oluşturulmuştur (Kabayel ve Doğan, 2022). 1950'li yıllardan günümüze süregelen bu tartışmalar, emeğin sermaye karşısındaki payının giderek azaldığı ve gelir dağılımındaki dengesizliklerin derinleştiği 1980 sonrası dönemle birlikte daha somut bir mali politika arayışına sebep olmaktadır. (Çırak ve Karayılmazlar, 2020; Didinmez, 2021). Bu çerçevede, teknolojik dönüşümün oluşturduğu haksız rekabeti giderebilmek için robotların, insan işçilere özgü gelir vergisi ve sosyal güvenlik primlerine benzer mali yükümlülüklerle vergilendirilmesi önerilmektedir (Seyman ve Erdoğdu, 2019). Bu kapsamda toplanan kaynakların teknolojik işsizlikle mücadele fonlarına yönlendirilmesi, otomasyona uyum sürecinde bireylerin yeniden eğitilmesi ve emeğin korunması adına elzem bir mali tampon işlevi üstlenmiştir (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Fakat, sermayenin küresel düzeyde yüksek hareketliliği, bu tür yerel vergilendirme girişimlerinin vergi rekabeti ve matrah aşınması gibi yapısal risklerle karşılaşma olasılığını artırmaktadır (Barfield et al., 2024; Turan, 2020). Bu çerçevede geliştirilen düzenleyici yaklaşımlar, otomasyonun tetiklediği toplumsal dışsallıkları içselleştirmeyi hedefleyen Pigoucu vergilendirme mantığına dayanarak, işgücü piyasalarındaki erozyonu yavaşlatacak bir finansman modeli önermektedir (Listokin, 2025). Bu bağlamda, robotların insan emeğinin tabi olduğu stopaj veya harcama bazlı dolaylı vergiler gibi mali yükümlülüklerin dışında tutulması, kamu maliyesindeki gelir tabanının aşınmasına ve uzun vadeli mali sürdürülebilirliğin zayıflamasının nedenleri arasında yer almaktadır (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Ancak hükümetlerin, değişen iş yapış biçimlerini ve sermaye yoğun üretim süreçlerini kapsayacak şekilde vergi mimarilerini yeniden oluşturmaları, makroekonomik istikrarın korunması adına bir zorunluluktur (Merola, 2022).

1.6. Robot Vergisi Modelleri ve Uygulama Önerileri

Bu kapsamda öne çıkan temel modeller, robotların satın alımında uygulanan katma değer vergisinin artırılması veya kurumlar vergisi oranlarının yükseltilmesi suretiyle kamu gelirlerindeki açığın kapatılmasını hedeflemektedir (Ela, 2019). Alternatif bir yaklaşım ise tüm robotik sistemleri kapsayan geniş kapsamlı vergiler yerine, yalnızca insan emeğini ikame eden marjinal görevlerin vergilendirilmesine odaklanan otomasyon vergilerinin uygulanmasıdır (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu noktada, işten çıkarılan işçi oranına bağlı olarak artan oranlı vergi uygulamaları firmaların otomasyon tercihlerinde maliyetleri içselleştirmesini zorunlu kılsa da, uygulamanın teknik detaylarında henüz küresel bir fikir birliğine varılamamıştır (ELA, 2019; Kılıç ve Birinci, 2025). Ayrıca, devletlerin tek taraflı uygulayacakları vergi politikalarının vergi rekabetini tetikleyerek sermaye kaçışına yol açabileceği göz önüne alındığında, robot vergisinin başarısı ülkeler arası koordineli bir yaklaşıma bağlı görünmektedir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda, uygulanacak vergi politikaları teknolojik ilerlemenin hızını insani bir seviyede dengeleyen bir "düzenleyici duraklama" işlevi görerek, işgücü piyasalarındaki adaptasyon ve yeniden beceri kazandırma süreçleri için gerekli zamanı tanıyabilir (El., t.y). Bu süreçte, otomasyon kaynaklı işsizliği hafifletmek amacıyla robot istihdamını doğrudan vergilendirmek yerine, emek üzerindeki vergi yükünün kademeli olarak azaltılması da alternatif bir mali strateji olarak öne çıkmaktadır (Kılıç ve Birinci, 2025).

2. ROBOT VERGİSİNİN MALİ SOSYOLOJİK ETKİLERİ

Bu vergi türü, dijitalleşen üretim süreçlerinde devletin toplumsal dayanışmayı koruma sorumluluğunu yeniden tanımlayarak, teknolojik değişimlerin yarattığı olumsuz sosyo-ekonomik etkilerin azaltılmasında merkezi bir dengeleyici rol oynamaktadır (Kılıç ve Birinci, 2025; Turan, 2020). Özellikle vergilemede ayırma ilkesi çerçevesinde sermaye gelirlerinin emek karşısında sahip olduğu ayrıcalıklı konumun törpülenmesi, bu mali sosyolojik dengenin tesisi için temel bir mekanizma işlevi görecektir (Turan, 2020). Bu bağlamda, robot vergisinden elde edilen kaynakların işsizlik fonu aracılığıyla bireylerin yeniden eğitim süreçlerine kanalize edilmesi, otomasyonun tetiklediği yapısal işsizliğin maliyetini minimize ederek emek ve sermaye arasındaki sosyal uçurumu daraltacaktır. Bu yaklaşım aynı zamanda, geleneksel vergi sistemlerinin işgücü

üzerindeki ağır yükünü hafifleterek, otomasyonun yarattığı katma değerin toplumsal refahı destekleyen bir kamu kaynağına dönüşmesini mümkün kılmaktadır (Ela, 2019). Ancak bu mali düzenlemelerin küresel ölçekteki başarısı, sermayenin vergi yükünün daha düşük olduğu bölgelere yönelmesini engellemek adına devletler arası koordine edilmiş, çok taraflı bir iş birliği modeline bağlıdır (Kılıç ve Birinci, 2025), (Ela, 2019). Bu doğrultuda, devletlerin teknolojik ilerlemeye ayak uydurma zorunluluğu ile vergi tabanını koruma çabası arasındaki hassas dengeyi, sermaye hareketliliğini kısıtlamadan matrah aşınmasını minimize eden bütüncül bir uluslararası vergi mimarisi ile tesis etmek mümkündür (Turan, 2020), (Gedik, 2020).

2.1. Gelir Dağılımına Etkileri

Otomasyonun sermaye ile işgücü arasındaki ikame esnekliği arttıkça, sermaye sahipleri lehine gelişen gelir dağılımı adaletsizliği vasıflı ve vasıfsız işçiler arasındaki ücret farklarını derinleştirmektedir (ELA, 2019). Bu gelir kayması, devletin geleneksel vergi matrahlarını daraltarak sosyal yardım programlarının finansman kapasitesini sınırlamakta ve kamu mali dengesi üzerinde yapısal bir baskı oluşturmaktadır (Turan, 2020). Bu durum, devletin sosyal devlet kimliğini sürdürebilmek adına, otomasyonun yarattığı sosyal maliyetleri dengeleyecek yeni finansman modellerini hayata geçirmesini zorunlu kılmaktadır (Gedik, 2020). Bu noktada, otomasyondan elde edilen vergi gelirlerinin evrensel temel gelir gibi sosyal politika araçlarına aktarılması, emek ve sermaye getirisi arasındaki makasın açılmasını önleyerek teknolojik devrimin refah artırıcı potansiyelini toplumsal kesimlere yaygınlaştırabilir (Vogel ve Mann, 1980). Bu tür bir mali yeniden yapılandırma, robot kullanımının geleneksel vergi matrahlarını daraltmasıyla ortaya çıkan gelir kaybını tElafi ederken, aynı zamanda artması beklenen sosyal güvenlik ve işsizlik sigortası yükümlülüklerinin karşılanmasında hayati bir güvence oluşturmaktadır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020; Seyman ve Erdoğdu, 2019). Zira emek yoğun sektörlerdeki vergi takozunun sermaye gelirlerine kıyasla yüksek seyretmesi, otomasyonun yaygınlaşmasıyla birlikte kamu gelirlerinde telafisi güç bir erozyona yol açma riski taşımaktadır (Ela, 2019).

2.2. İstihdam Yapısına Etkileri

Robotlaşma, geleneksel iş alanlarının otomasyon yoluyla ikame edilmesine bağlı olarak işsizlik riskini artırsa da, aynı zamanlı olarak yeni meslek alanlarının ortaya çıkmasına ve nitelikli işgücüne yönelik talebin artmasına zemin hazırlayan çok boyutlu bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir. (Turan, 2020). Bu dönüşüm çerçevesinde, robot vergisinden elde edilen gelirlerin işgücünün yeniden beceri kazanımı ve sürekli eğitim programlarının finansmanında kullanılması, emek piyasasında ortaya çıkan yapısal uyum maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayabilir (Kabayel ve Doğan, 2022). Söz konusu politika aracı robotlaşma anın neden olduğu işsizlik sigortası fonu açıklarının giderilmesinde dengeleyici bir rol üstlenerek kamu maliyesi üzerindeki baskının hafifletilmesine yardımcı olabilir. (Akar, 2018; ELA, 2019). Bununla birlikte elde edilen kamu gelirlerinin yalnızca gelir kayıplarını telafi etmek amacıyla değil aynı zamanda yeşil dönüşüm politikaları ve evrensel temel gelir uygulamaları gibi sosyal refahı arttırıcı alanlara yönlendirilmesi toplumsal uyumun sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. (Kılıç ve Birinci, 2025). Öte yandan otomasyonun özellikle rutin işleri ikame etmesiyle ortaya çıkan siyasal ve toplumsal gerilimler robot vergisinin yalnızca mali bir enstrüman olmadığını aynı zamanda toplumsal kesimler arasındaki eşitsizlikleri yönetmeye yönelik stratejik bir araç olarak da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. (Hacıbebekoğlu ve Ünveren, 2025). Bu bağlamda robot vergisi teknolojik işsizliğin doğurabileceği toplumsal huzursuzlukları azaltmada devletin sosyal sözleşmeyi güncel koşullara uyarlama çabasının somut bir yansıması olarak değerlendirilebilir (Yıldız ve Dördüncü, 2019).

2.3. Sosyal Güvenlik Sistemleri Üzerindeki Potansiyel Etkiler

Gelirlerin büyük ölçüde iş gücü üzerinden alınan prim ve vergilere dayalı mevcut sistemlerde otomasyonun yol açtığı istihdam kaybı sosyal güvenlik kurumlarının gelir tabanını daraltmak makta ve uzun vadede finansal açıkların oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Ela, 2019; Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bu süreç teknolojik işsizliği dengelemeye yönelik artan sosyal harcamalarla eş zamanlı olarak vergi matrahının

daralmasına neden olmakta ve kamu maliyesinde yapısal bir denge sorununu beraberinde getirmektedir (Turan, 2020), (Kılıç ve Birinci, 2025). Bu çerçevede robot vergisi sermaye üzerinden sağlanacak düzenli gelirler aracılığıyla sosyal güvenlik sistemlerinin finansman yükünü hafifleten bilecek ve otomasyon kaynaklı gelir kayıplarının telafisine etkin bir mali araç olarak işlev görebilecektir (Kılıç ve Birinci, 2025).

2.4. Eğitim ve Mesleki Dönüşüme Etkileri

Robotlaşmanın özellikle düşük vasıflı iş gücü üzerindeki ikame edici etkisi bireylerin dijital ekonomiye uyum sağlayabilmeleri için kapsamlı yeniden eğitim süreçlerini zorunlu kılmaktadır. Bu durum kamu harcamalarında artışa yol açarken aynı zamanda yaşam boyu öğrenme politikalarının önemini de arttırmaktadır (Ela, 2019). Bu bağlamda robot vergisinden elde edilecek gelirlerin eğitim ve beceri kazandırma programlarına yönlendirilmesi işgücü piyasasında yaşanan dönüşüm yönetilmesine katkı sağlayacak yapısal işsizliğin olumsuz etkilerini azaltabilir (Ela, 2019). Ayrıca söz konusu vergi gelirlerinin yalnızca eğitim süreçlerine değil evrensel temel gelir gibi sosyal koruma mekanizmalarına da aktarılması dijital dönüşümün toplumsal refah üzerindeki risklerini azaltan bütüncül bir maliye politikası yaklaşımının geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Kılıç ve Birinci, 2025; Türkdoğan ve Taş, 2022).

3. ULUSLARARASI ÖRNEKLER VE TARTIŞMALAR

Küresel ölçekte Güney Kore gibi ülkelerde uygulanan vergi teşvikleri ve Avrupa Birliği düzeyinde yürütülen politika tartışmaları robot vergisinin tek tip bir modelden ziyade ülkeleri özgü ekonomik ve kurumsal koşullara göre şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır(Kılıç ve Birinci, 2025). Özellikle Türkiye gibi sanayi dönüşüm sürecindeki ülkelerde robot vergisinin yerel ekonomik dinamiklerle uyumlu bir biçimde tasarlanması teknolojik uyum ile sosyal refah arasında sürdürülebilir bir denge kurulmasına katkı sağlayabilir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda, robot vergisinin proaktif bir kamu maliyesi enstrümanı olarak erken aşamada planlanması, gelecekte otomasyona bağlı vergi matrahı kayıplarına karşı Türkiye'nin mali direnç kapasitesini önemli ölçüde güçlendirecektir (Akar, 2018). Ancak söz konusu vergilendirme mekanizmasının hukuki altyapısının güçlendirilmesi, teknolojik belirsizliklerin bertaraf edilmesine ve otomasyonun emek piyasasındaki olası sosyal maliyetlerinin daha etkin bir yönetişim anlayışıyla karşılanmasına imkân tanıyacaktır (Kılıç ve Birinci, 2025). Bu hukuki ve yönetsel tasarım, otomasyonun getirdiği üretim faktörleri değişimini vergilendirme sistemine entegre ederek, teknolojik gelişmenin oluşturduğu refahın toplumsal tabana yayılmasında devletin düzenleyici rolüne güç katmaktadır (Hacıbebekoğlu ve Ünveren, 2025).

3.1. Farklı Ülkelerdeki Robot Vergisi Yaklaşımları

Dünya genelinde robot vergisinin benimsenme düzeyleri, ülkelerin dijitalleşme stratejilerine ve otomasyonun işgücü üzerindeki yapısal etkilerini yönetme tercihlerine göre önemli farklılıklar göstermektedir (Ela, 2019). Örneğin, Güney Kore gibi ülkeler robot yatırımlarına yönelik vergi teşviklerini ve indirimlerini kademeli olarak azaltarak mali sistemlerini otomasyonun yarattığı yeni gerçekliğe göre yeniden düzenlerken, diğer ülkeler endüstriyel rekabeti korumak adına daha esnek bir vergi yaklaşımını benimsemektedir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu farklılaşan yaklaşımlar, robotların işgücü yerine geçmesiyle ortaya çıkan vergi matrahı kayıplarını tElafi etme ve işsizlik yardımları ile yeniden eğitim gibi sosyal transfer harcamalarını finanse etme ihtiyacı etrafında şekillenmektedir (Çırak ve Karayılmazlar, 2020; Kılıç ve Birinci, 2025). Bununla birlikte, bu tür politikaların başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi, vergi mevzuatında "robot" kavramının net bir şekilde tanımlanabilmesine ve teknolojik yenilikleri kısıtlamayacak bir yasal çerçevenin oluşturulmasına bağlıdır (Karakaş, 2025). Ayrıca, teknolojik gelişimin rekabet üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri, robot vergisini bazı çevrelerce "kötü düşünce" olarak nitelendirilen ve yoğun lobi faaliyetlerine konu olan tartışmalı bir politika haline getirmektedir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda, teknolojik ilerlemeyi sekteye uğratmadan gelir adaletsizliğini gidermeyi amaçlayan uluslararası düzeyde ortak vergilendirme standartlarının geliştirilmesi, söz konusu mali politikaların etkinliği açısından hayati bir önem taşımaktadır (Avcı, 2025). Bununla birlikte, kamu gelirlerinin belirli bir harcama kalemine doğrudan bağlanmasını

kısıtlayan tahsis edilmeme ilkesi, robot vergisi gelirlerinin sosyal güvenlik veya evrensel temel gelir gibi alanlarda kullanımını idari açıdan karmaşıklaştırmaktadır (Kılıç ve Birinci, 2025).

4. ROBOT VERGİSİNİN HUKUKİ VE ETİK BOYUTLARI

Robotların vergilendirilmesi, yalnızca teknik bir mali düzenleme olmayıp, otomasyon araçlarına "yasal kişilik" tanımlanması gibi derinlikli hukuki statü tartışmalarını da beraberinde getirmektedir (Ela, 2019). Zira robotlara tanınması öngörülen bu hukuki statü, söz konusu teknolojilerin sağladığı ekonomik getirilerin vergilendirilmesi sürecinde, otonom faaliyetlerin bir gelir kaynağı olarak tanımlanmasına zemin hazırlayan normatif bir temel teşkil etmektedir (Ela, 2019). Bununla birlikte, robotların vergi sistemindeki hukuki statülerinin henüz netlik kazanmamış olması, bu tür bir verginin uygulanabilirliğini ve kapsamını sınırlayan en temel idari zorluklardan biri olarak öne çıkmaktadır (Kılıç ve Birinci, 2025). Bu belirsizlik ortamında, robotların teknik ve fonksiyonel özelliklerine dayalı standart bir sınıflandırmanın oluşturulması, vergi tabanının netleştirilmesi ve hukuki ihtilafların önlenmesi açısından hayati bir adım teşkil etmektedir (Ela, 2019; Kılıç ve Birinci, 2025). Bu sınıflandırma, otomasyon kullanan şirketlerin kurumlar vergisi oranlarının yeniden yapılandırılmasından robot faaliyetlerine yönelik dolaylı vergi modellerinin geliştirilmesine kadar uzanan geniş bir mali yelpazede, vergi adaletinin tesisi için gerekli operasyonel altyapıyı sunmaktadır (Karakaş, 2025). Nitekim, ülkeler arası ortak bir robot tanımının ve yasal çerçevenin bulunmaması, robotik şirketlerin vergi yükümlülüklerinden kaçınmak amacıyla daha esnek mevzuata sahip yargı bölgelerine yönelerek uluslararası vergi rekabeti ve uyum sorunlarına yol açabileceği ciddi bir risk teşkil etmektedir (Gedik, 2020).

4.1. Etik Sorunlar ve Toplumsal Kabul

Otomasyonun üretim süreçlerinde emeğin yerini alması insan merkezde çalışma kültürünün zayıflatacağı yönündeki kaygıları arttırmakta bu durum robot vergisinin etik temellerinin teknolojik hakkaniyet kavramı çerçevesinde şekillenmesine yol açmaktadır bu yaklaşım yalnızca mali kayıpların telafisini değil aynı zamanda otomasyon kaynaklı verimlilik artışının toplumsal refaha adil biçimde yansıtılmasını hedefleyen yeni bir sosyal sözleşme arayışını ifade etmektedir (Kurt ve Bozoklu, 2019). Bununla birlikte söz konusu vergi Uygulamalarının inovasyonu kısıtlamadan toplumsal fayda üretilmesi için vergilendirme mekanizmalarının etik ilkeler doğrultusunda ve açık tanımlara dayalı olarak yapılır yapılandırılması gerekmektedir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu çerçevede vergilendirme yalnızca mali bir araç olarak değil dijital dönüşümün ortaya çıkardığı sosyo ekonomik fırsatları yöneten stratejik bir kamu politikası unsuru olarak değerlendirilmelidir nitekim bu yaklaşım uygulamaya yönelik dirençlerin azaltılmasında ve politika etkinliğinin artırılmasında belirleyici bir rol oynamaktadır (Kabayel ve Doğan, 2022). Dolayısıyla robot vergisi yalnızca bir bütçe kalemi olarak değil teknolojik dönüşümün doğurduğu sosyal ekonomik dalgalanmaları dengeleyen ve taraflar arasındaki çıkar çatışmalarını minimize eden düzenleyici bir maliye politikası aracı olarak kurgulanmalıdır.

5. TÜRKİYE AÇISINDAN ROBOT VERGİSİ DEĞERLENDİRMESİ

Türkiye'de dijital dönüşümün hızlanması ve robot yatırımlarının artması teknolojik işsizlik risklerini azaltmaya yönelik proaktif bir vergi politikasının geliştirilmesine gerekli kılmaktadır (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda sermaye hareketliliği dikkate alınarak uluslararası normlarla uyumlu bir vergi çerçevesi oluşturulmalı otomasyondan elde edilen katma değerin toplumsal refaha dönüştürülmesini önceleyen bir mali yapı tesis edilmelidir(Gedik, 2020). Bununla birlikte söz konusu düzenlemelerin teknolojik inovasyonu sekteye uğratması ve ekonomik esnekliği korunması büyük önem taşımaktadır bu nedenle vergi politikalarının uluslararası rekabet koşulları çerçevesinde ve sermaye hareketliliğini gözeterek tasarlanması gerekmektedir Ayrıca uygulanacak vergi mekanizmalarının teknolojik gelişimi baskılaması adına robot kavramının hukuki düzlemde açık ve net biçimde tanımlanması ve vergi oranlarının ekonomik büyümeyi destekleyecek dengeli seviyelerde belirlenmesi önem arz etmektedir (Karakaş, 2025). Bu doğrultuda sermayenin vergi avantajı sağlayan ülkelere yönelmesini engellemek ve çifte vergilendirme

riskini azaltmak amacıyla OECD ve Birleşmiş Milletler nezdinde küresel ölçekte koordineli bir vergi rejiminin oluşturulması stratejik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır(Turan, 2020). Bununla birlikte vergi politikalarının ulusal egemenlik alanı içinde şekillendiği dikkate alındığında Türkiye'nin kendi dijitalleşme hedefleri ve rekabetçi piyasa yapısıyla uyumlu özgün bir mali çerçeve geliştirmesi de büyük önem taşımaktadır (Kabayel ve Doğan, 2022). Türkiye'de robotlaşma düzeyinin dünya ortalamasının altında seyretmesi rekabet gücünün korunması açısından otomasyonu teşvik eden esnek ve dinamik vergi yaklaşımlarının benimsenmesini gerekli kılmaktadır bu durum uzun vadeli ekonomik büyüme hedefleriyle uyumla stratejik bir zorunluluk olarak değerlendirilmek nedir (ELA, 2019), (Karakaş, 2025). Kısa vadede ise teknolojik adaptasyonu yavaşla atabilecek ağır vergi yüklerinden kaçınılması önem arz etmektedir

5.1. Türkiye'deki Yapay Zekave Robot Teknolojileri Gelişimi

Türkiye'de otomasyon ve yapay zeka teknolojilerinin sanayi sektörüne entegrasyonu henüz sınırlı olmakla birlikte verimlilik odaklı dijital dönüşüm çalışmaları giderek ivme kazanmaktadır bu teknolojik dönüşümün 2030 yılına kadar iş gücü piyasasının yaklaşık% 30 etkileyeceği öngörülmekte bu nedenle gelir adaletinin ve sosyal refahın korunması amacıyla mali sistemin orta vadede yeniden yapılandırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda robotlaşma oranlarının görece düşük olduğu mevcut ekonomik konjonktürde kısa vadeli vergilendirme politikalarından ziyade teknolojik adaptasyonu teşvik eden ve uzun vadeli mali sürdürülebilirliği önceleyen stratejik bir yaklaşım benimsenmelidir (Ela, 2019; YILDIZ ve Dördüncü, 2019). Bu çerçevede robotlara elektronik kişilik statüsü tanınarak kurumsal vergisi sistemine dahil edilmesi sermaye lehine oluşan mevcut maliye dengesizliklerin giderilmesine katkı sağlayabilecek bir hukuki zemin sunmaktadır (Turan, 2020). Öte yandan robotlar tarafından üretilen katma değerin vergilendirilmesi geleneksel emek gelirlerine dayalı vergi yapısının yerini tek başına dolduramayan olabilir özellikle kdv gibi dolaylı vergilerde yaşanabilecek olası azaların kamu gelirleri üzerinde baskı oluşturabileceği dikkate alınmalıdır (ELA, 2019). Bu nedenle ulusal vergi politikalarının yanı sıra OECD çerçevesinde geliştirilen uluslararası vergilendirme standartlarının benimsenmesi çok uluslu firmalar arasındaki rekabetin düzenlenmesi ve vergi uyumunun sağlanması açısından rasyonel bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Özdemir, 2023). Sonuç olarak teknolojik işsizlik riskinin henüz tam anlamıyla ortaya çıkmamış olmasına rağmen ilerleyen süreçte otomasyon düzeyinin artmasıyla birlikte sosyal maliyetlerin de yükselmesi beklenmektedir bu nedenle şimdiden kademeli ve uyumlu bir mali politika stratejisinin geliştirilmesi önem taşımaktadır (Kabayel ve Doğan, 2022; Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bununla birlikte yalnızca mali düzenlemelere odaklanmak yeterli olmayıp özellikle robotik ve yazılım gibi alanlarda nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesine yönelik eğitim politikalarının güçlendirilmesi işgücü piyasasının teknolojik dönüşüme karşı direncini arttıracaktır (Yıldız ve Dördüncü, 2019).

5.2. Türkiye'nin Mevcut Vergi Sistemi ve Robot Vergisine Uyumu

Mevcut vergi mevzuatı büyük ölçüde insan emeğinin vergilendirilmesine dayalı bir kurguya sahip olduğundan, robotik sistemlerin üretim sürecine dahil edilmesiyle bielikte vergi tabanı erozyonuna karşı hazırlıksız bir tablo oluşturmaktadır (Turan, 2020). Bu durum, özellikle dolaylı vergilere odaklanan mevcut mali sistemin, sermaye yoğun üretim modellerine geçiş sürecinde yaşanabilecek vergi tabanı daralmasına karşı daha kapsayıcı ve teknoloji odaklı yeniliklere ihtiyaç olmaktadır (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bu kapsamda, Dijital Hizmet Vergisi gibi güncel mali araçların ve küresel ölçekte tartışılan minimum kurumlar vergisi mekanizmalarının, dijital dönüşümün vergi matrahı üzerindeki olası aşındırıcı etkilerini dengelemek için birer geçiş aracı olarak kullanılması gündeme alınmıştır (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu süreçte, robotik teknolojilerin üretim faktörü olarak emekle ikamesi sonucunda ortaya çıkan vergi kaybını dengeleyebilmek için, üretim girdilerinden ziyade otomasyonun yarattığı verimlilik artışının veya "otomasyon rantının" vergilendirilmesi tartışmaları, mali sosyoloji perspektifinden yeni bir toplumsal sözleşme arayışına işaret etmektedir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda, robotların gerçek ve tüzel kişilerden ayrı bir "elektronik kişi" sıfatıyla vergi mükellefi olarak tanımlanması, otomasyon rantının vergilendirilmesinde karşılaşılan hukuki boşlukların doldurulması adına temel bir adım teşkil edebilir (Turan, 2020). Bu düzenleme,

sadece emek üzerindeki vergi yükünü hafifletmekle kalmayıp, aynı zamanda yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesi ve toplumsal uyumun sağlanması için gerekli olan AR-GE faaliyetlerinin finansmanını hedefleyen stratejik bir kaynak oluşturmalıdır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020). Elde edilen bu mali kaynak, teknolojik işsizlikten etkilenen iş gücünün yetkinlik kazanmasını sağlayacak "hayat boyu öğrenme" programlarının finansmanına tahsis edilerek, sosyal güvenlik sisteminin modernizasyonunda kaldıraç görevini almalıdır (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Bu tarz, bir finansal model, firmaların otomasyonu vergi yükünü minimize etmek amacıyla bir istihdam kaçınma aracı olarak görmesinin önüne geçerek (Kabayel ve Doğan, 2022), teknolojik ilerlemenin toplumsal refahla uyumlu bir düzlemde seyretmesini sağlayacak bir denge unsuru haline gelmektedir. Bu yaklaşımla, otomasyondan elde edilen vergi gelirlerinin yeniden dağıtım politikalarıyla eklemlenmesi, dijitalleşmenin neden olduğu gelir eşitsizliklerini hafifleterek toplumsal refahın sürdürülebilirliğini güvence altına alacak bir sosyal koruma mekanizması tesis etmektedir (Erdoğan Keysan ve Yakar Önal, 2019). Bu tür bir dönüşüm, yalnızca ulusal düzeyde reformları değil, aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerin küresel vergi adaleti mücadelesinde aktif bir rol almasını ve çok uluslu şirketlerin vergi tabanı aşındırma stratejilerine karşı uluslararası iş birliğini zorunlu kılmaktadır (Erdoğan Keysan ve Yakar Önal, 2019). Bu çerçevede , robot vergisinden elde edilecek gelirlerin dijitalleşme süreciyle erozyona uğrayan sosyal güvenlik sistemlerinin finansmanına yönlendirilmesi, mali sosyoloji perspektifinden yeni bir toplumsal sözleşmenin inşasını oluşturmaktadır (Schratzenstaller, 2018). Bu aşamada, otomasyonun oluşturduğu iş gücü kaybını dengelebilmek için evrensel temel gelir veya negatif gelir vergisi gibi yenilikçi gelir destek modellerinin hayata geçirilmesi, teknolojik dönüşümün yarattığı sosyal riskleri yönetmek için kritik bir rol üstlenmektedir (Aşkun, 2024).

5.3. Muhtemel Uygulama Senaryoları ve Beklentiler

Türkiye açısından değerlendirdiğimizde, robot vergisinin sermaye yatırımlarını kısıtlamayacak bir yöntemle, harcama üzerinden alınacak dolaylı bir vergi olarak yapılandırılması, vergi tabanını genişletmek için en işlevsel seçenek olduğunu gözlemlemekteyiz.(Akar, 2018). Örneklendirecek olur isek, robotların satın alım süreçlerinde uygulanan katma değer vergisi oranlarının güncellenmesi veya kurumlar vergisi matrahı üzerinden yapılacak düzenlemeler, emek üzerindeki vergi yükünde bir azalma sağlarken aynı zamanda otomasyondan kaynaklı gelir erozyonunu minimize edecek alternatif mali araçlar olarak öne çıkmaktadır (Ela, 2019). Bu mali yaklaşımların dışında, mevcut vergi mekanizmalarından elde edilecek kaynakların iş gücünün yeniden eğitimi ve dijital dönüşüme uyumunu destekleyen sosyal refah projelerine devredilmesi, teknolojik işsizlik riskinin minimize edilebilmesi için kritik bir rol almaktadır. (Doğru ve Meçik, 2018; Kabayel ve Doğan, 2022). Bu kapsamda izlenecek vergilendirme politikalarının, sadece bir gelir kaynağı oluşturmayıp aynı zamanda yapay zeka ekosistemini destekleyen özgün bir AR-GE fonuna dönüştürülmesi, sosyal devletin teknolojik dönüşüm evresindeki yol gösterici rolü kritik bir önem taşıyacaktır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020). Fakat bu mali modelin hayata geçirilmesi, robotların yasal statüsünün bir "elektronik kişi" mi yoksa vergilendirilebilir bir "maddi varlık" mı olduğu konusundaki temel tartışmaların çözümlenmesini gerektirmektedir (Seyman ve Erdoğdu, 2019). Literatürde sıklıkla belirtildiği üzere, robotlara "elektronik kişilik" atfedilmesi tartışmaları bir yana, vergi otoriteleri için asıl aciliyet arz eden konu, robot kullanımı neticesinde ortaya çıkan teknolojik işsizlik ve buna bağlı vergi tabanı erozyonuyla nasıl başa çıkılacağıdır (Gedik, 2020). Bu çerçevede, otomasyona geçiş sürecinde artan kazançların vergi sisteminden dışında kalmasını engellemek adına, firmalara yönelik ek kurumlar vergisi düzenlemeleri veya robotik teknolojilerin satın alım aşamasında uygulanacak mali disiplin tedbirleri, vergi tabanının korunması için önemli bir zorunluluktur (Gedik, 2020), (Kılıç ve Birinci, 2025). Aslında, dijitalleşen vergi idarelerinin sunduğu gelişmiş denetim kapasitesi, otomasyon süreçlerinin yarattığı olası kayıpları önleyici bir yaklaşımla izleyerek sistemsel uyumu güçlendirebilir (Ataer, 2025; Turan, 2020). Tam da bu kısımda, yalnızca iş gücü ikamesi üzerinden değil, aynı zamanda dijital platformların ortaya çıkardığı "gözetim kapitalizmi" modelleri ile elde edilen yoğunlaştırılmış kârların da vergi matrahına dahil edilmesi, vergi adaletinin gerçekleşmesi için zorunlu bir tamamlayıcı öğe olarak belirginleşmiştir (Merola,

2022). Sonuç olarak, vergi politikalarının bu yeni dijital değer zincirine uyarlanması, sadece matrahın genişletilmesini değil, aynı zamanda mevzuatın teknolojik gelişmelere karşı esnekliğini koruyan dinamik bir düzenlemeyi zorunlu kılmaktadır (Merola, 2022).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de robot vergisinin uygulanabilirliği, teknolojik ilerlemenin oluşturduğu verimlilik artışları ile işgücünün yeni beceriler kazanması için gerekli olan kamu harcamaları arasındaki mali dengeyi kurma stratejisi üzerine kurgulanmalıdır (Ataer, 2025; Gedik, 2020). Bu süreçte, robot teknolojilerinin kullanımı sırasında uygulanacak düşük oranlı bir katma değer vergisinde yükseliş söz konusu olup, teknolojik inovasyonu sekteye uğratmadan kamu gelirlerinin sürekliliğini sağlamak için işlevsel bir mekanizma sunabilir (Akar, 2018), (Yıldız ve Dördüncü, 2019). Ayrıca, bu vergilendirme politikalarının uluslararası vergi rekabetini göz önüne alarak otomasyon-tarafsız bir mali sistem çerçevesinde oluşturulması, yerel sermayenin dijital dönüşüm sürecinde rekabetçi kalmasını sağlayacaktır. (Gedik, 2020). Elde edilecek kamu gelirlerinin, otomasyon kaynaklı işsizlik riskini bertaraf etmek amacıyla nitelikli iş gücü dönüşümüne ve sosyal güvenlik mekanizmalarına yönlendirilmesi, mali sürdürülebilirliğin ötesinde toplumsal refahın korunması gerekir. (Çırak ve Karayılmazlar, 2020; Kılıç ve Birinci, 2025). Geleceğe dönük bu politika çerçevesi, teknolojik ilerlemeyi sekteye uğratmayacak şekilde robotların net tanımlarının yapılması ve kapsamlı hukuki düzenlemelerin oluşturulması üzerine inşa edilmelidir (Turan, 2020). Ancak, robot vergisinin yalnızca ulusal düzeyde kalması vergi rekabeti açısından riskler barındırabileceğinden, bu düzenlemelerin küresel ölçekte eşgüdümlü bir yaklaşımla ele alınması başarı şansını çoğaltacaktır. Robotların vergilendirilmesi, sermaye ve emeğin dijital çağdaki yeni dengesini oluşturarak, kamu maliyesinin toplumsal meşruiyetini teknolojik dönüşüm sürecinde yeniden tanımlama imkânı sağlamaktadır (Çırak ve Karayılmazlar, 2020; Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda geliştirilecek politika çerçevesi, vergi matrahındaki azalışı önlemenin dışında, teknolojik kazançların toplumsal refaha adil bir şekilde dağıtılmasını sağlayacak bir "dijital dayanışma" mekanizması olarak konumlandırılmalıdır (Kabayel ve Doğan, 2022). Söz konusu dijital dayanışma çerçevesi, robot yatırımlarının sağladığı verimlilik artışlarını sermaye sahipleriyle paylaşılabilir bir mali disiplin altında tutarak, otomasyon ekonomisinin hızlı yükselişini dengeli bir şekilde düzenleyecek proaktif vergi politikaları elzemdir (Kabayel ve Doğan, 2022). Böylelikle, teknolojik gelişmelerin doğası gereği ortaya çıkan öngörülemez mali etkileri yönetebilmek adına, vergilendirme yanıtlarının etkinliği periyodik olarak izlenmeli ve güncellenmelidir (Kabayel ve Doğan, 2022). Bu bağlamda, dijitalleşmenin kamu maliyesi üzerindeki dönüştürücü etkisi, sadece teknik bir vergilendirme meselesi olmaktan çıkarılıp, sermaye ve emeğin yeni bir toplumsal sözleşme zemininde yeniden tanımlanması sürecine evrilmelidir. Bu yeni toplumsal sözleşme, yalnızca vergi matrahlarını korumayı değil, aynı zamanda yapay zekânın neden olduğu yapısal dönüşümler karşısında esnek ve bütüncül bir düzenleyici strateji benimsemeyi zorunlu kılmaktadır; nitekim bazı durumlarda teknolojik meydan okumalar, salt vergi politikalarından ziyade çok daha geniş kapsamlı yasal tedbirlerle etkin bir şekilde yönetilebilir (Bastani ve Waldenström, 2024). Bu bağlamda, otomasyon kaynaklı gelir eşitsizliklerini önlemek adına evrensel temel gelir veya negatif gelir vergisi gibi sosyal transfer mekanizmalarının entegrasyonu, vergi reformlarının tamamlayıcı bir unsuru olarak önem arz etmektedir. (Aşkun, 2024)

KAYNAKÇA

Akar, S. (2018). Kamu Maliyesi Ve Kamu Yönetiminde Güncel Tartışmalar. *Econstor'da (Econstor)* . Https://Doi.Org/10.5281/Zenodo.1291876

Aşkun, V. (2024). Yapay ZekaVe Otomasyon Çağında Eşitlik Ve Refah: Daron Acemoğlu'nun Görüşlerine Dayalı Bir İnceleme. *Dergipark (İstanbul Üniversitesi)* . Https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Bozoksbd/İssue/88274/1490558

Ataer, My (2025). Yapay Zeka Ve Türkiye'de Kamu Maliyesinin Değişen Rolü. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* , *34* , 341. Https://Doi.Org/10.35379/Cusosbil.1696963

Avcı, O. (2025). Yapay Zekayı Vergilendirmenin Zorlukları. *Özgür Yayınları* Ekitaplarında . Https://Doi.Org/10.58830/Ozgur.Pub1095.C4367

Barfield, W., Barfield, W., Barfield, W., Wullenkord, R., Barfield, W., Durante, M., Thomasen, K., Mamak, K., Ződi, Z., Hill, Ad, Casanovas, P., Chesterman, S., Inatani, T., Ryznar, M., Sandoval, Eb, Lindblom, Ds, Urquhart, L., Hildt, E., Lintvedt, N., ve Moon, Aj. (2024). İnsan-Robot Etkileşimi İçin Hukuk, Politika Ve Düzenleme Cambridge El Kitabı. *Cambridge University Press E-Kitaplarında* . Cambridge University Press. Https://Doi.Org/10.1017/9781009386708

Bastani, S., ve Waldenström, D. (2024). Yapay Zeka, Otomasyon Ve Vergilendirme. *Ssrn Elektronik Dergisi* . Https://Doi.Org/10.2139/Ssrn.4811796

Çırak, An, ve Karayılmazlar, E. (2020). *Endüstri 4.0'ın Yoksulluk Üzerine Etkilerinin Kamu Maliyesi Perspektifinden Değerlendirilmesi* .

Didinmez, İ. (2021). Yoksulluk İle Mücadelede Vergi Politikalarının Rolü. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* , *10* (2), 292. Https://Doi.Org/10.53306/Klujfeas.976450

Doğru, B., ve Meçik, O. (2018). Türkiye'de Sanayi 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Tahminleri. *Dergipark (İstanbul Üniversitesi)* . Https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Sduiibfd/İssue/53210/714760

El., Od (Tarihsiz). Robot Vergilendirmesi, İşgücü Piyasası Koruması İçin Bir Araç Olarak: Nijerya Örneğiyle Gelişmekte Olan Ekonomiler İçin Beklentilerin Hukuki Analizi. *Cyberlenink (Cyberleninka)* . Şubat 2026'da Şu Adresten Erişildi: Https://Cyberleninka.Ru/Article/N/Robot-Taxation-As-A-Tool-For-Labor-Market-Protection-Legal-Analysis-Of-The-Prospects-For-Developing-Economies-By-The-Example-Of

Ela, M. (2019). Teknolojik İşsizlik Problemine Mali Çözüm: Robot Vergisi Ve Türkiye'deki Potansiyeli. *Muhasebe Ve Vergi Uygulamaları Dergisi* , *12* (3), 885. Https://Doi.Org/10.29067/Muvu.519936

Erdoğan Keysan, P. Ve Yakar Önal, A. (2019). *Yapay Zekanın İşgücü, İstihdam Ve Gelir Dağılımına Etkileri* .

Gedik, G. (2018). Yeni Vergi Sorunu: Robotların Vergilendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi - Avesıs* . Https://Avesis.Uludag.Edu.Tr/Publication/Details/9e5771ff-0980-43c7-Aa77-0f6c0b4984e0/Oai

Gedik, G. (2020). Robotlara Karşı Gerçek Kişilerin Korunması Gerekliliği Ve Robot Vergisi Önerisi. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi* , *26* (1), 24. Https://Doi.Org/10.33433/Maruhad.714826

Hacıbebekoğlu, Hc, ve Ünveren, B. (2025). Otomasyon, Siyasi Rekabet Ve Robot Vergilendirmesi: Ekonomik Bir Analiz. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* , *24* (53), 448. Https://Doi.Org/10.46928/İticusbe.1673690

Kabayel, M. Ve Doğan, A. (2022). Dijital Bilgisayarın Vergilendirme Üzerine Etkisi Ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. *İzmir Kâtip Çelebi* Üniversitesi'nde . Https://Hdl.Handle.Net/11469/2976

Karakaş, İ. E. (2025). Robot Vergisinin Değerlendirilmesi: Güney Kore Örneği. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* , *27* (1), 161. Https://Doi.Org/10.26745/Ahbvuibfd.1594808

Kılıç, B. Ve Birinci, N. (2025). Robot Vergisi: Uygulama Yöntemleri Ve Elde Edilen Gelirlerin Kullanım Alanlarına İlişkin Bir Değerlendirme. *Uluslararası İktisadi Ve İdari İncelemeler Dergisi* , *49* , 349. Https://Doi.Org/10.18092/Ulikidince.1722962

Kurt, D. Ve Bozoklu, Ü. (2019). Robot Ekonomisinin Yükselişi. *Dergipark (İstanbul Üniversitesi)* , *2019* (1), 25. Https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Sbm/Article/543540

Listokin, S. (2025). Dijital Ekonomiyi Vergilendirmenin Yeni Gerekçeleri: Oecd Birinci Sütun İstişarelerinden Dersler. *Siyaset Biliminde Sınırlar* , *7.* Https://Doi.Org/10.3389/Fpos.2025.1561283

Mann, Rf (2020). Ben Robot: Sen Vergi Mi? Otomasyonun Vergi Politikası Etkilerini Değerlendirmek. *Mcgill Hukuk Dergisi* , *64* (4), 763. Https://Doi.Org/10.7202/1074155ar

Merola, R. (2022). Otomasyon Ve Yapay Zeka Çağında Kapsayıcı Büyüme: Vergilendirme Nasıl Yardımcı Olabilir? *Yapay Zeka Alanındaki Sınırlar* , *5* , 867832. Https://Doi.Org/10.3389/Frai.2022.867832

Özdemir, A. (2023). Finans Sektörünü Yapay ZekaİIe Birlikte Okumak: Yenilikler, Fırsatlar Ve Engeller. *Özgür Yayınları* Ekitaplarında . Https://Doi.Org/10.58830/Ozgur.Pub298.C1468

Schratzenstaller, M. (2018). Gelişmiş Sektörde Dijitalleştirme Auswirkungen - Bir Önceki Überblick'te. *Wirtschaftsdienst* , *98* (11), 799. Https://Doi.Org/10.1007/S10273-018-2369-5

Seyman, Ma Ve Erdoğdu, Mm (2019). *Üretimde Otomasyon Ve Robot Kullanımının Artmasının İstihdam Ve Vergi Gelirleri Üzerindeki Etkisi* .

Turan, D. (2020a). Yapay ZekaVe Vergi Uygulamalarına Etkisi. *Dergipark (İstanbul Üniversitesi)* , *2* (1), 55. Https://Dergipark.Org.Tr/En/Pub/Anadoluakademi/Article/701185

Turan, D. (2020b). Ekonomik Ve Mali Boyutlarıyla Robot Vergisi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* , *20* (1), 57. Https://Doi.Org/10.18037/Ausbd.700331

Türkdoğan, N. Ve Taş, Hy (2022). Dördüncü Sanayi Devriminin Emek Piyasalarına Etkileri: Fırsatlar Ve Zorluklar. *Dergipark (İstanbul Üniversitesi)* . Https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Yalovasosbil/İssue/72655/1173247

Vogel, Mg Ve Mann, M. (1980). Şaşırtıcı Gerçeklerin Büyük Kitabı. *Tıbbi Entomoloji Ve Zooloji* İçinde . Japon Tıbbi Entomoloji Ve Zooloji Derneği. Http://Ci.Nii.Ac.Jp/Ncid/Ba79435215

Yıldız, Y., ve Dördüncü, Ö. (2019). *Robot Vergisi: Yeni Nesil Bir Maliye Politikası Aracısı* .

Çağ Üniversitesi ev sahipliğinde

XI. Uluslararası Akademik Çalışmalar Kongresi

YAPAY ZEKÂ ÇAĞININ PSİKOLOJİSİ

İnsan, Toplum, Teknoloji ve Kurumsal Yapılar

TAM METİN BİLDİRİ KİTABI

28-30 Nisan 2026
Kongre Yeri: Tarsus, Mersin, Türkiye

Editör: **Doç. Dr. Nida Palabıyık**

9 786258 647785 >

İncesu Mahallesi Mahmut Esat Bozkurt Caddesi Lale Apt. No:32/11 - Çankaya-Ankara/TÜRKİYE
Web: https://www.normyayincilik.com/
E-mail: normyayincilik@gmail.com

ISBN: 978-625-8647-69-3