



II. INTERNATIONAL TOROS

SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

19-20 MAY 2026
Mersin -Türkiye

EDITOR:
PROF.DR.SEDAT CERECİ

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

DATE and PLACE

19-20 MAY 2026 Mersin -Türkiye

ORGANIZATION

ISARC Academy, Türkiye

CONGRESS HONORARY PRESIDENT

PROF. DR. SEDAT CERECİ
Hatay Mustafa Kemal University

PARTICIPATION

Keynote & Invited

PARTICIPANTS COUNTRY

Türkiye, Albania, Algeria, Azerbaijan, Bangladesh, Brazil, Ethiopia, Georgia, India, Indonesia, Lahore, Morocco, Nigeria, Pakistan, Serbia, USA, Vietnam

CONGRESS COORDINATOR

Umida MAVLYANOVA
ISARC Academy, Türkiye

NUMBER of ACCEPTED PAPERS-68 (Türkiye- 30, Other Countries- 38)

NUMBER of REJECTED PAPERS-12

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process

ORGANIZING COMMITTEE:

Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE

Prof. Dr. Cenk YAVUZ

Prof. Dr. Mahire HÜSEYNOVA

Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV

Prof. Dr. Hilmi YÜCEL

Prof. Dr. Kübra KARAMAN

Prof. Dr. Mehmet DEMİR

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN

Prof. Dr. Sancar BULUT

Prof. Dr. Serpil ÜNVER SARAYDIN

Prof. Dr. Tolga ULUSOY

Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR

Assoc. Prof. Dr. Başak Gül AKAR

Assoc. Prof. Dr. Caner YERLİ

Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ

Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ

Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL

Assoc. Prof. Dr. Filiz RANDA ZELYÜT

Assoc. Prof. Dr. Gamze Ebru ÇİFTÇİ

Assoc. Prof. Dr. Gönül HASANOVA

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Murat IŞIK

Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN

Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ

Assoc. Prof. Dr. Melih OKCU

Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK

Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER DANACI

Assoc. Prof. Dr. Sahure YARIŞ

Assoc. Prof. Dr. Seda BENLİ

Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK

Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI

Assoc. Prof. Dr. Zayıf TEHMEZOV

Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN

Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU

Dr. Abdullah ATILGAN

Dr. Canan TERCAN

Dr. Elvan CAFEROV

Dr. Fatma AZİZOĞLU

Dr. Gönül GÖKÇAY

Dr. Hakkı ŞİMŞEK

Dr. Hayri YILDIRIM

Dr. Laleş USLU AZARAK

Dr. Mine KIRKYOL

Dr. Sevil ÖZCAN

Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU

Dr. Şengül ŞENTÜRK

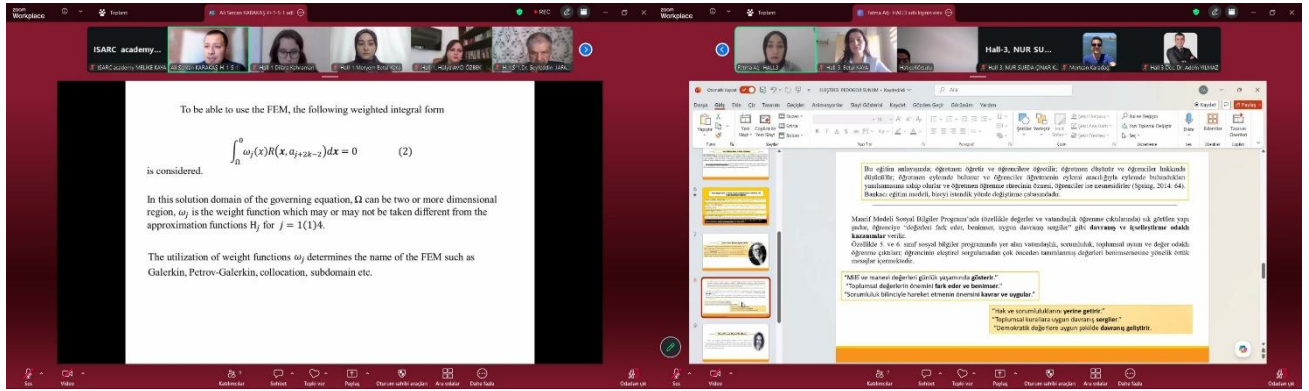
Dr. Rana BAYTİN ALACI

SCIENTIFIC AND ADVISORY BOARD:

Prof. Dr. Adil AKINCI Bilecik Şeyh Edebali University	Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN Sivas Cumhuriyet University	Assoc. Prof. Dr. Fariz AHMADOV Azerbaycan Devlet İktisat University	Dr. Amira TANDİROVİC GURSEL Adana Alparslan Türkeş University of Science and Technology
Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE Atatürk University	Prof. Dr. Morakeng Edward Kenneth LEBAKA University Of Zululand	Assoc. Prof. Dr. Faruk KALAY Yüzüncü Yıl University	Dr. Andaç Kutay SAKA Ordu University
Prof. .Dr. Aparna SRIVASTA Noida International University	Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU Cumhuriyet University	Assoc. Prof. Dr. Gönül SAMEDOVA Azerbaycan Devlet Pedagoji University	Dr. Aqil MEMMEDOV Azerbaycan Devlet İktisat University
Prof. Dr. Ahmet Niyazi ÖZKER Bandırma Onyedi Eylül University	Prof. Dr. Manole COJOCARU Titu Maiorescu University	Assoc. Prof. Dr. Hasan TELLİ Mersin University	Dr. Babak SAFAEI Tsinghua University
Prof. Dr. Ali AKİL Saiyed Parul University	Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ Osmaniye Korkut Ata University	Assoc. Prof. Dr. İkrametdin DAŞDEMİR Atatürk University	Dr. Elşen MEMMEDLİ Azerbaycan Devlet İktisat University
Prof. Dr. Ali OKATAN İstanbul Aydın University	Prof. Dr. Mustafa METE Gaziantep University	Assoc. Prof. Dr. İsa YILDIRIM Atatürk University	Dr. Esra KEŞER Osmaniye Korkut Ata University
Prof. Dr. Anvar ABBASOV Azerbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti	Prof. Dr. Mustafa Onur ALADAĞ Selçuk University	Assoc. Prof. Dr. Kalsoom TARIQ Khyber Girls Medical Collage	Dr. Faisal SULTAN Hazara University
Prof. Dr. Anwar Ali Shah G. SYED University Of Sindh Jamshoro	Prof. Dr. Nurdan KALAYCI Gazi University	Assoc. Prof. Dr. Muzaffer DENİZ Van Yüzüncü Yıl Üni	Dr. Ghanshyam BARMAN Uka Tarsadia University
Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ Inonu University	Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN Sivas Cumhuriyet University	Assoc. Prof. Dr. Nacide KIZILDAĞ ÖZDAL – Çukurova University	Dr. Gülnar MİRZEYEVA Azerbaycan Devlet İktisat University
Prof. Dr. Arif BABANLI Süleyman Demirel University	Prof. Dr. Orhan ZEYBEK Balıkesir University	Assoc. Prof. Dr. Naseem AKHTER Shaheed Benazir Bhutto Women University	Dr. Gülşen MEHERREMOVA Azerbaycan Diller University
Prof. Dr. Cengiz SARIKÜRKÜ Afonkarahisar University	Prof. Dr. Sancar BULUT Kayseri University	Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK Dicle University	Dr. Hamdi DAĞISTANLI Ankara University
Prof. Dr. Cenk YAVUZ Sakarya University	Prof. Dr. Selahattin YAVUZ Erzincan Binali Yıldırım University	Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN Batman University	Dr. Hassan ZARIOUH Mohammed First University
Prof. Dr. Ekrem Yaşar AKÇAY Süleyman Demirel University	Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK Hitit University	Assoc. Prof. Dr. Özlem GÜNDOĞDU AYTAÇ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi	Dr. Iram Liaqat AWAN Government College University
Prof. Dr. Emrullah FATİŞ Kırşehir Ahi Evran University	Prof. Dr. Sevi ÖZ Ankara Hacı Bayram Veli University	Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA Uşak University	Dr. Irina-Ana DROBOT Technical University of Civil Engineering Bucharest, Romania
Prof. Dr. Faiz Muhammad SHAİKH Sindh Agriculture University Tando Jam	Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI Atatürk University	Assoc. Prof. Dr. Reyhan DADAŞOVA	Dr. İslam DEVİREN MEB
Prof. Dr. Gülçin YAHYA KAÇAR Ankara Hacı Bayram Veli University	Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SİDIR Bitlis Eren University		Dr. Joanna HERNİK West Pomeranian University of Technology
Prof. Dr. Hasan Hüseyin DOĞAN Selçuk University	Prof. Dr. Zharkynbike SULEIMENOVA		
Prof. Dr. Hazim Abd Mohammed ALJEWAREE Alkitab University			
Prof. Dr. Halil BOLU Dicle University			
Prof. Dr. Haluk ÖZPARLAK Selçuk University			
Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK Gaziantep University			
Prof. Dr. Gülsen ASMAN Gazi University			

Prof. Dr. Ivan PAVLOVIĆ Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia	Kazakh National Women's Pedagogical University	Azerbaycan Bakü Biznes University	Dr. Murat KAYA Kayseri University
Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV Azerbaycan Devlet Pedagoji University	Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK Fırat University	Assoc. Prof. Dr. Rozina KHATTAK Shaheed Benazir Bhutto Women University	Dr. Mine KIRKYOL Artvin Çoruh University
Prof. Dr. İshak KESKİN İstanbul University	Assoc. Prof. Dr. Abdulkerim DİLER Atatürk University	Assoc. Prof. Dr. Oqtay QULİYEV Azerbaycan Devlet İktisat University	Dr. Müslüm ÖZTÜRK Kilis 7 Aralık University
Prof. Dr. Jain SADHNA University Of Delhi	Assoc. Prof. Abdurahman KARAMAN Uşak University	Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN Batman University	Dr. Nurhoca AKBULAYEV Azerbaycan Devlet İktisat University
Prof. Dr. Kübra KARAMAN Yozgat Bozok University	Assoc. Prof. Dr. Armel MBON Marien Ngouabi University	Assoc. Prof. Dr. Ömer Faruk RENÇBER Gaziantep University	Dr. Rana BAYTİN ALACI VAN YY University
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN Siirt University	Assoc. Prof. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ Nuh Naci Yazgan University	Assoc. Prof. Dr. Sahure YARIŞ Dicle University	Dr. Rida ZULFİQAR University of Szeged
Prof. Dr. Mehmet Şahin Gaziantep University	Assoc. Prof. Dr. Azimbaeva GULBAYRA Kazakh National Women's Pedagogical University	Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir MEMON Shah Abdul Latif University	Dr. Taha Yasin ÖLMEZTOPRAK Adıyaman University
	Assoc. Prof. Dr. Betül GÜZELDİR Atatürk University	Assoc. Prof. Dr. Sevcen YILDIZ Akdeniz University	Dr. Tatia DOLİDZE European University
	Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ Karabük University	Assoc. Prof. Dr. Syed Ali Raza NAQVI Government College University Faisalabad	Dr. Yaşar SUBAŞI Van Yüzüncü Yıl University
	Assoc. Prof. Dr. Ebubekir DİRİCAN Bilecik Şeyh Edebalı University	Assoc. Prof. Dr. Tamer TURGUT Atatürk University	Dr. Yeşim BEDİR Atatürk University
	Assoc. Prof. Dr. Eda ÖZ ÇELİKBAŞ Karabük University	Assoc. Prof. Dr. Victoria POSTOLACHE Alecu Russo Balti State University	Dr. Aygün MEHERREMOVA Bakü Devlet University
	Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ Atatürk University	Assoc. Prof. Dr. Yılmaz KÜÇÜK Gazi University	Dr. Ali ARSHAD University Utara
	Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL İğdır University	Assoc. Prof. Dr. Yılmaz SEÇİM Necmettin Erbakan University	Dr. Bhavtosh AWASTHI Jecrc University India
		Assoc. Prof. Dr. Zamiğ TEHMEZOV Azerbaycan Devlet Pedagoji University	Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI University of Tizi Ouzou
		Dr. Ajay B. GADİCHA Sant Gadge Baba Amravati University	Dr. Moses Adeolu AGOI Lagos State University of Education
			Dr. Muhammad IMRAN Government College University

PHOTO GALLERY



ISARC academy...

Eylem Tütüncü YÜ...

Hali-6, Esra İNAN

GİRİŞ VE EPIDEMIOLOJİ

En Yaygın Neden: Kas-iskelet sistemi kaynaklı iş göremezliğin birincil nedenidir.

Prevalans: Yetişkinlerin %75-85'i yapımı boyunca en az bir kez karşılaştığı.

Nükle Oranı: Vakaların %80'inde ağrı tekrarlamaya eğilimi gösterir.



Lumbar spine

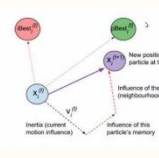
Cauda equina
Dura mater
Intervertebral disc
Lumbar vertebrae

Resmi: Journal of Back Musculoskeletal Rehabilitation, 2015; 28: 100-107

ÖZET

Yapay zeka modellerinde rastgele parametre ataması ve özellik uzayındaki yüksek boyutluluk, kayıp fonksiyonunun minimize edilmesini güçlendirmektedir.

- Ionosphere Veri Seti: Güçlü Bay radar istasyonundan alınan 34 tane veri kümesi.
- Metast: Meta-izoleli Parçacık Sıfır Optimizasyonu (PSO) ve K-En Yakın Komşu (KNN) hibrit minimal.
- Sonuç: Boyut indirgeme ile doğruluk oranı %85,75'ten %89,74 seviyesine yükselmiştir.



İnfluence of the swarm (neighborhood or global)

Position of the particle at t+1

Influence of this particle's memory

Velocity (current motion influence)

ISARC academy...

İsmail Hakkı Toprak Çeltikçi



GİRİŞ

Ölkelerin kültürel, doğal ve tarihi değerlerinin tanıtımında halkla ilişkilerin etkisi oldukça fazladır. Turizm faaliyetleri Demir'in (2013) de belirttiği gibi değişen görüş farklılıkları, farklı etnik yapı, dini inanç, alışkanlık ve geleneklere sahip bireylerle iletişim etmesi sebebiyle öncelikle gerekli araştırmalarla hedef kitlenin özelliklerinin belirlenmesi, bu özellikler çerçevesinde hedef kitleye yönelik doğru tanıtım ve halkla ilişkiler stratejilerinin geliştirilmesi için kuruluşların halkla ilişkiler planlaması ve uygulamasına dikkat etmeleri gerekmektedir. Halkla ilişkiler uygulamasının turizm işletmelerinin paydaşlarıyla kuruluşu işletmesi yöneterek kurumsal imaj ve itibarı inşa etmekte stratejik bir öneme sahiptir.

Çalışma Grubu

- 2025-2026 eğitim-öğretim yılında yürütülmüştür.
- Kastamonu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Okul Öncesi Öğretmenliği Lisans Programı.
- 30 okul öncesi öğretmen adayı çalışmaya katılmıştır.
- Örneklem yöntemi: Amaçlı örneklem / ölçüt örneklem.
- Temel ölçüt: programa kayıtlı olmak ve konuya ilişkin görüş bildirebilecek alan bilgisine sahip olmak.

n = 30



ISARC academy...

mehdi çeltiç

ANTİFUNGAL AKTİVİTE ANALİZİ

- ✓ Hazırlanan bitkisel materyallerden 100'er gram tartılarak 1 L'lik Erlenmeyer balonlarına alınıp ve üzerlerini tamamen kaplayacak miktarda etanol ilave edilmiştir.
- ✓ Örnekler, orbital çalkalayıcıda 120 rpm hızında, oda sıcaklığında 48 saat boyunca ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Elde edilen karışımlar filtre kağıdından süzülüp ve çözücü (etanol), 32 °C'de döner buharlaştırıcı (evaporatör) yardımıyla uzaklaştırılarak ham katı ekstraktlar elde edilmiştir.
- ✓ Çalışmada kullanılan stok çözeltiler, kurutulmuş ekstraktların DMSO-saf su karışımında çözülmesiyle hazırlanmış ve farklı derişimlerde (kontrol (0), 1, 2, 3, 4 ve 5mg/ml) seyreltilmiştir.

ANTİFUNGAL ACTIVITY ANALYSIS

- ✓ 100 grams of the prepared plant materials were weighed and placed in 1-liter Erlenmeyer flask, and methanol was added in sufficient quantity to completely cover them.
- ✓ Samples were subjected to extraction in an orbital shaker at 120 rpm for 48 hours at room temperature. The resulting mixtures were filtered through filter paper, and the solvent (methanol) was removed using a rotary evaporator at 32 °C to obtain crude solid extracts.
- ✓ The stock solutions used in the study were prepared by mixing the extracts in DMSO-pure water and distributed at different concentrations (control (0), 1, 2, 3, 4 and 5 mg/mL).

Özmenler Evi

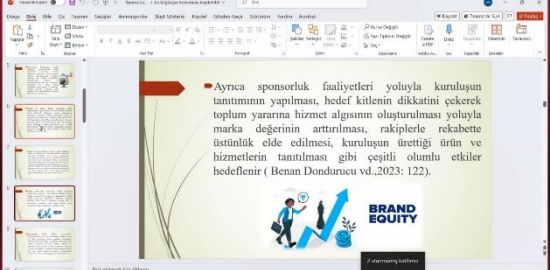
2. Uluslararası Toros Bilimsel Araştırmalar ve İnnovasyon Kongresi



Özmenler Evi'nin konumu (Google Earth) (2026)'ten düzenlenmiştir

ISARC academy...

M



Ayrıca sponsorluk faaliyetleri yoluyla kuruluşun tanıtımının yapılması, hedef kitlenin dikkatini çekerek topluluğa hizmet almasını oluşturmaları yoluyla marka değerinin artırılması, rakiplerle rekabette üstünlük elde edilmesi, kuruluşun ürettiği ürün ve hizmetlerin tanıtılması gibi çeşitli olumlu etkiler hedeflenir (Benan Dondurucu vd.,2023: 122).

BRAND EQUITY

7. eleştiriyen kuruluşları

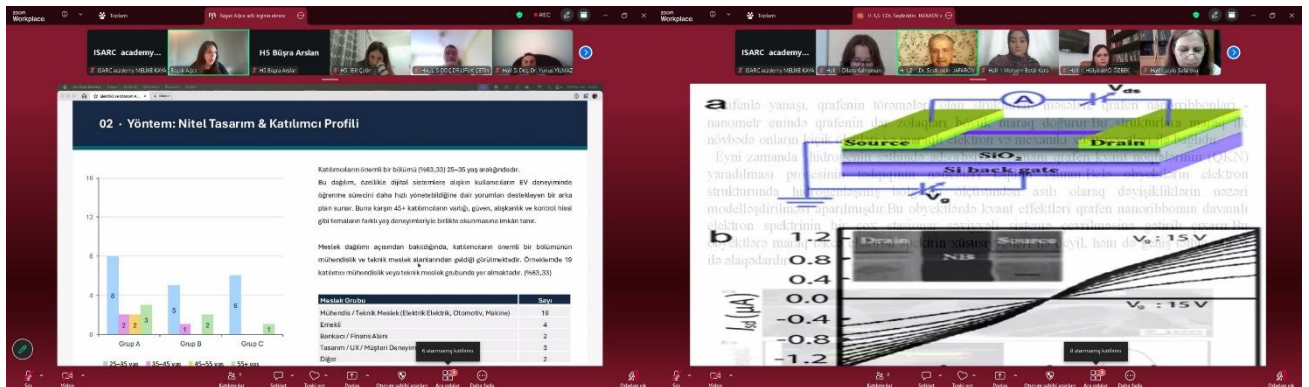
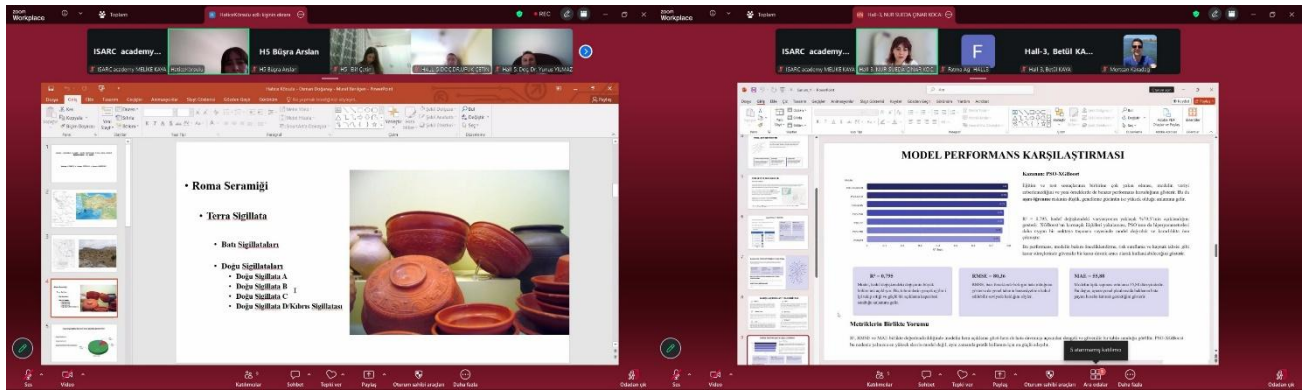
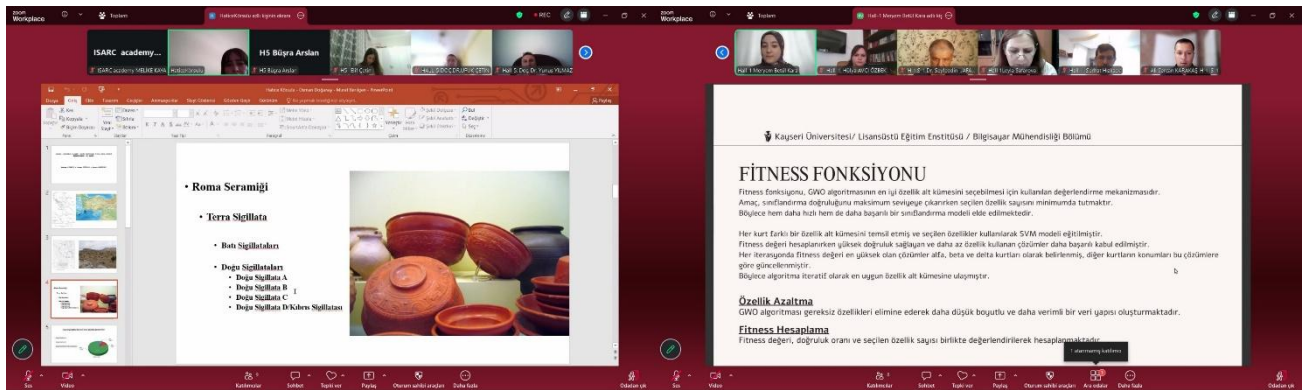
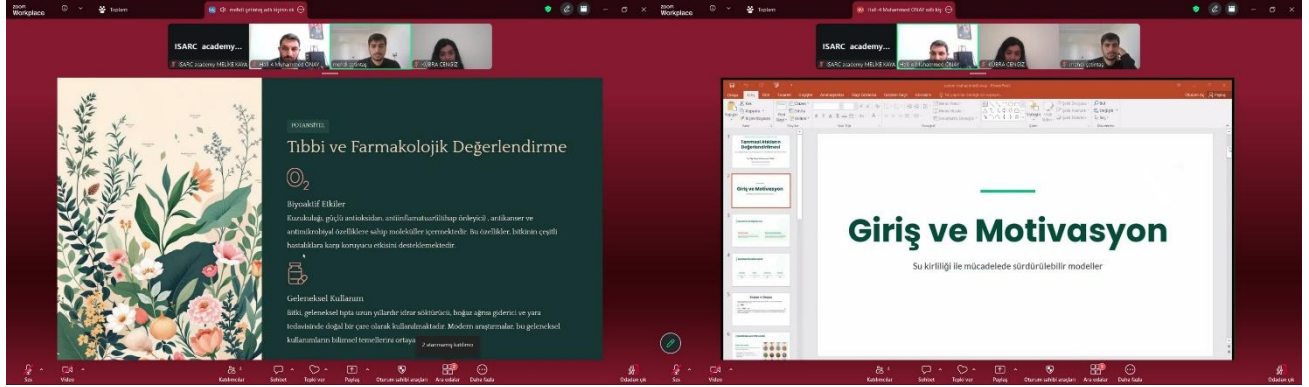
Çalışmanın Amacı ve Soruları

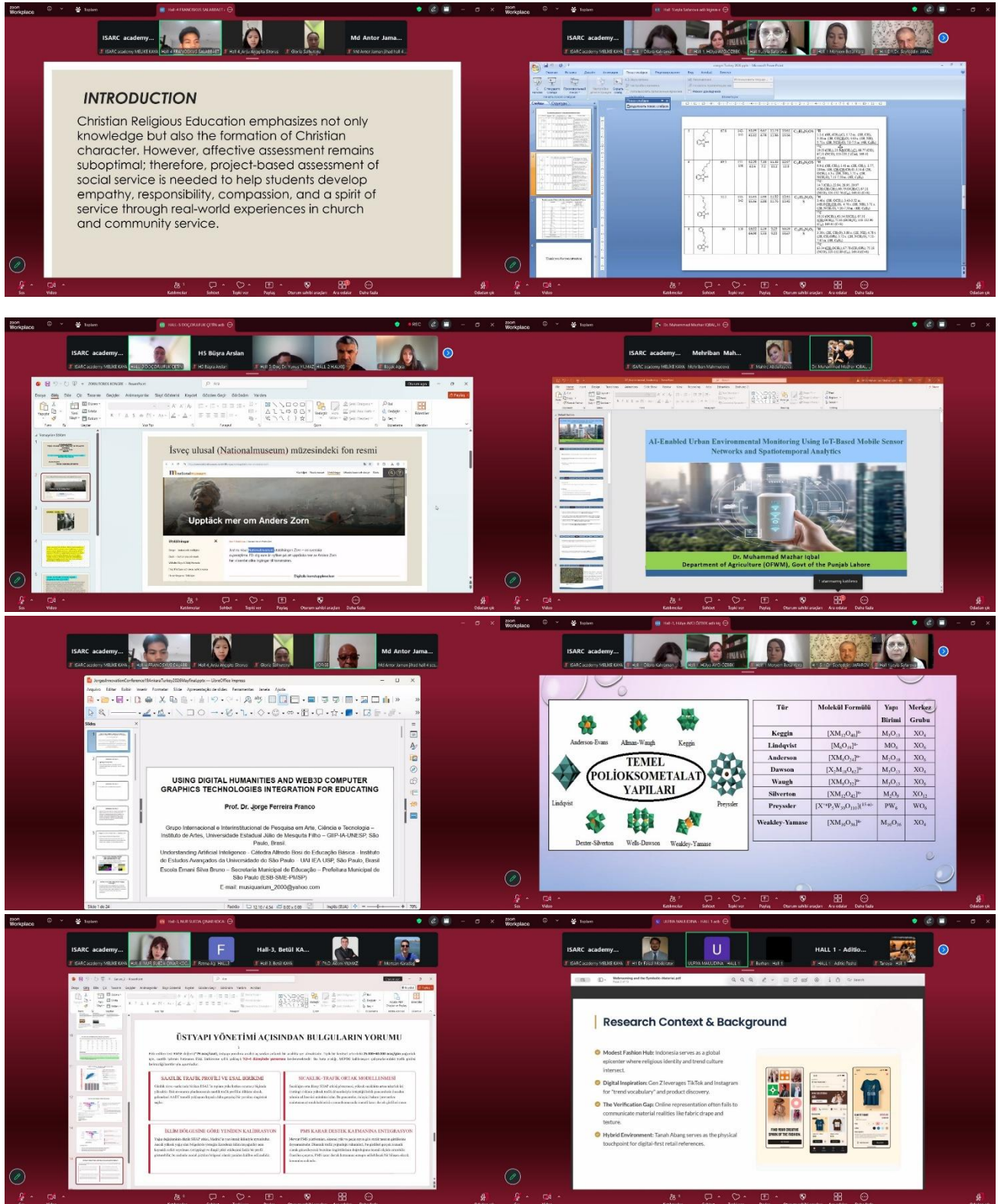
Temel Amaç

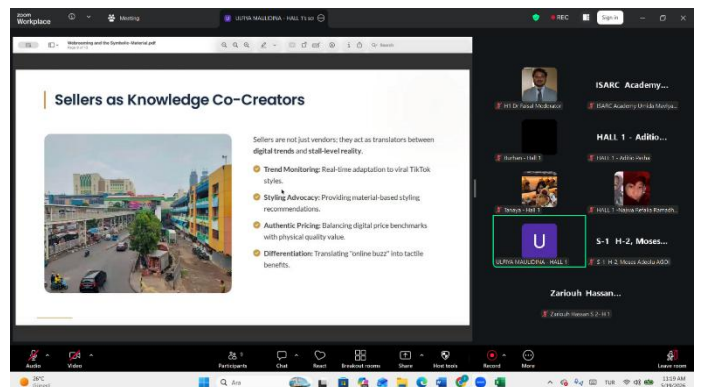
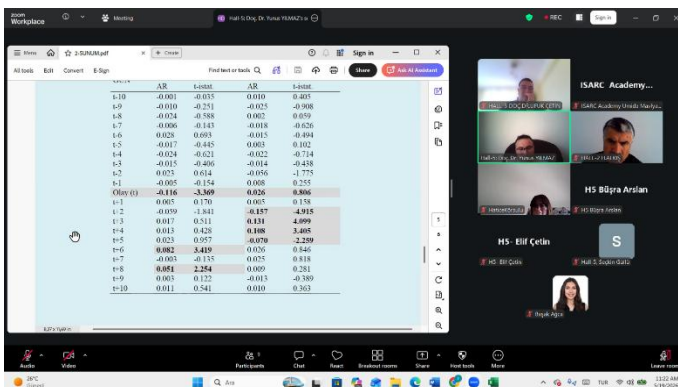
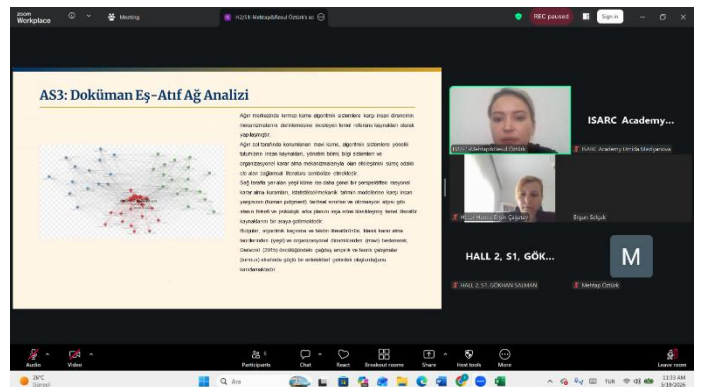
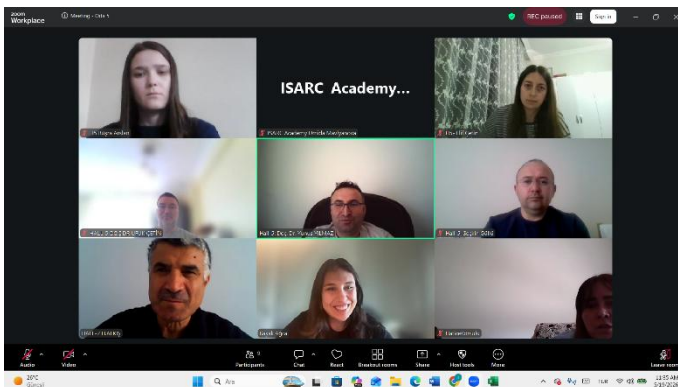
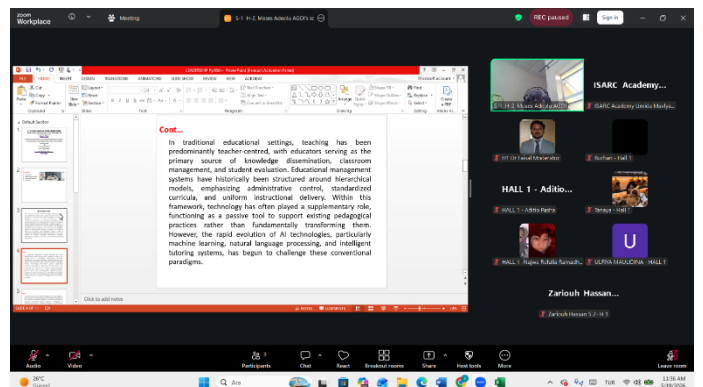
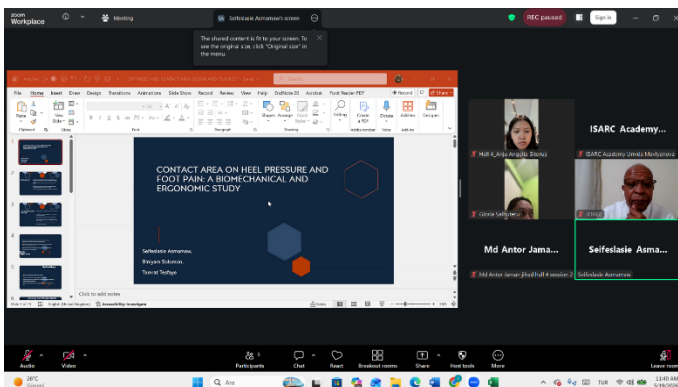
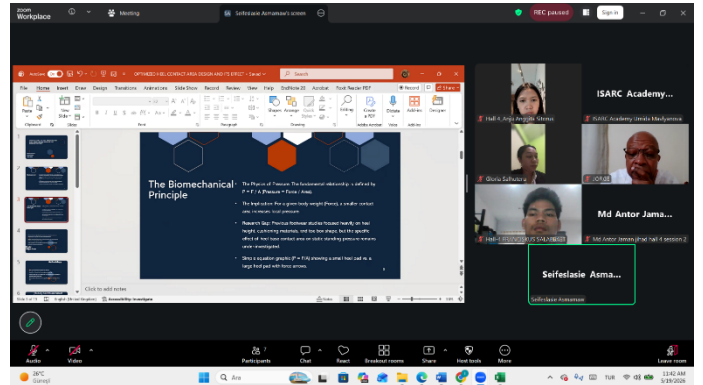
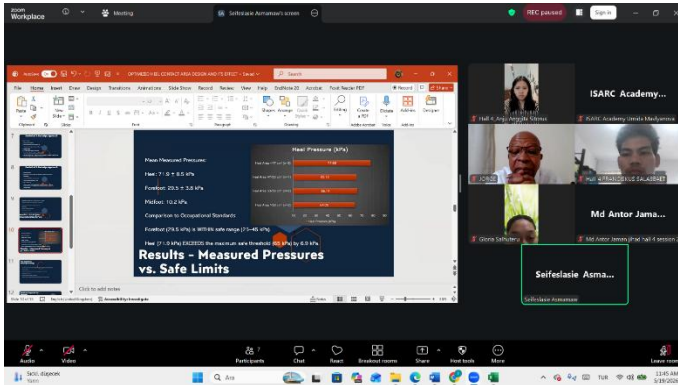
Anasızına devam eden çocukların ebeveynlerinin okul güvenliğine ilişkin algılarını belirlemek, beklenti ve ihtiyaçlarını derinlemesine ortaya koymak.

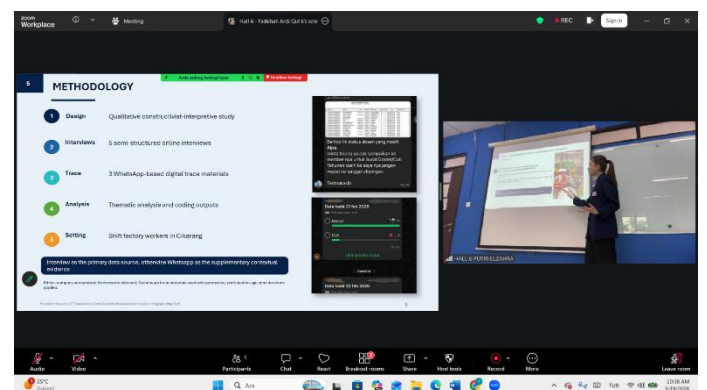
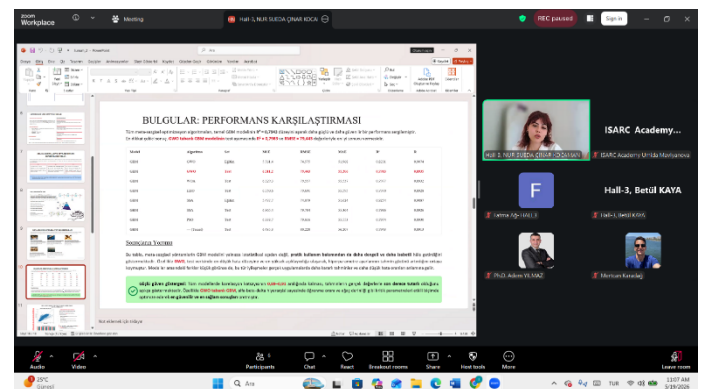
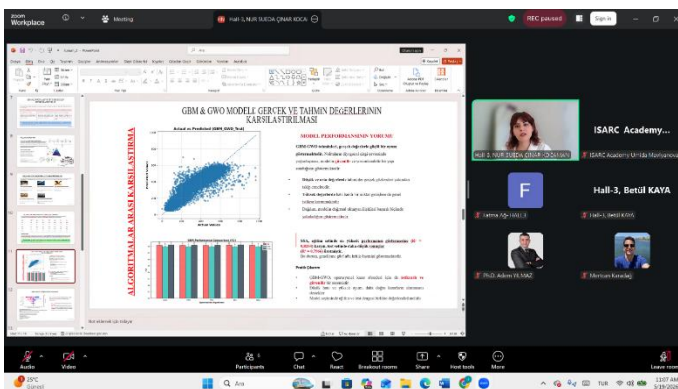
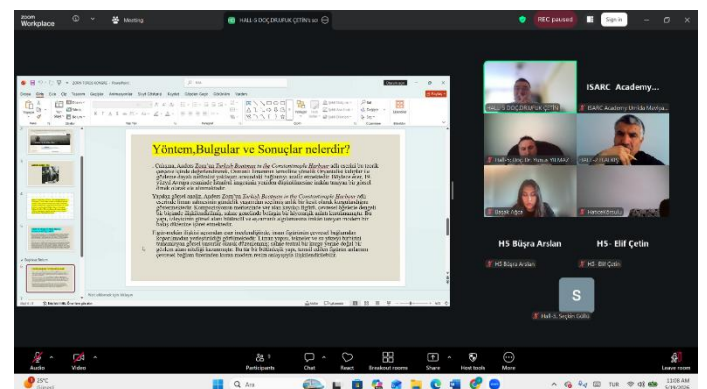
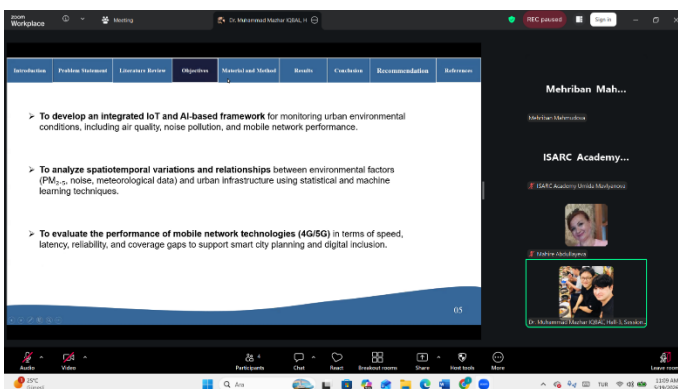
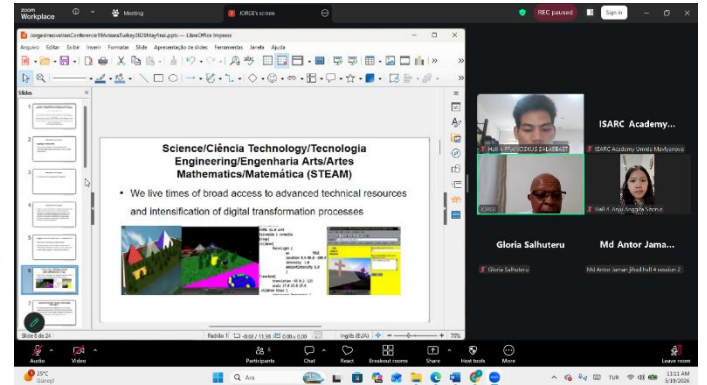
- Ebeveynlerin güvenli okul ortamına yönelik algı nasıldır?
- Fiziksel, sosyal ve duygusal beklentiler nelerdir?
- Güvenliğin sağlanması için hangi ihtiyaçlar ön çıkmaktadır?

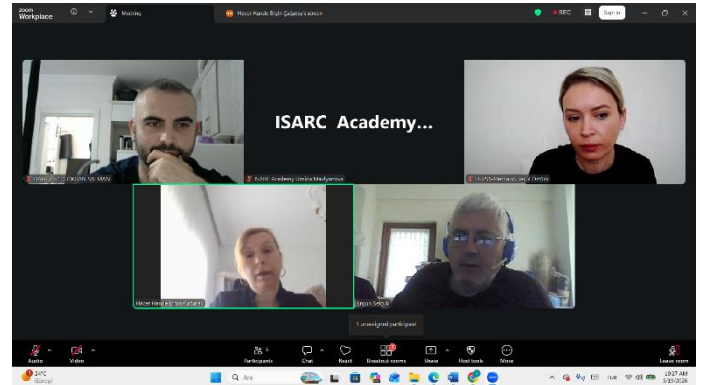
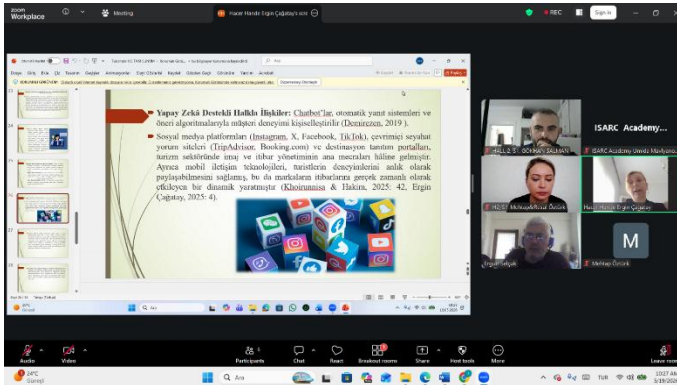
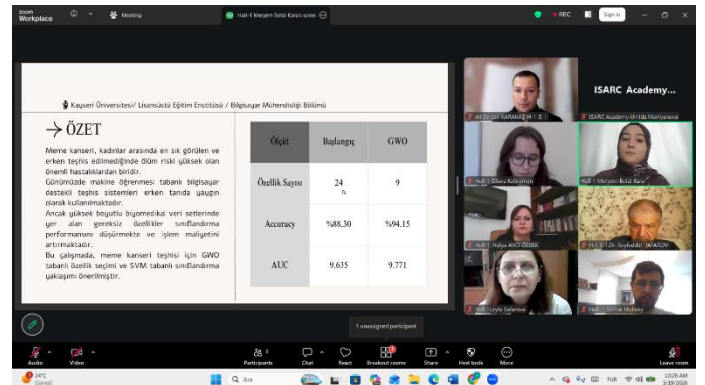
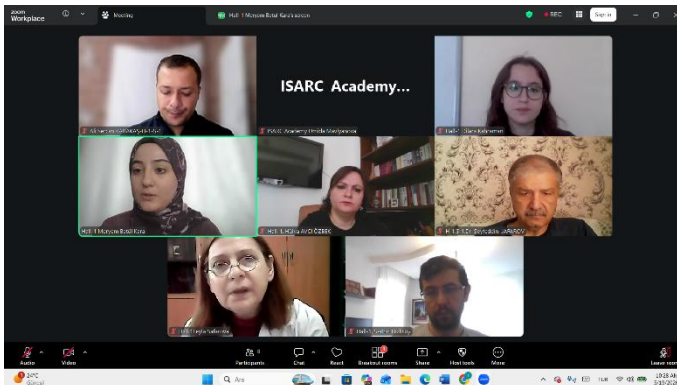
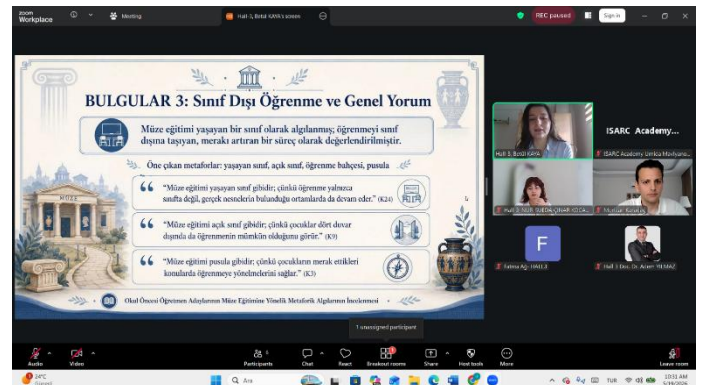
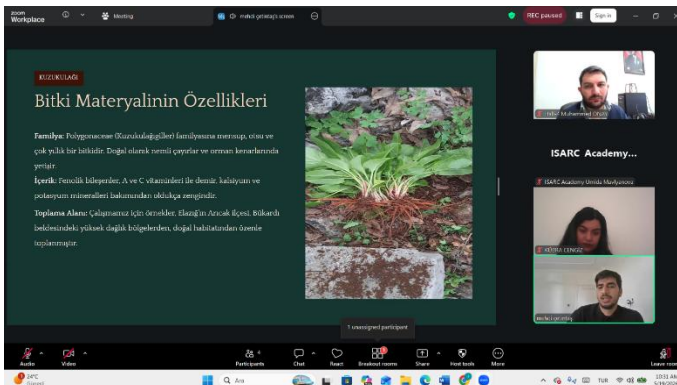
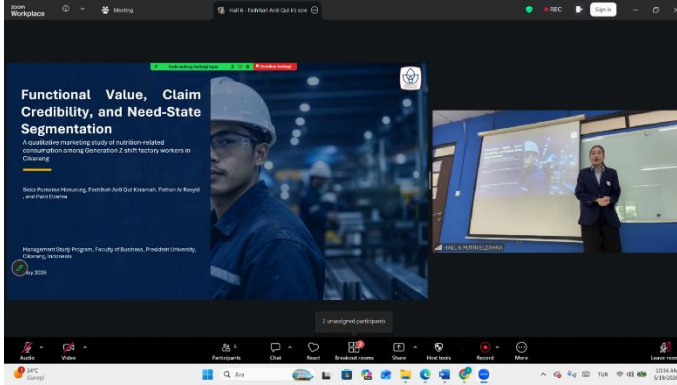
Literatür genelde ortaöğretime (Yılmaz, 2025) ve okul öncesi

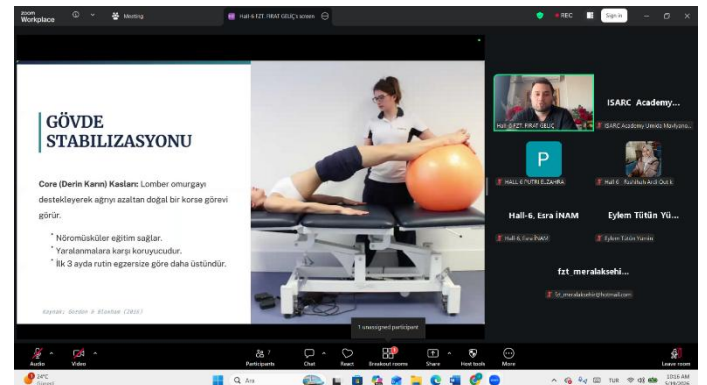
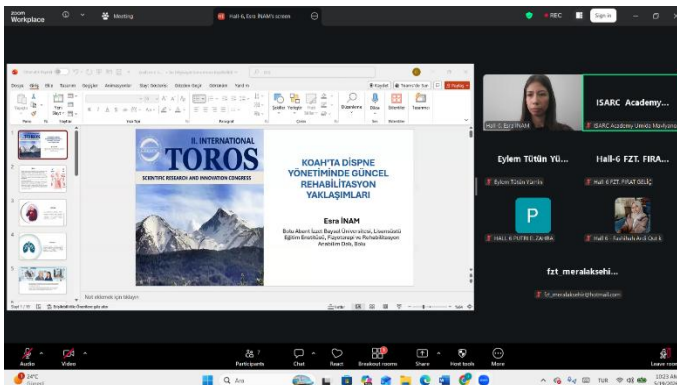
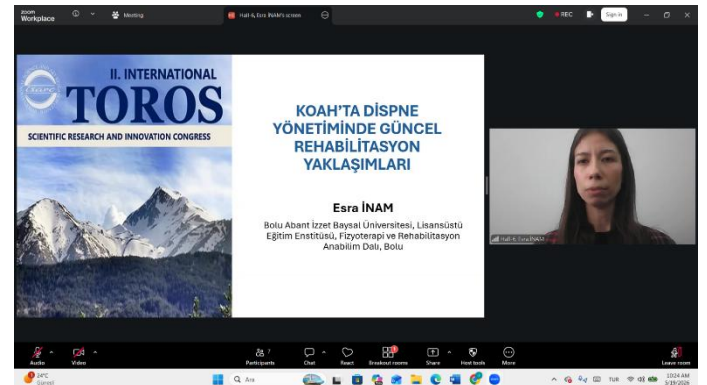
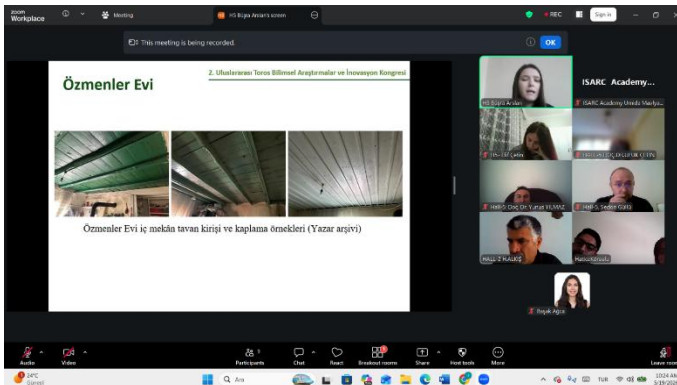
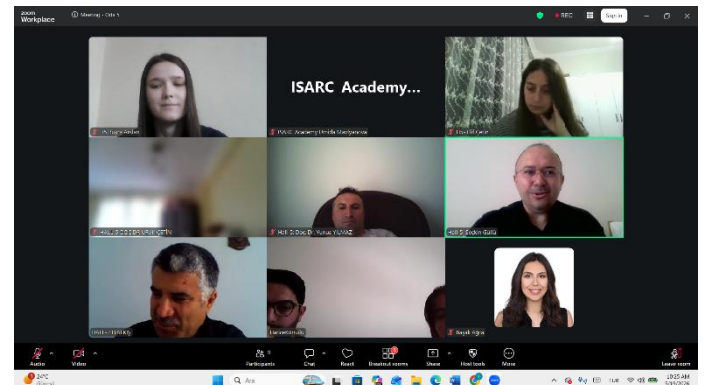
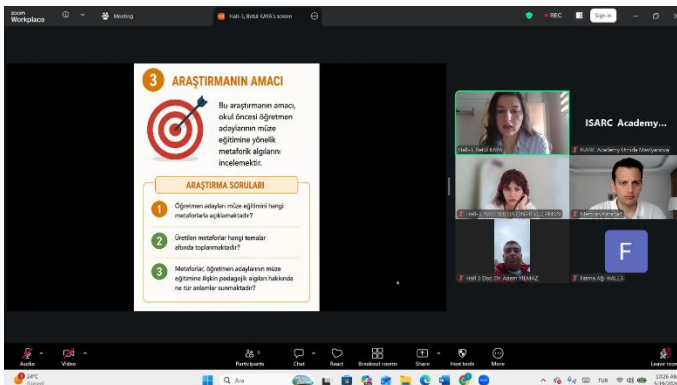
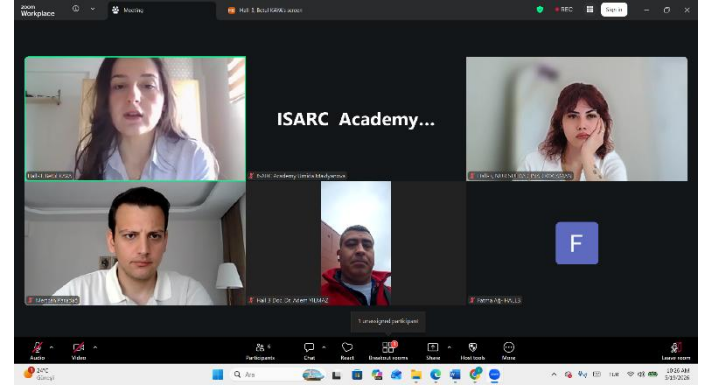








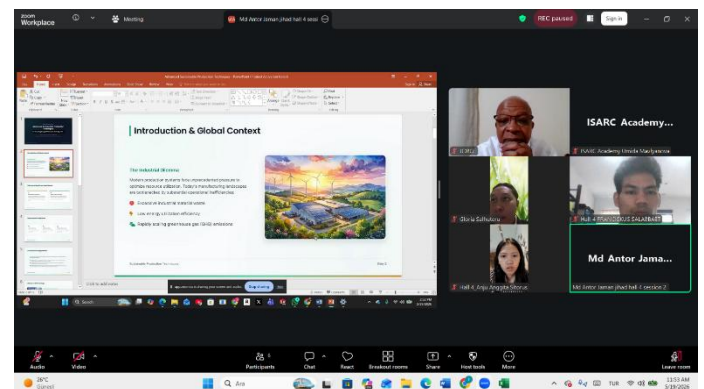
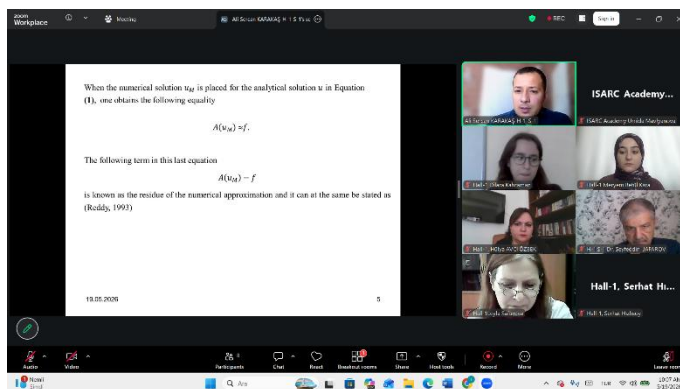
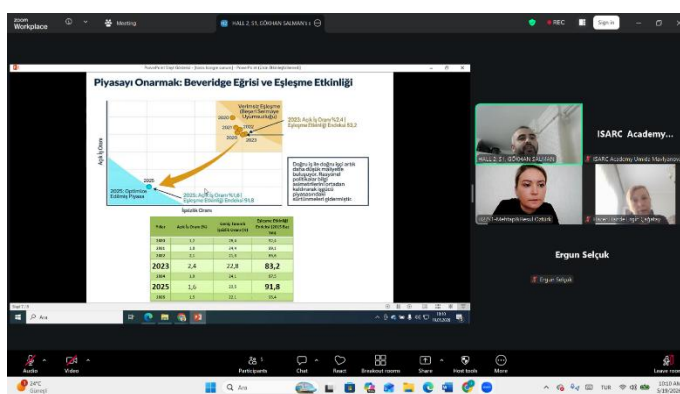
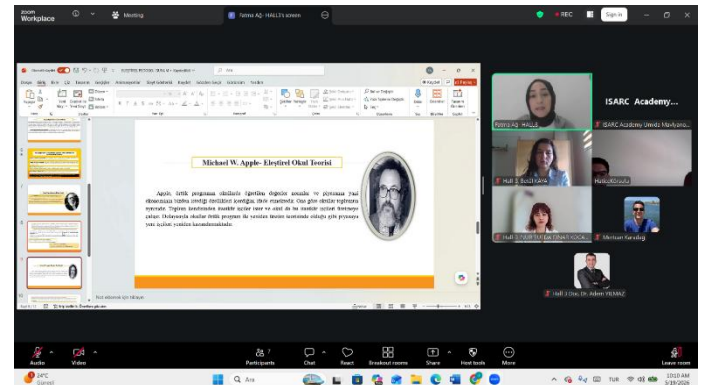




Tablo 2. *Quercus ithaburensis* in faklı kısımlarından edile metanol ekstresinin bitki patojeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*'nin miselyum gelişimi üzerine vızde etkisi. (The percentage effect of methanol extract obtained from different parts of *Quercus ithaburensis* on the mycelial growth of the plant pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*).

Dosis (mg/ml)	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>		
	Meyve	Gövde	Yaprak
10	0.00±0.00*	0.00±0.00*	0.00±0.00*
0.5	0.00±0.00	0.00±0.00	30.84±2.39*
1	24.20±1.42*	30.67±1.29*	37.51±0.04*
2	30.85±1.20*	47.32±0.82*	48.38±0.42*
4	54.08±0.09*	58.21±2.01*	56.18±1.53*
10	100.00±0.00*	100.00±0.00*	100.00±0.00*

Ayrı otularda per altı ve ayrı herfile gelişimin otulardaki arazında ARS034 analizine göre altıdaki her faklı kısımların (p = 0.05), Verifex, (ç. bulgusuna dernekle otulardaki standart hat (SE) ile gösterilecek) p = 35, Kontrol (1) Yazarı, Pozitif Kontrol, Kontrol (2) = Başlatı Kontrol (Nö) (YARCI)





Scientific Development and Innovative Approach

2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

Congress Program

Participant Countries: Türkiye, Albania, Algeria, Azerbaijan, Bangladesh, Brazil, Ethiopia, Georgia, India, Indonesia, Lahore, Morocco, Nigeria, Pakistan, Serbia, USA, Vietnam

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

To be able to make a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID instead of “Meeting ID or Personal Link Name” and solidify the session. The presentation will have **15 minutes** (including questions and answers). The Zoom application is free and no need to create an account. The Zoom application can be used without registration. The application works on tablets, phones and PCs. Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time. All congress participants can connect live and listen to all sessions. During the session, your camera should be turned on at least %70 of session period. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

Make sure your computer has a microphone and is working. You should be able to use screen sharing feature in Zoom. Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session. **Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN

Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır. Sunumlar için **15 dakika** (soru ve cevaplar dahil) süre ayrılmıştır. Online sunum yapabilmek için <https://zoom.us/join> sitesi üzerinden giriş yaparak “Meeting ID or Personal Link Name” yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz. Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur. Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir. Uygulama tablet, telefon ve PC’lerde çalışıyor. Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden **10 dk öncesinde** oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir. Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir. Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

TEKNİK BİLGİLER

Bilgisayarınızda mikrofona olduğuna ve çalıştığına emin olun. Zoom’da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz. Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir. Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır. **Zoom’a giriş yaparken önce lütfen adınızı, soyadınızı ve SALON numaranızı yazınız, Örnek: Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

MEETING ID: 865 0328 6699 / PASSCODE: 972316

<https://us06web.zoom.us/j/86503286699?pwd=w63gibauYi91u02dG9YuyM1ylHP0yq.1>



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**

May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-1, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10:00 – 12:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Hülya AVCI ÖZBEK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A NEW POWERFUL APPROACH TO A PROTOTYPE PROBLEM USING THE SEPTIC HERMITE-GALERKIN METHOD	Dr. Ali Sercan KARAKAŞ Prof. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU	Inonu University, Türkiye
AN INTELLIGENT PSO-KNN APPROACH FOR RADAR SIGNAL CLASSIFICATION	Dilara KAHRAMAN Assoc. Prof. Dr. Mehmet Akif Bülbül Assis. Prof. Dr. SERHAT HIZLISOY	Kayseri University, Türkiye
AN INTELLIGENT FEATURE SELECTION APPROACH FOR BREAST CANCER DIAGNOSIS: A GWO-SVM BASED HYBRID MODEL	Meryem Betül KARA Assoc. Prof. Dr. Mehmet Akif Bülbül Assis. Prof. Dr. Serhat HIZLISOY	Kayseri University, Türkiye
STUDI OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF GRAPHENE-BASED NANOSTRUCTURES	Dr. Seyfaddin JAFAROV	Nakhchivan State University, Azerbaijan
1-ALKOXYMETHYL DERIVATIVES 2-MERCAPTOBENZIMIDAZOLINE-2-THIONES	Akademisyen Vagif Farzaliyev PhD, dos. Malahat Abbasova PhD, dos. Rena Babayi Qaratel Guliyeva Leyla Safarova Rahima Mammadova	Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği Kimya Enstitüsü, Azerbaycan
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NEW POLYOXOMETALATE COMPOUNDS BASED ON [VW 5 O 19] 3-	Assoc. Prof. Dr. Hülya AVCI ÖZBEK	Manisa Celal Bayar University, Türkiye



2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-2, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10:00 – 12:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Mehtap ÖZTÜRK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
MACROECONOMIC POLICY CYCLES AND LABOR MARKET DYNAMICS IN THE TURKISH ECONOMY: A SECTORAL INVESTIGATION ON THE 2020-2026 PERIOD	Lect. Dr. Gökhan SALMAN	Ondokuz Mayıs University, Türkiye
PUBLIC RELATIONS CONTRIBUTION TO THE FORMATION OF CORPORATE REPUTATION IN TOURISM	Öğr. Gör. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY	Bitlis Eren Üniversitesi, Türkiye
SPONSORSHIP FROM A PUBLIC RELATIONS PERSPECTIVE	Öğr. Gör. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY	Bitlis Eren Üniversitesi, Türkiye
TOXIC LEADERSHIP	Emin Ergun SELÇUK	Tokat Gaziosmanpaşa University, Türkiye
HYBRID STRUCTURES	Emin Ergun SELÇUK	Tokat Gaziosmanpaşa University, Türkiye
ALGORITHM AVERSION AND ALGORITHM APPRECIATION IN MANAGEMENT RESEARCH	Assoc. Prof. Dr. Mehtap ÖZTÜRK	Selcuk University, Türkiye
TOURISM MARKETING AND DIGITAL EXPERIENCE	Assoc. Prof. Dr. Resul ÖZTÜRK	Selcuk University, Türkiye



*2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS*
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-3, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10:00 – 12:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Adem YILMAZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
SOCIAL STUDIES IN THE CONTEXT OF THE HIDDEN CURRICULUM: AN EXAMINATION FROM A CRITICAL PEDAGOGY PERSPECTIVE	Fatma AĞ	Gaziantep University, Türkiye
AN INVESTIGATION OF PRESCHOOL TEACHER CANDIDATES' METAPHORICAL PERCEPTIONS OF MUSEUM EDUCATION	Betül KAYA Assoc. Prof. Dr. Adem YILMAZ	Kastamonu University, Türkiye
AN INVESTIGATION OF PRESCHOOL TEACHER CANDIDATES' VIEWS ON THE IMPORTANCE OF MUSEUM EDUCATION IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION	Betül KAYA Assoc. Prof. Dr. Adem YILMAZ	Kastamonu University, Türkiye
SAFE EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN PRESCHOOLS: PARENTS' EXPECTATIONS AND NEEDS	Assist. Prof. Dr. İrem GÜRGÜH OĞUL Mertcan KARADAĞ	Izmir Democracy University, Türkiye
DATA-DRIVEN TRAFFIC LOAD PREDICTION FOR PAVEMENT MANAGEMENT: A PSO-BASED MACHINE LEARNING APPROACH	Nur Süeda ÇINAR KOCAMAN Assis. Prof. Dr. Özlem BATTAL ŞAL	Karabük Üniversitesi, Türkiye
META-HEURISTIC OPTIMIZED GBM FOR TRAFFIC INTENSITY PREDICTION IN PAVEMENT MANAGEMENT	Nur Süeda ÇINAR KOCAMAN Assis. Prof. Dr. Özlem BATTAL ŞAL	Karabük Üniversitesi, Türkiye



*2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS*
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-4, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10:00 – 12:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Muhammed ONAY

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
ANTIFUNGAL ACTIVITY OF EXTRACTS FROM PALAMUT OAK (<i>Quercus ithaburensis</i> Decne.) AGAINST <i>Verticillium dahliae</i> AND <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Lycopersici</i>	Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAYAR Doç. Dr. Melih YILAR Kübra CENGİZ	Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye
IN VITRO FUNGISTATIC EFFECT OF <i>SAMBUCUS NIGRA</i> L. ETHANOL EXTRACTS ON <i>VERTICILLIUM DAHLIAE</i> AND <i>ALTERNARIA SOLANI</i>	Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAYAR Doç. Dr. Melih YILAR Kübra CENGİZ	Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye
LC-MS/MS ANALYSIS OF PHYTOCHEMICALS IN <i>RUMEX ACETOSELLA</i> L. (SORREL) AND THE SIGNIFICANCE OF THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES	Assoc. Prof. Dr. Tuba TARHAN Zeynep ALTAN Mehdi ÇETİNTAŞ	Mardin Artuklu University, Türkiye
UTILIZATION OF AGRICULTURAL WASTE: SUSTAINABLE HEAVY METAL REMOVAL WITH PEANUT SHELL DERIVED ADSORBENTS	Assist. Prof. Dr. Muhammed ONAY	Malatya Turgut Özal University, Türkiye



2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-5, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10:00 – 12:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Doç. Dr. Hüseyin ALKIŞ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
SPATIAL CONFIGURATION AND CONSTRUCTION TECHNIQUES OF THE TAHSIN MOSQUE IN AHMETLER VILLAGE IN THE RURAL AREA OF OVACIK	Lecturer Dr. Elif ÇETİN Büşra ARSLAN	Karabuk University, Türkiye
SİPAHİLER VILLAGE BELEN NEIGHBORHOOD (KARABUK) TRADITIONAL HOUSES: THE CASE OF OZMENLER HOUSE	Büşra ARSLAN Lecturer Dr. Elif ÇETİN	Karabuk University, Türkiye
THE USEFULNESS OF MEHMET REŞAT AYSU'S MAHUR SAZ SEMAİ (NO. 3) IN OUD POSITION TRAINING	Seçkin GÜLLÜ Prof. Dr. Mehmet AKPINAR	Gazi University, Türkiye
IMPORTED ROMAN PERIOD CERAMICS FROM THE ANCIENT CITY OF ISAURA (ZENGİBAR CASTLE): A PRELIMINARY REPORT	Prof. Dr. Hatice KÖRSÜLU Prof. Dr. Osman DOĞANAY Murat BERİLGİN	Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye Aksaray University, Türkiye
A COMPARATIVE ANALYSIS OF USER EXPERIENCE, TRUST, AND HUMAN-MACHINE INTERACTION IN ELECTRIC AND AUTONOMOUS VEHICLES	Prof. Dr. Serkan Güneş Başak Ağca	Gazi University, Türkiye
THE OTTOMAN PORT IMAGE IN 19TH-CENTURY EUROPEAN PAINTING: THE EXAMPLE OF ANDERS ZORN	Assoc. Prof. Dr. Ufuk ÇETİN	Tekirdağ Namık Kemal University, Türkiye
ASSESSING THE IMPACT OF EARTHQUAKE DISASTERS ON FINANCIAL MARKETS	Doç. Dr. Yunus YILMAZ Doç. Dr. Hüseyin ALKIŞ	Dicle University, Türkiye Tokat Gaziosmanpaşa University, Türkiye



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-6, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10:00 – 12:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Prof. Mamta Sharma

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
EXERCISE APPROACHES and PHYSICAL THERAPY STRATEGIES FOR THE MANAGEMENT OF CHRONIC LOWER BACK PAIN	Fzt. Fırat GELİÇ Prof. Dr. Meral SERTEL Prof. Dr. Eylem TÜTÜN YÜMİN	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye
CURRENT REHABILITATION APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF DYSPNEA IN COPD	Fzt. Esra İNAM Prof. Dr. Eylem TÜTÜN YÜMİN Prof. Dr. Meral SERTEL	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye
ASSOCIATION OF PARENT-SPECIFIC CORONARY ARTERY DISEASE HISTORY WITH MYOCARDIAL FUNCTION AND ANGIOGRAPHIC SEVERITY	Dr. Sarah Shahid Dr. Zubia Shah	Khyber Girls Medical College, Pakistan
BIOACTIVE COMPOUNDS OF SEA BUCKTHORN (HIPPOPHAE RHAMNOIDES) BERRIES AND THEIR THERAPEUTIC ROLE IN CHRONIC COUGH RELIEF	Tasawar Iqbal	University of Agriculture, Pakistan
CLIMATE SHOCKS, FORCED INTERNAL MIGRATION, AND URBAN HEALTH EXTERNALITIES: INSTRUMENTAL VARIABLE EVIDENCE FROM THE GLOBAL SOUTH	Prof. Mamta Sharma Prof. Sandeep K Sharma	University of Delhi, India
THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY	Dr. Saima Shaheen Dr. Nabila Sher Dr. Kalsoom Tariq	Khyber Girls Medical College, Pakistan
FUNCTIONAL VALUE, CLAIM CREDIBILITY, AND NEED-STATE SEGMENTATION: A QUALITATIVE MARKETING STUDY OF NUTRITION-RELATED CONSUMPTION AMONG GENERATION Z SHIFT FACTORY WORKERS IN CIKARANG	Siska Purnama Manurung Fashihah Ardi Qut Karamah Fathan Ar Rasyid Dirgantara Putri Elzahra	President University, Indonesia



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-1, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

11:00 – 13:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Muhammad FAISAL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR "MOVING TARGET DEFENSE" IN DYNAMIC PROJECT CLOUD ARCHITECTURES	Assist. Prof. Dr. Muhammad FAISAL	Allama Iqbal Open University, Pakistan
WEBROOMING, TRUST VERIFICATION, AND THE SYMBOLIC-MATERIAL GAP: A RAPID ETHNOGRAPHY OF GENERATION Z MODEST FASHION CONSUMERS AT TANAH ABANG, JAKARTA	Siska Purnama Manurung Ulfiya Maulidina	President University, Indonesia
PLATFORMED BELONGING AND HYBRID CULTURAL IDENTITY: A RAPID ETHNOGRAPHY OF INDONESIAN GENERATION Z ANIME AND COSPLAY COMMUNITIES IN GREATER JAKARTA	Siska Purnama Manurung Aditio Pasha Najwa Refalia Ramadhani Putu Tanaya Pradnyandari Muhammad Burhanuddin D.	President University, Indonesia
REFRAMING EDUCATIONAL MANAGEMENT THROUGH HUMAN-AI CO-TEACHING: FRAMEWORKS FOR HYBRID INTELLIGENCE CLASSROOMS	Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Adebayo Samuel ADEOGUN Samuel Olayiwola AJAGA	Lagos State University of Education, Nigeria
THE LEARNING HYPOTHESES ADOPTED IN DIDACTICS I: PSYCHOLOGICAL HYPOTHESIS	Hassan Zariouh Adil Zerouali Amri	Mohammed First University, Morocco
THE LEARNING HYPOTHESES ADOPTED IN DIDACTICS II: DIDACTIC HYPOTHESIS	Hassan Zariouh Mounia Mouzouri	Mohammed First University, Morocco Director of Regional Academy of Education and Training of the Oriental, Morocco
BUILT FOR CRISIS! EXPLORING USER SATISFACTION WITH THE EMERGENCY DEPARTMENT ENVIRONMENT IN A SELECTED TEACHING HOSPITAL	Assoc. Prof. Dr. Omer Shujat Bhatti Prof. Dr. Muhammad Zahid Ilyas PhD Rida Zahra Lec. Muti ul Haq Lec. Fahad Khan	University of Management and Technology, Pakistan Punjab Tianjin University of Technology, Pakistan
VIETNAMESE LAW ON INFORMATION DISCLOSURE OBLIGATIONS OF LISTED COMPANIES	Nguyen Khanh Hung Nguyen Thi Khanh Ly	Thu Dau Mot University, Vietnam



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-2, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

11:00 – 13:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Dr. FETTOUCH Houari

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
GROWTH OF ENTIRE SOLUTIONS OF INFINITE-ORDER LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE UNIT DISC	Dr. FETTOUCH Houari	University of Mostaganem, Algeria
INTEGRATED SOLAR DESALINATION WITH THERMAL STORAGE AND ENERGY RECOVERY	Badre Zinaoui Prof. Labjar Najoua Prof. EL Hajjaji souad ELABBARI Chaimaa	Mohammed V University in Rabat, Morocco
SCHOLARLY EXAMINATION OF GAUCHER'S CONDITION: A MULTIFACETED EXPLORATION OF CELLULAR DISEASE MECHANISMS, MOLECULAR AND HEREDITARY FACTORS, AND TREATMENT APPROACHES ENCOMPASSING PROTEIN SUPPLEMENTATION AND BUILDUP-LIMITING INTERVENTIONS ALONGSIDE PRECISION-BASED THERAPEUTIC METHODS	Nodar Sulashvili Ada (Adel) Tadevosyan Vira Kravchenko Nato Alavidze Marika Sulashvili Igor Seniuk Tamar Okropiridze Lali Patsia Lela Grigolia Kakhaber Robakidze David Aphkhazava	David Agmashenebeli University of Georgia, Georgia
CONTACT AREA ON HEEL PRESSURE AND FOOT PAIN: A BIOMECHANICAL AND ERGONOMIC STUDY	Seifelasie Asmamaw Biniyam Solomon Prof. Tamrat Tesfaye	Bahir Dar University, Ethiopia
STRUCTURAL, AND ELECTROCHEMICAL STUDIES OF ZNO/CUO NANOCOMPOSITES	BOUGHANEM Mohd Oulmessaoud BEKHEIRA Samir	University of Akli Mohand Oulhadj Bouira, Algeria



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-3, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

11:00 – 13:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Ivan Pavlovic

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
AI-ENABLED URBAN ENVIRONMENTAL MONITORING USING IOT-BASED MOBILE SENSOR NETWORKS AND SPATIOTEMPORAL ANALYTICS	Dr. Muhammad Mazhar Iqbal Tehmena Rashid Shafiq-ur-Rehman Dr. Saba Zam Zam Muhammad Naveed	Water Management Training Institute, Pakistan
FLOOD, SWAMP AND WET MEADOWS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR LIVESTOCK PRODUCTION	Ivan Pavlovic	Scientific Institute for Veterinary Medicine, Serbia
BUILDING READING SKILLS (GRADES I-IV)	Abdullayeva Mahirə Mölud qızı	Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan
PRESERVATION AND DEVELOPMENT OF LANGUAGE CULTURE	Mahmudova Mehriban Akif qızı	Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan
THE MUSICAL LEGACY OF TANSEN: MAESTRO OF THE MUGHAL COURT	Prof. Dr. Ananda Majumdar	Harvard University, USA
INTEGRATION OF BIOPHILIC PRINCIPLES IN THE DESIGN OF A CANCER SPECIALIST HOSPITAL IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA	Fateemah Rabiuh Zahra Abubakar Danladi Isah	Federal University of Technology, Nigeria
UNIVERSITY STUDENTS' COUNSELLING NEEDS IN SOKOTO STATE, NIGERIA: ISSUES, CHALLENGES AND WAY FORWARD	PhD Bashiru Muhammad Liman	Shehu Shagari University of Education, Nigeria
EFFECTS OF PARTICIPATION IN ALTERNATIVE EXTENSION APPROACHES ON SMALLHOLDER RICE FARMERS' OUTPUT IN NIGER STATE, NIGERIA	N. Saidu J. H. Tsado A. Abdullahi	Federal University of Technology Minna, Nigeria



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

19.05.2026 / Hall-4, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

11:00 – 13:00



MEETING ID: 865 0328 6699

PASSCODE: 972316

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Jorge Ferreira Franco

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
USING DIGITAL HUMANITIES AND WEB3D COMPUTER GRAPHICS TECHNOLOGIES INTEGRATION FOR EDUCATING	Prof. Dr. Jorge Ferreira Franco	Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Brazil
ELECTRONIC BANKING AND CUSTOMER SATISFACTION IN SELECTED COMMERCIAL BANKS IN NIGERIA	AUWAL MOHAMMED ADAMU YUSUF SALEH	Federal Polytechnic Ilaro, Nigeria Government Pilot Secondary School, Katsina State
OPEN INNOVATION AND SME INTERNATIONALIZATION: A CRITICAL REVIEW	Lamyae Nachit Nada MOUFDI	Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco
NUTRITIONAL POTENTIALS OF INDIGENOUS WILD FRUITS AS TOOLS AGAINST MALNUTRITION IN RURAL COMMUNITIES OF NORTHERN NIGERIA	Ibrahim Sani Dikko	Umaru Musa Yar'adua University, Nigeria
EFFECT OF SEAWEED ENRICHED HUMIC ACID ON GROWTH AND YIELD OF BT. BRINJAL (SOLANUM MELONGENA L.)	Md. Nazmul Hasan Arfin	Sylhet Agricultural University, Bangladesh
MECHANICAL ENGINEERING SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: A SOCIAL PERSPECTIVE	Helal Uddin Md Antor Jaman Jihad Fardin Khan	Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Bangladesh
ADVANCED SUSTAINABLE PRODUCTION TECHNIQUES FOR ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING WASTE	Helal Uddin Md Antor Jaman Jihad Fardin Khan	Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Bangladesh
THE IMPLEMENTATION OF SOCIAL SERVICE PROJECT-BASED ASSESSMENT AS AN AFFECTIVE ASSESSMENT INSTRUMENT IN CHRISTIAN RELIGIOUS EDUCATION WITHIN THE CHURCH CONTEXT	Franciskus Salabbaet Anju Anggita Sitorus Gloria Salhuteru	Universitas Kristen Indonesia
PHYSICAL COMORBIDITIES AND MODIFIABLE RISK FACTORS IN PATIENTS WITH SCHIZOPHRENIA	Gentjan Asllanaj Fatime Elezi	Medical University, Albania
CLINICAL PROFILE AND MANAGEMENT NEEDS OF DENTAL ANXIETY AND PANIC IN DENTAL PATIENTS	Bisela Asllanaj Suzana Gjerci	Dental Clinic "Smile Now", Albania Medical University, Albania



**2nd INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**
May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

CONTENT

CONGRESS ID	I
SCIENTIFIC & REVIEW COMMITTEE	II
PHOTO GALLERY	III
PROGRAM	IV
CONTENT	V

ABSTRACTS		
Author	Title	No
Ali Sercan KARAKAŞ Nuri Murat YAĞMURLU	A NEW POWERFUL APPROACH TO A PROTOTYPE PROBLEM USING THE SEPTIC HERMITE-GALERKIN METHOD	1
Akademisyen Vagif Farzaliyev Malahat Abbasova Rena Babayi Qaratel Guliyeva Leyla Safarova Rahima Mammadova	1-ALKOXYMETHYL DERIVATIVES 2-MERCAPTOBENZIMIDAZOLINE-2-THIONES	3
Hülya AVCI ÖZBEK	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NEW POLYOXOMETALATE COMPOUNDS BASED ON [VW 5 O 19] 3-	6
Fatma AĞ	SOCIAL STUDIES IN THE CONTEXT OF THE HIDDEN CURRICULUM: AN EXAMINATION FROM A CRITICAL PEDAGOGY PERSPECTIVE	8
Seçkin GÜLLÜ Mehmet AKPINAR	THE USEFULNESS OF MEHMET REŞAT AYSU'S MAHUR SAZ SEMAİ (NO. 3) IN OUD POSITION TRAINING	10
Haice KÖRSÜLU Osman DOĞANAY Murat BERİLGİN	IMPORTED ROMAN PERIOD CERAMICS FROM THE ANCIENT CITY OF ISAURA (ZENGIBAR CASTLE): A PRELIMINARY REPORT	12
Sarah Shahid Zubia Shah	ASSOCIATION OF PARENT-SPECIFIC CORONARY ARTERY DISEASE HISTORY WITH MYOCARDIAL FUNCTION AND ANGIOGRAPHIC SEVERITY	14
Tasawar Iqbal	BIOACTIVE COMPOUNDS OF SEA BUCKTHORN (HIPPOPHAE RHAMNOIDES) BERRIES AND THEIR THERAPEUTIC ROLE IN CHRONIC COUGH RELIEF	15
Mamta Sharma Sandeep K Sharma	CLIMATE SHOCKS, FORCED INTERNAL MIGRATION, AND URBAN HEALTH EXTERNALITIES: INSTRUMENTAL VARIABLE EVIDENCE FROM THE GLOBAL SOUTH	16
Saima Shaheen Nabila Sher Kalsoom Tariq	THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY	17
Muhammad FAISAL	DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR "MOVING TARGET DEFENSE" IN DYNAMIC PROJECT CLOUD ARCHITECTURES	18
Hassan Zariouh Adil Zerouali Amri	THE LEARNING HYPOTHESES ADOPTED IN DIDACTICS I: PSYCHOLOGICAL HYPOTHESIS	19
Hassan Zariouh Mounia Mouzouri	THE LEARNING HYPOTHESES ADOPTED IN DIDACTICS II: DIDACTIC HYPOTHESIS	20
Omer Shujat Bhatti Muhammad Zahid Ilyas Rida Zahra Muti ul Haq Fahad Khan	BUILT FOR CRISIS! EXPLORING USER SATISFACTION WITH THE EMERGENCY DEPARTMENT ENVIRONMENT IN A SELECTED TEACHING HOSPITAL	21
FETTOUCH Houari	GROWTH OF ENTIRE SOLUTIONS OF INFINITE-ORDER LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE UNIT DISC	22
Badre Zinaoui Labjar Najoua EL Hajjaji souad ELABBARI Chaimaa	INTEGRATED SOLAR DESALINATION WITH THERMAL STORAGE AND ENERGY RECOVERY	24



Seifeslasie Asmamaw Biniyam Solomon Tamrat Tesfaye	CONTACT AREA ON HEEL PRESSURE AND FOOT PAIN: A BIOMECHANICAL AND ERGONOMIC STUDY	25
BOUGHANEM Mohd Oulmessaoud BEKHEIRA Samir	STRUCTURAL, AND ELECTROCHEMICAL STUDIES OF ZNO/CUO NANOCOMPOSITES	26
Muhammad Mazhar Iqbal Tehmena Rashid Shafiq-ur-Rehman Saba Zam Zam Muhammad Naveed	AI-ENABLED URBAN ENVIRONMENTAL MONITORING USING IOT-BASED MOBILE SENSOR NETWORKS AND SPATIOTEMPORAL ANALYTICS	27
Ivan Pavlovic	FLOOD, SWAMP AND WET MEADOWS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR LIVESTOCK PRODUCTION	28
Ananda Majumdar	THE MUSICAL LEGACY OF TANSEN: MAESTRO OF THE MUGHAL COURT	29
Bashiru Muhammad Liman	UNIVERSITY STUDENTS' COUNSELLING NEEDS IN SOKOTO STATE, NIGERIA: ISSUES, CHALLENGES AND WAY FORWARD	30
AUWAL MOHAMMED ADAMU YUSUF SALEH	ELECTRONIC BANKING AND CUSTOMER SATISFACTION IN SELECTED COMMERCIAL BANKS IN NIGERIA	31
Lamyae Nachit Nada MOUFDI	OPEN INNOVATION AND SME INTERNATIONALIZATION: A CRITICAL REVIEW	32
Ibrahim Sani Dikko	NUTRITIONAL POTENTIALS OF INDIGENOUS WILD FRUITS AS TOOLS AGAINST MALNUTRITION IN RURAL COMMUNITIES OF NORTHERN NIGERIA	33
Nazmul Hasan Arfin	EFFECT OF SEAWEED ENRICHED HUMIC ACID ON GROWTH AND YIELD OF BT. BRINJAL (SOLANUM MELONGENA L.)	34
Helal Uddin Antor Jaman Jihad Fardin Khan	ADVANCED SUSTAINABLE PRODUCTION TECHNIQUES FOR ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING WASTE	35
Franciskus Salabbaet Anju Anggita Sitorus Gloria Salhuteru	THE IMPLEMENTATION OF SOCIAL SERVICE PROJECT-BASED ASSESSMENT AS AN AFFECTIVE ASSESSMENT INSTRUMENT IN CHRISTIAN RELIGIOUS EDUCATION WITHIN THE CHURCH CONTEXT	36
Gentjan Asllanaj Fatime Elezi	PHYSICAL COMORBIDITIES AND MODIFIABLE RISK FACTORS IN PATIENTS WITH SCHIZOPHRENIA	37
Bisela Asllanaj Suzana Gjerci	CLINICAL PROFILE AND MANAGEMENT NEEDS OF DENTAL ANXIETY AND PANIC IN DENTAL PATIENTS	38
Full texts		
Dilara KAHRAMAN Mehmet Akif Bülbül SERHAT HIZLISOY	AN INTELLIGENT PSO-KNN APPROACH FOR RADAR SIGNAL CLASSIFICATION	39
Meryem Betül KARA Mehmet Akif Bülbül Serhat HIZLISOY	AN INTELLIGENT FEATURE SELECTION APPROACH FOR BREAST CANCER DIAGNOSIS: A GWO-SVM BASED HYBRID MODEL	51
Seyfaddin JAFAROV	STUDI OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF GRAPHENE-BASED NANOSTRUCTURES	62
Gökhan SALMAN	MACROECONOMIC POLICY CYCLES AND LABOR MARKET DYNAMICS IN THE TURKISH ECONOMY: A SECTORAL INVESTIGATION ON THE 2020-2026 PERIOD	69
Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY	PUBLIC RELATIONS CONTRIBUTION TO THE FORMATION OF CORPORATE REPUTATION IN TOURISM	81
Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY	SPONSORSHIP FROM A PUBLIC RELATIONS PERSPECTIVE	88
Emin Ergun SELÇUK	TOXIC LEADERSHIP	94
Emin Ergun SELÇUK	HYBRID STRUCTURES	100
Mehtap ÖZTÜRK	ALGORITHM AVERSION AND ALGORITHM APPRECIATION IN MANAGEMENT RESEARCH	106
Resul ÖZTÜRK	TOURISM MARKETING AND DIGITAL EXPERIENCE	120

Betül KAYA Adem YILMAZ	AN INVESTIGATION OF PRESCHOOL TEACHER CANDIDATES' METAPHORICAL PERCEPTIONS OF MUSEUM EDUCATION	134
Betül KAYA Adem YILMAZ	AN INVESTIGATION OF PRESCHOOL TEACHER CANDIDATES' VIEWS ON THE IMPORTANCE OF MUSEUM EDUCATION IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION	142
İrem GÜRGAH OĞUL Mertcan KARADAĞ	SAFE EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN PRESCHOOLS: PARENTS' EXPECTATIONS AND NEEDS	155
Nur Süeda ÇINAR KOCAMAN Özlem BATTAL ŞAL	DATA-DRIVEN TRAFFIC LOAD PREDICTION FOR PAVEMENT MANAGEMENT: A PSO-BASED MACHINE LEARNING APPROACH	165
Nur Süeda ÇINAR KOCAMAN Özlem BATTAL ŞAL	META-HEURISTIC OPTIMIZED GBM FOR TRAFFIC INTENSITY PREDICTION IN PAVEMENT MANAGEMENT	174
Yusuf BAYAR Melih YILAR Kübra CENGİZ	ANTIFUNGAL ACTIVITY OF EXTRACTS FROM PALAMUT OAK (<i>Quercus ithaburensis</i> Decne.) AGAINST <i>Verticillium dahliae</i> AND <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Lycopersici</i>	185
Yusuf BAYAR Melih YILAR Kübra CENGİZ	IN VITRO FUNGISTATIC EFFECT OF SAMBUCUS NIGRA L. ETHANOL EXTRACTS ON <i>VERTICILLIUM DAHLIAE</i> AND <i>ALTERNARIA SOLANI</i>	192
Tuba TARHAN Zeynep ALTAN Mehdi ÇETİNTAŞ	LC-MS/MS ANALYSIS OF PHYTOCHEMICALS IN <i>RUMEX ACETOSELLA</i> L. (SORREL) AND THE SIGNIFICANCE OF THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES	199
Muhammed ONAY	UTILIZATION OF AGRICULTURAL WASTE: SUSTAINABLE HEAVY METAL REMOVAL WITH PEANUT SHELL DERIVED ADSORBENTS	213
Elif ÇETİN Büşra ARSLAN	SPATIAL CONFIGURATION AND CONSTRUCTION TECHNIQUES OF THE TAHSİN MOSQUE IN AHMETLER VILLAGE IN THE RURAL AREA OF OVACIK	222
Büşra ARSLAN Elif ÇETİN	SİPAHİLER VILLAGE BELEN NEIGHBORHOOD (KARABUK) TRADITIONAL HOUSES: THE CASE OF ÖZMENLER HOUSE	234
Serkan Güneş Başak Ağca	A COMPARATIVE ANALYSIS OF USER EXPERIENCE, TRUST, AND HUMAN-MACHINE INTERACTION IN ELECTRIC AND AUTONOMOUS VEHICLES	245
Ufuk ÇETİN	THE OTTOMAN PORT IMAGE IN 19TH-CENTURY EUROPEAN PAINTING: THE EXAMPLE OF ANDERS ZORN	257
Yunus YILMAZ Hüseyin ALKIŞ	ASSESSING THE IMPACT OF EARTHQUAKE DISASTERS ON FINANCIAL MARKETS	264
Fırat GELİÇ Meral SERTEL Eylem TÜTÜN YÜMİN	EXERCISE APPROACHES and PHYSICAL THERAPY STRATEGIES FOR THE MANAGEMENT OF CHRONIC LOWER BACK PAIN	272
Esra İNAM Eylem TÜTÜN YÜMİN Meral SERTEL	CURRENT REHABILITATION APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF DYSPNEA IN COPD	279
Siska Purnama Manurung Fashihah Ardi Qut Karamah Fathan Ar Rasyid Dirgantara Putri Elzahra	FUNCTIONAL VALUE, CLAIM CREDIBILITY, AND NEED-STATE SEGMENTATION: A QUALITATIVE MARKETING STUDY OF NUTRITION-RELATED CONSUMPTION AMONG GENERATION Z SHIFT FACTORY WORKERS IN CIKARANG	288
Siska Purnama Manurung Ulfiya Maulidina	WEBROOMING, TRUST VERIFICATION, AND THE SYMBOLIC-MATERIAL GAP: A RAPID ETHNOGRAPHY OF GENERATION Z MODEST FASHION CONSUMERS AT TANAH ABANG, JAKARTA	298
Siska Purnama Manurung Aditio Pasha Najwa Refalia Ramadhani Putu Tanaya Pradnyandari Muhammad Burhanuddin D. Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Adebayo Samuel ADEOGUN Samuel Olayiwola AJAGA	PLATFORMED BELONGING AND HYBRID CULTURAL IDENTITY: A RAPID ETHNOGRAPHY OF INDONESIAN GENERATION Z ANIME AND COSPLAY COMMUNITIES IN GREATER JAKARTA	309
Nguyen Khanh Hung Nguyen Thi Khanh Ly	VIETNAMESE LAW ON INFORMATION DISCLOSURE OBLIGATIONS OF LISTED COMPANIES	334
Nodar Sulashvili Ada (Adel) Tadevosyan	SCHOLARLY EXAMINATION OF GAUCHER'S CONDITION: A MULTIFACETED EXPLORATION OF CELLULAR DISEASE	

Vira Kravchenko Nato Alavidze Marika Sulashvili Igor Seniuk Tamar Okropiridze Lali Patsia Lela Grigolia Kakhaber Robakidze David Aphkhazava	MECHANISMS, MOLECULAR AND HEREDITARY FACTORS, AND TREATMENT APPROACHES ENCOMPASSING PROTEIN SUPPLEMENTATION AND BUILDUP-LIMITING INTERVENTIONS ALONGSIDE PRECISION-BASED THERAPEUTIC METHODS	343
Abdullayeva Mahirə Mölud qızı	BUILDING READING SKILLS (GRADES I-IV)	386
Fateemah Rabiū Zahra Abubakar Danladi Isah	INTEGRATION OF BIOPHILIC PRINCIPLES IN THE DESIGN OF A CANCER SPECIALIST HOSPITAL IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA	390
N. Saidu J. H. Tsado A. Abdullahi	EFFECTS OF PARTICIPATION IN ALTERNATIVE EXTENSION APPROACHES ON SMALLHOLDER RICE FARMERS' OUTPUT IN NIGER STATE, NIGERIA	396
Jorge Ferreira Franco	USING DIGITAL HUMANITIES AND WEB3D COMPUTER GRAPHICS TECHNOLOGIES INTEGRATION FOR EDUCATING	408
Helal Uddin Anfor Jaman Jihad Fardin Khan	MECHANICAL ENGINEERING SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: A SOCIAL PERSPECTIVE	416
Mahmudova Mehriban Akif qızı	PRESERVATION AND DEVELOPMENT OF LANGUAGE CULTURE	430

SEPTİK HERMITE GALERKİN YÖNTEM KULLANILARAK PROTOTİP BİR PROBLEME YENİ GÜÇLÜ BİR YAKLAŞIM

Dr. Ali Sercan KARAKAŞ

Inonu University, Faculty of Art and Sciences, Department of Mathematics, Malatya-Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-8622-1127

Prof. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU

Inonu University, Faculty of Art and Sciences, Department of Mathematics, Malatya-Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-1593-0254

ÖZET

Teknolojinin özellikle son 25 sene içerisinde astronomik üstel bir seviyede gelişimi ile birlikte bilim insanlarının araştırma alanları ve teknikleri önemli bir ölçüde artmış ve gelişmiştir. Eskiden el ile yapılabilecek hesaplama miktarı çok az iken günümüz modern dijital bilgisayarların bellek ve hesaplama gücü sayesinde hayal ötesi büyüklükteki hesaplamalar kolayca yapılabilmektedir. Dahası yapay zekanın gelişmesi ve kullanılmasıyla geçmişte yıllar sürece hesaplamalar daha kısa sürede hesaplanabilmektedir. Genel olarak uygulamalı matematik bilim dalında çalışan bilim insanları ele aldıkları problemin incelenmesinde farklı nümerik yöntem ve teknikler kullanmaktadır. Galerkin yöntemi genellikle hesaplama maliyetinden dolayı kollokasyon yöntemine göre daha az tercih edilmektedir. Bu çalışmada 7. dereceden Hermite bazlar ile birlikte Galerkin sonlu eleman yöntemleri üzerine ele alınan prototip denklem kullanılarak nümerik bir araştırmanın gözlem ve sonuçları sunulacaktır. İlk olarak ele alınan denklemin ağırlıklı kalan ifadesi elde edilecek, yaklaşım fonksiyonu ile ağırlık fonksiyonun aynı seçilmesiyle işlem devam edilerek uygulanan yöntemin şeması dört bölüntü için bulunup MATLAB sembolik programlama dili yardımıyla kodu yazılacaktır. Sonuçların simüle edilmesiyle birlikte sonuçlar tablolar ve grafikler yardımıyla çalışma içerisinde sunularak literatürde var olan çalışmalar ve ileride yapılabilecek çalışmalar için bir karşılaştırma çalışması olması planlanmıştır. İleride incelenen denklem tipi değiştirilerek kısmi, kesirli diferansiyel denklemler ele alınacak veya farklı sınır şartları altında nasıl bir davranış gösterdiği araştırma konusu olarak irdelenecektir.

Anahtar kelimeler: Galerkin Metot, Septik Hermite B-spline, Isı İletim Denklemi

Bu çalışma İnönü Üniversitesi tarafından FBA-2026-4836 numaralı bilimsel araştırma projesi kapsamında desteklenmektedir.

A NEW POWERFUL APPROACH TO A PROTOTYPE PROBLEM USING THE SEPTIC HERMITE-GALERKIN METHOD

ABSTRACT

With the astronomical, exponential growth of technology, particularly over the last 25 years, the scope and methods of scientific research have expanded and advanced significantly. Whereas the amount of computational processes that could be performed by hand was very limited in the past, today's modern digital computers, thanks to their memory and computational power, make it possible to easily perform calculations of unimaginable magnitude. Furthermore, with the development and application of

artificial intelligence, computations that would have taken years in the past can now be completed in a much shorter time. In general, scientists working in the field of applied mathematics use various numerical methods and techniques to analyze the problems they address. The Galerkin method is generally less preferred than the collocation method due to its computational cost. In this study, the observations and results of a numerical investigation using a prototype equation based on 7th-degree Hermite basis functions and Galerkin finite element methods will be presented. First, the weighted residual expression of the given equation will be derived. The process will continue by selecting the same function for both the approximation and weighting functions, and the scheme of the applied method will be determined for four subdivisions, with the code written using the symbolic programming language MATLAB. Along with the simulation of the results, the findings will be presented in the study using tables and graphs, with the aim of providing a comparative analysis for existing studies in the literature and potential future research. In the future, we are going to examine partial and fractional differential equations by modifying the type of equation under consideration, or we will investigate how they behave under different boundary conditions.

Keywords: Galerkin Method, Septik Hermite B-spline, Heat conduction Equation

This study is supported by Inonu University Scientific Research Project with project number FBA-2026-4836.

2-MERKAPTOBENZİMİDAZOLİN-2-TİYONLARIN 1-ALKOKSİMETİL TÜREVLERİ

Akademisyen Vagif Farzaliyev

Azerbaycan, Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği "Kimya Enstitüsü" AZ1143, Azerbaycan, Bakü, Hüseyin Cavid Bulvarı, 113

ORCID ID: 0000-0002-5089-233X

PhD, dos. Malahat Abbasova

Azerbaycan, Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği "Kimya Enstitüsü" AZ1143, Azerbaycan, Bakü, Hüseyin Cavid Bulvarı, 113

ORCID ID: 0000-0002-0582-4653

PhD, dos. Rena Babayi

Azerbaycan, Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği "Kimya Enstitüsü" AZ1143, Azerbaycan, Bakü, Hüseyin Cavid Bulvarı, 113

ORCID ID: 0009-0001-1541-8392

Qaratel Guliyeva

Azerbaycan, Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği "Kimya Enstitüsü" AZ1143, Azerbaycan, Bakü, Hüseyin Cavid Bulvarı, 113

ORCID ID: 0000-0002-9972-5719

Leyla Safarova

Azerbaycan, Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği "Kimya Enstitüsü" AZ1143, Azerbaycan, Bakü, Hüseyin Cavid Bulvarı, 113

ORCID ID: 0000-0002-4373-9628

Rahima Mammadova

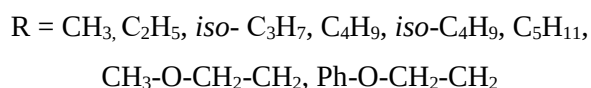
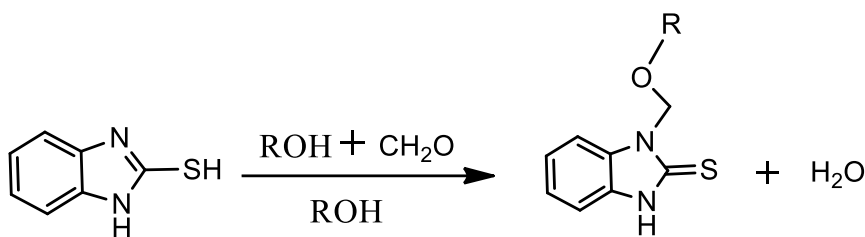
Azerbaycan, Bilim ve Eğitim Bakanlığına Bağlı Kamu Hukuk Tüzel Kişiliği "Kimya Enstitüsü" AZ1143, Azerbaycan, Bakü, Hüseyin Cavid Bulvarı, 113

ORCID ID: 0009-0008-4157-3231

ÖZET

2-Merkaptobenzazoller (2-merkaptobenzotiyazol, 2-merkaptobenzoksazol ve 2-merkaptobenzimidazol), tautomerik bileşikler olarak bilinir ve reaksiyon koşullarına ve reaktiflerin doğasına bağlı olarak, tiyol-tiyonon yeniden düzenlenmesi sonucu N- veya S-türevlerinin oluşumuyla birlikte, tiyol veya tiyonların karşılık gelen türevlerini oluştururlar. Daha önce, yapıları ¹H ve ¹³C NMR spektroskopisine dayalı olarak belirlenen bir dizi 2-merkaptobenzotiyazol ve 2-merkaptobenzoksazol N-alkoksi- ve aminometil türevi elde ettik. Çalışmalar, bu bileşiklerin petrol ürünlerine saldıran mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu ve St-3 çeliğini asit korozyonundan koruduğunu göstermiştir. Benzazolin-2-tiyonların bir dizi alkoksümetil türevi etkili

antioksidanlardır ve yüksek fizyolojik aktivite sergilerler. Bu alandaki araştırmalarımıza devam ederek, şemaya göre ilk kez 2-merkaptobenzimidazolün bir dizi alkoksimetil türevini sentezledik:



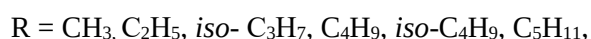
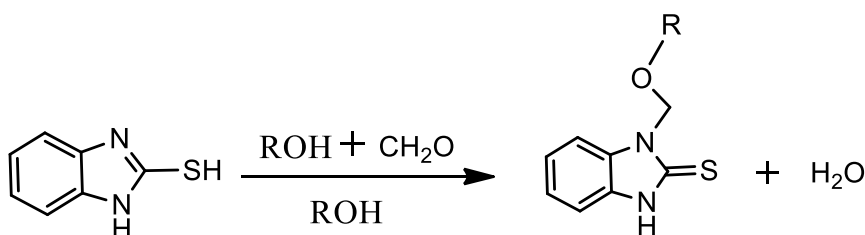
2-merkaptobenzimidazolün hidroksil içeren bileşiklerle alkoksimetilasyon reaksiyonu, önce ilgili hidroksil içeren bileşiğin yarı formalinin hazırlanması, ardından 2-merkaptobenzimidazol ile reaksiyonu yoluyla gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen bileşiklerin kesme sıvılarını enfekte eden mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivitesinin mikrobiyolojik çalışmaları, bu bileşiklerin biyosidal özelliklere sahip olduğunu ve %0,5 konsantrasyonda bu sıvıları bakteriyel saldırıdan koruduğunu ortaya koymuştur. Bakterisidal özelliklerin, alkoksi grubundaki alkil radikal içeriğinin artmasıyla arttığı ve 1-(fenoksietoksi)metilbenzimidazolin-2-tiyonun en yüksek etkinliği gösterdiği bulunmuştur.

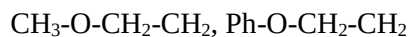
Anahtar kelimeler: 2-merkaptobenzimidazol, alkoksimetil türevleri, alkoksimetilbenzimid-azolin-2-tiyonlar, antimikrobiyal özellikler, biyositler

1-ALKOXYMETHYL DERIVATIVES 2-MERCAPTOBENZIMIDAZOLINE-2-THIONES

ABSTRACT

2-Mercaptobenzazoles (2-mercaptobenzothiazole, 2-mercaptobenzoxazole, and 2-mercaptobenzimidazole) are known to be tautomeric compounds and, depending on the reaction conditions and the nature of the reagents, form the corresponding derivatives of either thiols or thiones, with the formation of N- or S-derivatives as a result of the thiol-thione rearrangement. We previously obtained a series of N-alkoxy- and aminomethyl derivatives of 2-mercaptobenzothiazole and 2-mercaptobenzoxazole, the structures of which were established based on ¹H and ¹³C NMR spectroscopy. Studies have shown that these compounds possess antimicrobial properties against microorganisms that attack petroleum products and protect St-3 steel from acid corrosion. A number of alkoxymethyl derivatives of benzazoline-2-thiones are effective antioxidants and exhibit high physiological activity. Continuing our research in this area, we synthesized for the first time a series of alkoxymethyl derivatives of 2-mercaptobenzimidazole according to the scheme:





The alkoxy methylation reaction of 2-mercaptobenzimidazole with hydroxyl-containing compounds was carried out by first preparing the semiformal of the corresponding hydroxyl-containing compound, followed by its reaction with 2-mercaptobenzimidazole. Microbiological studies of the antimicrobial activity of the synthesized compounds against microorganisms that infect cutting fluids revealed that these compounds possess biocidal properties and, at a concentration of 0.5%, protect these fluids from bacterial attack. The bactericidal properties were found to increase with increasing alkyl radical content in the alkoxy group, with 1-(phenoxyethoxy) methylbenzimidazoline-2-thione exhibiting the greatest efficacy.

Keywords: 2-mercaptobenzimidazole, alkoxy methyl derivatives, alkoxy methylbenzimidazoline-2-thiones, antimicrobial properties, biocides

[VW₅O₁₉]³⁻ TABANLI YENİ POLİOKSOMETALAT BİLEŞİKLERİNİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

Doç. Dr. Hülya AVCI ÖZBEK

Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of
Chemistry, 45140 Muradiye, Manisa

ORCID ID: 0000-0003-1508-2558

ÖZET

Polioksometalatlar (POM'lar), ilk geçiş metallerinin yüksek oksidasyon basamaklarında oksijen atomları ile oluşturduğu, nano-boyutlu ve yapısal açıdan oldukça zengin anyonik metal–oksit kümeleridir. Bu bileşikler, sahip oldukları geniş yapısal çeşitlilik, elektronik özellik ve çoklu oksidasyon durumlarına erişebilme yetenekleri sayesinde günümüzde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. POM'lar; homojen ve heterojen kataliz, enerji dönüşüm ve depolama sistemleri, manyetik malzemeler, sensör teknolojileri ve biyoinorganik kimya gibi birçok farklı disiplinde yaygın olarak incelenmektedir. Özellikle vanadyum ve tungsten içeren heterometalik POM sistemleri, çoklu ve geri dönüşümlü redoks davranışları, yüksek kimyasal dayanıklılıkları ve termal kararlılıkları ile dikkat çekmektedir. Bu özellikler, söz konusu sistemlerin fonksiyonel malzeme tasarımında güçlü adaylar olmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, [VW₅O₁₉]³⁻ tipi polioksometalat yapıları, kompakt çekirdek geometrileri, yapısal bütünlükleri ve farklı karşı iyonlarla etkileşime girerek çeşitli supramoleküler düzenlenme biçimleri oluşturabilmeleri nedeniyle özellikle ilgi çekmektedir.

Bu çalışmada, çeşitli karşı iyonlar kullanılarak yeni [VW₅O₁₉]³⁻ tabanlı polioksometalat bileşiklerini sentezlenmiştir. Sentezlenen bileşiklerin yapıları çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak ayrıntılı şekilde incelenmiştir. FT-IR spektroskopisi sonuçları, POM iskeletine ait karakteristik metal–oksijen titreşim bantlarının korunduğunu doğrulamış ve çekirdek yapının stabil olduğunu göstermiştir. Termogravimetrik analiz (TGA) verileri, bileşiklerin belirli sıcaklık aralıklarında termal kararlılığını ortaya koymuştur. Ayrıca elementel analiz, toz X-ışını kırınımı (XRD) ve ICP-MS analizlerinden elde edilen sonuçlar [VW₅O₁₉]³⁻ çekirdeğinin korunduğunu ve karşı iyonların kristal yapıyı etkileyen önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Bu bulgular, söz konusu sistemlerin yapısal olarak örnek ve fonksiyonel tasarıma açık platformlar olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Polioksometalat, Vanadium, Tungsten

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NEW POLYOXOMETALATE COMPOUNDS BASED ON [VW₅O₁₉]³⁻

ABSTRACT

Polyoxometalates (POMs) are nanoscale, structurally diverse anionic metal–oxide clusters formed by early transition metals coordinated with oxygen atoms in high oxidation states. Due to their wide structural variability, electronic properties, and ability to access multiple oxidation states, these compounds have become an important area of research today. POMs are extensively studied in various disciplines such as homogeneous and heterogeneous catalysis, energy conversion and storage systems, magnetic materials, sensor technologies, and bioinorganic chemistry. In particular, heterometallic POM systems containing vanadium and tungsten attract significant attention because of their multiple and reversible redox behavior, high chemical durability, and thermal stability. These properties make such systems strong candidates for functional material design. In this context, [VW₅O₁₉]³⁻ type polyoxometalate structures are of particular interest due to their compact core geometries, structural

integrity, and ability to form various supramolecular arrangements through interactions with different counter ions.

In this study, new $[VW_5O_{19}]^{3-}$ based polyoxometalate compounds were synthesized using various counter ions. The structures of the synthesized compounds were thoroughly investigated using several characterization techniques. FT-IR spectroscopy results confirmed the preservation of characteristic metal–oxygen vibrational bands belonging to the POM framework and demonstrated the stability of the core structure. Thermogravimetric analysis (TGA) revealed the thermal stability of the compounds within specific temperature ranges. In addition, results obtained from elemental analysis, powder X-ray diffraction (XRD), and ICP-MS measurements showed that the $[VW_5O_{19}]^{3-}$ core structure was retained and that the counter ions play an important role in influencing the crystal packing. These findings indicate that these systems represent structurally flexible platforms that are suitable for functional material design.

Keywords: Polyoxometalate, Vanadium, Tungsten

GİZLİ MÜFREDAT BAĞLAMINDA SOSYAL BİLGİLER: ELEŞTİREL PEDAGOJİ PERSPEKTİFİNDEN İNCELEME

Fatma AĞ

Gaziantep Üniversitesi, Eğitim Enstitüsü, Sosyal Bilgiler Eğitimi, Şehitkamil 27310, Gaziantep

ORCID-0009-0000-8406-6047

ÖZET

Eğitim programları, resmî ideolojiyi yansıtan amaç ve içerikler doğrultusunda öğrencilerin yetiştirilmesini hedeflerken öğrenme süreci yalnızca yazılı müfredatla sınırlı kalmamakta; öğrenciler aynı zamanda planlanmamış ve çoğu zaman açıkça ifade edilmeyen örtük bir müfredatla da karşılaşmaktadır. Gizli müfredat, okul ortamındaki sosyal ilişkiler, öğretmen tutumları ve sınıf içi etkileşimler aracılığıyla öğrencilerin tutum, değer ve davranışlarını şekillendiren önemli bir öğrenme alanıdır. Bu bağlamda güncellenen sosyal bilgiler öğretim programı, doğrudan örtük müfredata atıf yapmasa da değerler, beceriler ve öğrenme ortamı üzerinden güçlü bir örtük yapı üretmektedir. Bu çalışmada sosyal bilgiler öğretim programı, eleştirel pedagoji perspektifiyle incelenmiştir. Paulo Freire'nin yaklaşımı doğrultusunda değerlendirildiğinde, programın öğrenci merkezli yapıyı vurgulamasına rağmen uygulamada bilginin çoğunlukla yapılandırılmış biçimde sunulduğu ve öğrencinin sorgulayan bir özne olmaktan ziyade, sunulan bilgi ve değerleri içselleştiren bir konuma yönlendirilebildiği görülmektedir. Benzer şekilde Michael W. Apple'ın müfredatın ideolojik doğasına ilişkin görüşleri çerçevesinde, programın belirli bir vatandaşlık anlayışını yeniden ürettiği ve örtük olarak “makbul vatandaş” modelini şekillendirdiği söylenebilir. Araştırma bulguları, programın demokratik katılım ve aktif vatandaşlık vurgusuna rağmen, sınıf içi uygulamalarda öğrencilerin karar süreçlerine sınırlı katılım sağlayabildiğini ve bu durumun söylem ile pratik arasında bir çelişki oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca değerler eğitimi ve sosyal-duygusal beceriler önemli fırsatlar sunmakla birlikte, eleştirel bir yaklaşımla desteklenmediğinde bireyi dönüştürmekten çok mevcut toplumsal düzene uyumlu hale getirme işlevi görebilmektedir. Sonuç olarak, sosyal bilgiler öğretim programının örtük müfredatı, toplumsal uyum ve değer aktarımını desteklerken, eleştirel düşünme ve dönüştürücü vatandaşlık becerilerinin gelişimini sınırlayabilecek unsurlar barındırmaktadır. Bu nedenle öğretim süreçlerinin eleştirel pedagoji ilkeleri doğrultusunda yeniden ele alınması önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eleştirel Pedagoji, Sosyal Bilgiler, Gizli Müfredat.

SOCIAL STUDIES IN THE CONTEXT OF THE HIDDEN CURRICULUM: AN EXAMINATION FROM A CRITICAL PEDAGOGY PERSPECTIVE

ABSTRACT

While educational programs aim to cultivate students in accordance with the aims and content reflecting the official ideology, the learning process is not limited solely to the written curriculum; students also encounter an unplanned and often implicit curriculum. The hidden curriculum is a significant learning area that shapes students' attitudes, values, and behaviors through social relationships in the school environment, teacher attitudes, and classroom interactions. In this context, the updated social studies curriculum, while not directly referring to the hidden curriculum, produces a strong implicit structure through values, skills, and the learning environment. This study examines the social studies curriculum from a critical pedagogy perspective. When evaluated in line with Paulo Freire's approach, it is observed that although the program emphasizes a student-centered structure, in practice, knowledge is mostly presented in a structured form, and students are directed towards internalizing the presented information and values rather than becoming questioning subjects. Similarly, within the framework of Michael W. Apple's views on the ideological nature of the curriculum, it can be argued that the program reproduces

a particular understanding of citizenship and implicitly shapes the model of the "ideal citizen." Research findings show that despite the program's emphasis on democratic participation and active citizenship, classroom practices allow for limited student participation in decision-making processes, creating a contradiction between discourse and practice. Furthermore, while values education and socio-emotional skills offer significant opportunities, when not supported by a critical approach, they can function more to conform the individual to the existing social order rather than transform them. In conclusion, the implicit curriculum of the social studies teaching program, while supporting social conformity and value transmission, contains elements that may limit the development of critical thinking and transformative citizenship skills. Therefore, it is important to re-evaluate teaching processes in line with the principles of critical pedagogy.

Keywords: Critical Pedagogy, Social Studies, Hidden Curriculum.

MEHMET REŞAT AYSU’NUN MAHUR SAZ SEMAİSİ (NO.3) ’NİN UD POZİSYON EĞİTİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Seçkin GÜLLÜ

Gazi University, Institute of Educational Sciences, Music Education, 06560 Yenimahalle, Ankara

ORCID ID: 0009-0009-0671-7161

Prof. Dr. Mehmet AKPINAR

Gazi Faculty of Education, Fine Arts Education, Music Education, 06560 Yenimahalle, Ankara

ORCID ID: 0000-0003-3345-7169

ÖZET

Geleneksel Türk müziği enstrümanlarının eğitiminde saz eserleri önemli bir işleve sahiptir ve eğitim sürecinin her aşamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle saz semaisi müzikal özellikleri ve dinamikleri bakımından Türk müziği çalgılarının eğitiminde yoğun olarak yer almaktadır. Geçmişten günümüze kadar pek çok besteci sözlü eserlerin yanı sıra saz eserleri de yazmışlar ve Türk müziği repertuarına önemli oranda katkı sağlamışlardır. Bu bestecilerden birisi de 1910 - 1999 yılları arasında yaşamış olan Reşat Aysu’dur. Aysu bestelediği saz semailerinde kullandığı farklı müzikal özellikler ve ezgi yapıları bakımından icracıların dikkatini çekmektedir. Aynı zamanda üst düzey bir keman icracısı da olan Reşat Aysu Batı müziği ve Geleneksel Türk müziği bilgilerini harmanlayarak şarkı, peşrev, saz semaisi, tango, marş gibi farklı formlarda üç yüzden fazla eser bestelemiştir. Eserlerinin çoğu geniş bir ses alanına ve ajilite gerektiren dinamik bir yapıya sahiptir. Bu anlamda bütün enstrümanlar için geliştirici özelliği olan birer eğitim materyali niteliğindedir. Bu enstrümanlardan biri de ud’ dur. Ud eğitiminde pozisyon geçişleri eğitim sürecinin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Pozisyon geçişlerine yönelik olarak alıştırma ve etütler aracılığıyla edinilen teknik bilgi ve becerilerin eserler ile pekiştirilmesi ud eğitiminin sağlam ve sağlıklı bir biçimde yürütülmesi bakımından oldukça önemlidir. Bu anlamda Reşat Aysu’nun saz semaisi ud eğitiminde önemli bir işleve sahiptir. Bu çalışmanın amacı; Reşat Aysu’nun mahur saz semaisinin ud eğitiminde yer alan pozisyon geçişlerinde kullanılabilirliğini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda bestecinin Mahur Saz Semaisi (No.3) örneklem olarak ele alınmıştır. Eser özelinde yapılan bu çalışmada beş farklı pozisyon geçişi kullanılmıştır. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden olan doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde Mehmet Reşat Aysu’nun Şehnaz Buselik ve Nihavend Saz Semaisi’nin ud eğitiminde kullanılabilirliği’ne yönelik benzer iki çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmanın alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mahur Makamı, Mehmet Reşat Aysu, Müzik Eğitimi, Pozisyon, Saz Semaisi, Ud Eğitimi

THE USEFULNESS OF MEHMET REŞAT AYSU’S MAHUR SAZ SEMAİ (NO. 3) IN OUD POSITION TRAINING

ABSTRACT

Saz pieces play a significant role in the education of traditional Turkish musical instruments and are widely used at every stage of the educational process. In particular, saz semais feature prominently in the education of Turkish musical instruments due to their musical characteristics and dynamics. From the past to the present, many composers have written not only vocal works but also saz pieces, making significant contributions to the Turkish music repertoire. One such composer is Reşat Aysu, who lived

between 1910 and 1999. Aysu attracts the attention of performers with the distinct musical characteristics and melodic structures he employs in the saz semais he composed. Reşat Aysu, who was also a master violinist, composed over three hundred works in various forms—including songs, peşrev, saz semais, tangos, and marches—by blending his knowledge of Western music with that of Traditional Turkish music. Most of his works feature a wide vocal range and a dynamic structure requiring agility. In this sense, they serve as educational materials with a developmental quality for all instruments. One of these instruments is the oud. In oud education, position transitions constitute an important aspect of the educational process. Reinforcing the technical knowledge and skills acquired through exercises and etudes focused on position transitions with actual pieces is crucial for conducting oud education in a solid and healthy manner. In this context, Reşat Aysu's saz semais play a significant role in oud education. The aim of this study is to demonstrate the applicability of Reşat Aysu's Mahur Saz Semai in the position transitions within oud education. To this end, the composer's Mahur Saz Semai (No. 3) was selected as the sample. In this study, which focuses on the specific piece, five different position transitions were utilized. The document analysis method, one of the qualitative research methods, was employed in the study. A review of the literature revealed two similar studies regarding the applicability of Mehmet Reşat Aysu's Şehnaz, Buselik, and Nihavend Saz Semais in oud education. It is anticipated that this study will contribute to the field.

Keywords: Mahur Mode, Mehmet Reşat Aysu, Music Education, Position, Saz Semai, Oud Education

ISAURA (ZENGİBAR KALESİ) ANTİK KENTİNDEN İTHAL ROMA DÖNEMİ SERAMİKLERİ: ÖN RAPOR

Prof. Dr. Hatice KÖRSULU

Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Literature, Department of Archaeology, Karaman.

ORCID NO: 0000-0002-0896-3210.

Prof. Dr. Osman DOĞANAY

Aksaray University, Sabire Yazıcı Faculty of Science-Literature, Department of Archaeology,
Aksaray.

ORCID NO: 0000-0002-7095-9466

Postgraduate Student Murat BERİLGİN

Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Literature, Department of Archaeology, Karaman.

ORCID NO: 0009-0002-7066-7620.

ÖZET

Isaura (Zengibar Kalesi), Antik Dönemde Lykonía ve Isauria Bölgesi'nde kalmaktadır. Günümüzde Konya ili Bozkır ilçesine 19 km. uzaklıkta Bozkır'ın güneybatısında bulunan Asar Tepe üzerinde konumlanmaktadır. Kentte 2009-2019 yılları arasında Prof. Dr. Osman Doğanay başkanlığında yüzey araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Isauria Bölgesi'nin en önemli kentlerinden olan Isaura antik kentinde yürütülen yüzey araştırmalarında yoğun seramik buluntuya rastlanmıştır. Roma Dönemi'ne ait ithal seramikler oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmanın konusu, söz konusu yüzey araştırmalarından elde edilen Roma Dönemi terra sigillata seramikleridir. Terra Sigillata, Roma İmparatorluğu'nun Doğu ve Batı eyaletlerinde üretimi bulunan kırmızı astarlı ince seramikler için kullanılan bir terimdir. Isaura'da bunların Doğu üretimleri olan Doğu Sigillata A (DSA), Doğu Sigillata B (DSB), Doğu Sigillata D (DSD/Kıbrıs Sigillatası) örnekleri tespit edilmiştir.

Doğu Sigillata A (DSA) kapları, bu türün Doğu üretimlerinin en erken grubudur. Isaura antik kentinde Doğu Sigillata A grubuna ait bir örnek tespit edilmiştir. Hayes'in sınıflandırmasına göre Hayes Form Tarda E grubuna giren parça, Antoninler Dönemi'ne (MS 2. yüzyıl) tarihlenmektedir. Isaura'da terra sigillata kaplarının Doğu üretimlerinin bir diğer grubu olan Doğu Sigillata B (DSB) grubuna ait üç parça ele geçmiştir. Hayes'in sınıflandırmasına göre Hayes Form 17A, 22 ve 53 tiplerine ait olan kaplar genel olarak Augustus Dönemi ile MS 1. yüzyıl arasını göstermektedir.

Isaura (Zengibar Kalesi) buluntuları arasında Doğu Sigillata D kapları en yoğun grubu oluşturmaktadır. Toplam otuz dört adettir. Hayes'in sınıflandırmasına göre Hayes Form P1, P18A, P36, P37, P37B, P3, P7, P4B, P10, X38, P11, P30 ve P42 tipleri tespit edilmiştir. Bunların en erken örneği MÖ 1. yüzyıla tarihlenen Hayes Form P1, P18A ve P36'dır. P37 ve P37B, MÖ 1. yüzyılın ikinci yarısı ile MS 1. yüzyılın ilk yarısına ait kaplardır. P3 ve P7 Augustus Dönemi'ne tarihlenmektedir. Hayes P4B, P10 ve X38 MS 1. yüzyıla, P11 MS 1. yüzyılın ikinci yarısı ile MS 2. yüzyılın ilk yarısına aittir. MS 2. yüzyıl tipleri olan Hayes Form P30 ve 42 ise Isaura buluntusu DSD kaplarının en geç örnekleridir.

Isaura antik kentinde arkeolojik veriler Hellenistik Dönem başına kadar geri gitmektedir. Roma Dönemine gelindiğinde ise buluntular artmaktadır. Özellikle MS 2. ve 3. yüzyıllarda bölgede yaşanan mimari hareketlilik Isaura'da da söz konusu olmuştur. Bu çalışmada değerlendirilen ithal seramikler, öncelikle Isaura antik kentinin MÖ 1. yüzyıldan MS 2. yüzyıl sonlarına kadar uzanan yerleşim izini vermesiyle önemlidir. MS 1. ve 2. yüzyıllarda seramikler artış göstermektedir. Bu durum kentteki

mimari hareketlilikle paralel görünmektedir. Seramikler arasında özellikle ise üretimi Kıbrıs yanında Anadolu'nun Güneybatı kıyılarındaki kentlerde de olduğu düşünülen yoğun Doğu Sigillata D ürünlerinden oluşması Isaura antik kentinin buralarla olan yakın ilişkilerini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Isauria Bölgesi, Isaura (Zengibar Kalesi), Roma Dönemi, İthal Seramik, Terra Sigillata.

IMPORTED ROMAN PERIOD CERAMICS FROM THE ANCIENT CITY OF ISAURA (ZENGIBAR CASTLE): A PRELIMINARY REPORT

ABSTRACT

Isaura (Zengibar Castle) was located in the Lycaonia and Isauria region during the ancient period. Nowadays, it is situated on Asar Hill, 19 km southwest of Bozkır district in Konya province. Surface surveys were conducted in the city between 2009 and 2019 under the leadership of Prof. Dr. Osman Doğanay. A large number of ceramic finds were obtained during these surface surveys conducted in the ancient city of Isauria, one of the most important cities of the Isauria region. The imported ceramics of the Roman period are quite diverse. The Roman period terra sigillata ceramics obtained during the said surface surveys constitute the subject of the current study. Terra sigillata is a term used to refer to red-slipped fine ware produced in the eastern and western provinces of the Roman Empire. Examples of the eastern productions of these wares, namely Eastern Sigillata A (ESA), Eastern Sigillata B (ESB), and Eastern Sigillata D (ESD/Cypriot Sigillata), were identified in Isaura.

Eastern Sigillata A (ESA) vessels represent the earliest group among the eastern productions of this ware. An example belonging to the Eastern Sigillata A group was identified in the ancient city of Isaura. In line with Hayes's classification, the piece, belonging to the Hayes Form Tarda E group, dates to the Antonine period (2nd century AD). Three pieces belonging to the Eastern Sigillata B (ESB) group, another group of Eastern productions of terra sigillata vessels, were found in Isaura. According to the classification of Hayes, the vessels, belonging to Hayes Form 17A, 22, and 53 types, generally date between the Augustan period and the 1st century AD.

Eastern Sigillata D vessels constitute the most abundant group among the finds from Isaura (Zengibar Castle), totaling 34 pieces. According to the classification of Hayes, Hayes Form P1, P18A, P36, P37, P37B, P3, P7, P4B, P10, X38, P11, P30, and P42 types were identified. Hayes Form P1, P18A, and P36, dating to the 1st century BC, are the earliest examples of these. P37 and P37B are vessels belonging to the second half of the 1st century BC to the first half of the 1st century AD. P3 and P7 are dated to the Augustan period. Hayes P4B, P10, and X38 belong to the 1st century AD, whereas P11 belongs to the second half of the 1st century AD to the first half of the 2nd century AD. Hayes Forms P30 and P42, which date to the 2nd century AD, represent the latest examples of ESD vessels found in Isaura.

Archaeological data from the ancient city of Isaura date back to the beginning of the Hellenistic period. The number of finds increases during the Roman period. The architectural activity experienced in the region, especially in the 2nd and 3rd centuries AD, was also observed in Isaura. The imported ceramics addressed in the current study are important primarily because they provide evidence of settlement in the ancient city of Isaura from the 1st century BC to the end of the 2nd century AD. The number of ceramics increased in the 1st and 2nd centuries AD, which is parallel to the architectural activity in the city. Among the ceramics, the predominance of Eastern Sigillata D products—whose production is thought to have taken place not only in Cyprus but also in cities along the southwestern coast of Anatolia—indicates the close connections of the ancient city of Isaura with the said regions.

Keywords: Isauria Region, Isaura (Zengibar Castle), Roman Period, Imported Ceramics, Terra Sigillata.

ASSOCIATION OF PARENT-SPECIFIC CORONARY ARTERY DISEASE HISTORY WITH MYOCARDIAL FUNCTION AND ANGIOGRAPHIC SEVERITY

Dr Sarah Shahid¹,

¹Assistant Professor of Physiology

¹Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan

¹<https://orcid.org/0009-0001-2859-0319>

Dr Zubia Shah²,

²Associate Professor of Physiology, Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan

INTRODUCTION:

Coronary artery disease (CAD) is the leading cause of mortality worldwide. South Asia bears a disproportionately high burden of CAD, characterized by earlier onset and more severe disease. Family history is a recognized non-modifiable risk factor; however, most clinical risk models treat maternal and paternal history equally. Emerging evidence suggests maternal history may exert a stronger influence on disease severity through genetic, epigenetic, and intrauterine mechanisms. Despite these observations, data from South Asian populations remain sparse, leaving a critical knowledge gap in understanding how parental lineage shapes the clinical and angiographic profile of CAD.

OBJECTIVES: To compare the influence of maternal and paternal history of CAD on angiographic severity, left ventricular function, and clinical characteristics in patients undergoing coronary angiography.

METHODS: A cross-sectional study was conducted at the Cardiology Unit of Hayatabad Medical Complex, Peshawar, involving 250 patients undergoing Coronary angiography. Data collected included demographic details, parental history of CAD, Echocardiographic parameters (LVEF, RWMA), and angiographic findings (vessel involvement, Gensini score). Patients were stratified into four groups based on family history: maternal, paternal, both, or none. Statistical analyses included ANOVA, Chi-square tests, and multivariate logistic regression.

RESULTS: Among the participants, 25.9% had paternal history, 17.8% maternal, 9.5% both, and 46.8% no parental history. Patients with maternal history had higher mean Gensini scores ($p=0.01$) and lower LVEF ($p=0.03$). Triple-vessel disease was most prevalent among patients with a maternal history (42.5%). Multivariate regression revealed maternal history as an independent predictor of severe angiographic CAD (OR 1.58, 95% CI 1.15–2.16).

CONCLUSION: Maternal history of CAD is associated with more severe coronary artery involvement and lower left ventricular function. These results underscore the need to incorporate maternal lineage into risk prediction models, prioritize early screening in these patients, and stimulate further research into the underlying biological mechanisms driving this differential risk.

KEYWORDS: Coronary artery disease, maternal history, paternal history, Gensini score, angiography, ejection fraction

BIOACTIVE COMPOUNDS OF SEA BUCKTHORN (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES*) BERRIES AND THEIR THERAPEUTIC ROLE IN CHRONIC COUGH RELIEF

Tasawar Iqbal

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5854-9069>

Institute of Physiology and Pharmacology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract

Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries are rich in diverse bioactive compounds, including flavonoids, carotenoids, vitamin C, tocopherols, organic acids, and polyunsaturated fatty acids, which contribute to their wide-ranging pharmacological potential. Chronic cough is a persistent respiratory condition often associated with inflammation, oxidative stress, and airway irritation. Conventional antitussive therapies may provide symptomatic relief but are sometimes limited by side effects and incomplete efficacy. This review explores the therapeutic potential of sea buckthorn berry-derived bioactive compounds in alleviating chronic cough through anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial, and mucoprotective mechanisms. Flavonoids such as quercetin and isorhamnetin help reduce airway inflammation by modulating pro-inflammatory cytokines, while vitamin C enhances immune response and supports epithelial repair. Omega fatty acids contribute to maintaining respiratory mucosal integrity, reducing irritation-induced coughing reflexes. Carotenoids and tocopherols further mitigate oxidative stress in respiratory tissues. Additionally, sea buckthorn extracts demonstrate potential antimicrobial activity against pathogens implicated in chronic respiratory infections. The synergistic interaction of these phytochemicals suggests a multifactorial therapeutic approach that may complement existing cough management strategies. Although preclinical studies provide promising evidence, further clinical trials are required to establish standardized dosages, safety profiles, and long-term efficacy in human populations. This review highlights sea buckthorn berries as a promising natural therapeutic candidate for chronic cough relief and encourages further pharmacological and clinical investigations. Overall, integration of sea buckthorn-based formulations into respiratory care may offer a safer adjunct or alternative to synthetic antitussive agents, particularly in patients with chronic inflammatory airway disorders. Future research should focus on mechanistic pathways, standardized extract development, and randomized controlled trials to validate clinical applicability and therapeutic safety in respiratory diseases in chronic cough management strategies today.

Keywords: Sea buckthorn, *Hippophae rhamnoides*, Chronic Cough, Bioactive Compounds, Flavonoids, Antioxidant.

CLIMATE SHOCKS, FORCED INTERNAL MIGRATION, AND URBAN HEALTH EXTERNALITIES: INSTRUMENTAL VARIABLE EVIDENCE FROM THE GLOBAL SOUTH

Prof Mamta Sharma

KM College, University of Delhi, India
ORCID number 0009-0009-5804-7673

Prof Sandeep K Sharma

Rajdhani College, University of Delhi, India
ORCID number 0009-0005-0636-9102

ABSTRACT

Climate change is increasingly recognised as a structural driver of internal displacement, yet its downstream consequences for urban health outcomes in the Global South remain causally underidentified. This paper investigates the full three-stage pathway linking climate shocks to population health deterioration — operating through forced rural-to-urban displacement and subsequent urban congestion — and provides credible causal evidence using panel data from eight high-displacement nations across South Asia, Sub-Saharan Africa, and the Asia-Pacific.

Drawing on a multi-source dataset spanning 2000–2022 and covering approximately 2,400 district-year observations across Bangladesh, India, Pakistan, Nigeria, Ethiopia, Kenya, Mozambique, and the Philippines, we exploit exogenous variation in climate shocks — specifically, standardised rainfall anomalies and cyclone wind-field exposure — to instrument for internal displacement and address the endogeneity of migration decisions.

Our findings reveal that climate-induced displacement significantly worsens urban health outcomes in receiving cities. A 10% increase in displacement raises under-5 mortality by 2.3 per thousand live births, increases diarrheal disease incidence by 4.1%, and reduces facility delivery rates by 5.8 percentage points. These effects operate primarily through the overloading of water and sanitation infrastructure (42% of the total effect), crowding of health facilities (28%), nutritional stress (18%), and mental health deterioration (12%). Secondary cities and low-governance contexts bear disproportionately larger health burdens, and cyclone-induced displacement generates nearly twice the health damage of drought-driven migration owing to the speed and scale of population movement.

These findings carry direct implications for anticipatory urban health planning, climate finance allocation under the Loss and Damage framework, and inclusive universal health coverage policies for internally displaced persons across the Global South.

Keywords: Climate displacement; Internal migration; Urban health externalities; Instrumental variables; Global South; WASH infrastructure

THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY

Dr Saima Shaheen

Department of Biochemistry, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar.

Dr Nabila Sher

Professor, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar

Dr. Kalsoom Tariq

Associate Professor Department of Biochemistry, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar

ABSTRACT

Introduction: Thyroid hormones play an important role in the development and maintenance of nearly all tissues. In Pakistan, hypothyroidism and hyperthyroidism prevalence are 4.1% and 5.1%, respectively, and with increasing age, prevalence increases approximately to 10% in adults over 65 years of age. Malnutrition or nutritional deficiencies in the body can be the cause of thyroid disorders. Zinc (Zn) and copper (Cu), have important roles in regulating biological processes, maintaining normal thyroid function, and preventing thyroid diseases.

Objective: The objective of study was to find out levels of the thyroid hormones (TSH, T3 and T4) and its association with plasma zinc levels among adolescents Afghan refugees living in Peshawar, Pakistan.

Methodology:

Study design: Cross-sectional study

Study setting: It was conducted in the experimental Laboratory of Hayatabad Medical Complex, Hayatabad, Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa (Pakistan) and University of Nottingham, England.

Subjects: A total of 206 adults from Khazana Afghan Refugee Camp, Peshawar were recruited and demographic details were done using a standard questionnaire.

Methods: We measured the patient's weight and height to calculate body mass index (BMI). Each participant blood sample was taken, so that many indicators could be measured. The concentrations of plasma zinc were measured by Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS), and TSH, T3, and T4 were done by using cobas e 601 which is a completely automated analyzer that performs immunoassay analysis using electrochemiluminescence (ECL) technology.

Results: Gender was equally divided into 103 females and 103 males with age group of 10-14 was (65.5%) and 15-19 was (34.5%). According to results (99.0%) participants had normal TSH levels, (79.1%) of participants had normal T3 levels, while (78.6%) of participants had normal T4 levels. T3 and T4 was low in (10.7 and 18.4 %) respectively. Serum Zinc levels in majority (65%) of participants had normal zinc levels while 35% of the participants were found to be deficient in zinc. There was significant association between gender and age group p value 0.02. A significant association was found between the gender and T3 levels. Females had more ratio of increased T3 levels. There was significant association between gender and T4 levels. However there was no significant association between thyroid hormones Zinc and other parameters.

Conclusion: This non-significant study did not find a direct relationship between thyroid hormones and zinc levels, there is still evidence to suggest that maintaining adequate zinc levels may be important for proper thyroid function. Further research is needed to fully understand the relationship between these two factors. Keywords; malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

Keywords; malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

Registration number: 2019/KMU/ KGMC/MPhil/BIO/1

Deep Reinforcement Learning for "Moving Target Defense" in Dynamic Project Cloud Architectures

Muhammad FAISAL

Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University

ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT

Static IP addresses and server configurations make it easy for hackers to "Recon" a project's infrastructure. This research proposes **Moving Target Defense** (MTD) powered by Deep Reinforcement Learning (DRL). The DRL agent constantly "Shuffles" the project's network topology, IP addresses, and port configurations in a way that is invisible to legitimate users but confusing to attackers. The study analyzes a 2026 e-commerce project where MTD-driven infrastructure reduced the "Attacker Success Rate" by 90% during a sustained DDoS and port-scanning attack. The paper concludes that "Infrastructure-as-a-Service" (IaaS) combined with AI-driven MTD turns the project's cloud into a "Living Organism" that is constantly hiding and changing, effectively removing the "Standing Targets" that hackers rely on for successful exploitation.

Keywords: Moving Target Defense (MTD), DRL, Network Topology, IaaS, Cloud Security, DDoS Defense.

THE LEARNING HYPOTHESES ADOPTED IN DIDACTICS I: PSYCHOLOGICAL HYPOTHESIS

Hassan Zariouh

Department of Mathematics (CRMEFO), Oujda 60000, Morocco

Adil Zerouali Amri

Directeur du Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation de l'Oriental (CRMEFO),
Oujda 60000, Morocco.

ABSTRACT

As we have already stated, the didactics of a discipline studies the processes of transmission and acquisition of the various contents of the discipline in question, whether in a school setting or in adult education. It aims to describe and explain the phenomena related to the relationship between its teaching and its learning.

The individual learns by adapting (assimilation and accommodation) to an environment that is a producer of contradictions, difficulties, and imbalances.

Most educationalists retain from Piaget's work the constructivist nature of knowledge acquisition, while offering two categories of criticisms:

- underestimation of differences in content and situations,
- a tendency to reduce equilibration processes to a private relationship between the subject and objects and operations.

Educationalists consider it an established fact that:

- learning is a dynamic process in which the learner is an active participant,
- knowledge is constructed through interaction between the learner and their physical and social environment.

Keywords: didactics, Psychological hypothesis, learning hypotheses, individual learns, processes of transmission.

REFERENCES:

- [1] H. Besse : Remarques sur le statut de la didactique des langues étrangères dans le champ des sciences humaines et sociales. Bulletin de l'ACLA, 7, 7–27. (1985)
- [2] M. Artigue – R. Douady : La didactique des mathématiques en France. Revue Française de Pédagogie N° 76 (1986) P.69-88.
- [3] G. Brousseau : Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherche en Didactique des Mathématiques, Vol 7 n°2 (1986) P33-115.
- [4] E.N. Ivantsyna : Achieving skill in solving geometry problems – in : soviet studies in the psychology of learning mathematics – vol/4 : problem solving in geometry – University of Chicago, 1970.

THE LEARNING HYPOTHESES ADOPTED IN DIDACTICS II: DIDACTIC HYPOTHESIS

Hassan Zariouh

Department of Mathematics (CRMEFO), Oujda 60000, Morocco.

Mounia Mouzouri

Director of Regional Academy of Education and Training of the Oriental, Oujda 60000, Morocco

ABSTR ACT

As we have already stated, the didactics of a discipline studies the processes of transmission and acquisition of the various contents of the discipline in question, whether in a school setting or in adult education. It aims to describe and explain the phenomena related to the relationship between its teaching and its learning.

An environment without didactic intentions (that is, not deliberately organized to teach knowledge) is insufficient to instill in a student all the knowledge that society wants them to acquire. The teacher must therefore elicit in students the desired adaptations through a relevant organization of what we will call the “environment.”

The “environment” (which we will discuss at length later in the course) plays a central role in learning, as the cause of adaptations, and in teaching as a point of reference.

A state of knowledge is thus characterized by a state of equilibrium in the student/environment system, under specific constraints.¹⁶ The construction to which learning refers is the construction of a new equilibrium following a disturbance in the environment or constraints exerted on this system.

Keywords: didactics, Didactic hypothesis, learning hypotheses, individual learns, processes of transmission.

REFERENCES

- [1] H. Besse : Remarques sur le statut de la didactique des langues étrangères dans le champ des sciences humaines et sociales. Bulletin de l'ACLA, 7, 7–27. (1985)
- [2] M.Artigue – R.Douady : La didactique des mathématiques en France. Revue Française de Pédagogie N° 76 (1986) P.69-88.
- [3] G.Brousseau : Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherche en Didactique des Mathématiques, Vol 7 n°2 (1986) P33-115.
- [4] E.N.Ivantsyna : Achieving skill in solving geometry problems – in : soviet studies in the psychology of learning mathematics – vol/4 : problem solving in geometry – University of Chicago, 1970.

**BUILT FOR CRISIS! EXPLORING USER SATISFACTION WITH THE EMERGENCY
DEPARTMENT ENVIRONMENT IN A SELECTED TEACHING HOSPITAL**

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti

Associate Professor & CoD, Dept of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore.

Ar. Muhammad Zahid Ilyas

Professional Architect & MSc SED Student, AIOU Islamabad.

Ar. Rida Zahra

PhD Scholar, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore.

Ar. Muti ul Haq

Lecturer, Punjab Tianjin University of Technology, Lahore.

Ar. Fahad Khan

Lecturer, Department of Architecture, School of Architecture & Planning University of Management
& Technology, Lahore.

ABSTRACT

The provision of healthcare is essential to the health of society. It affects people's physical, emotional, and social well-being. In developing nations like Pakistan, hospitals are essential parts of the healthcare system. Hospitals are incomplete without the emergency department (ED). It acts as the initial point of contact for patients with accidents, crisis, and acute medical issues, offering vital and timely care that frequently saves lives. Environmental design considerations into design of any ED is crucial towards its functional needs and optimum performance. Lack of environmental design consideration into the recent upgradation of the ED at Bakhtawar Amin Trust Hospital Multan lead to poor user satisfaction. Hence it was need of the hour to observe, document, explore and resolve the current issues faced and how it can be addressed through environmental design interventions. Using purposive sampling with sample size of 120 were baselined. Piloting was done in the initial stage to ensure ample participation. Observational study of the facility was followed by data collection from respondents. With lack of sufficient seating spaces and facilities, people tend to wait standing prior to previous patients to get their turn. Improper designed toilets, stores, dirty and clean linen storage and labs based rooms in the ED facility was below users satisfaction. Non-presence of ramp created critical issue for orthopedic patients. Enhancements in thermal comfort, improving lighting, upgrading accessibility and allied spaces for the department have been proposed to help develop interventional improvement.

Keywords: Accident & Emergency, Teaching Hospital, Architectural Design, Healthcare Design, Environmental Design, End user satisfaction.

GROWTH OF ENTIRE SOLUTIONS OF INFINITE-ORDER LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE UNIT DISC

Dr FETTOUCH Houari

Laboratory of Pure and Applied Mathematics, University of Mostaganem, UMAB, Algeria.

ORCID: 0000-0002-8488-3431

ABSTRACT

In this paper, we investigate the growth behavior of entire solutions of a certain class of linear differential equations in a neighborhood of an isolated essential singularity. By means of a suitable conformal mapping, we transfer known growth results from the complex plane to the local setting near the singular point. This approach allows us to establish parallels between classical growth theory in the complex plane and the corresponding local behavior around an essential singularity. Our results demonstrate that many properties concerning the order of growth and related characteristics remain structurally analogous **under this transformation**.

Introduction and statement of results

Throughout this paper, we assume that the reader is familiar with the fundamental results and the standard notations of the Nevanlinna value distribution theory of meromorphic function on the complex plane $\mathbb{C}$ and in the unit disc $D = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ (see [haym, yang]). The importance of this theory has inspired many authors to find modifications and generalizations to different domains. Extensions of Nevanlinna Theory to annuli have been made by [bieb, khri, kond, korh, mark]. In this paper, we concentrate our investigation near an isolated essential singular point. We start to give the appropriate definitions. Set $\bar{\mathbb{C}} = \mathbb{C} \cup \{\infty\}$ and suppose that $f(z)$ is meromorphic in $\bar{\mathbb{C}} - \{z_0\}$, where $z_0 \in \mathbb{C}$. Define the counting function of f by

$$N_{z_0}(r, f) = - \int_{\infty}^r \frac{n(t, f) - n(\infty, f)}{t} dt - n(\infty, f) \log r,$$

where $n(t, f)$ counts the number of poles of $f(z)$ in the region $\{z \in \mathbb{C} : t \leq |z - z_0|\} \cup \{\infty\}$ each pole according to its multiplicity; and the proximity function by

$$m_{z_0}(r, f) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln^+ |f(z_0 - re^{i\varphi})| d\varphi.$$

The characteristic function of f is defined in the usual manner by

$$T_{z_0}(r, f) = m_{z_0}(r, f) + N_{z_0}(r, f).$$

In addition, the order of meromorphic function $f(z)$ near z_0 is defined by

$$\sigma_T(f, z_0) = \limsup_{r \rightarrow 0} \frac{\log^+ T_{z_0}(r, f)}{-\log r}.$$

For an analytic function $f(z)$ in $\bar{\mathbb{C}} - \{z_0\}$, we have also the definition

$$\sigma_M(f, z_0) = \limsup_{r \rightarrow 0} \frac{\log^+ \log^+ M_{z_0}(r, f)}{-\log r},$$

where $M_{z_0}(r, f) = \max \{ |f(z)| : |z - z_0| = r \}$.

For example, the function $f(z) = \exp \left\{ \frac{1}{(z_0 - z)^n} \right\}$, where $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$, we have

$M_{z_0}(r, f) = \exp \left\{ \frac{1}{r^n} \right\}$, and then $\sigma_M(f, z_0) = n$. We have also

$$T_{z_0}(r, f) = m_{z_0}(r, f) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln^+ |f(z_0 - re^{i\varphi})| d\varphi = \frac{1}{r^n}, \text{ and so } \sigma_T(f, z_0) = n.$$

For the function $f(z) = \exp \left\{ \frac{-1}{(1-z)} \right\}$, we have $\sigma(f, 1) = 1$ while in the unit disc we have

$$\sigma_T(f) = \sigma_M(f) = 0.$$

We see that in the unit disc we have $\sigma_T(f) \leq \sigma_M(f) \leq \sigma_T(f) + 1$ and in the complex plane we have $\sigma_T(f) = \sigma_M(f)$.

Keywords: singular point, proximity local growth, complex plane.

Reference:

1. S. Hamouda, *Iterated order of solutions of linear differential equations in the unit disc*, Comput. Methods Funct. Theory, 13 (2013) No. 4, 545-555.
2. W.K. Hayman, *Meromorphic functions*, Clarendon Press, Oxford, 1964.
3. J. Heittokangas, *On complex differential equations in the unit disc*, Ann. Acad. Sci. Fenn. Math. Diss. 122 (2000), 1-14.
3. J. Heittokangas, R. Korhonen and J. Rättyä, *Fast growing solutions of linear differential equations in the unit disc*, Result. Math. 49 (2006), 265-278.

INTEGRATED SOLAR DESALINATION WITH THERMAL STORAGE AND ENERGY RECOVERY

¹Badre Zinaoui, ²Pr.Labjar Najoua, ³Pr.EL Hajjaji souad, ⁴ELABBARI Chaimaa

Chemistry Department, Mohammed V University in Rabat
4 Avenue IbnBattouta, P.O. Box 1014, Rabat, Morocco

Abstract

This work focuses on the development and optimization of an integrated solar desalination system that combines photothermal evaporation, thermal energy storage, and energy recovery to enhance freshwater production. The system uses high-efficiency photothermal materials to convert solar radiation into heat, enabling rapid water evaporation under low energy consumption. A thermal storage unit - typically based on molten salts or phase-change materials ensures continuous desalination during periods of low or no sunlight, thereby stabilizing the system's performance. Additionally, energy recovery components, such as heat exchangers or thermoelectric modules, are incorporated to capture and reuse waste heat, improving the overall thermodynamic efficiency. The integration of these technologies results in a highly sustainable, autonomous, and cost-effective desalination solution suitable for remote and coastal regions facing water scarcity. This approach contributes to reducing reliance on conventional, energy-intensive desalination methods while promoting clean and renewable water production.

Keywords: Solar desalination, photothermal materials, thermal energy storage (TES), molten salts
Thermal efficiency, Hybrid solar system, Freshwater production

CONTACT AREA ON HEEL PRESSURE AND FOOT PAIN: A BIOMECHANICAL AND ERGONOMIC STUDY

Seifelasie Asmamaw¹, Biniyam Solomon¹, Prof. Tamrat Tesfaye (Ph.D.)²

¹ Department of Leather Engineering, Apparel Faculty, Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia

² Biorefinery Research Centre, Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia

Abstract

Prolonged standing in the hospitality industry is associated with a high prevalence of foot pain, yet the role of the shoe base contact area remains understudied. This study investigated the effect of heel contact area on plantar pressure distribution and foot pain among 176 hotel hostesses. Plantar pressure was calculated from footprint images using ImageJ, and pain was assessed via Visual Analogue Scale (VAS). Multiple linear regression revealed that heel contact area was the dominant predictor of heel pressure ($\beta = -1,421 \text{ Pa/cm}^2$, $p < 0.0001$), with body weight having an 11-times smaller effect. Sole material (PVC, EVA, mixed) showed no significant effect ($p = 0.889$). Heel pressure correlated strongly with heel pain ($r = 0.862$). A redesigned shoe with enlarged heel area ($\approx 24 \text{ cm}^2$ increase) predicted a 29% reduction in heel pressure ($p < 0.0001$), bringing all values below the 65 kPa clinical pain threshold. These findings demonstrate that increasing heel contact area is an effective, low-cost design strategy to reduce occupational foot pain.

Keywords: Footwear biomechanics, Heel contact area. Plantar pressure, Prolonged standing, Occupational foot pain

STRUCTURAL, AND ELECTROCHEMICAL STUDIES OF ZnO/CuO NANOCOMPOSITES

BOUGHANEM Mohd Oulmessaoud¹, BEKHEIRA Samir²

¹Department of physics, university of Akli Mohand Oulhadj Bouira, Algeria

²Department of physics, higher normal school of kouba, algiers, Algeria

Abstract

In this work, ZnO, CuO, and ZnO/CuO nanocomposites with following ratios (50% ZnO/50% CuO and 70% ZnO/30% CuO) were successfully prepared and deposited on glass substrates by the sol-gel spin coating method. Various characterization techniques such as X-ray diffraction analysis (XRD), and cyclic voltammetry were used to investigate the crystal structure and electrochemical study. The XRD results showed that the crystal structure of ZnO is hexagonal, and that of CuO is monoclinic. The crystallite size was decreased while dislocation density and microstrain were increased by the addition of CuO concentration. The electrochemical study determined that the 50%ZnO/50%CuO electrode has the highest oxidation and reduction peaks indicating a quasi-reversible behaviour of the electrode materials, and the specific capacitance values at scan rate of 1 mV/S were calculated to be: 78 F/g for ZnO, 98 F/g for CuO, 77 F/g for 70%ZnO/30%CuO, and 217 F/g for 50%ZnO/50%CuO nanocomposite.

Key-words: spin coating, XRD, ZnO, CuO.

AI-ENABLED URBAN ENVIRONMENTAL MONITORING USING IoT-BASED MOBILE SENSOR NETWORKS AND SPATIOTEMPORAL ANALYTICS

Dr. Muhammad Mazhar Iqbal^{1*}, Tehmena Rashid², Shafiq-ur-Rehman¹, Dr. Saba Zam Zam³, Muhammad N aveed¹

1* Water Management Training Institute, Department of Agriculture (On Farm Water Management), Government of Punjab, Lahore 54000, Pakistan

2 Agriculture Mechanization Research Institute (AMRI) Multan, Agriculture Department, Government of Punjab, Multan 60000

3 Pakistan Institute for Global Environmental Governance & Research

ABSTRACT

Rapid urban expansion has intensified environmental challenges such as air pollution, noise pollution, and uneven infrastructure performance in modern cities. Traditional monitoring systems often fail to capture high-resolution spatial and temporal variability, limiting their effectiveness for real-time decision-making. This study proposes an AI-enabled urban environmental monitoring framework that integrates IoT-based mobile sensor networks with spatiotemporal analytics for comprehensive environmental assessment.

The system utilizes GPS-enabled IoT sensors to collect multi-source environmental data, including particulate matter concentrations, noise levels, and mobile network performance indicators across different urban locations. The collected dataset is processed using artificial intelligence and machine learning techniques to model environmental dynamics and predict pollution trends. Advanced spatiotemporal clustering methods are applied to identify hotspot regions and detect anomalies in environmental behavior.

Correlation analysis is used to evaluate relationships between meteorological variables and pollution levels, while predictive models such as ensemble learning and regression-based approaches are employed for short-term environmental forecasting. The results indicate significant spatial variability in air quality and noise exposure, along with noticeable differences in urban connectivity performance across locations.

The proposed framework demonstrates strong capability in generating high-resolution environmental intelligence for smart city applications. It supports data-driven urban planning, real-time environmental risk detection, and policy development for sustainable urban management.

Keywords: Artificial Intelligence; IoT Sensor Networks; Urban Environmental Monitoring; Spatiotemporal Analysis; Smart Cities; Air Quality Prediction; Machine Learning; Environmental Data Analytics; Noise Pollution; Urban Informatics

FLOOD, SWAMP AND WET MEADOWS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR LIVESTOCK PRODUCTION

Academician Dr Ivan Pavlovic (em.)

member of RANS, AVM, IRASA, expert EFSA, ECDC, FAO, WHO, PhD, MSc, BSc, Principal Research Fellow, Professor

Abstract

Flood meadow is a wet grassy habitat, meadow or pasture, which is subject to occasional, seasonal or regular flooding. Flood meadows are most often found in river valleys, and depending on the level of groundwater and the regularity of flooding, vegetation of reeds and sedge grows in the area along the coast (more than 5 m from the edge of the watercourse), if the groundwater level is very high or the flood water remains for a long time, the soil is acidic; the vegetation of sods or wet meadows, if the flood water is retained for a relatively long time, and the groundwater level includes the root systems of the most abundant plants; the soil is acidic to neutral. Swamp meadows are created after deforestation on lands with high groundwater levels or lands exposed to long-term flooding. The vegetation of swamp meadows is mainly made up of grasses, legumes, blades and sedges. Frequently represented plant species are marsh meadowsweet (*Poa palustris*), white dewberry (*Agrostis alba*), tall bush (*Deschampsia caespitosa*), sedges (*Carex vulpina*, *Carex gracilis*) and buttercups (*Ranunculus flammula*, *Ranunculus repens*). During most of the year, this habitat is saturated with water, either due to high groundwater levels, poor soil drainage, or high rainfall. They can also occur in coastal areas and around the shores of large lakes. Unlike a floodplain or swamp, a wet meadow has no standing water except for short to moderate periods during the growing season. Instead, the soil in the wet meadow fluctuates between short periods of flooding and longer periods of saturation. A wet meadow is a wet or semi-humid habitat, dominated by grass vegetation. These types of pastures are used in extensive animal husbandry when the animals are mostly in small herds.

THE MUSICAL LEGACY OF TANSEN: MAESTRO OF THE MUGHAL COURT

Ananda Majumdar

(0000-0003-3045-0056) - ORCID

*Early Childhood Educator, Brander Garden After School Parents Association – present

Researcher, Project-based Articles, Antarctic Institute of Canada under Riipen

*Professor of Practice in Social Science, QAHE & Kennedy University of Saint Lucia -present

Abstract

Tansen, often called Mian Tansen, was one of the most famous musicians linked to the Mughal Empire, especially during the reign of Emperor Akbar. Tansen was trained in North Indian classical music and became highly respected for his singing in the dhrupad style, which was known for its serious tone and strong, disciplined performance. Before joining the Mughal court, he gained a strong reputation while working for regional rulers, and his fame eventually reached Akbar, who was known for supporting art and culture. In 1562, Tansen joined Akbar's court, where he became one of the celebrated "navaratnas," or nine gems, and received the honorific title "Mian," meaning a learned master. Stories about Tansen became popular over time, and many of them are legends rather than proven facts. For example, people said his music could light lamps with "Raga Deepak" or bring rain with "Megh Malhar," showing how deeply audiences believed in the power of his voice. Even without these tales, his real influence is clear because many compositions are credited to him, and several ragas are linked to his name in later tradition. He is also remembered for shaping court culture by making music an important part of royal life and public identity. Today, Tansen is still regarded as a key figure in Hindustani classical music, and many musicians and schools of music consider his work foundational to later styles. His life shows how the Mughal court could bring together talent, patronage, and cultural exchange to create a lasting artistic legacy.

Keywords: Tansen, Mughal Empire, Hindustani classical music, Ragas.

UNIVERSITY STUDENTS' COUNSELLING NEEDS IN SOKOTO STATE, NIGERIA: ISSUES, CHALLENGES AND WAY FORWARD

Bashiru Muhammad Liman, Ph.D

Department of Guidance and Counselling, Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria

Abstract

This study examined the counselling needs of university students in Sokoto State, Nigeria, with emphasis on the major issues confronting students, the challenges affecting effective counselling service delivery, and possible strategies for improvement. University students experience numerous academic, vocational, social, emotional, and psychological problems which require professional guidance and counselling intervention. The study identified major counselling needs such as academic adjustment, career decision-making, stress management, mental health support, examination anxiety, peer pressure, substance abuse prevention, and personal-social development. Despite the growing importance of counselling services in higher institutions, several challenges hinder their effectiveness in Sokoto State universities. These include inadequate funding, shortage of qualified counsellors, poor counselling facilities, low awareness among students, cultural stigma associated with seeking psychological help, and limited integration of information and communication technology in counselling practices. The study further highlighted the implications of these challenges on students' academic performance, emotional well-being, and overall adjustment to university life. In addressing these problems, the paper recommended increased government and institutional support, recruitment and training of professional counsellors, improved counselling infrastructure, awareness and sensitization programmes, adoption of digital counselling platforms, and strengthening of confidentiality and ethical standards in counselling practice. The study concluded that effective counselling services are essential for promoting students' academic success, mental health, and holistic development in universities within Sokoto State and Nigeria at large.

Keywords: Counselling needs, university students, counselling services, mental health, Sokoto State, Nigeria, higher education.

ELECTRONIC BANKING AND CUSTOMER SATISFACTION IN SELECTED COMMERCIAL BANKS IN NIGERIA

Auwal Mohammed Adamu

Department of General Studies, Federal Polytechnic Ilaro, Ogun State, Nigeria

Yusuf Saleh

Government Pilot Secondary School, Kagadama, Katsina State

ABSTRACT

Electronic banking is considered as a new revolution of the traditional banking services which offers customers the greatest opportunity to perform banking transactions at any place. The exodus of the adoption of digital banking in Nigeria has raised concern about its effect on bank customers. This study examines the effect of electronic banking on customer satisfaction in selected commercial banks in Nigeria. Data were collected from bank customers of selected commercial banks in Ogun State through structured questionnaires. The study employed logit regression to estimate the parameters of determinants of customer satisfaction. The findings from the study revealed that transaction speed and accessibility have positive impact on customers satisfaction, while the ease of use and security have negative impact on customers satisfaction. This suggest that accessibility and transaction speed associated with electronic banking significantly improve customers satisfaction. However, the study identified network failure and cyber security as challenges affecting customer satisfaction of electronic banking in Nigeria. The study therefore recommended for improvement in internet infrastructure and cyber security for effective online banking services in Nigeria.

Keywords: electronic banking, customer satisfaction, transaction speed, ease of use

OPEN INNOVATION AND SME INTERNATIONALIZATION: A CRITICAL REVIEW

Lamyae Nachit^{1*}, Nada MOUFDI¹

¹Faculty of Economic and social Sciences Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Abstract

Open innovation has progressively emerged as a strategic paradigm enabling small and medium-sized enterprises (SMEs) to overcome internal resource limitations and strengthen their international competitiveness. In increasingly turbulent and interconnected markets, SMEs are compelled to mobilize external knowledge, collaborative networks, and inter-organizational partnerships to support their internationalization processes. Despite the growing body of research addressing open innovation and SME internationalization, the existing literature remains fragmented across several theoretical and empirical streams, particularly regarding the mechanisms through which open innovation contributes to the development of internationalization capabilities.

This study aims to provide a critical literature review of the relationship between open innovation and SME internationalization by identifying the principal conceptual foundations, dominant research themes, and emerging theoretical gaps within the field. Drawing upon the perspectives of dynamic capabilities, absorptive capacity, and organizational learning, the paper critically examines how SMEs leverage inbound and outbound open innovation practices to access foreign market knowledge, enhance adaptability, and strengthen international expansion strategies.

Methodologically, the study adopts a structured critical review approach based on peer-reviewed articles indexed in major scientific databases. The analysis synthesizes the evolution of the field, the main methodological tendencies, the most mobilized theoretical frameworks, and the principal empirical findings related to innovation collaboration, knowledge acquisition, strategic flexibility, and international performance.

The review highlights that open innovation contributes significantly to the international development of SMEs by facilitating access to external competencies, accelerating learning processes, and reinforcing firms' dynamic capabilities. However, the literature also reveals important inconsistencies concerning contextual determinants, measurement approaches, and the specific role of organizational capabilities in transforming open innovation practices into sustainable international outcomes.

This paper contributes to the literature by proposing an integrative understanding of the interplay between open innovation and SME internationalization while identifying promising avenues for future research, particularly in emerging economies and resource-constrained environments.

Keywords: Open innovation; SME internationalization; dynamic capabilities; absorptive capacity; organizational learning.

NUTRITIONAL POTENTIALS OF INDIGENOUS WILD FRUITS AS TOOLS AGAINST MALNUTRITION IN RURAL COMMUNITIES OF NORTHERN NIGERIA

Ibrahim Sani Dikko

Umaru Musa Yar'adua University Katsina

ORCID: 0009-0006-1401-5117

ABSTRACT

Malnutrition remains one of the major health problems affecting many rural communities in developing countries, especially among children, pregnant women, and low-income families. Limited access to balanced diets and nutritious foods has increased the rate of micronutrient deficiency and poor health conditions in many parts of Northern Nigeria. Indigenous wild fruits have served as important food sources for rural populations for many years due to their availability, affordability, and nutritional value. These fruits are commonly consumed either fresh or processed into local food products during seasons of food shortage. This study focuses on selected indigenous wild fruits commonly found in Northern Nigeria, including tamarind (*Tamarindus indica*), doum palm (*Hyphaene thebaica*), desert date (*Balanites aegyptiaca*), and *Lannea microcarpa*. Information obtained from previous scientific studies showed that these fruits contain useful nutrients such as carbohydrates, proteins, dietary fiber, vitamins, minerals, and natural plant compounds with health-promoting properties. Some of these fruits are rich in calcium, iron, potassium, vitamin C, and antioxidants that support body growth, immunity, and general wellbeing. The regular consumption of indigenous wild fruits may help reduce cases of malnutrition, especially in rural areas where access to commercial fruits and processed foods is limited. In addition to their nutritional value, these fruits may also support food security and provide economic opportunities for local communities through harvesting and local trade. However, poor awareness, seasonal availability, deforestation, and low attention to indigenous food resources have reduced their use among younger populations. The study recommends increased public awareness on the nutritional importance of indigenous wild fruits, encouragement of their cultivation and preservation, and support for further laboratory research on their nutrient composition and health benefits. Proper utilization of these local food resources may improve nutritional health and support sustainable feeding practices in rural communities.

Keywords: Indigenous wild fruits, malnutrition, nutrition, rural communities, food security, phytochemicals

EFFECT OF SEAWEED ENRICHED HUMIC ACID ON GROWTH AND YIELD OF BT. BRINJAL (*Solanum melongena* L.)

Md. Nazmul Hasan Arfin

Sylhet Agricultural University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Chemistry, Sylhet-
Bangladesh

ABSTRACT

Bt. brinjal (*Solanum melongena* L.), a member of the Solanaceae family, is an economically important vegetable crop cultivated worldwide across tropical, subtropical, and warm temperate regions. It has been genetically developed to resist lepidopteran pests, particularly the Brinjal Fruit and Shoot Borer (*Leucinodes orbonalis*), through the expression of *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin that forms pores in the insect's digestive system. In Bangladesh, where brinjal is locally known as “Begoon,” it ranks second only to potato in acreage and production. The present study evaluated the effect of seaweed-enriched humic acid on the growth and yield of Bt. brinjal using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Four treatments were applied: T₀ (control), T₁ (recommended fertilizer), T₂ (10 kg seaweed-enriched humic acid ha⁻¹), and T₃ (20 kg seaweed-enriched humic acid ha⁻¹). Humic acid enhances nutrient availability, stimulates seed germination and viability, and primarily promotes root growth. Growth parameters—plant height, leaf number, branch number, and flower number—were recorded at 30, 50, and 80 days after sowing (DAS). The highest values were observed at DAS 80, with plant height (119 cm), leaf number (130.33), branch number (26.67), and flower number (63.35). Yield performance revealed maximum production in T₂ (21.15 ton ha⁻¹), followed by T₃ (16 ton ha⁻¹), T₁ (12 ton ha⁻¹), and minimum in T₀ (12 ton ha⁻¹). The findings indicate that seaweed-enriched humic acid significantly enhances growth and yield attributes of Bt. brinjal. Therefore, its application can be regarded as an effective, eco-friendly, and sustainable supplement to improve productivity and promote sustainable agricultural systems in Bangladesh.

Keywords: Bt brinjal, Fruit and Shoot Borer, Seaweed, Humic acid, Recommended fertilizer.

ADVANCED SUSTAINABLE PRODUCTION TECHNIQUES FOR ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING WASTE

Md Antor Jaman Jihad^{1(a)}, Helal Uddin^{2(a)}, Fardin Khan^{3(a)}

^{a)} Department of Mechanical Engineering, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh

ABSTRACT

Sustainable manufacturing is becoming increasingly important as industries seek to minimize environmental impacts while maintaining productivity and profitability. Today's production systems still have problems of too much material waste, too little energy use, too much pollution in the form of GHGs, and too much consumption of resources. While lean manufacturing, green technologies, and energy efficient production systems are highlighted in previous studies, there is still a lack of discussion on how these practices could be integrated in an overall sustainable manufacturing framework. There is still a lack of effective solutions in many industries to simultaneously reduce waste and energy consumption and maintain operational performance. This research therefore focuses on sustainable manufacturing processes which minimise waste generation and energy use in manufacturing systems. The aim of the study is to determine the main sources of industrial waste, energy-saving production methods and the effect of the use of sustainable production methods on the efficiency of energy use and environmental performance. The research method used in this study was quantitative research with case study analysis, structured surveys and performance evaluation techniques. The data was taken from the selected manufacturing industries and analyzed statistically and comparatively. It was found that 35% of the material waste, 28% of the energy consumption and 22% of the production efficiency were improved with the introduction of sustainable manufacturing practices. Further, there was a reduction in carbon emissions of 18% due to the adoption of lean and green manufacturing practices. The study has been found that sustainable manufacturing practices play a major role in enhancing the efficiency of resources, sustainability of the environment, and productivity of industries which would be beneficial from economic and environmental point of view in long-term perspective for modern production systems.

Keywords: Sustainable Manufacturing; Energy Efficiency; Waste Reduction; Lean and Green Manufacturing; Environmental Performance

THE IMPLEMENTATION OF SOCIAL SERVICE PROJECT-BASED ASSESSMENT AS AN AFFECTIVE ASSESSMENT INSTRUMENT IN CHRISTIAN RELIGIOUS EDUCATION WITHIN THE CHURCH CONTEXT

Franciskus Salabbaet

¹Master of Christian Religious Education, Universitas Kristen Indonesia

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-8062-1705>

Anju Anggita Sitorus

²Master of Christian Religious Education, Universitas Kristen Indonesia

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-2509-298X>

Gloria Salhuteru

³Master of Christian Religious Education, Universitas Kristen Indonesia

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-7112-4654>

Abstract

Assessment innovations that involve student participation in creative projects, group discussions, and collaborative tasks emphasizing the application of Christian values in daily life have proven to stimulate student creativity and foster positive changes in attitude. Students develop empathy, compassion, and a spirit of sharing toward the surrounding community, creating a positive impact on character development. However, a concrete, contextually-based project-based assessment model for the church has not yet been systematically developed. This study aims to describe the application of project-based assessment in social service as an affective assessment instrument in Christian Religious Education learning in the church. The research method used is a qualitative descriptive method through literature review and conceptual analysis of various literature related to Christian Religious Education learning evaluation, affective assessment, and project-based learning. The results of the study indicate that social service project-based assessment is effective in evaluating the development of students' attitudes, such as responsibility, cooperation, empathy, compassion, and the application of Christian values of love. Furthermore, this assessment model is also capable of enhancing students' active participation in church and community service, thereby making Christian Religious Education learning more contextual, practical, and impactful in fostering Christian character.

Keywords: Project-Based Assessment, Social Service, Affective Assessment

PHYSICAL COMORBIDITIES AND MODIFIABLE RISK FACTORS IN PATIENTS WITH SCHIZOPHRENIA

Gentjan Asllanaj¹, Fatime Elezi¹

¹Medical University, Tirana, Albania

Abstract

Background: Schizophrenia is a chronic psychiatric disorder associated with increased physical morbidity and premature mortality. Patients with schizophrenia have a higher burden of cardiovascular disease, diabetes mellitus, obesity, metabolic syndrome, respiratory disorders and infectious diseases compared with the general population. This increased risk is related to unhealthy lifestyle patterns, long-term antipsychotic treatment, reduced access to preventive healthcare and underrecognition of somatic symptoms in psychiatric settings.

Objective: This study aimed to assess the frequency of physical comorbidities and modifiable cardiometabolic risk factors among patients with schizophrenia.

Methods: A descriptive clinical study was conducted among 63 patients diagnosed with schizophrenia in the Psychiatric Service of “Mother Teresa” University Hospital Center, Tirana, Albania. Data were collected on demographic characteristics, duration of illness, antipsychotic treatment, smoking status, body mass index, blood pressure, fasting glucose, lipid profile and documented physical comorbidities. Descriptive statistics were used to summarize the frequency of comorbid conditions and major modifiable risk factors.

Results: Among the 63 patients, 39 were male (61.9%) and 24 were female (38.1%), with a mean age of 44.8 ± 12.6 years. The mean duration of schizophrenia was 13.2 ± 8.4 years. At least one physical comorbidity was identified in 47 patients (74.6%), while 28 patients (44.4%) had two or more comorbid conditions. The most frequent findings were overweight or obesity in 36 patients (57.1%), arterial hypertension in 25 patients (39.7%), dyslipidemia in 23 patients (36.5%), impaired fasting glucose or diabetes mellitus in 18 patients (28.6%) and respiratory disease in 11 patients (17.5%). Smoking was reported by 41 patients (65.1%), while low physical activity was identified in 38 patients (60.3%). Metabolic syndrome was present in 21 patients (33.3%). Patients receiving antipsychotic therapy for more than 10 years showed a higher frequency of obesity, dyslipidemia and glucose abnormalities. Only 19 patients (30.2%) had undergone regular physical health monitoring during the previous year.

Conclusion: Physical comorbidities were frequent among patients with. Cardiometabolic risk factors represented the dominant clinical problem, particularly overweight or obesity, smoking, hypertension, dyslipidemia and glucose abnormalities. These findings emphasize the need to integrate systematic physical examination, metabolic monitoring and multidisciplinary care into routine psychiatric follow-up. Early identification and management of modifiable risk factors may reduce preventable morbidity and improve long-term outcomes in patients with schizophrenia.

Keywords: schizophrenia; physical comorbidities; metabolic syndrome; cardiovascular risk; Albania.

CLINICAL PROFILE AND MANAGEMENT NEEDS OF DENTAL ANXIETY AND PANIC IN DENTAL PATIENTS

Bisela Asllanaj¹, Suzana Gjerci²

¹Dental Clinic “Smile Now”, Tirana, Albania

²Medical University, Tirana, Albania

ABSTRACT

Background: Dental anxiety and panic symptoms are frequent psychological barriers in dental practice and may negatively affect patient cooperation, treatment adherence and oral health outcomes. These reactions may occur before or during dental procedures and can vary from mild fear to severe panic-like symptoms, including palpitations, sweating, trembling, dizziness, shortness of breath and fear of losing control. Common triggers described in the literature include fear of pain, local anesthesia injections, drilling sounds, previous traumatic dental experiences and uncertainty about the procedure.

Objective: This study aimed to evaluate the frequency, clinical presentation, main triggering factors and management needs of dental anxiety and panic symptoms among 58 patients attending dental care.

Methods: A descriptive clinical study was conducted among 58 patients who reported anxiety or panic symptoms related to dental treatment. Data were collected on demographic characteristics, previous dental experiences, anxiety triggers, physical and psychological symptoms, avoidance of dental visits and preferred support strategies during dental procedures. Descriptive statistics were used to summarize the findings.

Results: Among the 58 patients, 39 were female (67.2%) and 19 were male (32.8%). The mean age was 34.6 ± 11.8 years. Moderate dental anxiety was reported by 31 patients (53.4%), while severe anxiety or panic-like symptoms were reported by 18 patients (31.0%). Only 9 patients (15.5%) reported mild anxiety. The most frequent triggers were fear of pain in 42 patients (72.4%), drilling sounds in 35 patients (60.3%), local anesthesia injections in 33 patients (56.9%), previous negative dental experiences in 29 patients (50.0%) and uncertainty about the procedure in 26 patients (44.8%). The most common symptoms were palpitations in 37 patients (63.8%), sweating in 32 patients (55.2%), trembling in 28 patients (48.3%), shortness of breath in 21 patients (36.2%) and dizziness in 17 patients (29.3%). Avoidance or postponement of dental visits due to fear was reported by 34 patients (58.6%). Regarding supportive measures, 45 patients (77.6%) preferred clear step-by-step explanations, 41 patients (70.7%) emphasized the importance of reassurance, 38 patients (65.5%) preferred adequate pain control and 30 patients (51.7%) reported that short pauses during treatment would help reduce anxiety.

Conclusion: Dental anxiety and panic symptoms were common among the 58 patients included in this study, with more than half reporting avoidance of dental visits due to fear. Fear of pain, drilling sounds, injections and previous negative experiences were the leading triggers. Early recognition, empathetic communication, procedural explanation, effective pain control and individualized behavioral support are essential for improving patient comfort, cooperation and long-term oral healthcare adherence.

Keywords: dental anxiety; panic symptoms; dental fear; oral healthcare; patient management.

RADAR SINYALLERİNİN SINIFLANDIRILMASI İÇİN AKILLI PSO-KNN YAKLAŞIMI

Dilara KAHRAMAN

Kayseri University, Institute of Graduate Studies, Department of Computer Engineering,
38280 Talas, Kayseri

ORCID ID: 0009-0003-8145-3430

Doç. Dr. MEHMET AKİF BÜLBÜL

Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Software
Engineering 38280 Talas, Kayseri

ORCID ID: 0000-0003-4165-0512

Dr. Öğr. Üyesi SERHAT HIZLISOY

Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Computer
Engineering, 38280 Talas, Kayseri

ORCID ID: 0000-0001-8440-5539

ÖZET

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi modellerinde karşılaşılan temel zorluklardan biri, başlangıç parametrelerinin rastgele atanması ve özellik uzayındaki yüksek boyutluluk nedeniyle kayıp (loss) fonksiyonunun minimize edilmesinin güçleşmesidir. Özellikle karmaşık veri yapılarında, gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın azaltılması modelin genelleme yeteneğini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, sınıflandırma performansını maksimize etmek ve modelin hesaplama maliyetini düşürmek amacıyla öznelik seçimi (feature selection) ile hiper-parametre optimizasyonu odaklı, doğadan esinlenen hibrit bir yaklaşım önerilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan "Ionosphere" veri seti, Goose Bay radar istasyonundan alınan ve iyonosferdeki serbest elektron yoğunluğuna göre şekillenen 34 farklı teknik özneliği barındırmaktadır. Sistem, iyonosferden başarılı bir şekilde yansıyarak yapısal bilgi taşıyan "İyi" (Good) sinyaller ile iyonosfer katmanını geçerek uzaya kaçan veya atmosferik gürültü nedeniyle bozulan "Kötü" (Bad) sinyalleri yüksek hassasiyetle ayırt etmeyi hedeflemektedir. Veri setindeki yüksek boyutluluğun neden olduğu "boyut laneti" (curse of dimensionality) ve aşırı öğrenme (overfitting) riskine karşı, meta-sezgisel bir algoritma olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. PSO, arama uzayındaki parçacıkların kolektif zekasından yararlanarak, fiziksel olarak en ayırt edici ve bilgi içeriği en yüksek olan öznelik kombinasyonlarını dinamik olarak belirlemiştir. Sınıflandırma aşamasında ise K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması, optimize edilmiş bu alt uzay üzerinde Öklid tabanlı mesafe ölçütleri hassaslaştırılarak uygulanmıştır.

DeneySEL sonuçlar ve yakınsama grafikleri incelendiğinde; ham veri setiyle eğitilen modelin %85,75 olan doğruluk oranının, PSO tabanlı akıllı öznelik seçimiyle her iterasyonda kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. 10 iterasyonluk optimizasyon süreci sonunda, anlamlı bir bilgi kaybı yaşanmaksızın öznelik sayısı 16'ya indirilmiş; böylece modelin test başarıları %89.74 seviyesine yükselterek %3.99'lük net bir artış kaydedilmiştir. Boyut indirgeme işlemi, modelin karar sınırlarını daha belirgin hale getirmiş ve sınıflandırma hızını artırmıştır. Elde edilen 0,9373 AUC değeri ve karmaşıklık matrisi çıktıları, geliştirilen hibrit mimarinin radar sinyallerini karakterize etme ve ayırttırma konusundaki operasyonel başarısını kesin olarak kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Öznitelik Seçimi (Feature Selection), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), KNN, Hiper-parametre Optimizasyonu,

AN INTELLIGENT PSO-KNN APPROACH FOR RADAR SIGNAL CLASSIFICATION

ABSTRACT

One of the fundamental challenges encountered in artificial intelligence and machine learning models is the difficulty of minimizing the loss function due to the random initialization of parameters and the high dimensionality of the feature space. Particularly in complex data structures, reducing the discrepancy between actual and predicted values directly affects the generalization capability of the model. In this study, a nature-inspired hybrid approach focused on feature selection and hyper-parameter optimization is proposed in order to maximize classification performance and reduce computational cost.

The “Ionosphere” dataset used in this study consists of 34 different technical features obtained from the Goose Bay radar station and shaped according to the free electron density in the ionosphere. The system aims to accurately distinguish between “Good” signals, which are successfully reflected from the ionosphere carrying structural information, and “Bad” signals, which pass through the ionosphere into space or are distorted due to atmospheric noise. To address the curse of dimensionality and overfitting risk caused by the high-dimensional structure of the dataset, Particle Swarm Optimization (PSO), a metaheuristic optimization algorithm, was employed. PSO dynamically determined the most discriminative and information-rich feature combinations by utilizing the collective intelligence of particles in the search space. In the classification stage, the K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm was applied on this optimized subspace using refined Euclidean distance-based metrics.

Experimental results and convergence graphs demonstrated that the accuracy of the model trained on the raw dataset, initially 85.75%, gradually improved at each iteration through PSO-based intelligent feature selection. At the end of the 10-iteration optimization process, the number of features was reduced to 16 without significant information loss, and the test accuracy increased to 90.88%, achieving a net improvement of 5.13%. The dimensionality reduction process clarified the decision boundaries of the model and increased classification speed. Furthermore, the obtained AUC value of 0.9373 and confusion matrix outputs clearly proved the operational success of the proposed hybrid architecture in characterizing and distinguishing radar signals.

Keywords: Feature Selection, Particle Swarm Optimization (PSO), KNN, Hyper-parameter Optimization

1.GİRİŞ

Günümüzde artan veri miktarı ile bu verilerin doğru bir şekilde işlenmesi gittikçe önem kazanmaktadır. Bu nedenle başta yapay zeka ve makine öğrenmesi olmak üzere bir çok disiplin

ve alt disiplin ortaya çıkmıştır. Makine öğrenmesinin temel taşlarından birini oluşturan Yapay Sinir Ağları (YSA), bilginin insan beynindeki işleme mekanizmasını (nöronları) taklit eden parametrik bir modeldir.

Yapay sinir ağları; verilerin sisteme kabul edildiği giriş katmanı, verideki ilişkilerin analiz edildiği gizli katman ve sonucun üretildiği çıkış katmanı olmak üzere üç temel katmanlı bir yapıya dayanır. Ham veriler, gizli katmanlarda işlenerek soyut ve karmaşık öznitelikleri öğrenir ve bu öğrenme sürecinin sonunda bir tahmin değeri üretilir. Üretilen bu tahmin ile gerçek hedef değer (etiket) arasındaki fark, modelin hata payını gösteren kayıp (loss) fonksiyonu ile hesaplanır. Burada öğrenme olayının gerçekleşmesi için her adım sonunda model kendi parametrelerini (ağırlık ve bias) günceller. Sürecin temel amacı; kayıp fonksiyonunu minimize ederek optimize etmek, böylece modelin genelleme yeteneğini artırarak yeni veriler üzerinde daha yüksek doğrulukla tahmin yapmasını sağlamaktır.

Modelin başarısını artırmak için kullanılan optimizasyon algoritmalarının ortak özelliklerinden biri olan rastgelelik sebebiyle başlangıç parametrelerinin rastgele belirlenmesi ve fazla miktarda veri olmasından dolayı bu işlem oldukça zaman ve maliyet gerektirmektedir. Giriş katmanındaki öznelilik sayısı arttıkça ağırlık eğitimi sırasında kullanılacak olan parametre sayısı artacağından dolayı, hem arama uzayını karmaşıktırarak kayıp fonksiyonunun minimize edilmesini güçleştirmekte hem de hesaplama maliyetini artırarak aşırı öğrenme (overfitting) riskini arttırmaktadır (Xue, Zhang, Browne, & Yao, 2016). Bunu önlemek için öznelilik seçimi (feature selection) yöntemi veri setindeki gürültülü, gereksiz veya birbirini tekrar eden değişkenleri ayıklayarak modelin hesaplama maliyetini düşürmekle birlikte başarısını da arttırmaktadır. Öznelilik seçimi, yüksek boyutlu veri uzaylarında sınıflandırma motorunun performansını düşüren gürültülü, ilgisiz veya yinelenen değişkenleri eleyerek en rafine alt kümeyi bulmayı amaçlayan kritik bir süreçtir. (Kumar & Minz, 2014)

Literatürde yer alan geniş kapsamlı deneysel değerlendirmeler, doğru öznelilik alt kümesi seçilmesinin sınıflandırma algoritmalarının genelleme yeteneği üzerindeki doğrudan etkisini ortaya koymaktadır. (Molina, Belanche, & Nebot, 2002)

Bu çalışmada; gürültülü ve gereksiz değişkenleri ayıklayarak sınıflandırma performansını artırmak amacıyla, doğadan esinlenen meta-sezgisel bir yaklaşım olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı bir öznelilik seçimi yöntemi önerilmiştir. (Rostami, Berahmand, Forouzandeh, & Soltani, 2021) Geliştirilen hibrit mimari, 'Ionosphere' radar veri seti üzerinde test edilmiş ve K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması ile başarılı sinyallerin ayırt edilmesindeki operasyonel başarıları kanıtlanmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. İyonosfer (Ionosphere) Veri Seti

Bu çalışmada, yapay zeka ve makine öğrenmesi modellerinde sıkça karşılaşılan boyut laneti, aşırı öğrenme (overfitting) ve başlangıç parametrelerinin rastgele atanmasından kaynaklanan yerel minimuma takılma sorunlarına karşı bütünsel bir çözüm mimarisi geliştirilmiştir. Bunun için sistem mimarisi temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada doğadaki sürülerin davranışlarından ilham alan sürü zekası algoritması olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılarak özellik uzayında arama yapılmış ve özellikler içerisinden gereksiz/gürültülü olanları elenmiştir. İkinci aşamada ise oluşturulan yeni uzayda K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması kullanılarak gelen sinyalleri “İyi” veya “Kötü” olarak sınıflandırmıştır. Önerilen hibrit mimarinin (PSO-KNN) başarıları, radar sinyal analitiğinde karmaşık ve yüksek boyutlu yapısıyla bilinen "Ionosphere" veri seti üzerinde simüle edilerek doğrulanmıştır.

Veriler, Goose Bay (Labrador, Kanada) radar istasyonunda bulunan bir HF (Yüksek Frekans)

radar sistemi tarafından toplanmıştır. Bu radar sistemi, iyonosfer tabakasına doğru elektroman-

yetik sinyaller gönderir. İyonosferde bulunan serbest elektronların yoğunluğu ve yapısı, bu sinyallerin dünyaya geri yansımaları veya uzaya kaçmasını belirler. Radar antenleri geri yan-

sıyan bu sinyalleri yakalayıp kaydeder. İyonosfer veri seti özellikle sınıflandırma algoritmalarının performansını değerlendirmek için kullanılır.

Çalışmada kullanılan İyonosfer (Ionosphere) veri seti, radar sinyallerinin geri dönüşlerini sınıflandırmak amacıyla literatüre kazandırılmıştır (Sigillito, Wing, Hutton, & Baker). Veri setinde toplam 351 örnek (sinyal kaydı) bulunmaktadır. Her bir örnek için 34 farklı öznelilik bulunmaktadır. Modelin asıl görevi, bu 34 özneliliğe bakarak sinyalleri iki sınıfa ayırmaktır:

İyi (Good - 'g'): İyonosfer katmanına çarpıp başarılı bir şekilde dünyaya geri yansıyan ve iyonosferin yapısı hakkında net, yapısal bilgi taşıyan sinyallerdir. Radar ekranında belirgin bir nesne veya katman kanıtı gösterirler.

Kötü (Bad - 'b'): İyonosfer katmanını geçerek uzaya kaçan, yansımayan veya atmosferik gürültü/engeller nedeniyle bozularak geri dönen, içinde anlamlı bir yapısal bilgi barındırmayan sinyallerdir.

Tablo 1: Ionosphere Veri Seti Ham Veri Yapısı ve Sınıf Etiketleri

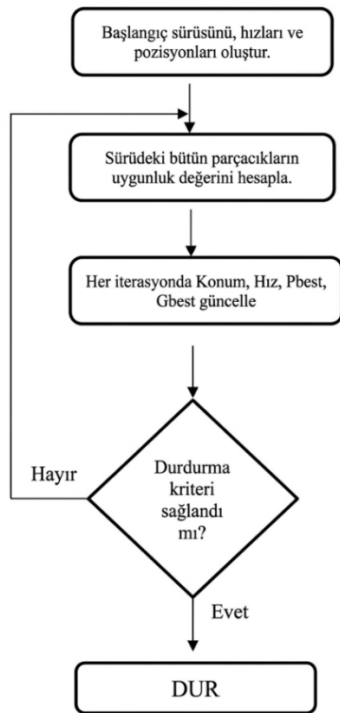
# 1	# 0	# 0.99539	# -0.05889	# 0.85243	# 0.02306	# 0.83398	...	35. Sütun (Sınıf)
1	0	1	-0.18829	0.93035	-0.36156	-0.10868	...	g
1	0	1	-0.03365	1	0.00485	1	...	g
1	0	1	-0.45161	1	1	0.71216	...	g
1	0	1	-0.02401	0.94140	0.06531	0.92106	...	g
1	0	0.02337	-0.00592	-0.09924	-0.11949	-0.00763	...	g
1	0	0.97588	-0.10602	0.94601	-0.20800	0.92806	...	g
0	0	0	0	0	0	1	...	b
1	0	0.96355	-0.07198	1	-0.14333	1	...	g

2.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürü optimizasyonu algoritması kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarını ve koordine hareketlerini ilham alan sürü zekâsı temelli bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rasgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. PSO bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır. Arama işlemi genetik algoritmalarda olduğu jenerasyon sayısınca yapılır. Her bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü (swarm) denir. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. (Uçmaz, B. N., & Yakut, Y. B. (2023))

PSO, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Bu yaklaşma hızı rasgele gelişen durumdur ve çoğu zaman sürü içinde bulunan bireyler yeni hareketlerinde bir önceki konumdan daha iyi konuma gelirler ve bu süreç hedefe ulaşınca kadar devam eder. (Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. (2008)). Genellikle kuş sürüleri hareketini örnek alır. Sürüdeki her bir kuş çözüm uzayı içerisinde bir parçacığı temsil eder. Kuşların uçuş alanı optimizasyon probleminin çözüm uzayına, aradıkları yiyecek küresel en iyi çözüme (global minimum), yiyeceklerle aralarındaki mesafe ise o parçacığın uygunluk değerine (fitness value) karşılık gelmektedir. Bu algoritmanın en büyük avantajı ise güçlü bir hafızası mekanizmasına sahip olmasıdır. Her parçacık o ana kadar olan en iyi konumunu (pbest) ve her iterasyon da her parçanın en iyi konumunu (gbest) hafızada tutar. Bu durum o zaman en iyi çözümlerin kaybolmamasını sağlar.

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), hızlı yakınsama performansı ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle optimizasyon problemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak algoritma, yüksek boyutlu ve karmaşık arama uzaylarında yerel minimum (local minima) noktalarına takılma eğilimindedir. (Li, X., Li, X. -L., Wang, K., & Li, Y. (2019)). Bu kısıtı aşmak ve sürü zekasını doğru yönlendirmek adına, parçacıkların bireysel (pbest) ve küresel (gbest) hafıza seçim mekanizmalarının geliştirilmiş stratejilerle desteklenmesi gerekmektedir (Li, X., Li, X. -L., Wang, K., & Li, Y. (2019)).



Şekil 1. PSO Akış Diyagramı

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

- Rasgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.
- Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (pbest) bulunur. Sürü içerisinde en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.
- Mevcut jenerasyondaki yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi (gbest) seçilir.
- Pozisyon ve hızlar aşağıdaki gibi yenilenir. (Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November))

$$W_{k+1} = w \cdot V_k + c_1 \cdot r_1 (P_{best} - X_k) + c_2 \cdot r_2 (G_{best} - X_k) \quad (1)$$

$$X_{k+1} = X_k + V_{k+1} \quad (2)$$

Denklemlerdeki vsembolü, parçacıkların arama uzayındaki yönünü ve yer değiştirme miktarını belirleyen hız vektörünü temsil ederken; x sembolü ise parçacıkların o iterasyondaki anlık konumunu ve öznitelik seçimi problemine özel olarak değişkenlerin modele dahil edilme olasılıklarını gösteren konum vektörünü ifade etmektedir. w momentum katsayısını vermektedir Momentum azaldıkça hız azalır, arttıkça hız artar ve çözüm uzayında bir anda zıplayışlara neden olur. c_1 bilişsel bileşen (bireysel hafıza), c_2 sosyal bileşen, r_1 ve r_2 random sayılardır. Bu random sayılar rastlantısallık sağlar. Maksimum rastlantısallık maksimum hareket kabiliyeti gerektirir. Değerleri (0,1) aralığındadır.

2.3. K-En Yakın Komşu (KNN) Algoritması

K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması, nesnelerin veri uzayındaki geometrik komşuluk ilişkilerine dayanan, örnek tabanlı (instance-based) bir gözetimli öğrenme yöntemidir (Cover & Hart, 1967) (Kadry & Ismael, 2020). Algoritmanın temel felsefesi, eğitim aşamasında herhangi bir teorik model kurmak yerine tüm eğitim örneklerini hafızada saklamaya (lazy learning) dayanmaktadır (Zhang, S., Li, X., Zong, M., Zhu, X., & Cheng, D. (2017, May). Sınıflandırma sürecinde, sisteme dahil olan yeni bir test örneğinin eğitim kümesindeki tüm noktalara olan mesafesi hesaplanır; önceden belirlenmiş bir k parametresine göre en yakın komşular seçilerek çoğunluk oylaması (majority voting) yöntemiyle sınıf etiketi tahmin edilir. Bu çalışmada, iyonosfer sürekli sayısal veri özelliklerine tam uyum sağlaması amacıyla veri noktaları arasındaki uzaklığın ölçülmesinde Öklid Mesafesi (Euclidean Distance) tercih edilmiştir. İki nesne arasındaki Öklid uzaklığı Denklem (3)'da gösterilen formülle hesaplanmaktadır:

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_j - y_j)^2} \quad (3)$$

Modelin komşuluk tabanlı uzaklık ölçümlerinde, literatürde güvenilirliği yüksek olan Öklid Uzaklığı kriteri temel alınmış ve sınıflandırıcı kararlı bir performans sergilemesi adına K=3 komşuluk parametresiyle kurgulanmıştır (Kadry & Ismael, 2020; Zhang ve ark., 2017). Sürünün en ideal öznitelik kombinasyonuna yakınsayabilmesi için denetleyici motor üzerinde çalışan çok amaçlı uygunluk fonksiyonunun (fitness function) kurgulanmasında ve parçacıkların arama uzayındaki hareket mantığında literatürdeki güçlü sürü yaklaşımlarından yararlanılmıştır (Ramírez-Ochoa ve ark., 2022).

Algoritma, saf haliyle 34 özniteliğin tamamını işleyerek gürültüye maruz kalmak yerine, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı bir öznitelik seçimi ile birlikte kullanılmıştır. Literatürde sürü zekası algoritmalarının bu şekilde sınıflandırma öncesi en ideal özellik alt kümelerini seçmede (feature selection) yüksek başarı gösterdiği kanıtlanmıştır (Chuang, Chang, Tu, & Yang). Böylece KNN, sadece PSO tarafından ayırt ediciliği en yüksek olan 16 kritik öznitelikten oluşan optimize bir alt küme üzerinde çalıştırılmıştır. Bu sayede model gereksiz boyut yükünden arındırılmış, başlangıçtaki %85.75 olan doğruluğunu %89.74 seviyesine yükselterek hem zaman hem de başarımları açısından başarılı bir performans göstermiştir. Modelin bu başarımını ve genelleme yeteneğini objektif şekilde ölçmek amacıyla da süreç 5-katlı çapraz doğrulama (5-fold cross-validation) stratejisiyle doğrulanmıştır (Refaeilzadeh, Tang, & Liu, 2009)

2.4. Uygunluk (Fitness) Fonksiyonu ve Hibrit Mimari

Geliştirilen mimariden Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve KNN sınıflandırıcısı, yüksek boyutlu ionosfer radar verilerini optimize etmek amacıyla hibrit bir yapıda birleştirilmiştir. Her parçacık, arama uzayında sürekli (continuous) konum değerlerine sahiptir. Bu konum değerleri 0.5 eşiği temel alınarak ikili(binary) bir maske vektörüne dönüştürülmektedir. Maskeleme işleminde 0.5'ten büyük olan öznitelikler "Seçildi" (■), küçük olanlar ise "Elendi" (□) kabul edilerek Şekil 2 de gösterildiği gibi veri setinden izole edilmektedir.

--- İTERASYON 01 / 10 ---

P#	Acc	P-Best	Özellik Maskesi (■:Seçildi, □:Elendi)	Sayı
P01	84.05%	84.05%	[□]	18 Feat
P02	85.47%	85.47%	[□]	21 Feat
P03	86.32%	86.32%	[□]	15 Feat
P04	87.46%	87.46%	[□]	16 Feat
P05	82.34%	82.34%	[□]	18 Feat
P06	86.32%	86.32%	[□]	16 Feat
P07	88.32%	88.32%	[□]	18 Feat
P08	87.18%	87.18%	[□]	18 Feat
P09	88.03%	88.03%	[□]	11 Feat
P10	83.76%	83.76%	[□]	16 Feat
P11	88.89%	88.89%	[□]	16 Feat
P12	86.04%	86.04%	[□]	22 Feat
P13	84.05%	84.05%	[□]	16 Feat
P14	84.90%	84.90%	[□]	18 Feat
P15	84.33%	84.33%	[□]	19 Feat

Şekil 2. Önerilen Modelde Parçacık Tabanlı Öznitelik Maskeleme ve Seçim Döngüsü

2.5. Deneysel Tasarım ve Doğrulama Stratejisi

Önerilen modelin doğruluğunu MATLAB ortamında test edilmiştir. Modelin doğrulanması sürecinde, literatürde güvenilirliği yüksek bir test stratejisi olan 5-Katlı Çapraz Doğrulama (5-Fold Cross Validation) yöntemi entegre edilmiştir.

Bu doğrultuda, 351 örnekten oluşan Ionosphere veri seti satır bazında rastgele karıştırıldıktan (shuffle) sonra 5 eşit parçaya bölünmüştür. Her bir optimizasyon ve test adımı, bu parçalardan 4 tanesi eğitim (öznitelik maskeleme ve ağırlıklandırma) amacıyla kullanılırken, kalan 1 parça modelin performansını test etmek için izole edilmiştir. Sürü büyüklüğü (populasyon) 15 parçacık, iterasyon sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Her parçacığın ürettiği 34 boyutlu öznitelik maskesi kombinasyonu döngüden geçerek bir sonuca ulaştırılmış ve seçilen özellikler belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölümde, Ionosphere radar veri seti üzerinde gerçekleştirilen geleneksel KNN sınıflandırıcısı ile önerilen hibrit PSO-KNN modelinin deneysel sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Modellerin performansları; 5-Katlı Çapraz Doğrulama sınıflandırma doğruluğu (Accuracy) kriterleri doğrultusunda analiz edilmiştir.

3.1. Öznitelik Seçimi ve Sınıflandırma Başarı Analizi

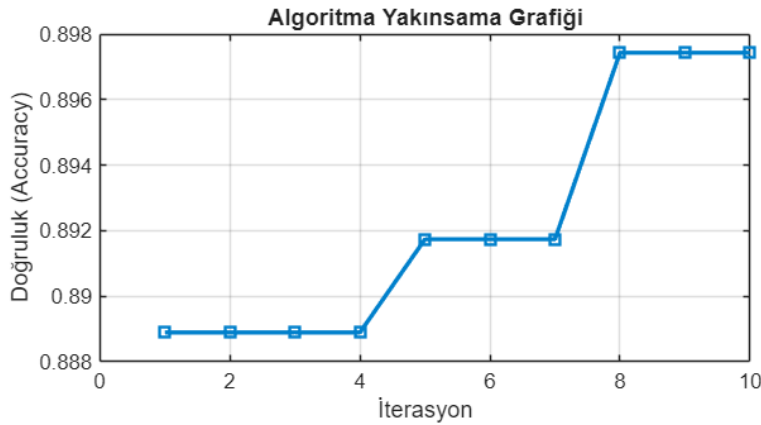
Önerilen modelin başarısını somutlaştırmak için öncesi ve sonrası durumları Tablo 2’de karşılaştırılmıştır:

Tablo 2. Öznitelik Seçimi Öncesi ve Sonrası Model Performanslarının Karşılaştırılması

Parametre	Optimizasyon Öncesi	Optimizasyon Sonrası
Toplam Öznitelik Sayısı	34/34	16/34
Elenen Öznitelik Sayısı	0	18
Sınıflandırma Doğruluğu (Acc)	%85.75	%89.74
Performans Durumu	Tüm özellikler gürültü dahil işlendi.	Boyut %53 azaltıldı, başarı %3.99 arttı.

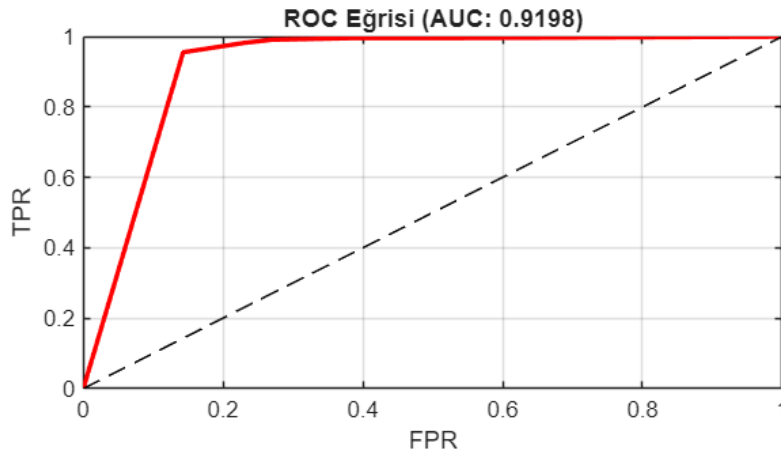
Tablo 2 incelendiğinde, 34 özneliğin tamamının kullanıldığı geleneksel KNN yapısının başlangıç doğruluğu %85.75 olarak ölçülmüştür. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı maskeleye mekanizması devreye girdiğinde ise veri setindeki 18 gereksiz ve gürültü yaratan öznelik başarıyla elenmiştir. Sadece ayırt ediciliği en yüksek olan 16 kritik özneliğin işlenmesiyle modelin sınıflandırma doğruluğu %89.74 seviyesine yükseltilmiştir. Bu durum, veri boyutunun %53 oranında azaltılmasına rağmen sınıflandırma başarısında +%3.99 'luk net bir artış elde edildiğini ve modelin operasyonel verimliliğinin gürültülerden arındırılarak maksimize edildiğini kanıtlamaktadır.

PSO algoritmasının iyonosfer radar sinyallerini yüksek doğrulukla ayırt etmek için 16 öznelik seçilmiş, 18 öznelik elenmiştir. Yapılan işlem sonucunda algoritma tarafından seçilen öznelikler: Feat_1, Feat_2, Feat_3, Feat_5, Feat_6, Feat_7, Feat_8, Feat_12, Feat_14, Feat_18, Feat_22, Feat_23, Feat_25, Feat_26, Feat_28 ve Feat_34 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar PSO tabanlı özellik seçiminin gereksiz özellikleri elimine ederek KNN algoritmasının performansını artırdığını ve daha etkin bir sınıflandırma modeli oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Algoritma Yakınsama Eğrisi

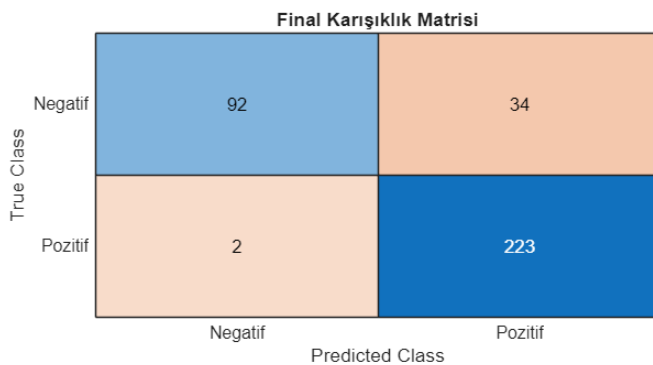
Şekil 3'te görüldüğü gibi önerilen hibrit modelin iterasyon sayısına bağlı olarak gösterdiği davranış modelin kararlılığını ortaya koymaktadır. Grafik detaylıca incelendiğinde algoritmanın ilk 4 iterasyon boyunca sabit bir doğruluk değeriyle ilerlediği ancak sonrasında yerel minimumdan kurtularak bir ivme yakaladığı görülmüştür. 5, 6 ve 7. iterasyonlarda %89.17 seviyesinde takılı kalsa da 7. iterasyon sonunda yeniden bir sıçrama gerçekleştirerek 8. iterasyonda en yüksek doğruluk değeri olan %89.74 doğruluk değerine ulaşmıştır. Algoritma daha sonrasında da sabit kalarak optimuma yakın bir çözüme ulaşmıştır. (Hussain, Salleh, Cheng, & Shi, 2019)



Şekil 4. ROC Eğrisi ve AUC Başarım Analizi

Şekil 4'te görülen ROC Eğrisi, modeldeki sınıflandırıcının farklı eşik değerlerine göre Yanlış Pozitif Oranı (FPR) ve Doğru Pozitif Oranı (TPR) arasındaki ilişkiyi gösteren grafiksel bir göstereğidir. Grafik incelendiğinde, önerilen modelin AUC (Eğri Altındaki Alan) değeri 0.9198 olarak ölçülmüştür. Bu değeri, modelin hedef sınıfları ne kadar yüksek bir başarıyla ayırt edebildiğinin sayısal bir göstergesidir. İstatistiksel ve literatür verilerine göre 0.90'ın üzerinde elde edilen bir AUC skoru, modelin "mükemmel / çok yüksek ayırt edici güce sahip" sınıfında yer aldığını kesin olarak kanıtlamaktadır (Fawcett, 2006).

Elde edilen bu yüksek değeri; optimizasyon algoritması tarafından seçilen özneliliklerin, sınıflandırıcı model için ne kadar ayırt edici, gürültüden arındırılmış ve bilgi verici karakterde olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Karmaşıklık Matrisi

Şekil 5'te görüldüğü gibi Karmaşıklık matrisinde modelin optimizasyonu sonucunda elde edilen başarımın test verileri üzerinden hesaplanmıştır. Test setinde toplam 351 örnek (126 Gerçek Negatif, 225 Gerçek Pozitif) yer almaktadır. Sınıflandırıcı algoritmanın bu örnekler üzerindeki doğru ve hatalı tahmin dağılımları şu şekildedir:

- **Doğru Pozitifler (True Positives - TP):** Model, Pozitif sınıfa ait olan toplam 225 örneğin 223 tanesini doğru tahmin etmiştir. Bu durum, modelin hedef sınıfı yakalama ve tespit etme noktasında neredeyse kusursuz bir başarımla sergilediğini göstermektedir.
- **Doğru Negatifler (True Negatives - TN):** Negatif sınıfa ait olan toplam 126 örneğin 92 tanesini model tarafından doğru şekilde sınıflandırılmıştır.

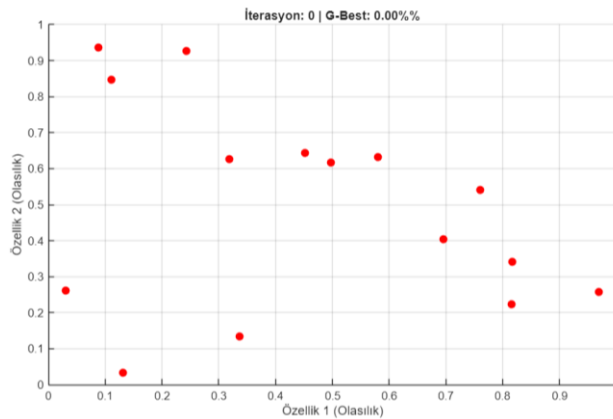
- **Yanlış Pozitifler (False Positives - FP - Tip I Hata):** Gerçekte Negatif olan ancak model tarafından hatalı bir şekilde Pozitif olarak etiketlenen örnek sayısı 34'tür.
- **Yanlış Negatifler (False Negatives - FN - Tip II Hata):** Gerçekte Pozitif olan fakat modelin gözden kaçırarak Negatif olarak sınıflandırdığı örnek sayısı ise yalnızca 2'dir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İonosphere veri setindeki radar sinyallerini yüksek doğrulukla sınıflandırmak amacıyla hibrit bir PSO-KNN modeli kullanılarak özellik seçimi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, KNN sınıflandırıcısının yüksek boyut kısıtının, literatürdeki güçlü sürü zekası yaklaşımlarıyla (Kennedy & Eberhart, 1995; Li ve ark., 2019) paralel şekilde kurgulanan dinamik bir öznelilik maskeleye filtresiyle tamamen aşılabileceğini ortaya koymuştur.

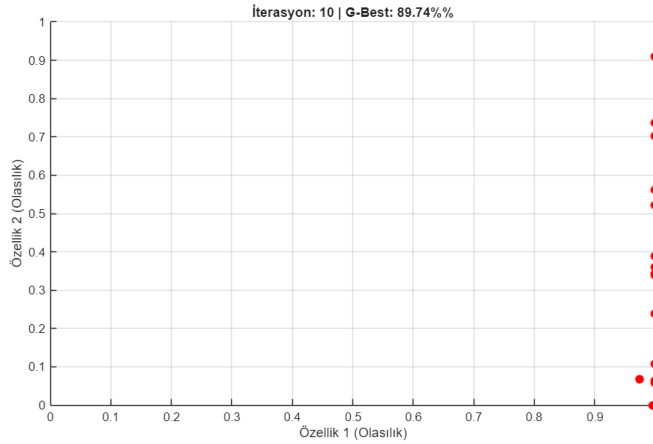
Geliştirilen model, radar sinyal uzayındaki 18 adet ilgisiz ve gürültülü özneliliği başarıyla eleyerek veri boyutunda %53 oranında ciddi bir indirgeme sağlamıştır. Boyutun bu denli azaltılmasına rağmen, optimize edilmiş 16 kritik öznelilik üzerinde çalışan KNN modelinin doğruluğunda net bir performans ivmesi yakalanmış ve sınıflandırma başarısı %85.75'lik baz seviyeden %89.74 seviyesine yükseltilmiştir.

Performans analizlerinden elde edilen $AUC = 0.9198$ değeri ise önerilen nesne yönelimli hibrit mimarinin sinyal işleme üreçlerinde mükemmel yakın bir kararlılığa ve üstün bir genelleme yeteneğine sahip olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 6. Başlangıç Popülasyonun Konumları

Şekil 6'da görüldüğü gibi, bütün popülasyon tabanlı optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi, algoritmanın başlangıç çözümleri uzaya tamamen rastgele dağıtılmıştır. Popülasyonu oluşturan bireyleri temsil eden kırmızı noktaların, Özellik 1 ve Özellik 2 olasılık eksenlerinin oluşturduğu arama uzayında dağınık bir yapıda sergilenmesi bu rastgeleliğin bir göstergesidir. Bu ilk evrede henüz küresel en iyi çözüm yönünde bir optimizasyon süreci başlamadığı için, başlangıç küresel en iyi skor (G-Best) değerimiz %0.00 olarak görülmektedir.



Şekil 7. Algoritmanın sonunda popülasyonun konumları

Şekil 7'de görüldüğü gibi optimizasyon sürecinin sonunda algoritmanın kararlılığı ortaya çıkmıştır. Arama uzayında başlangıçta dağınık olan bireyler iterasyon boyunca birbirleriyle iletişim halinde olup yönelimlerini en iyi çözüme doğru değiştirmiştir. Algoritma sonucunda bireyler daha düzenli bir şekilde dağılım göstermiştir, bu algoritmanın kararlı bir şekilde optimum noktaya yakınsadığını göstermektedir. Popülasyon bu hareketin sonucunda modelin ulaştığı nihai en iyi skor %89,74 olmuştur. Geliştirilen arayüz ve proje mimari sayesinde model çalışırken her iterasyon da popülasyondaki bireylerin konumları anlık olarak görülebilmektedir.

Geliştirilen hibrit PSO-KNN modeli, radar sinyal uzayındaki 18 adet ilgisiz özneteliği başarıyla eleyerek %53 oranında ciddi bir indirgeme sağlamış ve sınıflandırma başarısını %89.74 seviyesine yükseltmiştir. 5-Katlı Çapraz Doğrulama sonuçları ve AUC = 0.9373 değeri, modelin mükemmel yakın bir kararlılığa ve genelleme yeteneğine sahip olduğunu doğrulamaktadır.

Sonraki çalışmalarda, meta-sezgisel Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı öznetelik seçimi yaklaşımlarının, derin öğrenme (Deep Learning) mimarileriyle hibritleştirilerek farklı veri setleri üzerinde de kararlılık ve başarımların analizlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- Chuang, L. Y., Chang, H. W., Tu, C. J., & Yang, C. H. (tarih yok). Improved binary particle swarm optimization using catfish effect for feature selection. *Expert Systems with Applications*.
- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*(21-27).
- Ramírez-Ochoa, D. D., Pérez-Domínguez, L. A., Martínez-Gómez, E. A., & Luviano-Cruz, D. (2022). PSO, a swarm intelligence-based evolutionary algorithm as a decision-making strategy: A review. *Symmetry*, 14(3), 455.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), s. 861-874. doi:10.1016/j.patrec.2005.10.010
- Hussain, K., Salleh, M. N., Cheng, S., & Shi, Y. (2019). Metaheuristic research: A comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review*, 52(4), s. 2191-2233. doi:10.1007/s10462-017-9605-z
- Kadry, R., & Ismael, O. (2020). A New Hybrid KNN Classification Approach based on Particle Swarm Optimization. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(11).
- Kumar, V., & Minz, S. (2014). Feature Selection: A literature Review. *Smart Computing Review*, 4(3), s. 211-229.
- Li, X., Li, X. -L., Wang, K., & Li, Y. (2019). A Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Enhanced Selection. *IEEE Access*, 7.

- Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü optimizasyonu algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 299-305.
- Molina, L. C., Belanche, L., & Nebot, A. (2002). *Feature Selection Algorithms: A Survey and Experimental Evaluation*. Barcelona, Spain: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). ieee.
- Refaeilzadeh, P., Tang, L., & Liu, H. (2009). Cross-validation. *Encyclopedia of Database Systems*.
- Rostami, M., Berahmand, K., Forouzandeh, S., & Soltani, M. (2021). Review of swarm intelligence-based feature selection methods. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 100, s. 104210. doi:10.1016/j.engappai.2021.104210
- Sigillito, V. G., Wing, S. P., Hutton, L. V., & Baker, K. B. (tarih yok). Classification of radar returns from the ionosphere using neural networks. *Johns Hopkins APL Technical Digest*.
- Uçmaz, B. N., & Yakut, Y. B. (2023). PEM Yakıt Piliinde PI tabanlı DC-DC Dönüştürücü Model Parametrelerinin PSO ile Belirlenmesi. *Dicle University - 1st International Symposium on Graduate Researches in Science*, 19-20 October 2023, Diyarbakir, 378-384.
- Xue, B., Zhang, M., Browne, W. N., & Yao, X. (2016). A survey on evolutionary computation for feature selection. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20(4), s. 606-626. doi:10.1109/TEVC.2015.2504420
- Zhang, S., Li, X., Zong, M., Zhu, X., & Cheng, D. (2017, May). Learning k for kNN Classification. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 8(3), s. 1-19.

MEME KANSERİ TEŞHİSİNDE AKILLI BİR ÖZELLİK SEÇİMİ YAKLAŞIMI: GWO-SVM TABANLI HİBRİT MODEL

Meryem Betül KARA

Kayseri University, Institute of Graduate Studies, Department of Computer Engineering, 38280
Talas, Kayseri

ORCID ID: 0009-0008-0116-2884

Doç. Dr. Mehmet Akif BÜLBÜL

Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Software
Engineering 38280 Talas, Kayseri

ORCID ID: 0000-0003-4165-0512

Dr. Öğr. Üyesi Serhat HIZLISOY

Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Computer
Engineering, 38280 Talas, Kayseri

ORCID ID: 0000-0001-8440-5539

ÖZET

Meme kanseri, dünya genelinde kadınlar arasında en sık görülen ve erken teşhis edilmediğinde ölüm riski yüksek olan önemli sağlık problemlerinden biridir. Günümüzde biyomedikal verilerin artmasıyla birlikte makine öğrenmesi tabanlı bilgisayar destekli teşhis sistemleri hastalıkların erken tanısında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yüksek boyutlu veri setlerinde gereksiz veya düşük etkili özelliklerin bulunması, sınıflandırma performansını düşürmekte ve model karmaşıklığını artırmaktadır. Bu problem, hem işlem maliyetini artırmakta hem de teşhis başarısını olumsuz etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada, meme kanseri teşhisinde daha başarılı ve daha düşük boyutlu bir sınıflandırma modeli geliştirmek amacıyla Grey Wolf Optimizer (GWO) ve Support Vector Machine (SVM) tabanlı hibrit bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada Kaggle platformundan elde edilen meme biyopsi veri seti kullanılmış ve tüm işlemler MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada tüm özellikler kullanılarak temel bir SVM modeli oluşturulmuş, ardından GWO algoritması yardımıyla sınıflandırma başarısını artıran en uygun özellik alt kümesi belirlenmiştir. Model performansları doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1 skoru ve AUC metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre başlangıçta kullanılan 24 özellik sayısı GWO yöntemi ile 9'a düşürülmüş ve %62,5 oranında boyut azaltımı sağlanmıştır. Tüm özelliklerle oluşturulan temel modelde doğruluk oranı %88,30 ve AUC değeri 0,9635 olarak elde edilirken, GWO destekli modelde doğruluk oranı %94,15'e ve AUC değeri 0,9771'e yükselmiştir. Ayrıca kesinlik, duyarlılık ve F1 skorlarında da belirgin iyileşmeler gözlemlenmiştir. Sonuçlar, GWO tabanlı özellik seçimi yaklaşımının gereksiz özellikleri elimine ederek daha düşük boyutlu, daha hızlı ve daha başarılı bir meme kanseri teşhis modeli oluşturduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda önerilen hibrit yapının bilgisayar destekli meme kanseri teşhisinde etkili ve güvenilir bir yöntem sunduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Özellik Seçimi (Feature Selection), Gri Kurt Optimizasyonu (GWO), Destek Vektör Makineleri (SVM), Makine Öğrenmesi, Meme Kanseri Teşhisi

AN INTELLIGENT FEATURE SELECTION APPROACH FOR BREAST CANCER DIAGNOSIS: A GWO-SVM BASED HYBRID MODEL

ABSTRACT

Breast cancer is one of the most common diseases among women worldwide and represents a serious health problem with a high mortality risk if not diagnosed at an early stage. With the rapid growth of biomedical data, machine learning-based computer-aided diagnosis systems have become widely used for the early detection of diseases. However, the presence of irrelevant or low-impact features in high-dimensional datasets decreases classification performance and increases model complexity. This problem not only raises computational cost but also negatively affects diagnostic accuracy.

In this study, a hybrid approach based on Grey Wolf Optimizer (GWO) and Support Vector Machine (SVM) is proposed to develop a more accurate and lower-dimensional classification model for breast cancer diagnosis. A breast biopsy dataset obtained from the Kaggle platform was used, and all experiments were conducted in the MATLAB environment. In the first stage, a baseline SVM model was created using all available features. Then, the most appropriate subset of features that improved classification performance was determined using the GWO algorithm. Model performances were evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, and AUC metrics.

According to the obtained results, the initial number of 24 features was reduced to 9 using the GWO method, achieving a dimensionality reduction of 62.5%. While the baseline model built with all features achieved an accuracy of 88.30% and an AUC value of 0.9635, the GWO-supported model increased the accuracy to 94.15% and the AUC value to 0.9771. In addition, significant improvements were observed in precision, recall, and F1-score values. The results demonstrate that the GWO-based feature selection approach eliminates unnecessary features and produces a lower-dimensional, faster, and more successful breast cancer diagnosis model. Accordingly, the proposed hybrid structure is considered an effective and reliable method for computer-aided breast cancer diagnosis.

Keywords: Feature Selection, Grey Wolf Optimizer (GWO), Support Vector Machines (SVM), Machine Learning, Breast Cancer Diagnosis

1. GİRİŞ

Meme kanseri kadınlarda çok sık görülen kanser türlerinden olup erken teşhis edilmediği takdirde ölüm oranlarının ciddi şekilde artabileceği bir hastalıktır. Geçmişten günümüze geldikçe bilgisayar destekli tanı sistemleri daha da ileri düzeye gelmiş olup önceden tespit edilemeyen hastalıklar daha rahat tespit edilebilmektedir. Bu sayede erken evrede belirleme yöntemi teknolojinin de ilerlemesiyle beraber daha kullanılabilir hale gelmiştir. Erken teşhis için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri, büyük veri kümelerinin daha anlamlı şekilde kullanılabilmesini sağlayarak tıbbi açıdan büyük problemlere çözüm sağlayabilmektedir (Neumann et al., 2005). Büyük veri kümelerinden anlamlı örüntüler çıkarabilme yeteneği sayesinde tıbbi sınıflandırma problemleri üzerinde önemli başarılar elde etmiştir.

Destek vektör makineleri daha yüksek boyutlu verilerde başarılı sonuçlar veren modellerdir. Bu nedenle de biyomedikal veri sınıflandırmalarında sıklıkla tercih edilirler. Ancak veri kümelerinde bulunan gereksiz ve gürültülü özellikler sınıflandırmayı kötü yönde etkileyip işlem maliyetini artırarak performansı düşürebilirler (Huang & Wang, 2006). Bu sebeple özellik seçimi süreçleri sınıflandırma sistemlerinin performansını artırmada kritik bir roledir.

Özellikle seçim problemleri zor problemler arasında yer alır. Optimal özellik alt kümesinin belirlenmesi yüksek hesaplama maliyeti gerektirmektedir. Son yıllarda meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları bu problemlerin çözümünde etkili yöntemler olarak öne çıkmıştır (Almomani 2020; Agrawal et al., 2021; Akinola et al., 2022). Özellikle gri kurt algoritması (Grey Wolf Optimizer-GWO) keşif-sömürü dengesini etkili bir şekilde sağlayarak problemlere cevap aramıştır (Mirjalili et al., 2014). Bu dengeyi

başarılı bir şekilde sağlayabilmesi nedeniyle özellik seçimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Emary et al., 2016).

Literatür içerisinde gri kurt algoritması tabanlı özellik seçimi birçok çalışma içerisinde bulunmaktadır. Özellikle destek vektör makineleri ile kullanılan hibrit yapıları yüksek doğruluk ve düşük özellik boyutu sağlamıştır (Emary et al., 2016; Al-Tashi et al., 2019; El-Kenawy et al., 2020; Al-Qablan et al., 2023). Gri kurt algoritması biyomedikal veri setlerinde gereksiz özellikleri başarılı bir şekilde elimine ederek sınıflandırma performansını artırmıştır. Literatürde gri kurt algoritması tabanlı özellik seçimi yaklaşımlarının başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir (Al-Tashi et al., 2018).

Bu çalışmada meme kanseri veri seti üzerinde gri kurt tabanlı özellik seçimi gerçekleştirilip seçilen özellikler destek vektör makinesi sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Modelin metrik çıktıları ROC eğrisi, karmaşıklık matrisi, özellik azaltma oranı üzerinden değerlendirilmiş olup, amaç daha düşük boyutlu ancak daha yüksek performanslı bir sınıflandırma sistemi geliştirmektedir (Basak et al., 2021).

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada meme kanseri veri seti kullanılarak veri kümesi ön işlem aşamalarından geçirilip eksik veya gereksiz veriler temizlenmiştir. Ardından veriler normalizasyon işlemine tabi tutulup sınıflandırma sürecine uygun hale getirilmiştir. Daha sonrasında veri kümesi eğitim (train) ve test olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır.

Özellik seçim aşamasına gelindiğinde gri kurt optimizasyonu kullanılmıştır. Gri kurt optimizasyonu, gri kurtların avlanma davranışlarını modelleyen sürü zekası tabanlı meta-sezgisel bir optimizasyon algoritması olup, algoritmada alfa, beta, delta kurtları en iyi çözümleri temsil ederken omega kurtları diğer kurtları temsil etmektedir (Mirjalili et al., 2014). Arama süresinde en uygun özellik belirlenir ve tüm omega kurtlar bu çözüme göre hareket eder (Too et al., 2018; Tu et al., 2019).

Seçilen özellikler kullanılarak destek vektör makinesi sınıflandırıcı eğitilmiştir. Destek vektör makinesi sınıflar arasında ayırıcı olarak hiper düzlemi belirleyerek sınıflandırma işlemini gerçekleştirmiştir. Bu yöntemi kullanıyor olması onu güçlü bir makine öğrenmesi yöntemi kılmaktadır.(Neumann et al., 2005) Özellikle yüksek boyutlu verilerde etkili sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilmiştir (Huang et al., 2014; Huang & Wang, 2006).

Model performansını değerlendirebilmek için doğruluk oranı, ROC eğrisi, karmaşıklık matrisi ve özellik azaltma oranı kullanılmıştır . Bu metriklerin sonuçları gri kurt algoritması ile seçilen özellik sayısını analiz ederek boyut azaltma performansını değerlendirmiştir.

2.1 Veri Seti

Bu çalışmada meme kanseri tesisi için kullanılan Wisconsin Breast Cancer veri seti kullanılmıştır (Dua, D., & Graff, C, UCI Machine Learning Repository,1995).

Veri seti hücre çekirdeği özelliklerinden elde edilen sayısal değerleri içermekte olup iyi huylu (benign) ve kötü huylu (malignant) tümör sınıflarından oluşmaktadır. Veri seti içerisinde yarıçap, doku, çevre, alan, düzgünlük ve kompaktlık gibi çeşitli öznitelikler yer almaktadır. Veri setindeki yüksek boyutlu yapı, bazı özelliklerin sınıflandırmada düşük katkı sağlayan yapıda olmasına neden olmaktadır. Bu durum hem işlem maliyetini artırmakta hem de sınıflandırma performansını olumsuz etkilemektedir.

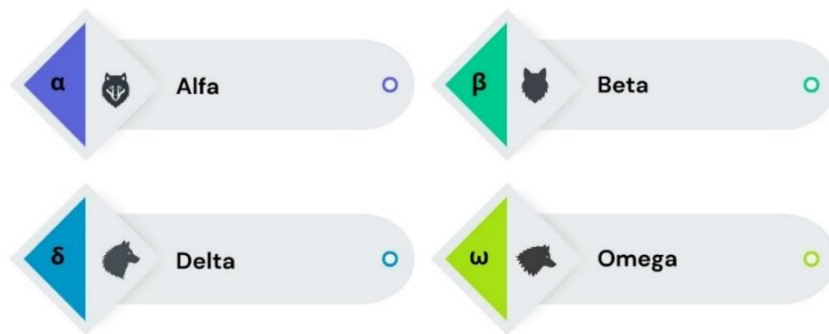
Verinin ön işleme aşamasında eksik veya hatalı veriler kontrol edilmiş olup tüm özellikler normalize edilerek aynı ölçüye getirilmiştir. Veri seti eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılıp, özellik seçimi ve sınıflandırma işlemleri bu ayırım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca veri setinden elde edilen örnekler incelendiğinde bazı özelliklerin sınıflar arasında daha ayırt edici olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle özellik alt kümesinin belirlenmesi amacıyla meta sezgisel optimizasyon yaklaşımı tercih edilmiştir.

Tablo 1. Veriseti Örnek Kesit (Wisconsin Breast Cancer)

x.radius_mean	x.texture_mean	x.perimeter_mean	x.area_mean	x.smoothness_mean
1	13.54	14.36	87.46	566.3
2	13.08	15.71	85.63	520
3	9.504	12.44	60.34	273.9
4	13.03	18.42	82.61	523.8
5	8.196	16.84	51.71	201.9
6	12.05	14.63	78.04	449.3
7	13.49	22.3	86.91	561
8	11.76	21.6	74.72	427.9
9	13.64	16.34	87.21	571.8
10	11.94	18.24	75.71	437.6

2.2. Gri Kurt Optimizasyonu(GWO)

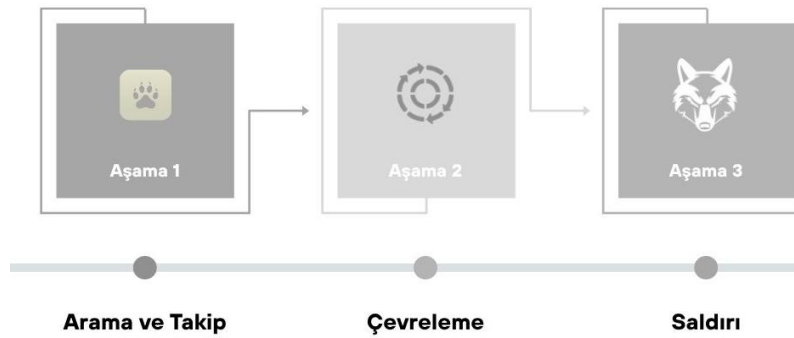
Optimizasyon, belirli kısıtlar altında olası tüm çözümler arasından en iyi veya en optimum olanı bulma sürecidir. Gri kurt optimizasyonu (GWO), kurt sürülerinin avlanma davranışını ve sosyal hiyerarşisini taklit eden, doğadan ilham alan metasezgisel bir algoritmadır. Arama uzayını keşfederek optimum çözümü bulmayı hedefler; yinelemeli bir yöntemdir. Gri kurt optimizasyonunda katı sosyal hiyerarşi hâkimdir. Sürü içindeki düzen, liderlik ve karar mekanizması sayesinde her kurdun belirli bir rütbesi vardır. Kolektif avlanma stratejisi sayesinde avı yormak, çevrelemek ve saldırmak için grup halinde iş birliği içerisinde dayalı bir mekanizma geliştirmişlerdir (Too et al., 2018; El-Kenawy et al., 2020; Tu et al., 2019).



Şekil 1. GWO kurt hiyerarşisi

Şekil 1’de GWO algoritmasındaki kurt hiyerarşisi gösterilmektedir. Sürü hiyerarşisinde her kurdun algoritmik bir rolü vardır; alfa kurt liderdir ve sürüye yön vermekle görevlidir; algoritmadaki karşılığı ise en iyi çözüm olarak bilinir. Beta Kurt Alfa’nın yardımcısıdır; karar verme sürecinde Alfa’ya yardımcı olur; algoritmadaki karşılığı ise ikinci en iyi çözümdür. Delta kurt, gözcü ve avcı olarak bilinir; alfa ve betaya itaat etmekle görevlidir; algoritmadaki karşılığı üçüncü en iyi çözümdür. Omega kurt

geriye kalan diğer kurtları temsil eder; liderleri takip etmekle görevlidir; algoritmadaki karşılığı ise diğer tüm aday çözümler olarak bilinmektedir.



Şekil 2. GWO üç aşamalı avlanma stratejisi

Gri kurt optimizasyonu üç aşamalı avlanma stratejisini kullanmaktadır. Kurtların av yerini tespit etme aşaması olan arama ve takip, sararak hareketini kısıtlama aşaması olan çevreleme (kuşatma), av yorulduğunda veya durduğunda organize saldırıyı başlatma aşaması olarak ise saldırı (sömürü) uygulanmaktadır. Şekil 2’de GWO algoritmasının avlanma stratejisi aşamaları gösterilmektedir.

Gri kurt optimizasyonunun matematiksel modellemesi avı yumuşatma ve pozisyon güncelleme üzerine kurulmuştur. Kurtların pozisyonu en iyi çözüm (alfa, beta, delta) tarafından yönlendirilir. Formülasyonunda da görüldüğü üzere, kurt ile av arasındaki mesafe hesaplanır; kurdun bir sonraki adımdaki pozisyonu buna göre belirlenir. Katsayılar rastgelelik ekleyerek keşif dengesini kontrol eder, yerel optimumlara takılıp kalmayı önler, ne kadar uzakta durulacağını belirler ve av konumuna dair tahmini zorlaştırarak rastgeleliği destekler.

$$D = | C \cdot X_p(t) - X(t) | \quad (1)$$

$$X(t + 1) = X_p(t) - A \cdot D \quad (2)$$

$$A = 2 \cdot a \cdot r_1 - a \quad (3)$$

$$C = 2 \cdot r_2 \quad (4)$$

Denklem (1)'de kurt ve av arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Denklem (2)'de kurdun bir sonraki iterasyondaki pozisyonu güncellenmektedir. Denklem (3)'te ve Denklem (4)'te yer alan A ve C katsayıları ise keşif ve sömürü davranışlarını kontrol eden parametreleri temsil etmekte olup burada r_1 ve r_2 rastgele sayıları, a ise iterasyon boyunca azalan kontrol parametresini ifade etmektedir.

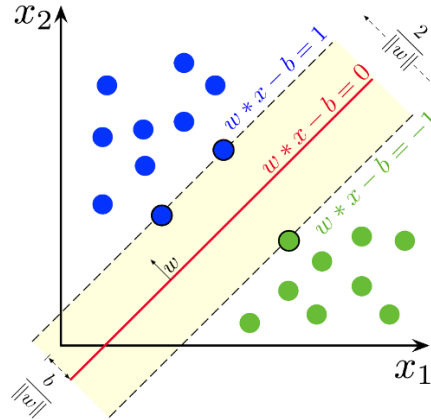
2.3. Destek Vektör Makineleri (SVM)

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine - SVM), sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan güçlü bir makine öğrenmesi yöntemidir.

Destek vektör makineleri, eğitim verilerindeki herhangi bir noktadan en uzak olan iki sınıf arasında bir karar sınırı bulan vektör tabanlı makine öğrenme yöntemi olarak tanımlanabilir. SVM, verileri ayıracak bir karar sınırı (hiper düzlem) bulur. Bir düzlem üzerine yerleştirilmiş iki veya daha fazla nokta kümesini ayırmak için doğrular çizer (Huang & Wang, 2006). Sınıfları en iyi ayıran doğrunun bölgeleri arasında kalan alana margin denir. Margin ne kadar geniş olursa, sınıflar o kadar iyi ayrıştırılır. Bazı durumlarda veriler margin bölgesine girebilir. Bu duruma Soft Margin denir. Hard Margin ise veri doğrusal olarak ayrılabiliriyorsa çalışır (Neumann et al., 2005).

Bu çalışmada GWO algoritması ile seçilen optimal özellikler SVM sınıflandırıcısına aktarılmış ve sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Özellik seçimi sonrası daha düşük boyutlu veri kullanılması,

SVM modelinin işlem yükünü azaltmış ve daha hızlı çalışmasını sağlamıştır. Ayrıca gereksiz özelliklerin elimine edilmesi sayesinde modelin sınıflandırma performansında iyileşme gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, GWO ve SVM kombinasyonunun meme kanseri teşhisinde etkili bir hibrit yapı sunduğunu göstermektedir. Şekil 3’de SVM algoritmasının hiper düzlem ve maksimum marjın yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. SVM algoritmasında hiper düzlem ve maksimum marjın yapısı

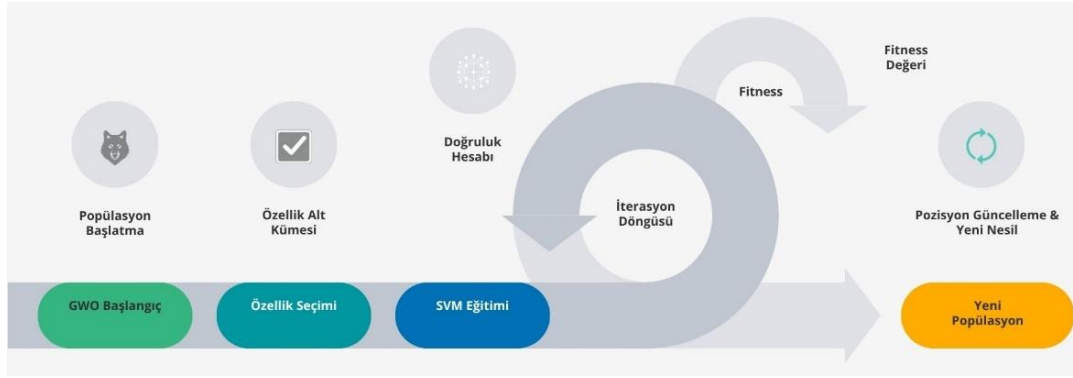
2.4. Fitness Fonksiyonu

Bu çalışmada GWO algoritmasının optimum özellik alt kümesini belirleyebilmesi için fitness fonksiyonu kullanılmıştır. Uygunluk fonksiyonu, özellik seçimini en aza indirirken sınıflandırma başarısını en üst düzeye çıkarmayı önceliklendirmektedir (Phan et al., 2017). Sadece yüksek doğruluğu değil, aynı zamanda kompakt ya da düşük boyutlu bir özellik uzayını hedefler. Sınıflandırma doğruluğu ile seçilen özellik sayısı bir arada ele alınarak test edilmektedir ve böylece veri setinden gereksiz özellikleri eleyip çok daha etkili bir model eğitilmiştir (Al-Tashi et al., 2019). Uygunluk değeri, özellik seçimi sürecindeki her aday çözüm için SVM sınıflandırma performansına göre değerlendirilmektedir.

Uygunluk fonksiyonunun uygulanmasıyla, her iterasyonda daha iyi çözümler elde edilmiştir ve ideal özellik kombinasyonuna daha da yaklaşılarak evrilmektedir. Bu durum hesaplama maliyetinin azalmasına yol açarak sınıflandırma sürecinde kararlılık sağlamaktadır.

$$\text{Fitness} = \alpha \times \text{Accuracy} + \beta \times (1 / \text{FeatureCount}) \quad (5)$$

Denklem (5)’te kullanılan fitness fonksiyonu sınıflandırma doğruluğunu artırırken seçilen özellik sayısını azaltmayı amaçlamaktadır. Burada α (alpha) doğruluk ağırlığını, β (beta) ise özellik azaltma ağırlığını temsil etmektedir. Aynı zamanda Şekil 4’de GWO-SVM algoritmasının işlem akışı gösterilmektedir.



Şekil 4. GWO-SVM işlem akışı

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

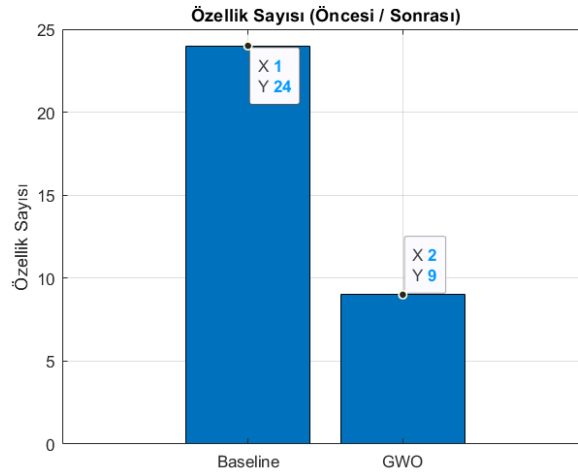
Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda GWO tabanlı özellik seçimi yöntemi ile veri boyutunun önemli şekilde azaltılabildiği gözlemlenmiştir. Özellik azaltma işlemi sonrasında süresinin düştüğü ve modelin daha verimli çalıştığı belirlenmiştir (Basak et al., 2021). SVM ile elde edilen sonuçlar yüksek doğruluğa ulaşmıştır. ROC eğrisi incelendiğinde, modelin sınıfları başarılı bir şekilde ayırt ettiği görülmektedir. Elde edilen AUC değerinin yüksek olması modelin güçlü bir sınıflandırma performansı verdiğini göstermektedir (Al-Tashi et al., 2020). Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde, GWO tabanlı yöntemlerde özellikle biyomedikal veri setlerinde başarılı sonuçlar elde edildiği de açıkça görülmektedir. SVM ile birlikte kullanılması sınıflandırma performansını iyi yönde etkileyerek artırmaktadır.

3.1. Özellik Seçimi

Uygulanan özellik seçimi sonrasında veri setindeki toplam özellik sayısında azalma görülmüştür. Bu belirgin azalma modelin iyi çalıştığını göstermektedir. Başlangıçta bulunan 24 özellik, GWO algoritması tarafından seçilen alt küme sonucunda 9 özelliğe indirgenmiştir. Bu durum yaklaşık olarak %62.5 oranında boyut indirgeme sağlandığını göstermektedir.

Özellikle yüksek boyutlu veri setlerindeki gereksiz özelliklerin fazla gürültü sebebi olmasından kaynaklı hem işlem süresini artırmakta hem de sınıflandırma performansını olumsuz etkilemektedir. GWO algoritması sayesinde gereksiz özellikler elimine edilerek yerine katkı sağlayan özellikler korunmuştur.

Bu sonuçta daha verimli ve daha düşük maliyetli bir sınıflandırma sistemi oluşturmaya katkı sağlanmıştır. Şekil 5’de özellik seçimi öncesi ve sonrası özellik sayıları karşılaştırılmıştır.

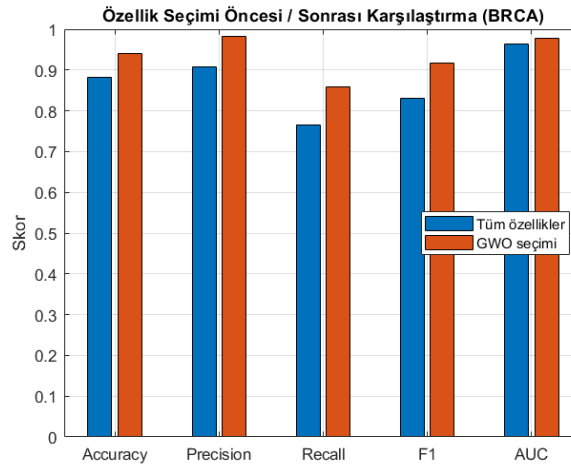


Şekil 5. Özellik sayısı karşılaştırması

3.2. Sınıflandırma Performansı

Performansın değerlendirilebilmesi için doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), geri çağırma (recall), F1-skoru (F1-score) ve AUC metrikleri kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, GWO tabanlı özellik seçimi sonrasında performans metriklerinde iyileşme görüldüğü net şekilde görülmektedir.

Ayrıca özellik seçimi sonrası daha düşük boyutlu veri yapısı sayesinde modelin daha hızlı çalıştığı ve işlem maliyetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum GWO tabanlı özellik seçiminin yalnızca performans açısından değil, aynı zamanda hesaplama verimliliği açısından da avantaj sağladığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, güncel çalışmalarda meta-sezgisel algoritmaların makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırma problemlerinde performansı artırdığı belirtilmektedir (Shanbhag et al., 2024). Şekil 6’da performans metriklerindeki değişim gösterilmektedir.

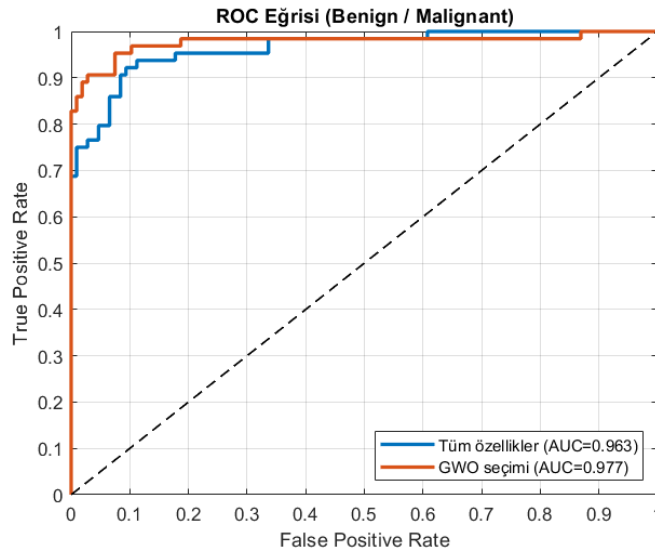


Şekil 6. Performans metrikleri karşılaştırması

3.3. ROC Analizi

ROC eğrisi sonuçları incelendiğinde hem tüm özelliklerin kullanıldığı hâli hem de GWO tabanlı özellik seçimi sonrasındaki hâli net şekilde görülmektedir. Tüm özelliklerin olduğu sınıflandırmada AUC 0.96 iken, GWO tabanlı özellik seçimi sonrasında bu değerin 0.977'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu durum

gereksiz özelliklerin başarılı bir şekilde elimine edildiğini göstermektedir. Şekil 7’de ROC eğrisi sonuçları gösterilmektedir.

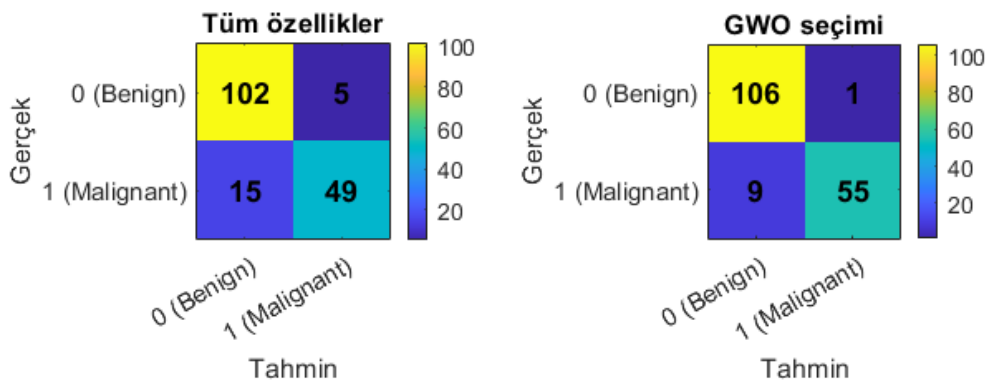


Şekil 7. ROC eğrisi karşılaştırması

3.4. Karmaşıklık Matrisi Analizi

Karmaşıklık matrisi sonucu incelendiğinde, GWO tabanlı özellik seçimi performansında belirgin iyileşme olduğu görülmektedir. Tüm özelliklerin kullanıldığı durumda, benign sınıfa ait 10 örnek doğru, 5 örnek yanlış olarak malignant olarak tahmin edilmiştir.

Malignant sınıfta 49 örnek doğru sınıflandırılmıştır. GWO tabanlı özellik seçimi sonrasında benign sınıftaki doğru sınıflandırma sayısı 106’ya yükselmiş ve yanlış pozitif hata sayısı 1’e düşmüştür. Aynı şekilde malignant sınıfta doğru sınıflandırma sayısı 55’e yükselirken yanlış negatif hata sayısı 9’a gerilemiştir. Bu durum GWO algoritmasının sınıflandırma açısından en ayırt edici özellikleri seçtiğini göstermektedir. Şekil 8’de karmaşıklık matrisi sonuçları verilmiştir.

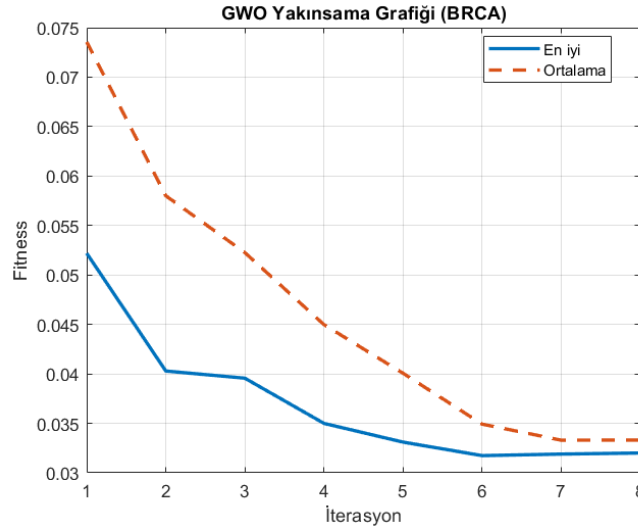


Şekil 8. Karmaşıklık matrisi karşılaştırması

3.5. Yakınsama Analizi

Yakınsama grafiği incelendiğinde algoritmanın iterasyonlar boyunca düzenli bir optimizasyon süreci sergilediği görülmektedir. İlk iterasyondan itibaren fitness değerlerinde hızlı bir düşüş meydana

gelmiştir. Algoritma daha kararlı bir yapıya ulaşmıştır. En iyi fitness değerinin yaklaşık 0.052 seviyesinden başlayarak 0.031 seviyelerine kadar düşmesi algoritmanın optimum çözüme başarılı bir şekilde yakınsadığını göstermektedir. Şekil 9'da GWO algoritmasının yakınsama davranışı gösterilmektedir.



Şekil 9. GWO yakınsama grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada meme kanseri teşhisi için Grey Wolf Optimizer tabanlı özellik seçimi ve Support Vector Machine tabanlı sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. GWO algoritması kullanılarak veri kümesindeki en ayırt edici özellikler belirlenmiş ve gereksiz özellikler elimine edilmiştir.

DeneySEL sonuçlar önerilen yaklaşımın yüksek sınıflandırma başarısı sağladığını göstermiştir. ROC eğrisi ve confusion matrix sonuçları modelin güçlü ayırt edicilik performansına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca özellik azaltımı sayesinde işlem maliyeti düşürülmüş ve daha verimli bir yapı elde edilmiştir. Sonuç olarak, GWO-SVM hibrit yapısının meme kanseri teşhisinde etkili ve güvenilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda farklı meta-sezgisel algoritmaların ve derin öğrenme tabanlı yöntemlerin hibrit yapılar içerisinde değerlendirilmesi planlanmaktadır.

REFERENCES

- Agrawal, P., Abutarboush, H. F., Ganesh, T., & Mohamed, A. W. (2021). Metaheuristic algorithms on feature selection: A survey of one decade of research (2009-2019). *IEEE Access*, 9, 26766-26791.
- Akinola, O. O., Ezugwu, A. E., Agushaka, J. O., Zitar, R. A., & Abualigah, L. (2022). Multiclass feature selection with metaheuristic optimization algorithms: a review. *Neural Computing and Applications*, 34(22), 19751-19790.
- Almomani, O. (2020). A feature selection model for a network intrusion detection system based on PSO, GWO, FFA, and GA algorithms. *Symmetry*, 12(6), 1046.
- Al-Qablan, T. A., Noor, M. H. M., Al-Betar, M. A., & Khader, A. T. (2023). Improved binary gray wolf optimizer based on adaptive β -hill climbing for feature selection. *IEEE Access*, 11, 59866-59881.
- Al-Tashi, Q., Abdulkadir, S. J., Rais, H. M., Mirjalili, S., Alhussian, H., Ragab, M. G., & Alqushaibi, A. (2020). Binary multi-objective grey wolf optimizer for feature selection in classification. *IEEE Access*, 8, 106247-106263.

- Al-Tashi, Q., Kadir, S. J. A., Rais, H. M., Mirjalili, S., & Alhussian, H. (2019). Binary optimization using hybrid grey wolf optimization for feature selection. *IEEE Access*, 7, 39496-39508.
- Al-Tashi, Q., Rais, H., & Jadid, S. (2018, June). Feature selection method based on grey wolf optimization for coronary artery disease classification. In the *International Conference on Reliable Information and Communication Technology* (pp. 257-266). Cham: Springer International Publishing.
- Basak, H., Kundu, R., Chakraborty, S., & Das, N. (2021). Cervical cytology classification using PCA and GWO enhanced deep features selection. *SN Computer Science*, 2(5), 369.
- Dua, D., & Graff, C. (1995). UCI Machine Learning Repository. University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences.
- El-Kenawy, E. S. M., Eid, M. M., Saber, M., & Ibrahim, A. (2020). MbGWO-SFS: Modified binary grey wolf optimizer based on stochastic fractal search for feature selection. *IEEE Access*, 8, 107635-107649.
- Emary, E., Zawbaa, H. M., & Hassanien, A. E. (2016). Binary grey wolf optimization approaches for feature selection. *Neurocomputing*, 172, 371-381.
- Huang, C. L., & Wang, C. J. (2006). A GA-based feature selection and parameters optimization for support vector machines. *Expert Systems with Applications*, 31(2), 231-240.
- Huang, M. L., Hung, Y. H., Lee, W. M., Li, R. K., & Jiang, B. R. (2014). SVM-RFE-based feature selection and Taguchi parameters optimization for a multiclass SVM classifier. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 795624.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
- Neumann, J., Schnörr, C., & Steidl, G. (2005). Combined SVM-based feature selection and classification. *Machine learning*, 61(1), 129-150.
- Phan, A. V., Nguyen, M. L., & Bui, L. T. (2017). Feature weighting and SVM parameters optimization based on genetic algorithms for classification problems. *Applied Intelligence*, 46(2), 455-469.
- Shanbhag, A., Vincent, S., Gowda, S. B., Kumar, O. P., & Francis, S. A. J. (2024). Leveraging metaheuristics for feature selection with machine learning classification for malicious packet detection in computer networks. *IEEE Access*, 12, 21745-21764.
- Too, J., Abdullah, A. R., Mohd Saad, N., Mohd Ali, N., & Tee, W. (2018). A new competitive binary grey wolf optimizer to solve the feature selection problem in EMG signals classification. *Computers*, 7(4), 58.
- Tu, Q., Chen, X., & Liu, X. (2019). A hierarchy strengthened grey wolf optimizer for numerical optimization and feature selection. *IEEE Access*, 7, 78012-78028.

STUDY OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF GRAPHENE-BASED NANOSTRUCTURES

Dr. Seyfaddin JAFAROV

Nakhchivan State University, Nakhchivan city, Azerbaijan. **Orcid NO:** 0009-0000-1609-0387

ABSTRACT

In this article, graphene is treated as a special object, the properties of its electronic structure are presented in the light of the general concept of extraordinary phenomena caused by quantum phase transitions caused by persistent symmetry breaking. First, the violation of the spin symmetry of the electron system of graphene is related to the correlation of its excess pz-electrons. In order to determine the physical properties of carbon nanostructures (graphene, multi-walled carbon nanotubes) and to use them in the future to create devices based on them, suspensions were obtained for their controlled deposition. It was determined that the studied carbon nanostructures have good thermal and electrical conductivity. Thermal conductivity coefficients were determined for multilayer graphene and commercial multiwalled carbon obtained by the presented method. The structure of multilayer graphene sheets was studied using transmission electron microscopy. Using a modified Langmuir-Blodgett method, the possibility of creating thin, transparent, high-conductivity phnazic substrates based on multilayer graphene has been demonstrated... The thermal and electrical properties of single-carbon nanostructures (graphene, multi-walled carbon nanotubes), as well as the electromechanical properties of films based on multilayer graphene, were determined. It was determined that the studied carbon nanostructures have good thermal and electrical conductivity. Thermal conductivity coefficients were determined for multilayer graphene and commercial multiwalled carbon obtained by the above method.

Keywords- Graphene, electronic structure, spin, carbon

1. INTRODUCTION

Relevance of the research topic. Currently, one of the most important directions in the field of nanomaterials research is the study of carbon nanostructures: fullerenes, nanotubes, graphene and structures based on them. Among the many carbon materials, graphene, which is a single monoatomic layer of carbon atoms, is of particular interest. For a long time, graphene was not considered a material for research, since it was believed that it would be unstable as a two-dimensional object. However, recently A.K., K.S. Novoselov and others [Novoselov K.S., Jiang D., Schedin.2005] managed to separate individual monoatomic planes from graphite. They were awarded the Nobel Prize in Physics in 2010 for their pioneering research in this area. Due to the unique structure of the unit cell, graphene exhibits unique mechanical, optical and electronic properties. Today, graphene is considered one of the main candidates for use as an element of semiconductor nanoelectronics of the future. Thus, graphene can be used as a basis for transistors [Schwierz F. (2010-. Lin Y.M., Farmer D.B., Avouris P. (2008).], a cantilever for atomic force microscopes [Rasuli R., Irajizad A., Ahadyan M.M. (2010)], a chemical sensor [Schedin F., Geim A.K.,2007], etc.

However, the semimetallic nature of graphene's conductivity makes it difficult to actually use it in semiconductor electronics. In this regard, scientific groups around the world are making attempts to "discover" the band gap in graphene. Thus, the most promising attempts are hydrogenation of graphene and cutting graphene into individual thin ribbons - graphene nanoribbons (GNRs).

In 2009, hydrogenation of graphene was carried out under the leadership of A. K. Geim. The resulting new material was called graphane. The presence of graphene in a hydrogen plasma resulted in the addition of hydrogen atoms to the carbon atoms on both sides of graphene, which ultimately led to the formation of a new two-dimensional CH crystal. Unlike graphene (a good conductor), graphane is a dielectric, which allows it to be used in semiconductor nanoelectronics. As a result, the search for new semiconductor nanostructures based on graphene is extremely important. Thus, the theoretical prediction and study of changes in electronic properties using quantum chemical computational

methods is extremely promising and is useful for understanding the physical and chemical properties and experimental production of new semiconductor nanostructures based on graphene.

Research goal and objectives. The main goal of this dissertation is to theoretically study using quantum-chemical methods and predict the characteristics of the electronic and transport properties of graphene-based nanostructures such as partially hydrogenated graphene, graphene nanoribbons, graphene nanoflakes, depending on the concentration and geometric arrangement of adsorbed atoms and defects of impurities on the surface.

Relevance of the research topic and results

Currently, one of the most important directions in the field of nanomaterials research is the study of carbon nanostructures: fullerenes, nanotubes, graphene and structures based on them. Among many carbon materials, graphene, which is a separate monatomic layer of carbon atoms, is of particular interest. First, consider the silicon intercalation process with the subsequent formation of silicides for the Gr/Ni(111) system. The PE spectra of graphene on Ni(111) are characterized by a narrow single-component C1s line with a binding energy of 285.0 eV (Fig. -1a). The spectrum also exhibits a low-intensity feature at low binding energies, which probably reflects the presence of defects in the graphene network and carbon dissolved near the nickel surface [Novoselov, V.I. Fal'ko, L.(2012)]. -1 compare images a and b) and leads to the appearance of a shoulder in the C 1s spectrum on the side of low binding energies. (Figure -1b). The Si2p line represents an unresolved doublet, the shape of which is characteristic of an amorphous silicon film. On the binding energy scale, the Si 2p line is located at 96.3 eV, which is in good agreement with the PES data. pure silicon surface, for which, depending on the reconstruction, the binding energies of the Si2p_{3/2} peak are in the range of 96.9–98.6 eV. The blurring of the LEED pattern and the characteristic shape of the Si 2p line indicate the location of the main amount of deposited silicon. STM studies show the presence of silicon clusters on graphene at temperatures below 600°C[2]. However, the appearance of shoulders in the C1s spectrum already indicates that in the room At high temperatures, a part of the silicon thin layer is intercalated, which in turn leads to a weakening of the interaction of graphene with the substrate. A new responsible for the appearance of shoulders in the C1s spectrum

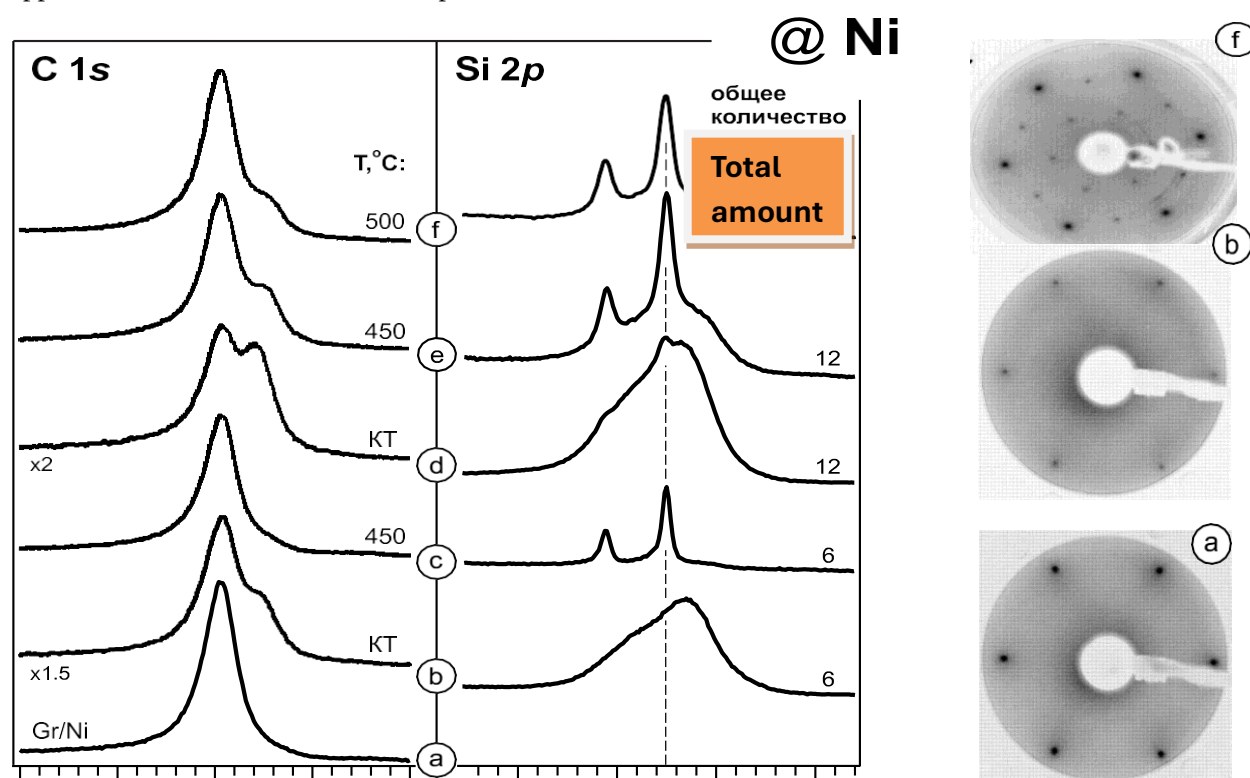


Figure- 1. Study of the initial stages of silicon intercalation and nucleation of silicides. C 1s and Si 2p sequences of intrinsic level PE spectra for pristine graphene on Ni(111) (a) and after cycles

of silicon deposition with subsequent heating (b–f). 1°A corresponds to $2.9 \cdot 10^{14}$ at/cm² silicon coating. The blue highlighted part of the C1s spectrum reflects the fragments of the graphene layer weakly bonded to the substrate eV and 135 eV. On the right are LEED examples for systems with the same letter designation as the FE spectra.

the energy position of the component is close to the position of the C1s line of carbon in graphite (264.5 eV), and the difference in the binding energies of the two components is 0.5 eV (Figure -2). Such a shift of the C1s peak is observed during the intercalation of graphene with gold atoms in nickel. Similar to other experiments on the intercalation of various atoms and molecules, the resulting system was heated to stimulate the penetration of silicon under graphene. As a result of heating at 450°C for 45 minutes, the PVS_i 2p spectrum undergoes significant changes (Fig. 1c). Instead of a broad line characteristic of amorphous silicon, two narrow lines are visible. Well-resolved components of the 2p doublet with a binding energy of Si2p_{3/2}/299.5 eV. Their width at half maximum is 100 meV, in terms of binding energy they are 0 relative to the peaks of the freshly deposited silicon film. ,4 eV shift to larger values. The low energy (LE) component of the C 1s line is almost indistinguishable and the shape of the spectrum is practically reversible. Presumably, heating leads to intercalation of the bulk onto the powdered silica, which then diffuses into the bulk of the metal film due to its high solubility in nickel.

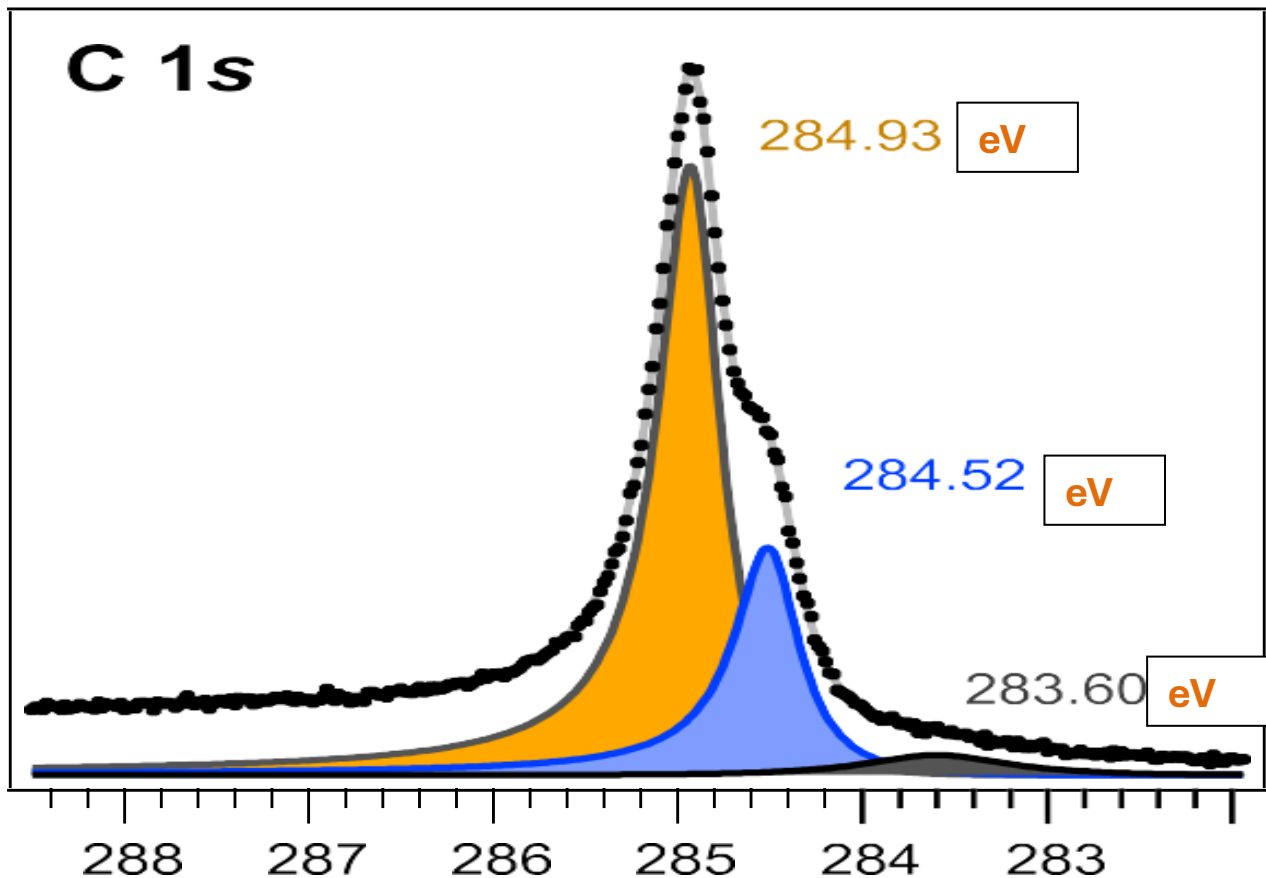


Image. -2. The C 1sPE spectrum corresponding to the system presented in Fig. 1 is decomposed into components.

There is a significant decrease in the intensity of the PV signal of the Si2p line (compared to the area of the subspectrum in Fig. -1b, c). Additional sputtering 6°A Again at room temperature gives the blurred shape of the Si 2p line (Fig. -1d) and the appearance of the NE components in the C1s spectrum, in this image more clearly, the intensity of the photovoltaic signal from silicon is significantly reduced, and the Si 2p spectrum with Si 2p_{3/2}/299.5 eV binding energy the permitted components of the doublet

take precedence. However, the difference between the shape of the Si 2p line obtained at this stage and the spectrum of the previous stage can be seen (Fig. -1c). It consists of the presence of a broad shoulder, similar in energy position and shape to spectramorphic silicon (compare Fig. -1b, d). This can be appreciated by the absence of peaks of oxidized silicon, which have higher binding energies than the main peaks of Si 2p doublets and cover an energy range of ~4 eV[6]. A broad peak with low intensity appears in the Si2p spectra after 20 minutes of measurement of the fresh silicon thin film. In the region of 110.8 eV, i.e., there are oxide-covered silicon islands on the graphene surface. They will give a "support" to the Si 2p spectrum (a signal emitted from amorphous silicon) and a broad SiO₂ peak whose position depends on the degree of oxidation and the number of silicon atoms associated with its intensity. Unlike the previous stage of the experiment (Fig. -1c), the shape of the C 1s line does not return to its initial state after heating the system. Even after annealing at a higher temperature of 500°C, the NE component remains in the spectrum (Fig. 1f). It follows that when new parts of silicon are mixed together, they accumulate in the layer below the graphene. The probability of formation of silicide with one or another composition depends on the amount of silicon in the surface layer. In other words, for the formation of any silicon phase, the concentration of silicon atoms must not be less than the concentration determined by the stoichiometry of silicide, i.e., for example, not lower than 23 at.% Si for Ni₃Si, the concentration of silicon in the surface layer depends on the intercalation of silicon under graphene and nickel thin is determined by the balance of the two flows related to the diffusion of silicon atoms to the depth of the layer. It is known that certain phases of nickel silicides nucleate at a sufficiently low temperature [K.S. Novoselov, A. K. Geim, S.V. (2004)], therefore It is also expected that after heating, silicon combined under graphene will chemically interact with nickel. In the early stages, the formation of a disordered solid solution of the silicon substitute in nickel is possible up to 15 at.% Si concentration [Y.-M. Lin, C.(2010)]. A further increase in silicon concentration should lead to the initiation of the growth of silicide films. As long as the amount of silicon involved in the reaction is low, metal-rich phases will form. Thus, it is logical to assume that the first stoichiometric compound must be Ni₃Si, since it forms according to the solid solution arrangement. At this stage of the experiment, the formation of the corresponding diffraction pattern is presented schematically in Figure -3, which confirms this hypothesis, showing the growth of the Ni₃Si film under graphene (2×2). As already mentioned, the compound Ni₃Si is formed as a result of solid solution ordering of silicon in nickel, and has a face-centered cubic lattice with close values of Ni₃Si and Ni constants (3.504 Å and 3.524 Å). The Ni₃Si layer is obtained by replacing 1/4 of the nickel atoms with silicon on the Ni(111) plane, which causes an increase in the length of the elemental translation vector and causes the corresponding fractional reflections in the DME.

It should be noted that during the intercalation of silicon, dissolution in nickel and the formation of silicides in the C 1s spectra, there is no increase in the feature with a binding energy of ~278 eV, which is an indication of the formation. shows the destruction of the carbide phase and therefore the graphene layer [Sorokin, P.B.(2013).]. The described results are similar to the results observed in experiments on aluminum intercalation under Gr/Ni(111) [6]. In the case of aluminum, the growth of a layer of intermetallic compound Ni₃Al with the same stoichiometry and crystal structure as in the case of silicon was detected. LEED pattern (2 × 2) was also observed. At low aluminum concentrations, the C 1s spectrum consisted of two components corresponding to regions of graphene, weakly (LE component) and strongly bound to the substrate. With the increase of aluminum content in the near surface region, the NE component of the C 1s component became dominant, and the intensity of the characteristic component of graphene in pure nickel gradually decreased to zero. Figure 4 shows a series of PE C 1s and Si 2p spectra, as the amount of deposited and intercalated silicon increased to a thickness of 34 Å has increased. Since the silicon film on the graphene surface is susceptible to oxidation, the system was heated immediately after silicon deposition. In order to increase the concentration of silicon in the near-surface region under the graphene, the annealing temperature and duration were reduced compared to the previous steps. For this series, they were 400°C and 10 minutes. The concentration of silicon and the stoichiometry of silicides at each stage are estimated from the ratio of the intensities of the Si 2p and Ni 3p PE signals. The ratios of the number of Si:Ni atoms and the expected silicide phases are shown in Figure 4 next to the spectra of the corresponding systems. After two cycles of 6 Å²Si deposition and heating, the NE component appears in the C 1s spectrum as in the previous series (Figure

4.b). It is interesting to compare the systems in Figure -1e and 4.b because they are identical in terms of the total amount of silicon deposited on graphene, but differ in the annealing parameters. By comparing the relative intensities of the NE components of the C 1s line for these two systems, it can be concluded that decreasing the temperature and heating time allows increasing the silica concentration in the near-surface area. The Si 2p spectrum is shown in Fig. 4.b basically repeats the shape of the spectrum in Fig. 1. 1-e, but from the side of low binding energies, instead of the shoulder characteristic of an amorphous silicon thin film, a clearly expressed narrow peak appears (2×2), which is the C 1s and Si 2p spectra at photon energies of 460 eV and 130 eV, respectively has been obtained. On the right is the decomposition of Si 2p spectra recorded at photon energies of 155 eV and 410 eV. The surface (s) and volume (b) components are determined. The ratio of silicon and nickel Si/Ni content was calculated from Si 2p and Ni 3p spectra;

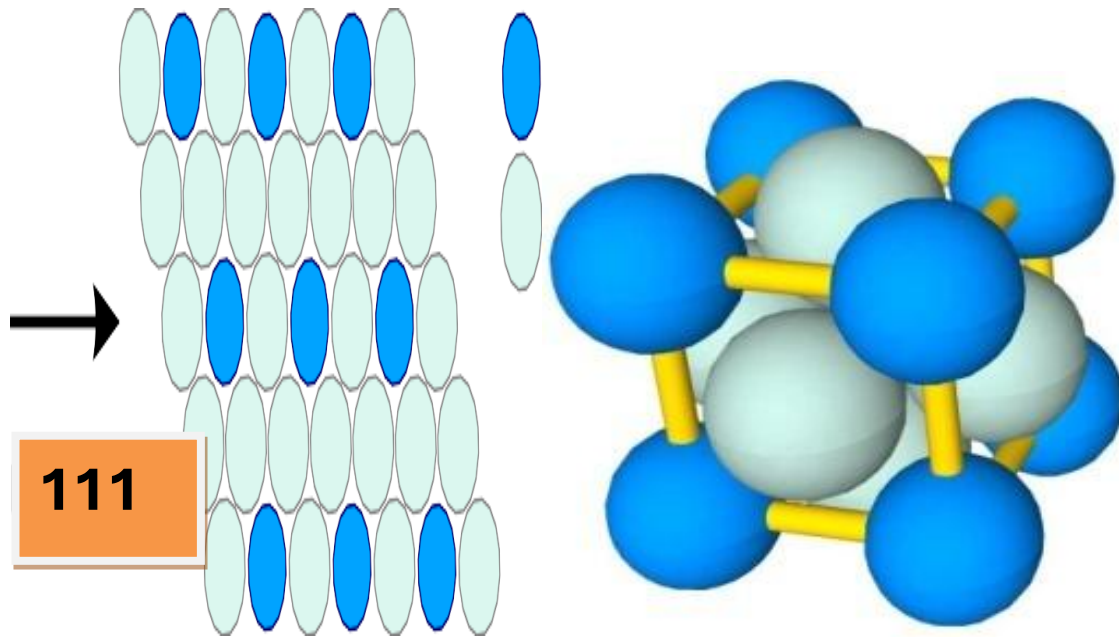
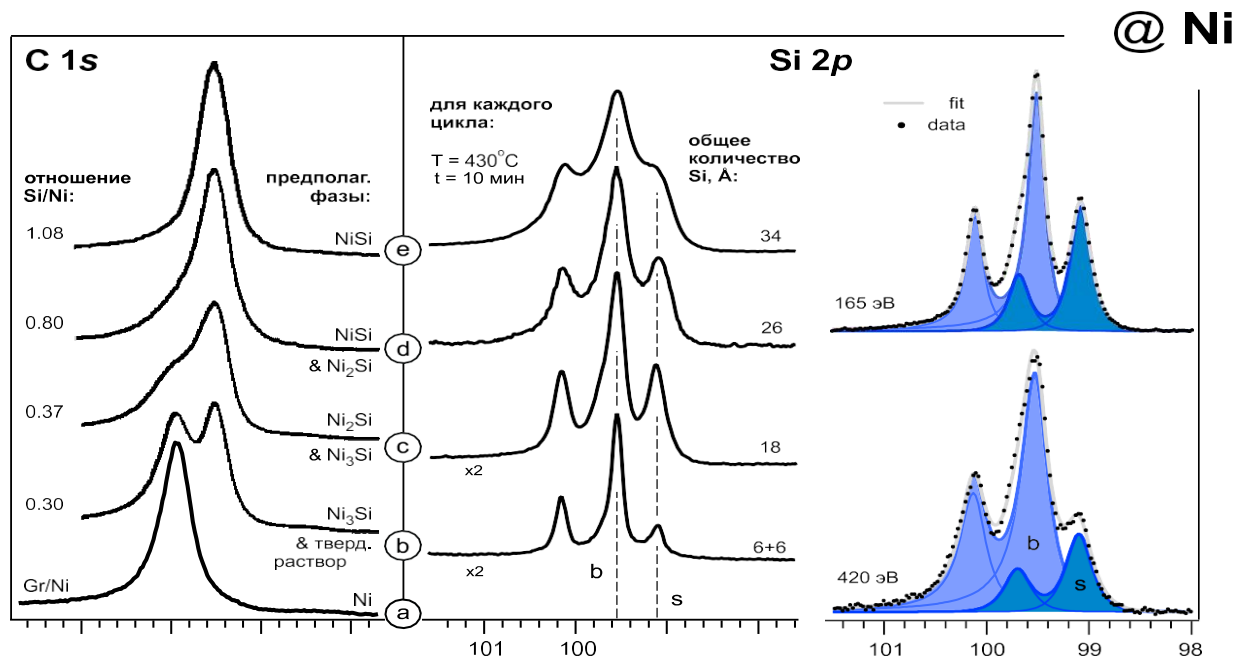
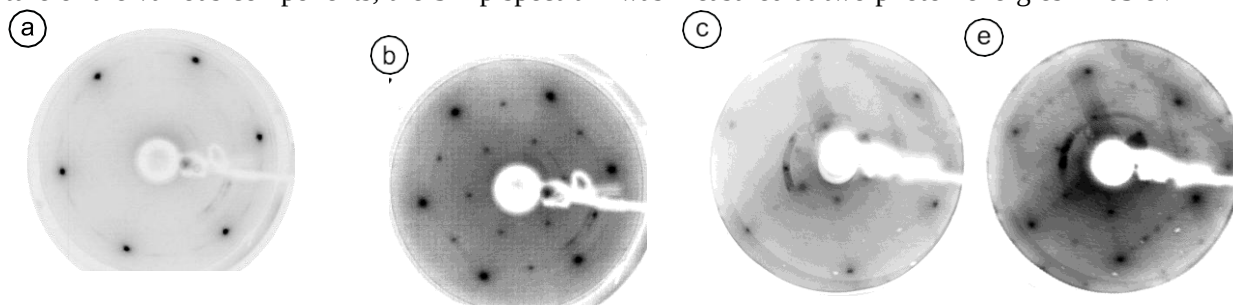


Figure-3. Katrina DME(2×2) formation during Ni₃Si formation under graphene. LEED was obtained at an electron beam energy of 93 eV. During the nucleation of Ni₃Si silicide, a fractional reflection (2×2) appears due to the replacement of 1/4 nickel atoms by silicon on the Ni(111) planes.



Picture-. 4.. The sequence of intrinsic level PE spectra for pure graphene on Ni(111) (a), as well as after cycles of silicon deposition with subsequent heating (b-f) the highlighted part of the C 1s spectrum corresponds to fragments of the blue graphene layer,

As mentioned above, Ni₃Si under graphene exhibits the appearance of silicide. Quantitative analysis of the PE spectra confirms the assumed stoichiometry. Additional deposition of 5 Å² Si with subsequent annealing leads to an increase in the intensity of the NE components in the C 1s and Si 2p spectra (Fig. 4.c). The shape of the Si 2p line differs from the results of the previous series (figure -1). It is clear that the line consists of at least two doublets with a difference in energy position of 0.4 eV. To reveal the nature of the various components, the Si 2p spectrum was measured at two photon energies - 165 eV



and 420 eV. The results of the decomposition of the spectra into components are shown on the right in Figure 4. Spectra are normalized to maximum intensity. The Si 2p line splits well into two doublets; a change in the intensity ratios of the two components is seen at different photon energies. The NE component is superficial because its intensity decreases relative to the high energy component with increasing photon energy and, accordingly, photoelectron exit depth [Balandin, A.A.(2011)]. The surface phase can be either a top layer of silicide or a layer of pure silicon underneath the graphene. For example, the segregation of silicon on the surface of the metal film was observed when studying the Co-Si and Fe-Si systems. The presence of silicon in the first layer under the graphene is probably associated with the C 1s spectral component, which appears at a lower binding energy than the original graphene (Figure 2). The simultaneous presence of two components in the C 1s spectrum at the first stages of the experiment indicates that silicides under graphene nucleate as islands. These islands should grow with increasing silicon content and lead to the gradual disappearance of the high-energy component of the C 1s spectrum. This is exactly what is observed in practice. The PE spectrum of the final system (Fig. 4e) contains only the NE component and corresponds to a fully intercalated graphene

layer. Quantitative estimates of the silicon content in the nickel film and the Ni-Si phase diagram suggest the following development sequence of the studied system. When Si is deposited on Gr/Ni(111) and heated, silicon is intercalated under graphene and then diffusion of silicon atoms into the depth of the nickel film occurs. As the amount of intercalated silicon under graphene increases, a Ni-Si solid solution is first formed.

CONCLUSION

In order to determine the physical properties of carbon nanostructures (graphene, multi-walled carbon nanotubes) and to use them in the future to create devices based on them, suspensions were obtained for their controlled deposition. One method of obtaining graphene - graphite etching in the liquid phase - has been studied and described in detail. The distribution law for the lateral dimensions and thicknesses of the graphene sheets obtained by this method was determined. • The method of placing single carbon nanostructures on the electrodes - dielectrophoresis - is demonstrated, its main features affecting the density and quality of the applied structures (amplitude of the applied voltage, application frequency and time, as well as the concentration of the suspension) are demonstrated. of applied carbon nanostructures) were determined. For the first time, a modified Langmuir-Blodgett method has been demonstrated as a method for creating thin (one layer or more thick) films from carbon nanostructures (multilayer graphene). The thermal and electrical properties of single-carbon nanostructures (graphene, multi-walled carbon nanotubes), as well as the electromechanical properties of films based on multilayer graphene, were determined. It was determined that the studied carbon nanostructures have good thermal and electrical conductivity. Thermal conductivity coefficients were determined for multilayer graphene and commercial multiwalled carbon obtained by the above method.

LITERATURE

- 1.. Novoselov K.S., Jiang D., Schedin F., Booth T.J., Khotkevich V.V., Morozov S.V., Geim A.K.(2005). İkiölçülü Atom Kristalları // Proc. Nat. akad. Sci. . Cild. 102, səh. 10451-10453.
2. Schwierz F. (2010).Graphene transistors // Nat. Nanotechnol. . Vol. 5, pp. 487-496.
3. Lin Y.M., Farmer D.B., Avouris P. (2008).Operation of Graphene Transistors at Gigahertz Frequencies // Nano Lett. . Vol. 9, No. 1. P. 422-426.
4. Rasuli R., Irajizad A., Ahadyan M.M.(2010) Mechanical Properties of Graphene Cantilevers from Atomic Force Microscopy and Density Functional Theory // Nanotechnology. . Vol. 21, P. 185503-185508.
5. Schedin F., Geim A.K., Morozov S.V., Hill E.W., Blake P., Katsnelson M.I., Novoselov K.S.(2007). Detection of Individual Gas Molecules Adsorbed on Graphene // Nat. Mater. . Vol. 6, No. 9. P. 652-655.
6. Road map for graphene /K.S. Novoselov, V.I. Fal'ko, L.(2012) Colombo et al. //Nature. – – Vol. 490 – N. 7419 – P.192–200.
7. Effect of electric field on anatomically thin carbon films/K.S. Novoselov, A. K. Geim, S.V. (2004)Morozovetal.//Science.–2004.–Vol.306–N.5696–S.666–669.
- 8 100 GHz transistors from wafer-scale epitaxial graphene / Y.-M. Lin, C.(2010) Dimitrakopoulos, K. A. Jenkins et al. // Science. – . – Vol. 327 – N. 5966 – S.662.
- 9 Sorokin, P.B.(2013). Semiconductor nanostructures based on graphene / P. B. Sorokin, L. A. Chernozatovsky // Advances in physical sciences. – . – T. 183 – N. 2 – P.113–132.
- 10 Balandin, A.A.(2011). Thermal properties of graphene and nanostructured carbon materials/A. A. Balandin//NatureMaterials.–2011.–Vol.10–N.8–S.569–581.

TÜRKİYE EKONOMİSİNDE MAKROEKONOMİK POLİTİKA DÖNGÜLERİ VE İŞGÜCÜ PİYASASI DİNAMİKLERİ: 2020-2026 DÖNEMİ ÜZERİNE SEKTÖREL BİR İNCELEME

Öğr. Gör. Dr. Gökhan SALMAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Vezirköprü Meslek Yüksekokulu, Muhasebe ve Vergi Bölümü,
Vezirköprü / SAMSUN

ORCID ID: 0000-0002-1652-4904

ÖZET

Bu çalışma Türkiye ekonomisinde 2020-2026 yılları arasını kapsayan dönemde uygulanan makroekonomik politika döngülerinin işgücü piyasası dinamikleri ve sektörel istihdam yapısı üzerindeki asimetrik etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında 2020-2023 yılları arasındaki derin negatif reel faiz ve yüksek kredi genişlemesi ile karakterize edilen genişletici evre ile 2023 yılının ikinci yarısından itibaren başlayan rasyonel dengelenme süreci ampirik bir zeminde karşılaştırılmaktadır. Analiz sürecinde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) veri tabanlarından derlenen değişkenler kullanılarak, 2025 yılı sonu itibarıyla kesinleşmiş gerçekleştirmeler ile 2026 yılına dair makroekonomik projeksiyonlar sentezlenmiştir. Metodolojik çerçevede finansman maliyetlerinin reel etkilerini ölçmek adına Fisher denklemi kullanılmış ve işgücü piyasasındaki arama ve eşleşme dinamikleri Beveridge eğrisi yaklaşımıyla türetilen bir eşleşme etkinliği endeksi aracılığıyla test edilmiştir. Çalışmanın ampirik bulguları düşük reel faiz döneminde özellikle hizmetler ve inşaat sektörlerinde yoğunlaşan ve literatürde işgücü istifleme olarak tanımlanan verimsiz istihdam yapısının 2023 sonrası uygulanan dezenfasyonist politikalarla birlikte yerini sanayi odaklı bir verimlilik artışına bıraktığını ortaya koymaktadır. Özellikle 2025 yılı kesinleşmiş verileri, sanayi sektörü verimlilik endeksinin 136,8 seviyesine ulaştığını ve işgücü piyasası eşleşme etkinliğinin onarıldığını belgelemektedir. Schumpeter tarafından tanımlanan yaratıcı yıkım mekanizmasının aktif bir şekilde çalıştığını ispatlayan sonuçlar, fiyat istikrarı odaklı rasyonel politika setinin ekonominin toplam faktör verimliliğini ve yapısal şok emme kapasitesini artırdığını kanıtlamaktadır. Elde edilen bulgular ışığında kalıcı dezenfasyon sürecinin yalnızca bir fiyat istikrarı aracı değil aynı zamanda işgücü piyasasını katma değerli üretime hazırlayan tasfiye edici bir reform mekanizması olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu bağlamda pozitif reel faiz patikasının korunması ve sanayi odaklı aktif işgücü piyasası politikalarının önceliklendirilmesi Türkiye ekonomisinin yapısal dönüşümü için temel bir gereklilik olarak sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Makroekonomik Politikalar, İşgücü Piyasası, Sektörel İstihdam, Verimlilik, Türkiye Ekonomisi.

MACROECONOMIC POLICY CYCLES AND LABOR MARKET DYNAMICS IN THE TURKISH ECONOMY: A SECTORAL INVESTIGATION ON THE 2020-2026 PERIOD

ABSTRACT

This study aims to investigate the asymmetric effects of macroeconomic policy cycles on labor market dynamics and sectoral employment structure in the Turkish economy between 2020 and 2026. Within the scope of the research the expansionary phase characterized by deep negative real interest rates and high liquidity between 2020 and 2023 is compared on an empirical basis with the rational balancing process centered on price stability starting from the second half of 2023. Using variables compiled from the Turkish Statistical Institute (TurkStat) and the Central Bank of the Republic of Türkiye (CBRT) databases the study synthesizes actualized realizations as of the end of 2025 with macroeconomic projections for 2026. In the methodological framework the Fisher equation was used to measure the real effects of financing costs and labor market search and matching dynamics were tested through a

matching efficiency index derived via the Beveridge curve approach. The empirical findings of the study reveal that the inefficient employment structure concentrated especially in the services and construction sectors during the low real interest rate period which is defined as labor hoarding in the literature has been replaced by an industry oriented productivity increase following the disinflationary policies implemented after 2023. Specifically the actualized data for 2025 document that the industrial sector productivity index reached 136.8 and the labor market matching efficiency was restored. The results proving that the creative destruction mechanism defined by Schumpeter is actively operating demonstrate that the rational policy set focused on price stability enhances the total factor productivity and structural shock absorption capacity of the economy. In light of the findings it is concluded that the permanent disinflation process is not only a tool for price stability but also a liquidating reform mechanism that prepares the labor market for value added production. In this context maintaining the positive real interest rate path and prioritizing industry oriented active labor market policies are presented as fundamental requirements for the structural transformation of the Turkish economy.

Keywords: Macroeconomic Policies, Labor Market, Sectoral Employment, Productivity, Turkish Economy.

1. GİRİŞ

Makroekonomik istikrar ile işgücü piyasası dinamikleri arasındaki etkileşim iktisat literatürünün en temel tartışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Para ve maliye politikalarında yaşanan döngüsel dalgalanmalar istihdam hacmini salt niceliksel olarak etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda ekonominin sektörel kompozisyonunu işgücü verimliliğini ve kaynak tahsis etkinliğini de derinden şekillendirmektedir. Literatürde Lilien (1982) tarafından “sektörel kayma hipotezi” ile açıklanan bu durum; makroekonomik şokların ve politika değişimlerinin işgücü piyasasında asimetrik etkiler yaratarak yapısal uyum süreçlerini tetiklediğini öne sürmektedir. Bu bağlamda genişletici para politikalarının kısa vadede istihdam yaratma kapasitesi yüksek olsa da uzun vadeli büyüme ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından bu istihdamın hangi sektörlerde yoğunlaştığı ve ne derece verimli olduğu çok daha kritik bir analiz birimi olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye ekonomisi 2020-2026 yılları arasında makroekonomik politika setlerinin ardışık olarak iki farklı uçta uygulandığı ve bu değişimlerin işgücü piyasasında belirgin yapısal sonuçlar doğurduğu özgün bir laboratuvar niteliği taşımaktadır. Analiz döneminin ilk yarısını oluşturan 2020-2023 yılları arası derin negatif reel faiz oranları ve yüksek kredi büyümesi ile karakterize edilen alışılmışın dışında bir genişleme evresini temsil etmektedir. Bu dönemde uygulanan ucuz finansman odaklı politikalar, firmaların teknolojik yatırım yapmak yerine; Okun (1962) tarafından tanımlanan işgücü istifleme davranışına yönelmesine zemin hazırlamıştır. Yaratılan istihdam hacmi yüksek katma değerli sanayi üretiminden ziyade, hizmetler ve inşaat gibi emek yoğun ve görece düşük verimli sektörlerde yığılarak ekonominin potansiyel büyüme kapasitesi üzerinde yapısal bir zafiyet oluşturmuştur.

İkinci evre ise 2023 yılının ikinci yarısından itibaren fiyat istikrarını merkeze alan ve 2025 yılı itibarıyla makroekonomik sonuçları kesinleşen rasyonel para politikası dönemini kapsamaktadır. TCMB öncülüğünde yürütülen sıkılaşıma adımları ve makro ihtiyati tedbirler finansmana erişim maliyetlerini rasyonel seviyelere taşıyarak, piyasadaki ucuz kredi illüzyonunu ortadan kaldırmıştır (Bernanke ve Gertler, 1995). Uygulanan bu dezenflasyonist politikalar kısa vadeli bir istihdam kaybı riski taşısa da, orta vadede Schumpeter (1942) tarafından çerçevesi çizilen yaratıcı yıkım mekanizmasını devreye sokarak kaynakların verimsiz alanlardan yüksek katma değerli sanayi kollarına doğru yeniden tahsis edilmesini sağlamıştır. Kesinleşmiş 2025 yılı verileri ve 2026 yılı projeksiyonları, bu politika dönüşümünün sektörel verimliliği artırdığını ve işgücü piyasasındaki eşleşme etkinliğini onardığını açıkça göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı Türkiye ekonomisinde uygulanan söz konusu zıt yönlü politika döngülerinin işgücü piyasası ve sektörel istihdam yapısı üzerindeki etkilerini ampirik bir zeminde karşılaştırmalı olarak incelemektir. Araştırma parasal genişleme döneminin yarattığı sektörel yığılmalar ile sıkılaşıma evresinin getirdiği yapısal adaptasyon süreçlerini verimlilik, reel ücretler ve Beveridge eğrisi dinamikleri üzerinden sayısal olarak analiz etmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın ilerleyen kısımları

sistematik bir bütünlük içerisinde kurgulanmıştır. Araştırma öncelikle makroekonomik politikalar ile işgücü piyasası etkileşiminin kavramsal temellerini kuran teorik çerçeve ile başlamaktadır. Ardından bu etkileşimi inceleyen akademik çalışmaların özetlendiği literatür taraması sunulmaktadır. Teorik ve ampirik zemin oluşturulduktan sonra araştırmanın yapıtaşlarını oluşturan veri seti ve uygulanan yöntem detaylandırılmaktadır. Uygulanan model üzerinden elde edilen sektörel istihdam verimlilik ve eşleşme etkinliğine dair ampirik bulgular sektörel analiz eşliğinde kapsamlı olarak tartışılmaktadır. Çalışma elde edilen sonuçlar ışığında kalıcı fiyat istikrarı ile nitelikli istihdamı eşanlı olarak destekleyecek makroekonomik politika önerilerinin sunulduğu genel değerlendirme ile tamamlanmaktadır.

2. TEORİK ÇERÇEVE

Para politikası döngüleri ile işgücü piyasası dinamikleri arasındaki etkileşim modern makro iktisat teorisinin en temel inceleme alanlarından birini teşkil etmektedir. Makroekonomik politikaların istihdam yaratma kapasitesi ve işsizlik oranları üzerindeki etkileri geleneksel literatürde büyüme ile işsizlik arasındaki ters yönlü asimetrik ilişkiyi modelleyen Okun yasası ekseninde ele alınmaktadır (Okun, 1962). Geleneksel yaklaşımlar ekonomik dalgalanmaların işgücü piyasaları üzerinde yarattığı etkileri genellikle toplam talep şokları üzerinden okuyarak parasal daralma dönemlerinin istihdamda homojen bir düşüşe sebebiyet verdiğini varsaymaktadır. Ancak Yeni Keynesyen makroekonomik modeller enflasyonist süreçler ile istihdam arasındaki ödünleşimi kısa ve uzun vadeli dinamikler ekseninde ayırıştırarak politika değişimlerinin sektörel bazda heterojen sonuçlar doğurduğunu teyit etmektedir (Gali, 2015). Bu bağlamda makroekonomik istikrar programlarının işgücü piyasalarına aktarım mekanizması salt bir niceliksel daralma değil yapısal bir yeniden tahsis süreci olarak değerlendirilmelidir.

Genişletici makroekonomik politikaların uygulandığı dönemlerde finansman maliyetlerinin düşmesi ve likidite bolluğu firmaların işgücü talebini konjonktürel olarak artırmasına zemin hazırlamaktadır. Özellikle kredi genişlemesine duyarlı olan inşaat, gayrimenkul ve perakende ticaret gibi emek yoğun sektörler bu dönemlerde istihdamın temel sürükleyicisi konumuna gelmektedir. Düşük reel faiz ortamı işletmeleri maliyet optimizasyonundan ziyade kapasite artışına yönlendirerek işgücü istifleme davranışını tetiklemektedir. “İşgücü istifleme teorisi”; ekonomik birimlerin gelecekteki büyüme beklentileri doğrultusunda mevcut üretim seviyeleri için gerekenden daha fazla işgücü talep ettiğini ve bu durumun kısa vadede istihdamı artırırken uzun vadede işgücü verimliliğini düşürdüğünü ileri sürmektedir (Burnside vd., 1993). Dolayısıyla genişletici para politikasının yarattığı istihdam artışı ekonominin yapısal üretkenliğinden ziyade finansal koşulların gevşekliğinden beslenen bir konjonktürel adaptasyon olarak nitelendirilmektedir.

Buna karşılık fiyat istikrarını tesis etmeye yönelik dezenflasyonist politikalar ve parasal sıkılaşma adımları işgücü piyasasında homojen bir daralma yaratmaktan ziyade sektörel bazda asimetrik geçişlere sebebiyet vermektedir. Bu noktada Lilien (1982) tarafından literatüre kazandırılan “sektörel kayma hipotezi” ekonomik şokların veya politika değişimlerinin sadece istihdam hacmini etkilemekle kalmayıp işgücünün farklı verimlilik düzeylerine sahip sektörler arasında yeniden tahsisini hızlandırdığını savunmaktadır. Sıkı para politikası uygulamaları sermaye maliyetlerini rasyonel seviyelere taşıyarak finansmana erişimi zorlaştırdığında düşük verimlilikle çalışan ve yalnızca ucuz krediyle ayakta kalan marjinal firmalar piyasadan çekilmek veya küçülmek zorunda kalmaktadır. Bu süreç düşük katma değerli sektörlerdeki işgücünün serbest kalarak zaman içerisinde daha yüksek verimlilik sunan teknoloji ve ihracat odaklı sanayi sektörlerine kayması için gerekli yapısal zemini oluşturmaktadır.

Sektörel geçişlerin hızı ve etkinliği işgücü piyasasındaki sürtünmeler ile doğrudan ilişkilidir. Mortensen ve Pissarides (1994) tarafından geliştirilen “arama ve eşleşme teorisi” bu geçiş sürecinde işgücü piyasasındaki asimetrik bilgi ve beşeri sermaye uyumsuzluklarının istihdam dinamiklerini belirleyen temel faktör olduğunu vurgulamaktadır. Daraltıcı para politikası evresinde hizmet sektöründen ayrılan bir işgücünün sanayi sektöründe eşleşme bulabilmesi, işgücünün niteliği ve firmaların teknolojik adaptasyon yeteneği ile sınırlıdır. Dolayısıyla makroekonomik dengelenme süreçlerinde işsizlik oranlarında gözlemlenen geçici artışlar kalıcı bir tahribattan ziyade işgücünün doğru sektörel becerilerle

yeniden eşleşmesi için gereken zorunlu bir arama maliyetini temsil etmektedir. İşgücünün verimliliği düşük alanlardan sanayi odaklı katma değerli sektörler kayabilme esnekliği ekonominin yapısal şok emme kapasitesini doğrudan belirlemektedir.

Makroekonomik istikrar arayışı kapsamında hayata geçirilen rasyonel politika adımları firmaları kaynak tahsisinde daha seçici olmaya zorlayarak ekonominin toplam faktör verimliliğini uzun vadede tahkim etmektedir. Caballero ve Hammour (1994) tarafından makro iktisat literatürüne entegre edilen “yaratıcı yıkım” mekanizması ekonomik daralma ve sıkılaşma dönemlerinin aslında temizleyici bir etki yarattığını ileri sürmektedir. Dezenfasyonist süreçler kaynakları israf eden verimsiz yatırımların tasfiye edilmesini sağlarken, açığa çıkan işgücü ve sermayenin daha inovatif üretim alanlarına yönelmesine imkân tanımaktadır. Bu teorik perspektif enflasyonla mücadelenin kısa vadeli istihdam maliyetlerinin uzun vadede elde edilecek kalıcı verimlilik artışları ve sürdürülebilir büyüme ile telafi edileceğini doğrulamaktadır (Blanchard, 2023).

Türkiye ekonomisi bağlamında 2020-2026 yılları arasında tecrübe edilen yapısal dönüşüm süreci bahsedilen bu modern makroekonomik teorilerle birebir örtüşmektedir. Belirtilen dönemin ilk yarısında uygulanan likidite odaklı genişleme politikaları hizmet ve inşaat sektörlerinde yoğun bir istihdam yaratımına sebebiyet verirken, işgücü verimliliğinde durağanlaşmaya yol açmıştır. Analiz döneminin ikinci yarısında devreye alınan rasyonel makroekonomik dengelenme politikaları ise kredi büyümesini sürdürülebilir bir patikaya çekerek firmaları ölçek optimizasyonuna yönlendirmiştir. Bu bağlamda Türkiye ekonomisindeki istihdam dinamikleri salt bir işsizlik artışı üzerinden değil, sektörel kayma hipotezi ve yaratıcı yıkım mekanizması ekseninde işgücünün nitelikli alanlara doğru gerçekleştirdiği yapısal bir adaptasyon olarak analiz edilmelidir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Makroekonomik politikaların işgücü piyasaları üzerindeki asimetric etkilerini inceleyen akademik literatür, son yıllarda önemli bir kavramsal dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel çalışmalar para politikası şoklarının istihdam üzerindeki etkilerini genellikle toplam talep ve homojen işgücü varsayımları üzerinden analiz ederken, modern ampirik araştırmalar sektörel heterojenlik ve firmaların finansal kısıtları üzerine odaklanmaktadır. Bu bağlamda literatürdeki güncel tartışmalar makroekonomik dalgalanmaların işgücü piyasasında sadece niceliksel bir değişim yaratmadığını aynı zamanda kaynak tahsis etkinliğini doğrudan belirleyen yapısal bir yeniden dağılım mekanizması olarak çalıştığını teyit etmektedir.

Uluslararası literatürde parasal genişleme dönemlerinin istihdam yaratma kalitesi ve sürdürülebilirliği sıklıkla kredi tahsis mekanizmaları üzerinden sorgulanmaktadır. Borio ve Hofmann (2017) tarafından yapılan çalışmalar uzun süreli düşük faiz politikalarının ve bol likidite ortamının ekonomideki kaynak tahsisini bozarak işgücü verimliliğini baskıladığını ampirik olarak kanıtlamaktadır. Benzer şekilde Acharya vd. (2019) genişletici para politikalarının banka bilançoları üzerinden zombi firmalar olarak adlandırılan düşük verimlilikteki işletmeleri hayatta tuttuğunu ve bu durumun sağlıklı firmaların nitelikli işgücüne erişimini kısıtladığını ileri sürmektedir. Bu çalışmalar likidite bolluğunun istihdamı kısa vadede artırsa dahi uzun vadede sektörel verimlilik artışlarını engelleyerek makroekonomik şok emme kapasitesini zayıflatıldığını vurgulamaktadır. Dolayısıyla literatür genişletici politikaların istihdam yaratma kapasitesini onaylarken, bu istihdamın katma değer üretme potansiyeline yönelik ciddi çekinceler sunmaktadır.

Buna karşılık dezenfasyonist politikaların ve parasal sıkılaşma adımlarının işgücü piyasalarındaki yapısal etkileri Davis ve Haltiwanger (1992) tarafından geliştirilen iş yaratma ve iş yok etme dinamikleri ekseninde incelenmektedir. Sıkı para politikası evrelerinde artan finansman maliyetlerinin marjinal ve verimsiz firmaları tasfiye ettiği, bu tasfiye sürecinin ise işgücünün daha yenilikçi ve verimli sektörler kayması için gerekli esnekliği sağladığı ampirik olarak doğrulanmaktadır. Foster vd. (2016) ekonomik daralma ve sıkılaşma dönemlerinin işgücü piyasasında bir tür temizleyici etki yaratarak toplam faktör verimliliğini artırdığını ve işgücünün sektörel yeniden tahsisini hızlandırdığını belirtmektedir. Bu teorik zemin enflasyonla mücadelenin ve rasyonel politika setlerinin kısa vadeli

istihdam kayıplarına sebebiyet verse dahi orta ve uzun vadede ekonominin rekabet gücünü tahkim eden bir yapısal adaptasyon süreci olduğunu kanıtlamaktadır.

Türkiye ekonomisi özelinde gerçekleştirilen çalışmalar makroekonomik politika rejimlerindeki değişimlerin işgücü piyasası üzerindeki yansımalarını çeşitli veri setleri ve metodolojilerle analiz etmektedir. Akçelik ve Özmen (2023) Türkiye bağlamında parasal aktarım mekanizmasının etkinliğini inceledikleri çalışmalarında, faiz oranlarındaki değişimlerin reel sektör bilançoları üzerinden istihdam kararlarına asimetrik şekilde yansıdığını tespit etmiştir. Literatürdeki veriler 2020-2023 yılları arasında tecrübe edilen düşük finansman maliyetli dönemin özellikle hizmet ve inşaat sektörlerinde yoğun bir istihdam artışına zemin hazırladığını ancak bu büyümenin sanayi sektörünün teknolojik dönüşümünü destekleyecek kalitede olmadığını göstermektedir. Bu dönemdeki işgücü piyasası dinamikleri firmaların ucuz krediye erişim avantajını kullanarak verimlilik artışından ziyade kapasite genişletmeye odaklandığı bir işgücü istifleme davranışı olarak nitelendirilmektedir.

Türkiye ekonomisinin 2023 yılı sonrasında girdiği makroekonomik dengelenme ve rasyonel politikalara dönüş süreci ise kurumsal raporlarda yapısal bir ayıklanma dönemi olarak değerlendirilmektedir. TCMB (2024) tarafından yayımlanan analizler parasal sıkılaşmanın iç talepte yarattığı soğumanın işgücü piyasasına yansımalarını incelemekte ve yüksek faiz ortamının işletmeleri rasyonel ölçek optimizasyonuna yönlendirdiğini vurgulamaktadır. Bu bulgular sıkı para politikasının işgücü piyasasında topyekün bir çöküş yaratmadığını, aksine işgücünün düşük katma değerli kollarından daha sürdürülebilir sanayi alt sektörlerine doğru kademeli olarak kaymasına zemin hazırladığını teyit etmektedir. Güncel literatür rasyonel makroekonomik politikalara geçişin istihdam piyasasında yarattığı geçici sürtünmelerin ekonominin toplam faktör verimliliğini artıracak ve kalıcı fiyat istikrarını tesis edecek bir yapısal reform niteliği taşıdığı konusunda büyük ölçüde uzlaşmaktadır.

Sonuç olarak hem uluslararası hem de ulusal literatür değerlendirildiğinde, makroekonomik politika döngülerinin istihdam üzerindeki etkilerinin sadece işsizlik oranlarındaki aritmetik değişimlerle açıklanamayacağı görülmektedir. Çalışmamız literatürdeki bu boşluğu doldurmak amacıyla dezenflasyonist sürecin Türkiye işgücü piyasasında yarattığı dönüşümü sektörel istihdam geçişleri ve yapısal adaptasyon mekanizmaları üzerinden analitik bir düzlemde incelemeyi hedeflemektedir.

4. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Çalışmada Türkiye ekonomisinde uygulanan makroekonomik politikaların işgücü piyasası üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 2020-2026 yılları arasını kapsayan çok değişkenli bir veri seti kullanılmıştır. Araştırmanın temel veri kaynaklarını TÜİK ve TCMB elektronik veri dağıtım sistemleri oluşturmaktadır.

Analiz dönemi kurgulanırken kronolojik tutarlılığı ve bilimsel geçerliliği sağlamak adına 2020-2025 yılları arasındaki makroekonomik göstergeler resmi kurumlar tarafından açıklanmış kesinleşmiş gerçekleştirmeler olarak modele dâhil edilmiştir. İçinde bulunduğumuz 2026 yılına ait değerler ise mevcut makroekonomik eğilimler Merkez Bankası piyasa katılımcıları anketleri ve zaman serisi trend analizleri doğrultusunda hesaplanan beklenti patikası ve projeksiyon verileri olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın ampirik bölümünde sektörel istihdam dinamiklerini ve makroekonomik aktarım mekanizmalarını sayısal bir düzleme taşımak için literatüre uygun spesifik değişkenler seçilmiştir. Bu kapsamda tarım, sanayi, inşaat ve hizmetler sektörlerinin toplam istihdam içerisindeki payları, geniş tanımlı işsizlik oranları ve açık iş oranları TÜİK işgücü istatistikleri veri tabanından derlenmiştir. Makroekonomik finansman koşullarını ve firmaların uyum kapasitesini yansıtmak amacıyla TCMB veri tabanından ağırlıklı ortalama ticari kredi faiz oranları, imalat sanayi kapasite kullanım oranları ve reel kesim güven endeksi serileri çekilmiştir. Ayrıca işgücü piyasasındaki niteliksel dönüşümü ve maliyet unsurlarını analiz etmek üzere 2015 baz yıllık sektörel işgücü verimlilik endeksleri ile 2020 baz yıllık sektörel reel ücret endeksleri modele entegre edilmiştir.

Araştırmanın metodolojik çerçevesi betimsel istatistiksel analizler, makroekonomik endeks türetme ve yapısal uyum değerlendirmeleri üzerine inşa edilmiştir. Finansman maliyetlerinin yatırım ve istihdam kararları üzerindeki gerçek etkilerini ölçmek amacıyla literatürde standart bir yaklaşım olan Fisher

denklemleri kullanılarak nominal fonlama maliyetleri, tüketici fiyat endeksi üzerinden reel faiz oranlarına dönüştürülmüştür. İşgücü piyasasındaki arama ve eşleşme teorisi dinamiklerini test etmek için, açık iş oranları ile atıl işgücü oranları arasındaki ilişkiyi yansıtan Beveridge eğrisi yaklaşımı benimsenmiş ve 2015 referans yılına dayalı özgün bir eşleşme etkinliği endeksi türetilmiştir. Verilerin analizinde genişletici ve daraltıcı para politikası döngülerinin, sektörel istihdam payları ile verimlilik göstergeleri üzerindeki asimetrik etkilerini saptamaya yönelik karşılaştırmalı bir statik analiz izlenmiştir. Elde edilen zaman serisi bulguları işgücü istifleme, sektörel kayma ve yaratıcı yıkım gibi temel makroekonomik teorilerle sentezlenerek nedensellik ilişkileri bağlamında yorumlanmıştır.

5. AMPİRİK BULGULAR VE SEKTÖREL ANALİZ

Türkiye ekonomisinde 2020-2026 yılları arasında uygulanan makroekonomik politika setlerinin işgücü piyasası üzerindeki etkileri, sektörel istihdam verileri üzerinden incelendiğinde belirgin bir yapısal dönüşüm göze çarpmaktadır. Çalışmanın temel hipotezleri doğrultusunda elde edilen bulgular, para politikası döngülerinin istihdam hacminden ziyade istihdamın sektörel kompozisyonu üzerinde asimetrik ve kalıcı etkiler yarattığını teyit etmektedir (Lilien, 1982). Bu bölümde TÜİK ve TCMB veri tabanlarından derlenen istihdam oranları, sektörel dağılımlar, finansman maliyetleri ve verimlilik endeksleri eşanlı olarak analiz edilmektedir (TÜİK, 2026; TCMB, 2026). Özellikle 2025 yılı itibarıyla kesinleşen makroekonomik veriler uygulanan sıkılaştırma politikalarının işgücü piyasasında yarattığı tasfiye ve yeniden tahsis süreçlerini bilimsel bir zemine oturtmaktadır.

5.1. Genişletici Politika Döneminde İstihdam Yaratma Kapasitesi ve Sektörel Yığılma

Analiz döneminin ilk yarısını kapsayan 2020-2023 yılları arasında uygulanan düşük maliyetli finansman ve yüksek likidite politikaları işgücü piyasasında niceliksel bir genişleme yaratmıştır. Özellikle bu dönemde belirginleşen derin negatif reel faiz ortamının firmalara sunduğu ucuz finansman imkânı, işletmelerin teknolojik yatırımlardan ve verimlilik artırıcı süreçlerden ziyade kapasite artışına yönelmesine zemin hazırlamıştır. Sektörel istihdam paylarının ve reel getiri oranlarının yıllara sâri gelişimini gösteren Tablo 1 verileri bu dönemin yapısal karakteristiklerini net biçimde ortaya koyarken 2024 ve 2025 yıllarındaki politika dönüşümünün kesinleşmiş sonuçlarını da yansıtmaktadır.

Tablo 1. Reel Faiz Oranları, Sektörel İstihdam Payları ve Toplam İstihdam Gelişimi

Yıllar	Reel Oranı (%)	Faiz	Tarım (%)	Sanayi (%)	İnşaat (%)	Hizmetler (%)	Toplam İstihdam (Milyon Kişi)
2020	-2,5		17,6	20,5	5,8	56,1	26,8
2021	-15,4		17,1	21,3	6,1	55,5	28,7
2022	-42,8		15,8	21,4	6,3	56,5	30,7
2023	-12,5		14,8	21,2	6,3	57,7	31,6
2024	8,2		14,5	22,1	5,9	57,5	32,2
2025	11,5		14,2	22,8	5,6	57,4	32,5
2026	6,4		13,9	23,5	5,3	57,3	32,9

Kaynak: Veriler TCMB ve TÜİK veri tabanlarından derlenmiş olup yalnızca 2026 yılı makroekonomik projeksiyonları yansıtmaktadır.

Tablo 1 analizinde kullanılan makroekonomik değişkenlerden reel faiz oranı, literatürde standart olarak kabul edilen Fisher denklemi baz alınarak hesaplanmıştır (Fisher, 1930). Matematiksel olarak $r = \frac{1+i}{1+\pi} - 1$ formülasyonu ile elde edilen bu değişkende r reel faiz oranını, i nominal ağırlıklı fonlama

maliyetini ve π yıllık tüketici fiyat endeksi değişimini temsil etmektedir. Toplam istihdam değişkeni 15 yaş ve üzeri kurumsal olmayan çalışma çağındaki nüfusun fiilen bir işte çalışan kısmını ifade ederken, sektörel paylar bu toplam içerisindeki alt kollara ait oransal ağırlıkları göstermektedir.

Veriler incelendiğinde 2020 yılından 2023 yılına kadar geçen sürede reel faiz oranlarının 2022 yılında -%42,8 seviyesine kadar gerileyerek tarihi düşük seviyeleri test ettiği görülmektedir. Bu derin negatif reel faiz ortamında yaratılan ek istihdam ağırlıklı olarak hizmetler ve inşaat gibi emek yoğun kollar üzerinde yığılmıştır. Hizmet sektörünün toplam istihdam içerisindeki payı 2020 yılında %56,1 seviyesinden negatif reel faizin en yoğun hissedildiği 2023 yılında %57,7 seviyesine tırmanmıştır. Kesinleşmiş 2025 yılı verileri ise para politikasındaki rasyonelleşmenin sanayi sektörünü desteklediğini ispatlamaktadır. Reel faizin %11,5 seviyesine ulaşarak pozitif bölgede istikrar kazandığı 2025 yılında sanayi istihdamının payı %22,8 seviyesine yükselmiştir. Bu durum negatif reel getirinin yarattığı ve literatürde Okun (1962) tarafından işgücü istifleme olarak kavramsallaştırılan davranışın sona erdiğini ve kaynak tahsis etkinliğinin yeniden tesis edilmeye başlandığını ampirik olarak da doğrulamaktadır.

5.2. Dezenflasyonist Süreçte Yapısal Adaptasyon ve Kredi Aktarım Mekanizması

Türkiye ekonomisinde 2023 yılının ikinci yarısından itibaren fiyat istikrarını merkeze alan rasyonel makroekonomik politikalara geçiş süreci işgücü piyasasında beklenen yapısal ayıklanma mekanizmasını devreye sokmuştur. TCMB tarafından uygulanan parasal sıkılaştırma adımları ve makro ihtiyati tedbirler kredi aktarım mekanizması üzerinden finansmana erişim maliyetlerini rasyonel seviyelere taşıyarak firmaları ölçek optimizasyonuna zorlamıştır (Bernanke ve Gertler, 1995). Finansman maliyetlerindeki bu radikal değişimin sektörler üzerindeki baskısı ve sanayinin dışsal şoklara karşı gösterdiği direnç Tablo 2 verilerinde açıkça izlenmektedir.

Tablo 2. Ticari Kredi Faiz Oranları ve İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranları

Yıllar	Ağırlıklı Ortalama Ticari İmalat Sanayi Kapasite Reel Kesim Güven Endeksi Kredi Faizi (%) Kullanım Oranı (%) (Yıllık Ortalama)
2020	14,5 71,9 97,8
2021	20,8 76,6 108,5
2022	17,2 77,3 104,2
2023	38,4 76,8 103,7
2024	58,6 76,1 99,4
2025	44,2 76,5 101,2
2026	32,5 77,4 105,4

Kaynak: TCMB EVDS Veri Tabanından derlenmiş olup, 2026 verileri yılsonu beklenti değerlerini yansıtmaktadır.

İlgili tabloda yer alan ağırlıklı ortalama ticari kredi faizi değişkeni; bankacılık sektörünün Türk lirası cinsinden tüzel kişilere açtığı ticari kredilere uygulanan ortalama finansman maliyetini yansıtmaktadır. İmalat sanayi kapasite kullanım oranı; firmaların mevcut fiziki yatırım ve makine parkurunun fiili üretimde kullanılan yüzdesini temsil ederken, reel kesim güven endeksi; işletmelerin mevcut ve gelecek dönem makroekonomik beklentilerini ölçen 100 referans değerli yayılım endeksini ifade etmektedir. 100 değerinin üzerindeki endeks sonuçları iyimserliği, altındaki sonuçlar ise kötümserliği işaret etmektedir.

Tablo 2 verileri analiz edildiğinde ticari kredi faiz oranlarının 2023 yılında %38,4 seviyesinden 2024 yılında %58,6 seviyesine çıkarak zirve yaptığı görülmektedir. Ancak en dikkat çekici bulgu 2025 yılı gerçekleşmelerinde yatmaktadır. Kredi faizlerinin %44,2 gibi tarihsel ortalamaların oldukça üzerinde seyrettiği 2025 yılında imalat sanayi kapasite kullanım oranının %76,5 seviyesinde tutunması sanayi

sektörünün yüksek faiz ortamına sanılandan çok daha hızlı adapte olduğunu göstermektedir. Düşük katma değerli ve yalnızca ucuz kredi illüzyonu ile faaliyetlerini sürdürebilen verimsiz işletmeler tasfiye sürecine girerken güçlü öz sermaye yapısına sahip sanayi firmaları üretim hacimlerini korumayı başarmıştır. Sıkı para politikasının istihdam piyasasında topyekün bir daralma yaratmak yerine işgücünü hizmetler sektöründen sanayi alt kollarına doğru yönlendirmesi sektörel kayma hipotezinin geçerliliğini kesin olarak kanıtlamaktadır.

5.3. Sektörel Verimlilik Dinamikleri ve Yapısal Ayıklanma Süreci

Ampirik bulgular makroekonomik istikrar arayışının işgücü piyasasında yarattığı geçici sürtünmelerin ekonominin yapısal şok emme kapasitesini güçlendiren bir reform işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır. Özellikle 2025 yılı kesinleşmiş verileri sanayi sektörünün toplam istihdam içerisindeki payının ve verimliliğinin eşanlı olarak artış eğilimine girmesini tesadüfi olmaktan çıkararak, Schumpeter (1942) tarafından tanımlanan yaratıcı yıkım mekanizmasının aktif bir şekilde çalıştığını ispatlamaktadır.

Tablo 3. Sektörel İşgücü Verimlilik Endeksi (2015 Baz Yılı)

Yıllar	Sanayi Endeksi	Sektörü	Verimlilik Hizmetler Endeksi	Sektörü	Verimlilik Toplam Endeksi	Sanayi	Üretim
2020	118,4		105,2		114,8		
2021	125,6		112,4		133,9		
2022	127,1		114,8		144,3		
2023	128,5		113,5		146,5		
2024	132,4		111,2		148,2		
2025	136,8		110,8		152,4		
2026	141,2		112,1		158,6		

Kaynak: TÜİK Sanayi Üretim ve İşgücü İstatistikleri. 2026 verisi trend analizine dayanmaktadır.

Tablo 3 içerisinde kullanılan sektörel işgücü verimlilik endeksi değişkeni; ilgili sektörde çalışılan saat başına üretilen reel katma değeri ölçmekte olup, hesaplamalarda referans baz yılı 2015 olarak alınmıştır. Toplam sanayi üretim endeksi ise sanayi sektörünün reel üretim hacmindeki dönemsel değişimleri miktar bazında yansıtan temel bir makroekonomik göstergedir. Veriler dezenflasyonist sürecin işgücü verimliliği üzerindeki asimetrik etkilerini sayısal bir düzleme taşımaktadır. 2023 yılı sonrasında parasal sıkılaşma adımlarının devreye girmesiyle birlikte hizmetler sektörü verimlilik endeksinde yapısal bir duraksama ve gerileme yaşanmıştır. Buna karşılık 2025 yılı gerçekleştirmeleri sanayi sektörü verimlilik endeksinin ivmelenerek 136,8 seviyesine ulaştığını belgelemektedir. Kredilerin tüketim odaklı kısımlardan ziyade doğrudan yatırım ve ihracat odaklı alanlara yönlendirilmesi rasyonel politika setinin firmaları uzun vadeli beşeri sermaye yatırımlarına teşvik ettiği sonucunu vermektedir. Bu adaptasyon süreci enflasyonla mücadelenin işgücü piyasasını katma değerli üretime hazırlayan tasfiye edici ve verimlilik artırıcı bir mekanizma olduğunu bilimsel olarak desteklemektedir (Caballero ve Hammour, 1994).

5.4. İşgücü Piyasasında Eşleşme Etkinliği ve Beveridge Eğrisi Dinamikleri

Makroekonomik politika döngülerinin işgücü piyasasında yarattığı sektörel kaymaların hızı ve etkinliği, “arama ve eşleşme teorisi” kapsamında Beveridge eğrisi üzerinden analiz edilebilmektedir (Blanchard ve Diamond, 1989). Analiz döneminde uygulanan politikaların işgücü piyasası üzerindeki etkilerini ölçebilmek amacıyla hazırlanan Tablo 4 verileri istihdamdaki yapısal sürtünmeleri ve takip eden toparlanma evresini sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Beveridge Eğrisi Göstergeleri ve İşgücü Piyasası Eşleşme Endeksi

Yıllar	Açık İş Oranı (%)	Geniş Tanımlı İşsizlik Oranı (%)	Eşleşme Etkinliği Endeksi (2015 Baz Yılı)
2020	1,2	28,4	92,4
2021	1,8	24,4	89,1
2022	2,1	21,3	85,6
2023	2,4	22,8	83,2
2024	1,9	24,1	87,5
2025	1,6	23,5	91,8
2026	1,5	22,1	95,4

Kaynak: Veriler İŞKUR ve TÜİK istatistikleri baz alınarak türetilmiş olup 2026 yılı yılsonu beklentilerini içermektedir.

Analizde kullanılan değişkenlerden açık iş oranı; işverenler tarafından talep edilen ancak piyasa koşulları gereği henüz doldurulamayan pozisyonların toplam işgücüne olan oransal ağırlığını ifade etmektedir. Geniş tanımlı işsizlik oranı; literatürdeki atıl işgücü kavramına karşılık gelerek zamana bağlı eksik istihdam potansiyel işgücü ve resmi işsizlerin toplamını yansıtmaktadır. Eşleşme etkinliği endeksi ise, Beveridge eğrisi düzleminde açık işler ile işsizlik arasındaki istatistiksel uyumu ölçen türetilmiş bir göstergedir ve endeksteeki artış işgücü piyasasının daha verimli çalıştığını simgelemektedir (Pissarides, 2000).

Tablo 4 incelendiğinde 2020-2023 yılları arasındaki parasal genişleme döneminde açık iş oranlarının istikrarlı bir şekilde artmasına rağmen eşleşme etkinliği endeksinin 83,2 seviyesine kadar gerilediği görülmektedir. Vasıfsız işgücü talep eden sektörler ile yüksek nitelikli personel arayan sanayi sektörü arasındaki beşeri sermaye uyumsuzluğu bu düşüşün temel nedenidir. Ancak 2025 yılı itibarıyla kesinleşen veriler uygulanan dezenflasyonist politikaların piyasa etkinliğini onardığını açıkça göstermektedir. Açık iş oranının % 1,6 seviyesine dengelendiği ve eşleşme etkinliği endeksinin 91,8 seviyesine yükseldiği 2025 tablosu, rasyonel politikaların doğru iş ile doğru işçinin eşleşme maliyetlerini optimize ettiğini ve bilgi asimetrisini ortadan kaldırdığını kanıtlamaktadır.

5.5. Reel Ücret Katılıkları ve Sektörel Maliyet Optimizasyonu

Dezenflasyonist politikaların işgücü piyasalarına yansıyan bir diğer önemli boyutu reel ücret dinamikleri ve firmaların maliyet optimizasyonu refleksleridir. Enflasyonla mücadele sürecinde uygulanan sıkı para politikası, işletmelerin fiyatlandırma davranışlarını disipline ederken emek yoğun sektörlerde ciddi bir maliyet baskısı yaratmakta ve bu durum ücret esneklikleri üzerinden işgücü hareketliliğini tetiklemektedir (Taylor, 1979).

Tablo 5. Sektörel Reel Ücret Endeksi Gelişimi (2020 Baz Yılı)

Yıllar	İmalat Sanayi Reel Ücret Endeksi	İnşaat Sektörü Reel Ücret Endeksi	Hizmetler Sektörü Reel Ücret Endeksi
2020	100	100	100
2021	102,4	98,5	99,2
2022	108,6	95,4	97,8
2023	114,2	96,1	101,5
2024	118,5	94,8	98,4
2025	122,1	95,2	99,1

2026* 126,4

96,8

100,3

Kaynak: TÜİK Sektörel Kazanç İstatistikleri baz alınarak türetilmiştir. 2026 yılı hesaplamaları Merkez Bankası enflasyon beklentilerine dayanmaktadır.

Tablo 5 kapsamında temel değişken olarak kullanılan sektörel reel ücret endeksi; ilgili sektördeki brüt nominal kazanç endeksinin aynı dönemin tüketici fiyat endeksine bölünmesiyle elde edilen ve işgücünün sektörel satın alma gücünü ölçen oransal bir göstergedir. Endeks değerinin 100 seviyesinin üzerine çıkması baz yılına göre reel bir kazanç artışını ifade etmektedir. Veriler değerlendirildiğinde, imalat sanayi reel ücret endeksinin analiz dönemi boyunca istikrarlı bir şekilde artarak 2025 yılında kesinleşmiş veri olarak 122,1 seviyesine ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu durum teknolojik dönüşüme odaklanan ve katma değerli üretim yapan firmaların nitelikli işgücünü elde tutma ve cezbedebilme çabasını yansıtmaktadır. Buna karşılık inşaat ve hizmetler sektöründeki reel ücret endekslerinin daha yatay ve dalgalı bir seyir izleyerek 100 seviyesinin altında kalması, emek yoğun sektörlerdeki maliyet optimizasyonu zorluklarını makroekonomik bir gerçeklik olarak karşımıza çıkarmaktadır. Parasal sıkılaşma evresinde krediye erişimi zorlaşan hizmet sektörü firmaları iç talepteki yavaşlamayı da hesaba katarak kâr marjlarını koruyabilmek adına işgücü maliyetlerini baskılamak zorunda kalmıştır. Bu tablo genişletici dönemde hizmet sektöründe yaşanan istihdam yığılmasının sürdürülebilir olmadığını ve fiyat istikrarı odaklı politika çerçevesinin nitelikli işgücünü sanayi kollarına kaymaya teşvik eden en temel sinyal mekanizması olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.

6. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Türkiye ekonomisinde 2020-2026 yılları arasını kapsayan bu çalışmada, makroekonomik politika döngülerinin işgücü piyasası dinamikleri ve istihdamın sektörel kompozisyonu üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen ampirik bulgular, para politikası döngülerinin toplam istihdam hacminden ziyade sektörel verimlilik, işgücü tahsisi ve eşleşme etkinliği üzerinde asimetrik ve kalıcı yapısal sonuçlar doğurduğunu teyit etmektedir (Lilien, 1982). Çalışmanın ilk evresini oluşturan 2020-2023 yılları arasındaki derin negatif reel faiz ve yüksek kredi genişlemesi dönemi işgücü piyasasında niceliksel bir büyüme yaratmış olsa da bu büyümenin niteliksel ve sürdürülebilir olmadığı gözlemlenmiştir. Ucuz finansman imkânları, firmaları teknolojik dönüşüm ve verimlilik artışı yerine kapasite artışına yönelmiş ve yaratılan istihdam ağırlıklı olarak düşük katma değerli hizmetler ile inşaat sektörlerinde yığılmıştır. Bu dönemde Beveridge eğrisi üzerinden yapılan analizler, açık iş oranlarındaki artışa rağmen eşleşme etkinliğinin gerilediğini ispatlayarak ekonomideki beşeri sermaye uyumsuzluklarının derinleştiğini ortaya koymuştur (Blanchard ve Diamond, 1989).

Türkiye ekonomisinin 2023 yılının ikinci yarısından itibaren girdiği rasyonelleşme süreci ve 2025 yılı itibarıyla etkileri kesinleşmiş verilerle kanıtlanan dezenflasyonist politika çerçevesi işgücü piyasasında beklenen yapısal ayıklanma mekanizmasını başarıyla başlatmıştır. Pozitif reel faiz ortamına geçiş ve kredi aktarım mekanizmasının disipline edilmesi, düşük verimli firmaların tasfiyesine zemin hazırlarken kaynakların yüksek katma değerli sanayi sektörüne yönelmesini sağlamıştır (Bernanke ve Gertler, 1995). Sanayi sektörünün kapasite kullanım oranlarındaki direnç ile işgücü verimlilik endeksindeki ivmelenme, dezenflasyonist politikaların ekonomide yaratıcı yıkım mekanizmasını çalıştırarak şok emme kapasitesini artırdığını doğrulamaktadır (Schumpeter, 1942). 2026 yılına dair projeksiyonlar bu yapısal dönüşümün devam edeceğini ve işgücü piyasasının daha verimli bir dengeye ulaşacağını işaret etmektedir.

Bu ampirik bulgular ışığında geliştirilen politika önerilerinin merkezinde fiyat istikrarının temel bir makroekonomik çıpa olarak korunması yer almaktadır. Enflasyonla mücadelenin yalnızca bir fiyat istikrarı aracı değil aynı zamanda işgücü piyasasını katma değerli üretime hazırlayan tasfiye edici bir reform mekanizması olduğu görülmektedir. Bu kapsamda parasal sıkılaşma adımlarından taviz verilmemesi ve pozitif reel faiz patikasının kararlılıkla sürdürülmesi, kaynakların verimsiz alanlarda istiflenmesinin önüne geçilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Para politikasının yarattığı bu disiplinli çerçevenin, sanayi odaklı aktif işgücü piyasası politikalarıyla desteklenmesi gerekmektedir. Hizmetler

ve inşaat sektörlerinden sanayi kollarına doğru gerçekleşen işgücü kayması sırasında oluşabilecek beceri uyumsuzluklarını gidermek amacıyla mesleki eğitim programları yüksek teknoloji ve dijital yetkinlik odaklı olarak yeniden tasarlanmalıdır.

Stratejik bir diğer adım ise seçici kredi politikalarının toplam faktör verimliliği temelinde ölçeklendirilmesidir. Makro ihtiyati tedbirlerin sanayi sektörü içerisinde yeşil dönüşüme uyum sağlayan ve yüksek ihracat potansiyeli taşıyan firmaları pozitif ayırtıracak şekilde kurgulanması gerekmektedir. Finansmana erişim kriterleri düşük maliyet beklentisinden ziyade teknolojik yenilikçilik kapasitesi ile ilişkilendirilmelidir. Son olarak dezenflasyonist sürecin emek yoğun sektörlerde yarattığı maliyet baskılarına karşı çalışanların refahını koruyacak tamamlayıcı önlemler devreye sokulmalıdır. Bu süreçte asgari ücret odaklı bir yaklaşım yerine gelir vergisi dilimlerinin güncellenmesi ve hanehalkı bazlı hedeflenmiş sosyal transfer mekanizmalarının kullanılması, makroekonomik dengeleri sarsmadan toplumsal refahın korunmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak, Türkiye ekonomisi düşük verimli bir istihdam modelinden yüksek katma değerli üretim modeline geçişin eşliğindedir ve mevcut rasyonel politikaların kararlılıkla sürdürülmesi bu yapısal dönüşümün başarısı için temel koşuldur.

KAYNAKÇA

- Acharya, V. V., Eisert, T., Eufinger, C., & Hirsch, C. (2019). Whatever it takes: The real effects of unconventional monetary policy. *The Review of Financial Studies*, 32(9), 3366-3411.
- Akçelik, Y., & Özmen, M. U. (2023). *Monetary Transmission in Türkiye: New Evidence from Firm-Level Data*. TCMB Working Paper Series, Ankara.
- Bernanke, B. S., & Gertler, M. (1995). Inside the black box: The credit channel of monetary policy transmission. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 27-48.
- Blanchard, O. (2023). *Fiscal Policy under Low Interest Rates*. MIT Press, Cambridge.
- Blanchard, O. J., & Diamond, P. (1989). The Beveridge Curve. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1989(1), 1-76.
- Borio, C., & Hofmann, B. (2017). Is monetary policy less effective when interest rates are low? *BIS Working Papers*, No: 628, Bank for International Settlements.
- Burnside, C., Eichenbaum, M., & Rebelo, S. T. (1993). Labor hoarding and the business cycle. *Journal of Political Economy*, 101(2), 245-273.
- Caballero, R. J., & Hammour, M. L. (1994). The cleansing effect of recessions. *The American Economic Review*, 84(5), 1350-1368.
- Davis, S. J., & Haltiwanger, J. (1992). Gross job creation, gross job destruction, and employment reallocation. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(3), 819-863.
- Fisher, I. (1930). *The Theory of Interest*. Macmillan, New York.
- Foster, L., Grim, C., & Haltiwanger, J. (2016). Reallocation in the Great Recession: Cleansing or Scarring? *Journal of Econometrics*, 191(1), 184-195.
- Gali, J. (2015). *Monetary Policy, Inflation, and the Business Cycle: An Introduction to the New Keynesian Framework and Its Applications*. Princeton University Press.
- Lilien, D. M. (1982). Sectoral shifts and cyclical unemployment. *Journal of Political Economy*, 90(4), 777-793.
- Mortensen, D. T., & Pissarides, C. A. (1994). Job creation and job destruction in the theory of unemployment. *The Review of Economic Studies*, 61(3), 397-415.
- Okun, A. M. (1962). Potential GNP: Its measurement and significance. *Proceedings of the Business and Economic Statistics Section of the American Statistical Association*, 98-104.
- Pissarides, C. A. (2000). *Equilibrium Unemployment Theory*. MIT Press, Cambridge.

Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Harper & Brothers, New York.

Taylor, J. B. (1979). Staggered wage setting in a macro model. *The American Economic Review*, 69(2), 108-113.

TCMB (2024). *Enflasyon Raporu ve Parasal Aktarım Mekanizması Analizleri*. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, Ankara.

TCMB (2026). *Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS)*. <https://evds2.tcmb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 10.04.2026).

TÜİK (2026). *İşgücü İstatistikleri Veri Tabanı ve Sanayi Üretim Endeksleri*. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

HALKLA İLİŞKİLERİN TURİZMDE KURUMSAL İTİBAR OLUŞUMUNA KATKISI

Öğr. Gör. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY

Bitlis Eren Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis-Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-00002-3774-2572>

ÖZET

Günümüzde turizm faaliyetleri sınırları aşarak küresel bir boyuta taşınmış, bu durum küresel düzeyde rekabeti de beraberinde getirmiştir. Ülkemiz turizm açısından çok çeşitli zenginlik ve özelliklere sahiptir. Ancak tüm bu zenginliklere rağmen turizmde istediği yere ve gelire sahip değildir. Bunun esas sebebi uluslararası turizm pazarında yeterince tanıtımının yapılamamış olduğu düşünülmektedir. Bunun temelinde de tanıtım politikalarının açık bir biçimde belirlenememesi, tanıtım faaliyetlerinin yürütülmesinde gerekli finansal desteğin sağlanamaması, turizmde yönetim yapısının özerkliğinin bulunmaması, ülkenin imaj sorunları gibi çeşitli sebeplerin yer aldığı araştırmalarda dile getirilmiştir. Bütün bunların sonucunda Türkiye'nin turizm faaliyetleri ve turizmden elde ettiği gelir olumsuz yönde etkilenmektedir. Turizm sektöründe çalışan kuruluşlar bu rekabet ortamında varlık gösterebilmek için kaliteli hizmet üretmek, bunun yanı sıra çeşitli araç ve uygulamalar yoluyla kendi tanıtımlarını yaparak olumlu bir kurumsal imaj ve itibar oluşturmak dolayısıyla hedef kitlelerinin dikkatini çekmek durumundadır. Bu da doğru ve etkili planlanan halkla ilişkiler faaliyetleri ile mümkündür. Derleme niteliğindeki bu çalışmanın amacı yapılan literatür taraması çerçevesinde ülkemizde turizm sektöründe hizmet veren kuruluşların kurumsal itibarlarını arttırmak, böylece hem kendi karlılıklarına hem de ülke ekonomisine katkı sağlamak için halkla ilişkiler uygulamalarını nasıl kullanabileceklerini tespit etmektir. Çalışma sonunda turizm sektöründe çalışan kurum ve kuruluşlara yönelik çeşitli öneriler oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: halkla ilişkiler, turizmde halkla ilişkiler, kurumsal itibar,

PUBLIC RELATIONS CONTRIBUTION TO THE FORMATION OF CORPORATE REPUTATION IN TOURISM

ABSTRACT

Today, tourism activities have transcended borders and reached a global dimension, bringing with it global competition. Our country possesses a wide variety of riches and features in terms of tourism. Efforts are underway to utilize all these riches positively in terms of tourist and contribute to the national economy. In this regard, within the framework of necessary public relations practices in the international tourism market, a positive approach is to overcome various factors such as the inability to clearly define promotional policies as identified in the literature, the lack of necessary financial support for conducting promotional activities, the absence of autonomy in the management structure of tourism, and the country's image problems, and to carry out the necessary promotion. The aim of this approach is to contribute to the increase in Turkey's tourism activities, tourism revenues, and the corporate reputation of tourism businesses. Businesses operating in the tourism sector must produce quality services to survive in this competitive environment, and also create a positive corporate image and reputation by promoting themselves through various tools and applications, thus attracting the attention of their target audience. This is possible with correctly and effectively planned public relations activities. The aim of this review is to identify how organizations operating in the tourism sector in our country can use public relations practices to enhance their corporate reputation, thereby contributing to both their own profitability and the national economy, within the framework of the literature review conducted. At the end of the study, various recommendations were formulated for institutions and organizations working in the tourism sector.

Keywords: public relations, public relations in tourism, reputation, corporate reputation

GİRİŞ

Günümüzde turizm faaliyetleri sınırları aşarak küresel bir boyuta taşınmış, bu durum küresel düzeyde rekabeti de beraberinde getirmiştir. İnanır'a (2019) göre; turizm açısından çok çeşitli zenginlik ve özelliklere sahip olmasına rağmen Türkiye'nin turizmde istediği yerde olamamasının esas sebebi uluslararası turizm pazarında yeterince tanıtımının yapılamamış olmasıdır. Bunun temelinde de tanıtım politikalarının açık bir biçimde belirlenememesi, tanıtım faaliyetlerinin yürütülmesinde gerekli finansal desteğin sağlanamaması, turizmde yönetim yapısının özerkliğinin bulunmayışı, ülkenin imaj sorunları gibi çeşitli sebepler yer almaktadır. Bütün bunların sonucunda Türkiye'nin turizm faaliyetleri ve turizmden elde ettiği gelir olumsuz yönde etkilenmektedir (İnanır, 2019: 58). Turizm sektöründe çalışan kuruluşlar bu rekabet ortamında varlık gösterebilmek için kaliteli hizmet üretmenin yanı sıra hedef kitlelerinin dikkatini çekmek, çeşitli araç ve uygulamalar yoluyla kendi tanıtımlarını yapmak durumundadır. Bu da doğru ve etkili planlanan halkla ilişkiler faaliyetleri ile mümkündür.

Ülkelerin kültürel, doğal ve tarihi değerlerinin tanıtımında halkla ilişkilerin etkisi oldukça fazladır. Turizm faaliyetleri Demir'in (2013) de belirttiği gibi doğası gereği farklı kültürlerle, farklı etnik yapı, dini inanış, alışkanlık ve geleneklere sahip bireylere hitap etmesi sebebiyle öncelikle gerekli araştırmalarla hedef kitlenin özelliklerinin belirlenmesi, bu özellikler çerçevesinde hedef kitleye yönelik doğru tanıtım ve halkla ilişkiler stratejilerinin geliştirilmesi için kuruluşların halkla ilişkiler planlaması ve uygulamasına dikkat etmeleri gerekmektedir. Halkla ilişkiler uygulamaları turizm işletmelerinin paydaşlarıyla kurduğu iletişimi yöneterek kurumsal imaj ve itibarın inşasında stratejik bir öneme sahiptir.

Küreselleşme süreciyle birlikte turizm sektörü, ülkelerin ekonomik kalkınmasında stratejik bir konuma yükselmiştir. Artan rekabet, bilgiye erişimin hızlanması ve tüketici beklentilerinin çeşitlenmesi, turizm kuruluşlarını hedef kitleleriyle daha güçlü ilişkiler kurmaya zorlamaktadır. Bu noktada halkla ilişkiler (PR), kurumların sadece tanıtım faaliyetlerini yürüttüğü bir araç olmaktan çıkıp, kurumsal itibarın inşasında temel bir stratejik yönetim fonksiyonuna dönüşmüştür (Ustakara, 2022).

Kuruluşlar, halkla ilişkiler uygulamalarının kurum ile hedef kitlesi arasındaki iletişimin yönetilmesi gerçeğinden hareketle halkla ilişkiler faaliyetlerinin en etkili bir biçimde gerçekleşebilmesi için gerekli yönetsel tedbirleri almak durumundadır (Öztürk, 2025: 950). Bu tedbirlerin başında halkla ilişkilerin kuruluşlar için vazgeçilmez bir birim olduğunun farkına varmak ve son yıllarda iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelere bağlı olarak gerekli teknolojik alt yapının sağlanması bulunmaktadır (Soykan ve Uğurlu, 2020: 1492). Halkla ilişkiler kuruluşların paydaşlarıyla aralarında köprü görevi görüp gerekli bilgi alışverişini ve diyalogu sağlamada temel bir uygulamadır. Bu uygulamalar günümüz rekabet ortamında kuruluşları diğerlerinin önüne geçirecek, olumlu imaj ve itibarı yaratacak nitelikte olmalıdır (Ustakara, 2022: 84 ; Soykan ve Uğurlu, 2020: 1492). Halkla ilişkiler kuruluşlar için; etkin bir kurum kimliğinin oluşması ve bu kimliğin hedef kitlelere iletilmesini sağlayan, müşteriler için farklı değerler yaratarak kârlılığın artmasını bunun yanında kurumsal imaj ve itibarın gelişmesine önemli katkılar sunan bir değerdir (Güzeltik Ural, 2002: 83).

Halkla ilişkileri turizm açısından değerlendirmek gerekirse kurum ile hedef kitle arasında karşılıklı olarak sevgi, saygı ve güvene dayalı bir ilişkinin kurulması ve devamlılığının sağlanması amacıyla planlı ve sürekli olarak yapılan faaliyetler şeklinde tanımlanabilir (Yavuz, 2016:334).

Turizm sektöründeki kuruluşların hedef kitleleriyle etkin bir iletişim kurabilmek için halkla ilişkiler uygulamalarını kullanmaları bir zorunluluktur. Kurumların bu uygulamaları gerçekleştirirken karşılıklı fayda esaslı çerçevesinde çift yönlü simetrik halkla ilişkiler modelini kullanarak diyolojik bir iletişim gerçekleştirmeleri hedef kitle üzerinde olumlu bir algı yaratır. Bunun yanında, gelişen yeni anlayışlar doğrultusunda turizm sektöründe rakiplerden farklılıkları ön plana çıkarmakta etkili bir araç olarak kullanılması, kurumların mevcut müşterileri ve gelecekte olması muhtemel müşterileri ile olumlu diyalogun kurulması, kurumla ilgili olumsuz imajların olumluya çevrilmesi ve kurumun devamlılığının sağlanması da halkla ilişkilerin işlevlerindendir. Halkla ilişkiler faaliyetleri kurumlar için; kurum imajı

ve kurum kimliği oluşturma, sahip olduğu değerleri ve kendisini çevreye tanıtmayı böylece içinde yer aldığı toplumla bütünleşme yoluna gitmesi yoluyla kurumsal itibara katkı sağlar (Yavuz, 2016:334,337; Soykan ve Uğurlu, 2020: 1498).

TURİZMDE HALKLA İLİŞKİLER VE KURUMSAL İTİBAR

İtibar “Bir kuruluşun zaman içinde sosyal paydaşları nezdinde oluşan yansıması, genel davranışları, iletişimi ve beklentileri ifade eden ürün” şeklinde tanımlanmaktadır (Kadıbeşegil, 2010: 37). Zorlu pazar şartları içinde kurumun itibarı, kurumun tercih edilmesi noktasında en belirgin özelliğini ifade etmektedir. İtibarlı marka olmanın gerekliliğinin farkında olan kuruluşlar, itibarlarını yönetebilmek için stratejik bir yol izlemek durumundadır. Kurumların var oldukları pazarda ayakta kalabilmeleri açısından hayati öneme sahip olan itibarın sözcük anlamı; saygı görme, değerli, güvenilir olma durumu, saygınlıktır (<http://www.tdk.gov.tr>). İtibar; bir kişi ya da bir şey hakkında insanların genel düşünceleri, bir kişi ya da bir şeyin geçmiş davranışlara ya da karakterine dayanarak ne kadar takdir edildiği ve beğenildiği olarak tanımlanmaktadır. Fomburn (1996) itibarı, "kurumun tüm bileşenleriyle elde ettiği toplam değer" olarak görmektedir. Yani kurumun eylemlerinin, kurumun söylemleriyle tutarlı olması itibar kazanmanın temeli olarak değerlendirilmektedir. İtibar, kişilerin bir kurumun zaman içerisindeki finansal, sosyal ve ekonomik etkilerine ilişkin değerlendirmelerine dayanan kolektif yargıları ifade etmektedir. (Barnett vd. 2006: 34). Bir başka tanımda itibar; sosyal bir grubun üyeleri arasında kolektif nesnel inançlar sistemi olarak ifade edilir (Geçikli vd. 2016:1550-1551).

İtibar, algılama ve gerçeklik şeklinde iki unsurdan oluşur. Kurumun paydaşlar tarafından nasıl algılandığı ve kurumun düşüncelerinin, yapmak istediklerinin dışarıdan görünüşüyle ilgili olan kavram algılamadır. Kurumun politikaları, uygulamaları, yöntemleri, sistemleri ve performansıyla ilgili gerçek durumu; şu anda içinde bulunduğu mevcut pozisyon ise gerçeklik olarak adlandırılır (Geçikli vd. 2016:1551).

Kuruluşlar çevrelerinde olumlu bir algı oluşturabilmek için; güçlü bir kurum kimliği ve kurum kültürü, iyi bir kurumsal imaj ve doğru bir kurumsal sosyal sorumluluk bilinci gibi çeşitli özellikleri bünyelerinde bulundurmaları zorundadır. Bu özellikler kuruluşların etkin bir kurumsal itibar kazanmalarında oldukça etkili unsurlardır (Soykan ve Uğurlu, 2020: 1492).

Bir dizi bilgilendirme sürecinin sonunda ulaşılan “imge” imaj olarak tanımlanmaktadır. Turizm işletmesinin imajı, hedef kitlelerin farklı kanallar aracılığıyla elde ettiği bilgi ve verileri değerlendirmesiyle oluşur. Bu bilgiler arasında, ülkenin coğrafi konumu, turistik ürünler, fiyat düzeyi, tesislerin kalitesi gibi çok çeşitli konular bulunur. Burada önemli olan hedef kitlenin elde ettiği bilgi ve verileri algılama biçimidir. Algılama, bireyin kendi iç dünyası ile dış dünyanın ilişkilendirilmesi sürecidir. İmajı, bireyin gerçek ve somut dünyaya bakışında önceki deneyim ve bilgilerinden etkilenme ve sahip olduğu bilgilendirme düzeyinin, değer yargılarının ve almış olduğu hizmetlerin toplamı şeklinde tanımlamak mümkündür (Gökdeniz ve Aşık, 2008: 136; Soykan ve Uğurlu, 2020: 1504). Turizm sektöründe işletmelerin yaptığı ya da yapmadığı her şey işletme performansının, ürün ve hizmetlerinin tüketiciler tarafından algılanmasını yani imajını etkilemektedir. Tüketicinin bir işletmeyi algılama ve hatırlama olasılığı; fiyat, çalışanların etkinliği, uygun yol, park ve çalışma saatleri, iç dekor, birikim, hayal kırıklığına uğramamayı düşünme gibi faktörlerin yanı sıra işletmenin ünü ve imajına göre farklılık göstermektedir. Turizm işletmelerinde yapılan bir araştırmada müşterilerin algılamalarını etkileyen temel unsurlar, hizmetin kalite standartları, oda dizaynı ve konforu, insan kaynakları, marka ismi ve ünü, parasal değer, otel kayıt ve işleyiş kontrolünde kalite standartları, otelin genel atmosferi olarak belirlenmiştir (Gökdeniz ve Aşık, 2008: 135).

Kurum misyonu, vizyon, kurumsal hedefler, kurumsal davranışlar vb. öğeler ile logo, renk vb. kurumsal dizayn unsurları kuruluşun kurumsal kimliğini oluşturan temel taşlardır (Soykan ve Uğurlu, 2020: 1504).

Kurum ve kuruluşlar mevcut rekabet ortamında varlıklarını sürdürmek için paydaşlarının ve çalışanlarının desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu desteğin devamının sağlanmasında kuruluşların mevcut itibarlarını korumaları ve güçlendirmeleri için çalışanları ve paydaşlarıyla etkin bir iletişim

gerçekleştirmeleri önemli bir yaklaşımdır (Uzunoglu ve Öksüz, 2008: 112; Geçikli vd. 2016:1551). Bu süreçte ancak planlı ve iki yönlü simetrik bir iletişime dayalı halkla ilişkiler uygulamaları gündeme gelir.

Küresel dünyada yaşanan yoğun rekabet ortamında başarılı olabilmek için itibarın önemi büyüktür. Kuruluşlara finans, insan kaynakları ve pazarlama açısından önemli katkıları olduğu düşünülen kurumsal itibarın oluşturulup geliştirilmesi ve korunması için halkla ilişkiler faaliyetleri bir zorunluluktur. Stratejik bir yönetim fonksiyonu olarak değerlendirilen halkla ilişkiler itibar yönetimi konusunda da etkin bir rol oynamaktadır (Güzalcik Ural, 2002: 93).

Halkla ilişkiler birimleri adına çalıştıkları kurumların faaliyetlerini, ürün ve hizmetlerini, gerçekleştirdikleri ve gerçekleştirmeyi planladıkları sosyal sorumluluk projelerini hedef kitlelere aktarmaktadır. Bu da göstermektedir ki kurumsal itibarın büyük bir kısmı halkla ilişkiler faaliyetleri yoluyla oluşturulmaktadır. Halkla ilişkilerin etkin ve verimli bir şekilde uygulanması kurumsal itibara olumlu katkı sağlamaktadır. Olumlu kurumsal itibar ise kurum ve kuruluşlara maddi ve manevi kazanç ve kurumsal sürdürülebilirlik sağlayacaktır (Soykan ve Uğurlu, 2020: 1492).

KURUMSAL İTİBARIN YÖNETİMİ

Günümüz yönetim anlayışı çerçevesinde kurumların ürettiği ürün veya hizmeti satın alan hedef kitlesinin talep ve beklentilerinin temel alınarak üretimin yapılması rekabet avantajı sağlar. Ürettiklerinin toplum tarafından beğenilmesini sağlamak kolay bir iş değildir. Bu konuda kurumların ürün kalitesinin yanı sıra başta çalışanları olmak üzere içinde yer aldıkları topluma karşı çeşitli sorumlulukları bulunmaktadır. Kurumlar bu sorumluluklarının bilincinde davrandıkları zaman kurumsal imaj ve itibar kazanır ve bunu sürdürebilirler (Karatepe, 2008: 77; Geçikli vd. 2016:1551).

Salim Kadıbeşegil kitabında kurum yöneticilerine hitaben sorduğu “İtibarınızı yönetmekten daha önemli bir işiniz var mı?” (Kadıbeşegil, 2010:29) sorusu ile itibarın kurumlar için önemini ve vazgeçilmezliğini vurgularken kurumsal itibar konusunda duyarsız davranmanın kurumların varlık nedenlerinin ortadan kaldırılabileceğini belirtmektedir (Karatepe, 2008: 85).

20. yüzyılda “İyi kurumsal vatandaş” olmak zorunda kalan kurumların bu sorumluluğu 21. yüzyılda da artarak devam etmektedir. Bu yüzden kurumların iyi bir kurumsal itibar sahibi olabilmek için sadece iyi kurumsal vatandaş olmaları yeterli değildir. Kurumların kurumsal vatandaşlığa ilişkin sorumluluklarını gerçekleştirmek dışında hedef kitle nezdinde olumlu bir imaj ve itibar oluşturabilmek için farklı uygulamalar gerçekleştirme zorunluluğu bulunmaktadır (Karatepe, 2008: 85).

TURİZMDE HALKLA İLİŞKİLER VE İLETİŞİMİN KURUMSAL İTİBARA ETKİSİ

Günümüzde halkla ilişkiler faaliyetleri artık geleneksel medya ile sınırlı değildir; gelişen iletişim teknolojileri sayesinde kurumlar, dijital platformlar aracılığıyla hedef kitlelerine doğrudan ulaşabilmektedir. Özellikle sosyal medya, çevrimiçi itibar yönetimi ve dijital iletişim araçları, turizm sektöründe halkla ilişkiler uygulamalarını köklü biçimde dönüştürmüştür (Garda, 2025: 20).

Turizm ulaşım imkanları ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle dünya çapında daha yaygın bir hale gelmiş, insanlar farklı ülkeleri, kültürleri, eserleri görmek için daha fazla turistik faaliyetlere yönelmiştir. Bu süreçte turizm işletmeleri hedef kitlenin beklentilerini karşılamak, görünürlüğü sağlamak ve rakipleriyle rekabet edebilmek için iletişim teknolojilerini etkin kullanmak durumundadır. İletişim teknolojileri arasında dijital platformlar ve web siteleri önemli bir yer kaplar. Web sitelerinin etkin kullanımı turizm işletmelerinin güncel bilgileri paylaşması, hedef kitlesini yeniliklerden haberdar etmesi konusunda oldukça hızlı, kolay ve doğru bilgiler içermektedir. Bu bağlamda turizm işletmeleri web sitelerini profesyonel elemanlar tarafından yönetilmesini sağlayarak bu konudaki varlıklarını çevreye duyurmak zorundadır. Turizm sektörünün hedef kitlesi bu konuda bir talep ve beklenti içindedir. Turizm işletmeleri bu beklentiye görmezden gelmemeli, günümüzün dijitalleşen dünyasında kendilerini yenileyerek değişime ayak uydurmalıdır (Alan, 2025: 6-7).

Teknolojide yaşanan dönüşümler, bireylerin bilgiye erişim biçimlerini, iletişim alışkanlıklarını ve tüketim kararlarını önemli ölçüde etkilemiştir. Web 2.0 teknolojilerinin ortaya çıkışıyla birlikte kullanıcılar artık sadece bilgi tüketen değil, aynı zamanda içerik üreten bir konuma gelmiştir. Bu durum, halkla ilişkilerin doğasını “tek yönlü bilgilendirmeden” karşılıklı etkileşime dayalı iletişime dönüştürmüştür (Karakuş, 2024: 478).

Son yıllarda yapay zekâ, artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) uygulamaları, destinasyon deneyimlerini daha etkileşimli hâle getirerek halkla ilişkilerde yenilikçi tanıtım araçları sunmuştur (Demirezen, 2019, 2-3). Bununla birlikte, büyük veri analizleri sayesinde kurumlar hedef kitlelerinin davranışlarını öngörebilmekte ve daha kişiselleştirilmiş iletişim stratejileri geliştirebilmektedir (Garda, 2025: 22).

İTİBAR YÖNETİMİNDE DİJİTAL HALKLA İLİŞKİLER STRATEJİLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

İletişim teknolojilerindeki gelişmeler, dijitalleşme ve sosyal medya, turizm sektöründe çeşitli değişimlerin yaşanmasına yol açmıştır. Geçmişte, rezervasyon yapma, halkla ilişkiler, müşteri hizmetleri yönetimi, otel tasarımı, yiyecek-içecek menüleri gibi hizmetleri geleneksel yöntemlerle gerçekleştiren turizm sektörü paydaşları, teknolojik gelişmeler ve dijitalleşme sayesinde günümüzde bu hizmetleri daha hızlı ve etkin yapabilmektedir. Son yıllarda turizm 4.0 çağına girilmesi neticesinde akıllı destinasyonlar, akıllı oteller ve akıllı turizm gibi kavramlar çok fazla kullanılmaya ve üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Alan, 2025: 13). İletişim teknolojilerinin sunduğu imkânlar, turizmde halkla ilişkiler stratejilerinin çeşitlenmesini sağlamıştır. Turizmde dijital halkla ilişkilerin başlıca uygulama alanları şunlardır (Khoirunnisa & Hakim, 2025: 42).

Sosyal Medya Halkla İlişkileri: Kurumların hedef kitleyle iki yönlü iletişim kurduğu, etkileşim temelli kampanyalar yürüttüğü alanlardır. Kurumlar, sosyal medya yolu ile marka algısını izlemekte, müşteri şikâyetlerine anlık yanıtlar vererek güven ilişkisini pekiştirmektedir. Özellikle kriz durumlarında, dijital halkla ilişkiler araçlarının etkin kullanımı kurumsal itibarın korunmasında belirleyici rol oynamaktadır. Örneğin, bir otel zincirinin çevrimiçi şikâyetlere hızlı ve şeffaf yanıt vermesi, markanın güvenilirliğini artırmaktadır (Dalkıran, 2019: 4-5).

İçerik Pazarlaması ve Hikâye Anlatımı: Görsel ve işitsel içerikler aracılığıyla destinasyonların duygusal yönlerini öne çıkaran stratejilerdir. Bu yöntem, markaya özgün bir kimlik kazandırarak itibarın güçlenmesine katkı sağlar (Garda, 2025: 22).

Dijital Kriz Yönetimi: Beklenmedik olumsuz durumlarda sosyal medya, bloglar veya haber siteleri üzerinden hızlı açıklamalar yaparak bilgi kirliliğini önleme sürecidir (Çakır ve Solmaz, 2025:275).

Veri Tabanlı İletişim: Büyük veri analizleriyle elde edilen kullanıcı eğilimleri doğrultusunda daha etkili hedefleme yapılır (Karakuş,2024:478).

Yapay Zekâ Destekli Halkla İlişkiler: Chatbot’lar, otomatik yanıt sistemleri ve öneri algoritmalarıyla müşteri deneyimi kişiselleştirilir (Demirezen, 2019:).

Sosyal medya platformları (Instagram, X, Facebook, TikTok), çevrimiçi seyahat yorum siteleri (TripAdvisor, Booking.com) ve destinasyon tanıtım portalları, turizm sektöründe imaj ve itibar yönetiminin ana mecraları hâline gelmiştir. Ayrıca mobil iletişim teknolojileri, turistlerin deneyimlerini anlık olarak paylaşabilmesini sağlamış, bu da markaların itibarlarını gerçek zamanlı olarak etkileyen bir dinamik yaratmıştır (Khoirunnisa & Hakim, 2025: 42, Ergin Çağatay, 2025: 4).

Coşkun (2023) yaptığı çalışmada, akıllı şehir ve akıllı destinasyonla ilgili 2012- 2023 yılları arasında yazılan lisansüstü tezlerde ele alınan akıllı uygulamaları belirlemeye çalışmıştır. Araştırma neticesinde, yıllar içerisinde bu konuda çalışmaların artış gösterdiği, tezlerin ağırlıklı olarak akıllı şehirler üzerine olduğu ve yoğunlaşılan konuların genellikle akıllı uygulamalarla ilgili nesnelerin interneti (IoT), akıllı ulaşım sistemleri, akıllı otopark, akıllı kent mobilyaları, akıllı şehir kartı olduğunu ortaya koymuştur.

Bu süreç aynı şekilde gelişmeye ve değişim göstermeye devam edecektir. Bu bağlamda akademisyenler ve uygulayıcılar için dijital okuryazarlık, dijital dönüşüm ve adaptasyon, eğitimde teknoloji kullanımı

ve BİT entegrasyonu, etkili veri yönetimi, güncel teknolojileri takip etmek ve uygulamak gibi konuya ilişkin temel kavramlar giderek önem kazanmaktadır (Alan, 2025: 13).

SONUÇ

Turizm sektöründe halkla ilişkilerin işlevi, teknolojik gelişmelerle birlikte sadece tanıtım odaklı olmaktan çıkıp, itibarın sürdürülebilir yönetimi anlayışına evrilmiştir. Dijitalleşme, kurumların hedef kitleleriyle daha samimi, hızlı ve veriye dayalı ilişkiler kurmasını mümkün kılmaktadır (Garda, 2025: 22).

Bu doğrultuda turizm sektöründe gerçekleştirilen halkla ilişkiler faaliyetleri yoluyla kurumsal itibarın artırılması konusunda öneriler şunlardır:

- Turizm kuruluşları, dijital halkla ilişkiler birimlerini güçlendirmeli ve profesyonel sosyal medya yönetimi stratejileri geliştirmelidir.
- Kriz dönemlerinde dijital iletişim kanalları üzerinden hızlı ve şeffaf bilgilendirme yapılmalıdır.
- Büyük veri ve yapay zekâ teknolojileri, müşteri memnuniyetinin sürekli izlenmesi için etkin şekilde kullanılmalıdır.
- Turizm gibi insan yoğun bir alanda kaynakların mutlaka koruma, kullanma dengesi gözetilerek değerlendirilmesi ve gelecek nesillerin de düşünülmesi gereği herkes tarafından bilinmelidir. Bunun için turizmde sürdürülebilirliğin sistemli ve kalıcı bir şekilde devam ettirilebilmesini sağlamada; sektörün bileşenleri olan doğal, kültürel ve fiziki kaynakların korunması, işletme sahiplerinin, çalışanların, kamunun, sivil toplum kuruluşlarının, yerel veya tüm halkın bilinçlendirilmesinde etkili ve yönlendirici bir yol olan halkla ilişkiler uygulama ve yöntemlerinden faydalanarak çalışmalar sürdürülebilirlik ve etik ilkelerle uyumlu bir biçimde yürütülmelidir (Yavuz, 2016: 338).

Sonuç olarak, teknolojik dönüşüm çağında turizmde halkla ilişkiler, kurumsal itibarın inşasında stratejik bir köprü işlevi görmektedir. Kurumlar varlıklarını devam ettirebilmek için yalnızca marka bilinirliğini öne çıkarmak yeterli değildir. Bunun yanında toplumun güven ve saygınlığını kazanmak böylece kurumsal itibarı arttırmak önemli bir unsurdur. Bu konuda kurumların geleneksel ya da dijital çeşitli yöntem ve teknikleri kullanmaları gerekmektedir. Turizm sektöründe de diğer sektörlerde olduğu gibi kurumların; halkla ilişkiler faaliyetlerinde çeşitli güncel teknolojilerden faydalanmaları, sosyal medyanın kullanım kolaylığı, ekonomiklik, bilgi paylaşımı ve etkileşim konusundaki öneminin farkında olarak bu ortamlarda kendilerini ve faaliyetlerini tanıtan güncel ve doğru paylaşımlar yapmaları ancak geleneksel medyanın önemini ve hedef kitlesini de unutmamaları rakipleriyle rekabetlerinde önemli bir faktördür. Bunun yanında doğru kurum içi halkla ilişkiler uygulamaları yoluyla çalışanların kuruma aidiyetinin sağlanması da büyük önem taşır. Turizm işletmeleri halkla ilişkiler ve kurumsal itibar yönetimi konularında bu önemin bilincinde olarak hareket ettiklerinde kurumsal imaj, itibar ve marka sadakati sağlama konusunda önemli avantajlar yakalayabileceklerdir.

KAYNAKÇA

- Alan, S. (2025). Turizm İşletmelerinde Dijital Dönüşüm: Bilgi İletişim Teknolojilerinin Rolü, *Sosyal Bilimler Akademik Gelişim Dergisi (SOBAG)*, 3(1), 1-18.
- Barnett, M. L., Jermier, J. M. ve Lafferty, B. A. (2006). Corporate Reputation: The Definitional Landscape, *Corporate Reputation Review*, 9 (1), 26–38.
- Buhalis, D., & Law, R. (2008). Progress in information technology and tourism management: 20 years on and 10 years after the Internet, *Tourism Management*, 29(4), 609–623.
- Coşkun, K. (2023). Akıllı şehir ve akıllı destinasyon uygulamaları üzerine bir araştırma: Lisansüstü tezlerle yönelik bir analiz: 2012-2023. *Premium E-Journal of Social Sciences (PEJOSS)*, 7(29), 310-318.

- Çakır, E. & Solmaz, B. (2025). Dijital Çağda Kriz İletişimi: Restorasyon Teorisine Göre Örnek İnceleme, *Selçuk İletişim Dergisi*, 18(1), 271-300.
- Dalkıran, İ. (2019). Bir İletişim Aracı Olan Sosyal Medyanın Halkla İlişkiler Ekseninde Türk Markaları Tarafından Kullanımı: Ülker ve Eti Üzerinden Bir İnceleme, *İletişim Çalışmaları Dergisi*, 2 (3), 1-24.
- Demir, EÖ. (2013). Halkla İlişkiler ve Turizm, <https://www.turizmguncel.com/makale/halkla-iliskiler-ve-turizm-m1155.html>, Erişim Tarihi:10.10.2025.
- Demirezen, B. (2019). Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Turizm Sektöründe Kullanılabilirliği Üzerine Bir Literatür Taraması, *Uluslararası global turizm araştırmaları dergisi*, 3 (1), 1-26.
- Ergin Çağatay, HH. (2025). Turizmde İletişim ve Sosyal Medya Kullanımı, *Rahva Teknik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (1), 1-10.
- Fombrun, C.J. (1996). *Reputation: Realizing Value from the Corporate Image*. Boston, USA: Harvard Business School Press.
- Garda, B. (2025). Public Relations in Tourism: Digital Transformation and SDGs for a Sustainable Future, *Eurasian Academy of Social Sciences Journal*.
- İnanır, A. (2019). Türk Turizminde Tanıtım Sorunları Üzerine Bir Değerlendirme. *Journal of Hospitality and Tourism Issues*, 1(1), 58-65. <https://izlik.org/JA35TE58CM>
- Geçikli, F., Erciş, MS. ve Okumuş, M. (2016). Kurumsal İtibarın Bileşenleri ve Parametreleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma: Türkiye'nin Öncü Kurumlarından Biri, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Aralık, 20 (4): 1549-1562.
- Gökdeniz, A., & Aşık, N. (2008). Küresel Rekabet Ortamında Turizm İşletmelerinde Soyut İmaj Oluşturma. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(20), 134-149. <https://izlik.org/JA63XG68DR>
- Kadıbeşegil, S. (2010). İtibar Yönetimi, 5. Baskı, MediaCat Yayınları, İstanbul.
- Karakuş, M. (2024). "Dijital Halkla İlişkiler" ve "Çevrimiçi Halkla İlişkiler" Kavramları Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz, *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13 (36), 473-489.
- Karatepe, S. (2008). İtibar Yönetimi: Halkla İlişkilerde Güven Yaratma. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(23), 77-97. <https://izlik.org/JA65WF86EX>
- Khoirunnisa, I., & Hakim, A. (2025). Enhancing Tourism Promotion Through Digital Public Relations: A Case Study in Sleman, Yogyakarta, *ResearchGate Open Access*.
- Öztürk, S. (2025). Halkla İlişkiler Araştırmalarında Sosyal Medya: 2020-2024 Yılları Arası Yabancı Makaleler Üzerine Bir Araştırma, *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi (egifder)*, 13 (2), 948-966.
- Soykan, Y. ve Uğurlu, M. (2020). Halkla İlişkilerin Kurumsal İtibar Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Araştırma, *Turkish Studies-Social*, 15(3), 1489-1526. <https://dx.doi.org/10.29228/TurkishStudies.39731>
- Ural, E. G. (2002). İtibar Yönetimi Değer Yaratan Bir Halkla İlişkiler Çalışması Olarak İtibar Yönetimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-93. <https://izlik.org/JA84BG35CB>
- Ustakara, F. (2022). *Turizm Sektöründe Halkla İlişkiler*, İksad Yayınevi, Ankara.
- Uzunoğlu, E., & Öksüz, B. (2013). Kurumsal İtibar Riski Yönetimi: Halkla İlişkilerin Rolü. *Selçuk İletişim*, 5(3), 111-123. <https://doi.org/10.18094/si.44795>
- Yavuz, C. (2016). Turizmde Sürdürülebilirlikte Halkla İlişkiler Çalışmalarının Önemi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 329-338. <https://izlik.org/JA42FA99PS>, <http://www.tdk.gov.tr> (Erişim T. 23.09.2025).

HALKLA İLİŞKİLER PERSPEKTİFİNDEN SPONSORLUK

Öğr. Gör. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY

Bitlis Eren Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis-Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-00002-3774-2572>

ÖZET

Günümüzün küresel dünyasında kurumlar arası rekabet giderek artmakta ve kuruluşlar bu rekabetten başarıyla çıkma konusunda çeşitli uygulamalar gerçekleştirmek durumunda kalmaktadır. Bu rekabette olumlu bir kurumsal imaj ve itibar önemli katkı sağlamaktadır. Ancak kurumların bu olumlu imaj ve itibarı kazanmaları uzun vadeli çalışmaları gerektirmektedir. Kurumlar hedef kitlenin nezdinde değer bulmak, diğer rakiplerinin arasından sıyrılıp hedef kitleleriyle duygusal bağlar geliştirerek marka farkındalığı ve marka sadakati oluşturma yoluyla olumlu bir imaj ve itibara sahip olmak için çeşitli faaliyetler gerçekleştirmektedir. Sponsorluk, kurumsal sosyal sorumluluk, kurumsal vatandaşlık gibi çeşitli çalışmalarla toplum yararına faaliyet üreten kuruluşlar olumlu bir imaj ve itibar kazanmada avantaj sağlamaktadır. Tarihsel süreçte ortaya çıkışının temelinde hayırseverlik bulunan sponsorluk kuruluşların önemli bir halkla ilişkiler faaliyetini oluşturmaktadır. Günlük hayatta sponsorluğun kültür-sanat sponsorluğu, spor sponsorluğu, sosyal sponsorluk, yayın sponsorluğu gibi çeşitli uygulamaları vardır. Derleme niteliğindeki bu çalışmada yapılan literatür taraması ile kurumların gerçekleştirebilecekleri sponsorluk faaliyetleri araştırılmış, çalışma sonunda kamu ya da özel kuruluşların toplum yararını temel alan faaliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturan sponsorluk çalışmalarında nelere dikkat etmeleri gerektiği konusu ele alınmıştır. Bu konuda kurumların halkla ilişkiler birimlerinin sponsorluk yoluyla marka farkındalığı, marka sadakati ve kurumsal itibar oluşturma konusunda neler yapabileceklerine dair çeşitli öneriler oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Halkla ilişkiler, sponsorluk, kurumsal itibar, toplum yararı

SPONSORSHIP FROM A PUBLIC RELATIONS PERSPECTIVE

ABSTRACT

In today's globalized world, inter-organizational competition is increasing, and organizations are forced to implement various practices to successfully navigate this competition. A positive corporate image and reputation make a significant contribution to this competition. However, achieving this positive image and reputation requires long-term efforts. Organizations undertake various activities to gain value in the eyes of their target audience, stand out from their competitors, develop emotional connections with their target audience, and build brand awareness and brand loyalty, thereby achieving a positive image and reputation. Organizations that produce activities for the benefit of society through various initiatives such as sponsorship, corporate social responsibility, and corporate citizenship gain an advantage in achieving a positive image and reputation. While the emergence of sponsorship in the historical process is rooted in philanthropic practices, today sponsorship is a public relations activity. Public relations is fundamentally a management function that manages communication between the organization and its target audience and benefits society, and sponsorship is an important application area in this field. In daily life, sponsorship has various applications such as cultural and arts sponsorship, sports sponsorship, social sponsorship, and publishing sponsorship. This compilation study investigates sponsorship activities that organizations can undertake through a literature review. The study concludes by addressing the considerations that public and private organizations should take into account in their sponsorship activities, which constitute a significant part of their public benefit initiatives. Various suggestions are developed regarding what public relations departments of organizations can do to build brand awareness, brand loyalty, and corporate reputation through sponsorship.

Keywords: Public relations, sponsorship, corporate reputation, public benefit.

GİRİŞ

Günümüzde kuruluşlar arasındaki rekabet gün geçtikçe hız kazanmakta, ve kuruluşların bu rekabetten başarıyla çıkıp karlılıklarını sağlayarak varlıklarını devam ettirme konusunda daha dikkatli ve gayretli olmaları gerekmektedir. Bu rekabette kuruluşun sahip olduğu olumlu bir kurumsal imaj ve itibarın katkısı büyüktür. Ancak olumlu bir imaj ve itibar kazanmak ve bunu korumak kolayca gerçekleşen bir olgu değildir. Hedef kitlenin nezdinde değer bulmak, diğer rakiplerinin arasından sıyrılarak hedef kitleleriyle duygusal bağlar geliştirip marka farkındalığı ve marka sadakati oluşturma yoluyla olumlu bir imaj ve itibara sahip olmak kuruluşların uzun vadeli ve toplum yararını temele koyan çalışmalarını gerektirmektedir. Sponsorluk bu konuda yaygın kullanılan ve olumlu sonuçlara ulaştıran bir uygulamadır. Tarihsel süreçte ortaya çıkışı hayırseverlik temeline dayanan sponsorluk, günümüzde halkla ilişkilerin önemli bir işlevi olup daha profesyonel olarak gerçekleştirilmektedir (Canöz vd. 2021:17).

Sponsorluk, bir kuruluşun, spor, kültür-sanat, sosyal faaliyetler gibi çeşitli konularda bir bireyi veya kuruluşu para ya da malzeme olarak desteklemesini içeren, belirli bir anlaşma çerçevesinde gerçekleştirilen ve her iki tarafın karşılıklı çıkarları doğrultusunda planlanıp uygulanan, uygulandıktan sonra yapılan değerlendirmeler sonucunda devamlılığına veya sonlandırılmasına karar verilen iş ilişkisi şeklinde tanımlanabilir (Canöz vd. 2021:17; Çağlar Demir, 2023: 192). Sponsorluk, kuruluşların çeşitli amaçlarla gerçekleştirilen farklı faaliyetlere ekonomik destek sağlaması, geleneksel medya araçları yoluyla ulaşılamayacak gruplara ulaşmak için yapılan çalışmaların desteklenmesi şeklinde de tanımlanabilmektedir. Bu kapsamda kuruluşlar söz konusu edilen çalışmalara para, işgücü ve malzeme desteği yaparak medyada daha görünür hale gelebilmektedir (Benan Dondurucu vd.,2023: 121).

Önemli bir halkla ilişkiler uygulaması olarak değerlendirilen sponsorluğun en temel özelliği kuruluşu hedef kitleleriyle buluşturan iletişim çalışmalarını, dolayısıyla işletmelerin toplum tarafından kabulü ve desteğini alma çabalarını içermesidir (Çağlar Demir, 2023: 191). Sponsorluk, hedef kitleye doğrudan erişme, medyanın dikkatini çekerek medya haberlerinde daha çok yer alma, kurum kimliğini ve imajını güçlendirme, yeni ve farklı hedef kitlelere ulaşabilme, farklı iş bağlantıları kurabilme amacıyla gerçekleştirilen birçok faaliyeti kapsar (Benan Dondurucu vd.,2023:120).

Sanayi devrimiyle üretimin artması sonucu ürünlerin satışını ve piyasada yer edinmesini sağlama konusunda kuruluşlar, kendilerini farklı kılacak uygulamalara başvurmuşlardır. Sponsorluk da bu uygulamalardan birisi olup hayırseverlik anlayışından farklıdır. Sponsorlukta amaç sadece karşı tarafa yardım etmek değil iki tarafın da faydasına olan uygulamaları gerçekleştirmektir (Canöz vd. 2021:17). Burada iki tarafın da faydasından kastedilen özellikle kuruluş için ticari bir kazançtan ziyade medyada yer alarak kurumsal itibarı olumlu yönde geliştirecek tanıtım faaliyetleridir (Durucan & Doğru, 2020: 5). Ayrıca sponsorluk faaliyetleri yoluyla kuruluşun tanıtımının yapılması, hedef kitlenin dikkatini çekerek toplum yararına hizmet algısının oluşturulması yoluyla marka değerinin arttırılması, rakiplerle rekabette üstünlük elde edilmesi, kuruluşun ürettiği ürün ve hizmetlerin tanıtılması gibi çeşitli olumlu etkiler hedeflenir (Benan Dondurucu vd.,2023: 122). Sponsorluğu halkla ilişkiler çerçevesinde değerlendirmek gerekirse; kuruluşların topluma karşı iyi niyet göstergesi olma, markanın tanınırlığını sağlayarak kurum kimliği ve imajının oluşumuna katkı sunma, medyanın dikkatini çekme, olumlu bir kurumsal itibar yoluyla kalifiye çalışanları kuruluşa çekerek verimliliği ve çalışan motivasyonunu arttırma gibi çok çeşitli etkileri bulunduğu görülmektedir (Canöz vd. 2021:18; Silsüpür, & Kocabaş, 2021: 17). Kuruluşların sponsorluk uygulamalarında göz önünde bulundurmaları gereken önemli bir konu, sponsor olunan konunun kuruluşun kurum felsefesi ve hedef kitlesinin algısı ile örtüşen bir nitelik taşımasıdır. Bunun tersi bir durumda kuruluş hem maddi bir kayıp yaşayabilir hem de hedef kitlesinin nezdinde itibar kaybına uğrayabilir (Çağlar Demir, 2023: 191).

SPONSORLUĞUN AMAÇLARI

Kurumların sponsorluk faaliyetlerini gerçekleştirmelerinin temelinde farklı amaçlar bulunmaktadır. Bunları; hedef kitleyle olumlu ilişkiler geliştirmek, marka bilinirliğini sağlayarak satışları ve karlılığı artırmak gibi amaçlar şeklinde saymak mümkündür (Durucan & Doğru, 2020: 6). Ayrıca, sponsorluğun halkla ilişkiler ve pazarlama iletişimi konusundaki amaçları arasında, kitle iletişim araçlarını kullanarak toplumun daha geniş kesimlerine ulaşmak, kurumun olumlu bir imaj ve itibar oluşumuna katkı sağlamak, pozitif bir kurum kültürü ve kurum içi iletişimi geliştirerek çalışan motivasyonunu arttırmak, kriz iletişimini sağlıklı bir şekilde yönetmek, sponsorluk faaliyetleri sonucunda hedef kitlenin kuruma ilişkin olumlu algısının doğru yönetilerek marka değerini arttırmadaki etkisinden faydalanmak, müşteri sadakatini sağlamak, potansiyel ve mevcut müşterilere daha geniş kapsamlı olarak ulaşmak, toplumda kuruma karşı iyi niyet inşa etmek gibi çok çeşitli amaçlar yer almaktadır (Okay & Okay, 2013: 475; Benan Dondurucu vd. 2023:122; Çağlar Demir, 2023: 194).

SPONSORLUK TÜRLERİ

Sponsorluk türleri; spor, sosyal/çevre, eğitim ve kültür-sanat sponsorluğu, fuar ve festival sponsorluğu, medya sponsorluğu, macera-seyahat sponsorluğu olarak sınıflandırılmakta olup, bu türler kurumların farklı hedef kitlelere ulaşma, imaj oluşturma ve toplumsal katkı sağlama amaçlarına hizmet etmektedir (Diker & Aksoy, 2019; Silsüpür & Kocabaş, 2021: 19–20; Canöz vd. 2021: 18-19; Arpacı vd. 2022; Çağlar Demir, 2023; Benan Dondurucu vd.,2023:123). Bu sponsorluk türlerini kısaca tanımlarsak:

Spor Sponsorluğu: Geniş kitlelere ulaşmayı sağlayan en yaygın sponsorluk türüdür. Kurumlar, spor organizasyonları, takımlar veya sporcular aracılığıyla tanınırlık artırma ve imaj transferi sağlamayı hedefler (Diker & Aksoy, 2019: 123-126; Silsüpür & Kocabaş, 2021: 19-20).

Kültür-Sanat Sponsorluğu: Sanat, müzik, sergi, festival gibi faaliyetleri kapsar. Kurumlara saygınlık kazandırma ve olumlu kurumsal imaj oluşturma açısından önemlidir (Diker & Aksoy, 2019: 126-129; Arpacı vd. 2022:).

Sosyal Sponsorluk: Sağlık, eğitim ve çevre gibi toplumsal alanlara yönelik destekleri içerir. Kurumların sosyal sorumluluk bilinciyle hareket ettiğini göstererek güven ve itibar kazanmasını sağlar (Diker & Aksoy, 2019: 129-132; Silsüpür & Kocabaş, 2021: 20; Arpacı vd. 2022: 52).

Fuar ve Festival Sponsorluğu: Fuar ve festival sponsorluğu, kurumların hedef kitle üzerinde olumlu algı oluşturmalarını ve marka imajını geliştirmesini sağlayan sponsorluk türüdür (Arpacı vd. 2022: 52).

Medya Sponsorluğu: Medya sponsorluğu; televizyon, radyo, internet ve sosyal medya gibi iletişim araçları üzerinden gerçekleştirilen sponsorluk faaliyetlerini kapsamaktadır. Amaç, geniş kitlelere ulaşmak ve marka mesajını etkili biçimde yaymaktır (Arpacı vd. 2022: 52-53).

Eğitim Sponsorluğu: Eğitim kurumları, burslar ve araştırma faaliyetlerine verilen destekleri içerir. Hem toplumsal katkı sağlar hem de nitelikli iş gücü yetişmesine katkıda bulunur (Silsüpür & Kocabaş, 2021: 20).

Macera-Seyahat Sponsorluğu: Dağcılık, dünya turu ve keşif gezileri gibi yolculuk ve dikkat çekici etkinlikleri kapsar. Amaç, kamuoyunun ilgisini çekmek ve marka bilinirliğini artırmaktır (Diker & Aksoy, 2019: 133-135; Arpacı vd. 2022: 53).

Kuruluşların içinde yer aldığı sektöre, hedef kitlesinin özelliklerine ve beklentilerine, kurum bütçesine göre desteklediği sponsorluk faaliyetleri değişebilmektedir.

TÜRKİYE'DEN GÜNCEL VE DİKKAT ÇEKİCİ BAZI SPONSORLUK KAMPANYASI ÖRNEKLERİ

- Trendyol Süper Lig ve 1. Lig İsim Sponsorluğu: Trendyol, Türkiye Futbol Federasyonu (TFF) ile yaptığı anlaşma ile 2023-2024 sezonu Süper Lig ve 1. Lig'in isim sponsoru olmuştur (Türkiye Futbol Federasyonu, 2023; Anadolu Ajansı, 2023).

- Nesine'nin Futbol Sponsorlukları: Nesine, TFF ile olan iş birliğini güçlendirerek Trendyol 1. Lig'in resmi sponsoru olmaya devam etmiştir (Türkiye Futbol Federasyonu, 2023; (Anadolu Ajansı, 2023).
- Kültür-Sanat ve Festival Sponsorlukları: Markalar, İstanbul Kültür Sanat Vakfı (İKSV) gibi kuruluşların düzenlediği film, caz ve müzik festivallerine ana sponsorluklar yaparak hedef kitleleriyle bağ kurmaktadır (İKSV, 2025).
- Spor Kulübü Sponsorlukları: Bankalar, telekomünikasyon firmaları ve enerji şirketleri, Fenerbahçe, Galatasaray, Beşiktaş gibi büyük spor kulüplerinin forma, göğüs veya stadyum isim sponsoru olarak geniş kitlelere ulaşmaktadır (Fenerbahçe Spor Kulübü, 2025).
- Dijital Yayıncılık ve YouTube Sponsorlukları: Flu TV gibi dijital yayın platformları, markalarla içerik bazlı sponsorluk anlaşmaları yaparak geleneksel medyanın dışına çıkan, özgün sponsorluk örnekleri sergilemektedir ((Fenerbahçe Spor Kulübü, 2025; Campaign Türkiye, 2025).
- Eğitim ve Sosyal Sorumluluk Sponsorlukları: Kurumsal şirketler, gençlerin eğitimi, çevre projeleri veya sanat eğitimi gibi alanlarda STK'larla ortaklaşa sponsorluk kampanyaları yürüterek marka değerini artırmaktadır (Türk Eğitim Vakfı, 2025; TEMA Vakfı, 2025).
- 12 Dev Adam Basketbol Okulları Projesi, Türkiye Basketbol Federasyonu (TBF) ve Garanti BBVA iş birliğiyle: 2002.
- A Milli Kadın Basketbol Takımı/Potanın Perileri: 2005.
- Tekerlekli Sandalye Basketbol Milli Takımları (Kadın-Erkek-Genç): Garanti BBVA, 2013 gerçekleştirilen Avrupa Kadınlar Basketbol Şampiyonası (Benan Dondurucu vd. 2023).
- Motor Sporları Sponsorluğu: ING Olimpik Kızlar Projesi-Bireysel Sporcu Sponsorluğu: ING Bank'ın toplumsal cinsiyet eşitliği güçlendirme hedefi ile bağlantılı olarak hayata geçirdiği Olimpik Kızlar projesi Formula 1-Turkish Grand Prix- 2009 (Benan Dondurucu vd. 2023).
- 2026 Yılı Kültür Sanat Sponsorlukları
- Art Show: Galeriler Buluşması 2026: Uluslararası Sanat Galerileri Derneği (USGD) tarafından 12-15 Şubat 2026 tarihlerinde 2Plan Terminal'de düzenlenen etkinlik, yılın önemli sanat buluşmalarından biri oldu (USGD, 2026).
- Karnaval Kültür-Sanat Yatırımları: Dijital ses platformu Karnaval, 2026 yılında ses teknolojileri ve yapay zekâ yatırımlarının yanı sıra kültür-sanat sponsorluklarına da ağırlık vererek içerik üretimini destekleyeceğini duyurdu (Karnaval Medya Grubu, 2026).
- 2025 Yılı Kültür Sanat Sponsorlukları: BASE 2025 (Trendyol Sanat): Trendyol Sanat, genç sanatçıların eserlerini sanatseverlerle buluşturan BASE'in 2025 edisyonunun ana sponsoru oldu. Etkinlik, Romanya'dan konuk sanatçıları da ağırlayarak uluslararası bir boyut kazandı (BASE, 2025).
- Kurumsal Destekler: 2025 yılında özellikle banka ve holdinglerin festival ve bienallere olan sponsorluk desteğinin devam ettiği, sanatın özel sektör tarafından finanse edilmesinin sürdürülebilirliğe katkı sağladığı gözlemlenmiştir (İKSV, 2025).

2025 ve 2026 yıllarında kültür-sanat alanındaki sponsorluk faaliyetlerinin arttığı görülmektedir. Özellikle sanat etkinlikleri, galeriler ve festival organizasyonları özel sektör desteğiyle sürdürülebilir hale gelmektedir (ArtDog İstanbul, 2026; Anadolu Ajansı, 2025; İKSV, 2025). Bu örnekleri Ülke ve dünya genelinde artırmak mümkündür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde hedef kitle ve kurum arasında karşılıklı iletişim, güven, sempati oluşturarak olumlu bir kurumsal imaj ve itibar oluşturmada sponsorluk önemli bir halkla ilişkiler uygulamasıdır. Yapılan literatür taramasında bu konunun farklı boyutlarda ele alındığı görülmüştür. Diker ve Aksoy (2019) çalışmalarında sponsorluk faaliyetlerini halkla ilişkiler uygulamaları kapsamında ele alarak, kurumların hedef kitleleriyle iletişim kurma süreçlerinde sponsorlukların rolünü incelemiştir. Yazarlar; sponsorluk faaliyetlerinin yalnızca finansal destek sağlama aracı olmadığını, aynı zamanda kurumların imaj

oluşturma, marka bilinirliğini artırma ve kurumsal itibar geliştirme süreçlerinde stratejik bir iletişim aracı olarak kurumların hedef kitle ile etkileşim kurmasını sağlayan ve olumlu algı oluşturmaya destekleyen önemli bir halkla ilişkiler uygulaması olduğunu ortaya koymuşlardır. Kürkçü (2015) ve Canöz vd. nin de (2019) ifade ettiği gibi ulusal ya da uluslararası sponsorluk marka bilinirliğini sağlama, olumlu bir imaj oluşturma, kurumun ürün ya da hizmetlerinin tercih edilmesini sağlama gibi çeşitli kurumsal faydalar doğurur.

Sponsorluk faaliyetlerini gerçekleştirirken halkla ilişkiler uygulayıcıları konunun hukuksal boyutlarını iyi öğrenmeli, daha sonra karşılaşılabilecek sorunların önüne geçmek ve sponsorluk maliyetlerini en aza indirmek için gerekli tedbirleri almalıdır (Canöz vd. 2021:26). Bu çerçevede gerçekleştirilen sponsorluk faaliyetlerinde konunun hukuki boyutlarının halkla ilişkiler uygulayıcıları tarafından derinlemesine araştırılarak gerekli düzenlemelerin yapılması önerilir.

Silsüpür & Kocabaş (2021) sponsorluğu, markaların kendilerini dolaylı yoldan tanıtımlarına yarayan önemli bir halkla ilişkiler aracı olduğunu belirtmiştir. Yazarlara göre kurumların gerçekleştirdikleri sponsorluk faaliyetlerini hedef kitlelerine ve toplumun tamamına duyurmaları yapılan faaliyete ilişkin farkındalık yaratma konusunda bir ihtiyaçtır. Bu duyurma çalışmalarında Kurumların geleneksel iletişim araçlarının yanı sıra dijital iletişim araçlarını da kullanmaları önemli bir yaklaşımdır. Kurumsal web sayfaları sponsorluk faaliyetlerinin hedef kitleleri aktarılmasında etkili bir dijital mecraadır (Silsüpür & Kocabaş, 2021: 17). Kurumlara gerçekleştirdikleri sponsorluk faaliyetlerinin duyurulması konusunda hem geleneksel medya unsurlarını hem de dijital iletişim araçlarını kullanarak toplumun her yaş ve farklı kültürel özelliklere sahip kesimlerine ulaşmaları tavsiye edilir.

Üstünbaş ve Boztepe Taşkıran'ın (2020) yaptığı araştırmaya göre sponsorluk uygulamaları kurumsal iletişimi ve nitelikli iş gücünün kuruma çekilmesi, kurumsal çekicilik algısının oluşumunun sağlanması konularında olumlu etkiler yaratmaktadır. Bu konuda sosyal sponsorluk önemli bir rol oynamakla birlikte tüm sponsorluk faaliyetlerinin etkili olduğu görülmüştür. Bu sebeple kurumlara hem toplum yararına katkı sunmak hem de çalışan motivasyonunu arttırmak için çeşitli sponsorluk uygulamalarını gerçekleştirmeleri önerilir.

Bu uygulamalar kurumsal imaj ve itibar oluşumuna olumlu katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Anadolu Ajansı. (2023, 12 Temmuz). *Süper Lig ve 1. Lig'in yeni isim sponsoru Trendyol oldu*. <https://www.aa.com.tr/tr/futbol/super-lig-ve-1-ligin-yeni-isim-sponsoru-trendyol-oldu/2943634>
Erişim Tarihi: 11.05.2026.
- Anadolu Ajansı. (2023, 12 Temmuz). *Süper Lig ve 1. Lig'in yeni isim sponsoru Trendyol oldu*. Anadolu Ajansı. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Anadolu Ajansı
- Anadolu Ajansı. (2025, 25 Kasım). *BASE 2025 Trendyol Sanat'ın katkılarıyla sanatseverlerle buluştu*. Anadolu Ajansı. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Anadolu Ajansı
- Arpacı, E., Tosun, M. N., & Küçükçivil, G. (2022). The effect of sponsorship practices on corporate image and promotion in aviation businesses: The example of Turkish Airlines. *International Journal of Aeronautics and Astronautics*, 3(1), 48–59. <https://doi.org/10.55212/ijaa.1037738>
- ArtDog İstanbul. (2026, 5 Şubat). *Art Show: Galeriler Buluşması'nın ikinci edisyonu başlıyor*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, ArtDog İstanbul
- BASE. (2025). *BASE 2025 sponsorları ve etkinlik bilgileri*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, BASE
- Benan Dondurucu, Z., Kaya, P., & Ekinci, D. K. (2023). Bankacılık sektöründeki spor sponsorluğu faaliyetleri üzerine bir inceleme: Garanti Bankası, QNB Finansbank ve İNG Bank örneği. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(67), 118–150.
- Campaign Türkiye. (2025). *Dijital yayıncılıkta marka iş birlikleri ve sponsorluk uygulamaları*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Campaign Türkiye

- Canöz, N., Bakan, Ö., & Canöz, K. (2019). Uluslararası sponsorluğun marka algısına etkisi. *Akdeniz İletişim Dergisi*, 471–494.
- Canöz, K., Kaya, K. K., & Çerçi, Ü. Ö. (2021). Bir halkla ilişkiler uygulaması olarak sponsorluğun sözleşmesi ve hukuki dayanakları. *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, (36).
- Çağlar Demir, B. (2023). Halkla ilişkilerde sponsorluk. G. Çalışır, E. Diker, & İ. Türkal (Ed.), *Halkla ilişkiler uygulamaları* içinde (ss. 191–212). Eğitim Yayınevi.
- Durucan, H., & Doğru, E. (2021). Bankaların halkla ilişkiler faaliyetlerinde sponsorluk çalışmalarına verdiği önem. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1–21.
- Fenerbahçe Spor Kulübü. (2025). *GAİN, Fenerbahçe Futbol A Takımımızın resmi sponsorları arasına katıldı*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Fenerbahçe Spor Kulübü
- Fenerbahçe Spor Kulübü. (2025). *Kulüp sponsorları*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Fenerbahçe Spor Kulübü
- İstanbul Kültür Sanat Vakfı. (2026). *Festival sponsorları ve destekleyen kurumlar*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, İKSV
- Kürkçü, D. D. (2015). Sponsorluğun marka değeri üzerine etkisi. *Yıldız Journal of Art and Design*, 2(1), 1–18.
- Okay, A., & Okay, A. (2013). *Halkla ilişkiler: Kavram, strateji ve uygulamaları* (6. bs.). Der Yayınları.
- Silsüptür, Ö., & Kocabaş, İ. (2021). Türkiye'nin en değerli markalarının sponsorluk faaliyetleri: Dijital bir mecra olan kurumsal web sayfaları üzerine bir analiz. *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, (55), 17–32. <https://doi.org/10.47998/ikad.972855>
- TEMA Vakfı. (2025). *Kurumsal destek ve çevre projeleri*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, TEMA Vakfı
- Türk Eğitim Vakfı. (2025). *Kurumsal iş birlikleri ve eğitim destek projeleri*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Türk Eğitim Vakfı
- Türkiye Futbol Federasyonu. (2023, 12 Temmuz). *Süper Lig ve 1. Lig'in isim sponsoru Trendyol oldu*. Erişim tarihi: 11 Mayıs 2026, Türkiye Futbol Federasyonu
- Üstünbaş, B., & Boztepe Taşkıran, H. (2020). Kurumsal çekicilik algısının oluşumunda sponsorluk faaliyetlerinin etkisi. *Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (UKSAD)*, 6(2), 656–674.

TOKSİK LİDERLİK

Emin Ergun SELÇUK

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Meslek Yüksekokulu Muhasebe ve Vergi Uygulamaları
Bölümü, Turhal, Tokat, ORKİD: 0000-0001-8568-6205

ÖZET

Toksik liderlik, çalışanların psikolojik ve fiziksel sağlığına zarar veren, kötü niyetli veya dikkatsiz bir liderlik biçimini ifade eder. Genellikle “Karanlık Üçlük” olarak bilinen narsisizm (ben merkezcilik, grandiyal), Machiavellizm (manipülasyon, güç oyunları) ve psikopatik eğilimler (empati eksikliği, riskli davranışlar) ile ilişkilendirilir. Toksik liderler, vizyon veya hedeflerle uğraşırken ekip üyelerini küçümseyebilir, başarıları kendi sorumluluklarına yükleyebilir ve hatayı kişisel bir tehdit olarak görebilirler. Güç kullanımı, korku yaratma ve cezalandırma yoluyla çalışanları baskılayabilirler. Bu liderlik biçiminin temel davranışları arasında sürekli eleştiri, ima ve utandırma; fikir ve geri bildirimin susturulması; aşırı kontrol/mikroyönetim; adil olmayan ödül ve cezalandırma; etik dışı baskılar ve kararları kendi çıkarları için yönlendirme sayılabilir.

Sonuçları kuruluşlar için yıkıcı olabilir: çalışan memnuniyeti ve bağlılığı düşer, gece uykusuzluk ve tükenme artar, iş hataları ve suçlayıcı kültür gelişir. Performans kısa vadeli görünse de uzun vadede yetenek akışı azalır, verimlilik düşer ve itibar zarar görür. Toksik liderliğin kökenleri sadece bireyde değil, organizasyonel kültürde ve güç dengesinde yatar: yüksek baskı, hesap verebilirliğin zayıf olması, liyakata dayalı olmayan yükselmeler.

Mücadelede farkındalık, psikolojik güvenlik, 360 derece geri bildirim ve etik eğitimler önemli araçlardır. Ayrıca uygun teşvik mekanizmaları, hesap verebilirlik süreçleri, danışmanlık ve mentorluk programlarıyla toksik davranışlar tespit edilip azaltılabilir. Çalışanlar için ise sınır koyma, yazılı iletişim ve gerektiğinde istihdam güvenliğini koruyacak kanallar üzerinden destek arama önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Toksik liderlik, yıkıcı, tehdit, küçümseme

TOXIC LEADERSHIP

SUMMARY

Toxic leadership refers to a malicious or careless form of leadership that harms the psychological and physical health of employees. It is often associated with the "Dark Triad": narcissism (self-centeredness, grandiosity), Machiavellianism (manipulation, power games), and psychopathic tendencies (lack of empathy, risky behaviors). Toxic leaders may belittle team members while dealing with visions or goals, attribute successes to themselves, and view failure as a personal threat. They may suppress employees through the use of power, fear-mongering, and punishment. Core behaviors of this leadership style include constant criticism, insinuation, and shaming; silencing ideas and feedback; excessive control/micromanagement; unfair rewards and punishments; unethical pressures; and manipulating decisions for their own benefit. The consequences can be devastating for organizations: employee satisfaction and commitment decrease, sleepless nights and burnout increase, and a culture of negligence and blame develops. While performance may seem short-term, in the long term, talent flow decreases, productivity declines, and reputation suffers. The roots of toxic leadership lie not only in the individual but also in the organizational culture and power dynamics: high pressure, weak accountability, and promotions not based on merit. Awareness, psychological safety, 360-degree feedback, and ethics training are important tools in combating this. Furthermore, appropriate incentive mechanisms, accountability processes, and counseling and mentoring programs can identify and reduce

toxic behaviors. For employees, setting boundaries, written communication, and seeking support through channels that protect job security are crucial.

Keywords: Toxic leadership, destructive, threat, contempt

1. GİRİŞ

Toksik liderlik, çalışanların psikolojik güvenliğini zedeleyen ve sürdürülebilir performansı tehdit eden bir liderlik biçimidir. Bu yaklaşım genellikle otoriter davranışlar, eleştiri yerine aşağılama ve hataları kişisel tehdit olarak görme eğilimleriyle kendini gösterir. Toksik liderler, güçlerini pekiştirmek için korku, cezalandırma ve küçümseme iletişim kullanabilirler. Bu durum çalışanların motivasyonunu düşürür, inovasyonu engeller ve örgüt kültüründe güvensizlik yaratır. Sonuçlar arasında yüksek tükenme, iş tatminsizliği ve yetenek kaybı yer alır. Mücadelede farkındalık, psikolojik güvenlik ve hesap verebilirlik gibi mekanizmaların kurulması kritik öneme sahiptir.

2. TOKSİK KAVRAMI

Latince kökenli "toksik" terimi, zehir içeren ve organizmada zarara yol açan maddeleri tanımlar (Demirtaş ve Küçük, 2019). Türk Dil Kurumu'na (2018) göre, toksik kelimesi "sağlığa zararlı, zehirli veya toksik maddelere bağlı olan" anlamına gelir. Klaassen ve Watkins, (2010) ise toksik tanımını, zehir veya toksin etkisiyle bir sakatlık ya da ölüme yol açan durum olarak yapmıştır. (Eriş ve Arun, 2020) liderlik konusunda toksik terimini, gerginlik, öfke, kaygı gibi olumsuz duyguların dışı vurumu sonucu bu olumsuzlukları yaratan liderlerin davranışlarını tanımlamak için kullanır.

3. TOKSİK LİDERLİK KAVRAMI

Toksik liderlik kavramı literatürde ilk kez 1996 yılında Whicker tarafından kullanılmıştır. Whicker, toksik lideri "uyumsuz, hoşnutsuz ve çoğu zaman kötü niyetli" bir lider tipi olarak tanımlamış; bu liderlik biçimini astları üzerinde baskı kuran, güven ortamını zedeleyen ve kurumsal yapıyı tehdit eden davranışlarla özdeşleştirmiştir (Green, 2014; Yavaş, 2016). Lipman-Blumen (2005) ise kavramı daha kapsamlı biçimde ele alarak, toksik liderliğin bireyler ve kurumlar üzerinde uzun vadede yıkıcı etkiler doğuran bir liderlik biçimi olduğunu ifade etmiştir. Toksik liderlik; "bireylere ve organizasyonlara doğrudan ya da dolaylı zarar veren, sistematik, yıkıcı ve baskıcı davranışların sergilendiği olumsuz bir liderlik biçimi" olarak tanımlanmaktadır (Webster ve ark., 2016)

4. TOKSİK LİDERLERİN SERGİLECEĞİ DAVRANIŞLAR

Toksik liderlerin sergileyebileceği bazı davranışlar Lipman-Blumen (2010) tarafından şu şekilde sıralanmıştır:

- Takipçileri ve hatta takipçi olmayanları bile kasten zayıflatır, küçük düşürür, korkutur, morallerini bozar, etkisiz hale getirir, terörize eder ve onları daha kötü bir duruma sürükler.
- Hem destekçilerin hem de destekçisi olmayanların temel insan haklarını ihlal ederler.
- Yolsuzluk, suç ve diğer etik dışı faaliyetlere karışabilirler.
- Takipçilerini, liderin gücünü artıracak yanılsamalarla beslerken, onların hareket kabiliyetlerini azaltırlar.
- Takipçilerin korkularını ve ihtiyaçlarını manipülatif şekilde kullanırlar.
- Yapıcı eleştirileri bastırır, destekçilerini eleştirel düşünmek yerine sadece itaat etmeye yönlendirirler.
- Sorunların teşhisinde bilinçli olarak yanlış yönlendirme yapar, gerçek dışı çözümler sunarlar.
- Hakikat, adalet ve mükemmellik üretmeyi amaçlayan örgütsel yapı ve süreçleri tahrip ederek suç teşkil eden davranışlarda bulunabilirler.
- Yasal süreçleri baltalayarak otoriter ya da dar hanedan yapılar kurmaya çalışırlar.

- Potansiyel haleflerini engeller, kendi iktidarlarını sürdürmek için lider yetişmesine izin vermezler.
- Kötü niyetle örgüt üyelerini birbirine düşürür, kutuplaşma yaratırlar.
- Kendi destekçilerine ayrıcalıklı davranırken, diğerlerine yönelik nefret söylemleri geliştirir ve onları dışlamaya teşvik ederler.
- Günah keçileri belirleyerek örgütteki diğer bireyleri de bu kişileri suçlamaya yönlendirirler.
- Mevcut sistemin çöküşünü kendi varlıklarıyla ilişkilendirerek, devrilmeleri durumunda tüm yapının çökeceği algısını yayarlar.
- Kayırmacılığı ve yetersizliği görmezden gelir ya da doğrudan desteklerler.
- Karşılaşılan sorunlara yönelik etkili çözümler üretmekte başarısız olurlar.

5. TOKSİK LİDERLİK BOYUTLARI

Schmidt (2008), yaptığı saha araştırmasında toksik liderliği toplam beş boyutta ele almıştır. Bu boyutlar açıklanmak gerekirse;

- İstismarcı yönetim: Tepper (2000), istismarcı yönetimi, bir çalışanın yöneticisinin sürekli olarak sergilediği, fiziksel şiddet içermeyen ancak sözlü veya sözsüz düşmanca tutumlarına dair kişisel algısı şeklinde tanımlamaktadır (Ülbeği vd., 2014).
- Otoriter Liderlik: Otoriter liderlerin başarılı olabilmesi için emir almayı bekleyen astlarla çalışmaları gerekmektedir (Arıkan, 2001).
- Narsist Davranış: Bu boyut; kişisel uyumsuzluk, bencillik, benmerkezci tutum ve kendi ilgi ve ihtiyaçlarını ön planda tutma gibi belirli özellikleriyle toksik liderliğin temel unsurlarından birini oluşturur (Çelebi vd., 2015).
- Kendini Ön Plana Çıkarma: Kendini öne çıkarma boyutu, yapısal olarak narsisizmle benzerlik gösterse de odak noktası açısından farklılık arz etmektedir. Narsistik liderler, kendilerini kendi gözlerinde yüceltmeye yönelik davranışlar sergilerken, kendini öne çıkarma boyutunda liderin amacı, başkalarının gözünde olumlu bir imaj oluşturmaktır (Kalem, 2024).
- Öngörülmez Davranışlar: Liderin dengesiz ve değişken tutumları bu boyutta ele alınır. Bu tür liderler, patlayıcı tepkiler verir, ruh halleri iş ortamını etkiler, sebepsiz yere çalışanlara karşı sinirli davranışlar sergiler ve ses tonu ya da beden diliyle ruh halindeki değişiklikleri yansıtır. (Schmidt, 2008).

6. TOKSİK LİDERLERİN BELLİ BAŞLI ÖZELLİKLERİ

- Kişisel çıkar: Kişisel çıkar güden bu yönetim, insanları korkutarak güvensiz bir ortam yaratır ve çalışanların ilgi ile ihtiyaçlarını göz ardı eder; kendi isteklerini empoze edip duygusal baskı kurar.
- Değerleme; çalışanlara karşı esnek davranmayan, iletişim tarzıyla emir veren, insanları küçümseyen bilgisizlik boyutunda ortaya çıkan davranışlardır (Çelebi vd., 2015). Liderin bu tür toksik davranışlarla kurumu olumsuz etkilemesi, örgütsel bağlılık azalmakta ve iş verimliliği daha da düşmektedir (Goldman, 2009).
- Olumsuz zihinsel durum; sıkıntılı ve dengesiz davranışlar sergileyerek çalışanların buna göre hareket etmesini beklemektedir. Liderin ruh hâline olumsuz zihinsel durum boyutunda ortaya çıkmaktadır (Çelebi vd., 2015). Olumsuz ruhsal durum boyutunda liderin davranışları; kötü niyetli, yıkıcı, dar görüşlü, kaba ve sert davranışlar, duygudan yoksun, 71 aşırı ve beceriksiz olarak ifade edilmektedir (Kellerman, 2008).

Mevcut tahminlere göre sanıldığından daha fazla liderlerin toksik özellikler taşıdığı ve olumsuz çalışma iklimine sebep olduğu ifade edilmektedir (Padilla vd., 2007). Toksik liderlik, şirketlerden okullara, ordudan dinî cemaatlara, sağlık hizmetlerinden kar amacı gütmeyen kuruluşlara ve siyasi kurumlara kadar toplumun tüm kesimlerinde yaygın bir sorun olarak görülmektedir.

7. TOKSİK ÜÇGEN

Padilla ve çalışma arkadaşları (2007) tarafından geliştirilen “toksik üçgen” modeli, örgütsel toksisitenin anlaşılmasında önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bu model, toksik liderliğin yalnızca bireysel bir tutum değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel faktörlerin birleşimiyle ortaya çıkan karmaşık bir yapı olduğunu ileri sürmektedir. Toksik üçgen üç temel bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen, yıkıcı liderlerdir. Bu liderler; karizmatik bir kişilik sergileyen, gücü kişisel çıkarları doğrultusunda kullanan, narsistik eğilimler gösteren, geçmiş yaşamlarında olumsuz temalara sahip olan ve çoğu zaman nefret söylemleriyle hareket eden bireyler olarak tanımlanmaktadır (Padilla vd., 2007).

Modelin ikinci bileşeni ise “uyumlu takipçiler”dir. Bu takipçiler, “gizli anlaşma yapanlar” ve “uyum sağlayanlar” olarak ikiye ayrılır. Gizli anlaşma yapanlar, genellikle 22 liderle çıkar ilişkisine girerek onun yıkıcı davranışlarını desteklerken; uyum sağlayanlar, kişisel fayda beklentisi taşımamakla birlikte, düşük öz saygı nedeniyle liderin otoritesine karşı çıkamaz ve sorgulayıcı bir tutum sergileyemezler (Pelletier vd., 2019:408).

Modelin üçüncü bileşeni çevresel koşullardır. Çevresel koşullar, krizler, örgütsel istikrarsızlık, belirsizlik, tehdit algısı, yüksek güç mesafesi ve belirsizlikten kaçınma gibi kültürel unsurların birleşimiyle lider-takipçi etkileşimini şekillendirir ve toksik liderliğe zemin hazırlar. Padilla ve arkadaşlarının da belirttiği üzere (2007), bu bağlam, liderin radikal kararlar almasını kolaylaştırmakta ve çalışanların sorgulama mekanizmalarını zayıflatarak toksik liderliğin kurumsallaşmasını desteklemektedir.

8. TOKSİK LİDERLİK TÜRLERİ

- Devamsız Lider: Devamsız liderlik tarzı, yöneticinin bağlı olduğu örgütle ve ona tabi olan bireylerle olan etkileşiminin zayıf olmasına neden olmaktadır (Whicker, 1996:65).
- Beceriksiz Lider: Yetersiz liderler yalnızca temel liderlik becerilerinden ve yönetsel iradedden yoksun olmakla kalmaz, aynı zamanda görevlerini yerine getirme konusunda ciddi bir özensizlik, dikkat eksikliği ve isteksizlik sergilerler (Kellerman, 2004:40).
- Eş-Bağımlı Lider: Eş bağımlılık, genellikle bağımlı bireylerle yakın ilişkide bulunan ve onların olumsuz davranışlarına katlanarak bu davranışları örtbas etmeye çalışan kişilerin psikolojik durumu olarak tanımlanmaktadır (Kırca, 2021:40).
- Pasif-Agresif Lider: Pasif-agresif liderlik, görünürde uyumlu ve işbirliğine açık bir tutum sergileyen ancak gerçekte ilerlemeye ve performans artışına karşı direniş gösteren bir liderlik biçimi olarak tanımlanmaktadır (Karaca, 2023:38).
- İşgüzar Lider: İşgüzar liderlik, dışarıdan bakıldığında yüksek enerjiye ve bitmek bilmeyen bir çalışma azmine sahip gibi görünen; ancak aslında odaklanma yoksunluğu ve dengesiz yönetim davranışları sergileyen bir liderlik biçimini ifade etmektedir (Whicker, 1996:83).
- Paranoyak Lider: Paranoyak liderlik, aşırı güvensizlik ve sürekli tehdit algısıyla şekillenen, örgütsel yapıyı olumsuz yönde etkileyen patolojik bir liderlik biçimi olarak tanımlanmaktadır (Williams, 2005:8-9).
- Katı Lider: Katı liderlik, değişime kapalı olma, esneklik yoksunluğu ve inatçı tutumlarla karakterize edilen, günümüz dinamik örgüt yapılarıyla çelişen bir liderlik biçimi olarak karşımıza çıkmaktadır (Kellerman, 2004:41).
- Kontrolcü Lider: Örgütsel yapıda sıkı denetimi temel alan, yetki devrinden kaçınan ve mikro düzeyde yönetim anlayışıyla hareket eden otoriter bir liderlik biçimini ifade etmektedir (Whicker, 1996:99).
- Zorlayıcı Lider: Zorlayıcı liderlik tarzı, katı ve kontrolcü liderlik özelliklerinin ötesine geçerek, çoğunlukla liderin kendi içsel dünyasında çözümleyemediği duygusal problemleri de barındıran bir liderlik biçimi olarak dikkat çekmektedir (Williams, 2005:10).
- İnfazcı Lider: İnfazcı liderlik tarzı, bireysel inisiyatiften yoksun, hiyerarşik itaati ön planda tutan ve temelinde üst yöneticisinin isteklerini sorgusuz sualsiz yerine getirmeyi temel görev olarak gören bir liderlik biçimini ifade etmektedir (Whicker, 1996:117).

- Duygusuz Lider: Empatik duyarlılıktan yoksun olan liderlik figürleri, yönettikleri bireylerin duygu, düşünce ve ihtiyaçlarına karşı son derece kayıtsız bir tutum sergiler (Kellerman, 2004:142).
- Sokak Dövüşçüsü Tarzı Lider: Her koşulda kazanmayı amaç edinen ve kişisel menfaatlerini örgütsel çıkarların önünde tutan liderler, dışarıdan bakıldığında karizmatik ve etkileyici bir duruş sergileseler de gerçekte oldukça bencil ve çıkar odaklı bir yapıya sahiptirler (Whicker, 1996:129).
- Yozlaşmış Lider: Yozlaşmış liderlik anlayışı, etik ve hukuki sınırların ihlalini meşru gören bir zihniyeti yansıtmaktadır (Kellerman, 2004:142).
- Zorba liderlik: Modern örgüt literatüründe en tartışılan ve en yıkıcı biçimlerden biridir; genelde saldırgan ve tahakkümcü olup çevresindeki kişilerle sağlıklı ilişkiler kuranlar tarafından sergilenir.
- Şeytani liderlik: Literatürde en tehlikeli ve yıkıcı türlerden biri olarak kabul edilir; baskı, korku ve şiddetle mutlak otorite kurmaya çalışan bir liderlik anlayışını ifade eder.
- Narsist Lider: Narsist lider, kendisine aşırı derecede hayranlık duyan ve çevresindekilerden de aynı hayranlığı bekleyen, dünyayı kendi varlığı etrafında dönen bir merkez gibi algılayan kişileri ifade etmektedir (Rosenthal ve Pittinsky, 2006).
- Otoriter Lider: Otoriter liderlik anlayışı, liderin tüm kontrolü elinde bulundurduğu ve takipçilerinden mutlak itaat beklediği bir yönetim biçimini temsil etmektedir (Cheng vd., 2004).
- Yıkıcı liderlik: Yönetmelik sorumluluk ve güç kullanılarak örgütsel fayda yerine zarar üretmeye odaklanan sorunlu bir liderlik biçimidir.

9. SONUÇ

Toksik liderlik, örgütsel performans üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratır ve verimlilik düşer. Çalışan bağlılığı azalır, motivasyon ve inovasyon kapasitesi zayıflar. Yetenek kaybı artar; yetenekli çalışanlar daha iyi fırsatlar için şirketi terk edebilir. Organizasyonel güven ve iletişim zayıflar, karar alma süreçleri yavaşlar ve güven eksikliği yayılır. Stres, tükenme ve sağlık sorunları artar; iş tatminsizliği yükselir. Önleyici adımlar olarak farkındalık, psikolojik güvenlik, hesap verebilirlik ve etkili geribildirim mekanizmaları hayata geçirildiğinde olumsuz etkiler azaltılabilir.

KAYNAKÇA

- Arıkan, S. (2001). Otoriter ve demokratik liderlik tarzları açısından Atatürk'ün liderlik davranışlarının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi, 19(1), 231–257.
- Cheng, B.-S., Chou, L.-F., Wu, T.-Y., Huang, M.-P., Farh, J.-L. (2004). Paternalistic Leadership And Subordinate Responses: Establishing A Leadership Model In Chinese Organizations. Asian Journal Of Social Psychology, 7(1), 89-117. <https://doi.org/10.1111/j.1467-839x.2004.00137.x>
- Çelebi, N., Güner, A. G. H., & Yıldız, V. (2015). Toksik liderlik ölçeğinin geliştirilmesi. Bartın University Journal of Faculty of Education, 4(1), 249–268. <https://doi.org/10.14686/BUEFAD.2015111056>
- Demirtaş, H., ve Küçük, O. (2019). Okul Müdürlerinin Toksik Liderlik Davranışları ile Öğretmenlerin Örgütsel Sessizliği Arasındaki İlişki. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 47, 41-58.
- Green JE, (2014). Toxic leadership in educational organizations. Educ Leadersh Rev. 15(1):18–33.
- Goldman, A. (2009). Destructive leaders and dysfunctional organizations: A therapeutic approach, Cambridge University Press.
- Kalem, M.O. (2024). Algılanan toksik liderlik ile sosyal desteğin çalışan duygusal tükenmişlik ve örgütsel sinizm seviyeleri üzerindeki etkileri (Yayın No. 870768) [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

- Karaca, N. (2023). Algılanan Toksik Liderliğin Fırsatçı Sessizlik Üzerine Etkisinde Örgütsel Politikanın Ve Ahlaki Çözülmenin Aracılık Rolü. (Yayınlanmamış Doktora Tezi), İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- Kellerman, B. (2004). Bad leadership: What it is, how it happens, why it matters, Harvard Business Review Press.
- Kırca, M. Y. (2021). Çalışanlardaki Toksik Liderlik Algısının Örgütsel Sessizlik Ve İş Motivasyonu Üzerindeki Etkisi: Pozitif Psikolojik Sermayenin Düzenleyici Rolü. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Klaassen, C. D., ve Watkins, J. B. (Eds.). (2010). Casarett & Doull's toxicology: The basic science of poisons (7th ed.). McGraw-Hill.
- Lipman-Blumen J. (2005). The allure of toxic leaders: Why followers rarely escape their clutches. Ivey Bus J. 69(3):1-8.
- Lipman-Blumen, J. (2010). Toxic leadership: A conceptual framework. In F. Bournois, J. Duval-Hamel, S. Roussillon & J. L. Scaringella (Eds.), Handbook of top management teams (pp. 214-220). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9780230305335_23
- Padilla, A., Hogan, R., ve Kaiser, R. B. (2007). "The toxic triangle: Destructive leaders, susceptible followers, and conducive environments", Leadership Quarterly, 18(3), 176-194.
- Pelletier, K. L., Kottke, J. L., Sirotnik, B. W. (2019). The Toxic Triangle In Academia: A Case Analysis Of The Emergence And Manifestation Of Toxicity In A Public University. Leadership, 15(4), 405-432. <https://doi.org/10.1177/1742715018773828>
- Rosenthal, S. A., Pittinsky, T. L. (2006). Narcissistic Leadership. The Leadership Quarterly, 17(6), 617-633. <https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2006.10.005>
- Schmidt, A. A. (2008). Development and validation of the toxic leadership scale [Yüksek Lisans Tezi, University of Maryland].
- Tepper, B. J. (2000). Consequences of abusive supervision. Academy of Management Journal, 43(2), 178-190. <https://doi.org/10.2307/1556375>
- Türk Dil Kurumu. (2018). Toksik. Türk Dil Kurumu Sözlüğü. <https://www.tdk.gov.tr>
- Ülbeği, İ. D., Özgen, H.M., Özgen, H. (2014). Türkiye'de istismarcı yönetim ölçeğinin uyarlaması: güvenirlik ve geçerlilik analizi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 23(1), 1-12.
- Webster V, Brough P, Daly K.,(2016). Fight, flight or freeze: Common responses for follower coping with toxic leadership. Stress Health;32(4):346-54. doi:10.1002/smi.262
- Whicker, M. L. (1996). Toxic Leaders: When Organizations Go Bad. Westport, Abd: Quorum Books.
- Williams, D. F. (2005). Toxic Leadership In The U.S. Army (Strategy Research Project). . U.S. Army War College, Abd.
- Yavaş A. Sectoral differences in the perception of toxic leadership. Soc Behav Sci. 2016;229:267-76.

HİBRİT YAPILAR

Emin Ergun SELÇUK

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Meslek Yüksekokulu Muhasebe ve Vergi Uygulamaları
Bölümü, Turhal, Tokat, ORKİD: 0000-0001-8568-6205

ÖZET

Yönetimde hibrit yapılar, örgütlerin farklı yapı türlerini bir araya getirerek esneklik, verimlilik ve adaptasyon kapasitesini artırmayı hedefleyen yönetim modelleridir. Geleneksel organizasyonlarda yaygın olan fonksiyonel, bölümsel veya matris yapılar yerine, hibrit yapı; merkezileştirilmiş karar alma ile yerinde daha çok özerklik ve hızlı hareket alanı sunan bileşenleri bir araya getirir. Bu yaklaşımda stratejik kararlar üst yönetim tarafından belirlenirken, operasyonel kararlar ve günlük uygulamalar farklı birimlere ya da proje ekiplerine devredilir. Böylece uzun vadeli hedefler korunurken kısa vadeli adaptasyon gereksinimleri hızla karşılanabilir.

Hibrit yönetim yapılarının başlıca avantajları arasında artan esneklik, inovasyonun teşvik edilmesi, hızlı karar alma ve proje bazlı çalışma ile kaynakların etkin kullanımı sayılabilir. Ayrıca farklı yetkinliklerin bir araya gelmesi, müşteriye odaklı çözümler üretmeyi kolaylaştırır ve coğrafi olarak dağınık ekiplerin koordinasyonunu iyileştirir. Ancak bu yapılar karmaşık iletişim ağları, rol belirsizlikleri ve çatışan hedefler riskini de beraberinde getirir. Yetki alanlarının net olmaması, performans ölçütlerinin karışması ve bilgi paylaşımında kopukluklar iş akışını olumsuz etkileyebilir.

Başarılı bir hibrit yönetim uygulaması için güçlü iletişim mekanizmaları, net karar alma süreçleri, paylaşılan hedefler ve etkili performans yönetimi gerekir. Ayrıca proje bazlı ekipler için ortak amaçlar, rol ve sorumlulukların açıkça tanımlanması ve dijital işbirliği araçlarının etkin kullanımı önemlidir. Eğitim, liderlik gelişimi ve değişim yönetimi de hibrit yapının katalizörü olarak rol oynar.

Anahtar Kelimeler: Hibrit yapılar, esneklik, değişim, verimlilik

HYBRİD STRUCTURES

SUMMARY

Hybrid management structures are management models that aim to increase flexibility, efficiency, and adaptability by bringing together different types of organizational structures. Instead of the functional, departmental, or matrix structures common in traditional organizations, a hybrid structure combines components that offer greater autonomy and rapid action on-site with centralized decision-making. In this approach, strategic decisions are determined by top management, while operational decisions and daily practices are delegated to different units or project teams. Thus, short-term adaptation needs can be met quickly while long-term goals are maintained.

Key advantages of hybrid management structures include increased flexibility, encouragement of innovation, rapid decision-making, and efficient use of resources through project-based work. Furthermore, the combination of different competencies facilitates the creation of customer-focused solutions and improves coordination among geographically dispersed teams. However, these structures also bring with them the risk of complex communication networks, role ambiguities, and conflicting objectives. Unclear areas of authority, confusing performance metrics, and breakdowns in information sharing can negatively impact workflows.

A successful hybrid management implementation requires strong communication mechanisms, clear decision-making processes, shared goals, and effective performance management. For project-based teams, clearly defined shared goals, roles, and responsibilities, as well as the effective use of digital

collaboration tools, are also important. Training, leadership development, and change management also play a role as catalysts for hybrid structures.

Keywords: Hybrid structures, flexibility, change, efficiency

1. GİRİŞ

Günümüzde örgütler, esnekliğin ve verimliliğin dengesini kurmak için hibrit yapılarına yöneliyor. Hibrit yapı, geleneksel hiyerarşi ile ağ tabanlı işbirliğini bir araya getirerek karar süreçlerini hızlandırır. Bu yaklaşım, uzaktan çalışma, yüz yüze etkileşim ve dijital araçlar arasında dinamik bir denge kurar. Ancak koordinasyon, iletişim ve güven yönetimini zorlaştırabilir, bu yüzden net roller ve süreçler gerekir. Başarı için liderliğin dönüşümü, performans ölçümlerinin yeniden tanımlanması ve teknolojik altyapının güçlendirilmesi şarttır. Hibrit yapıların örgüt kültürü, çalışan deneyimi ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisi, bağlam ve uygulama öznelidir.

2. HİBRİT KAVRAMI

Hibrit ifadesinin Türkçe karşılığı olarak melez kelimesi kullanılmaktadır (TDK, Büyük Türkçe Sözlük). Hibrit kavramı, genellikle bilinçli bir şekilde farklı türlerin bir araya getirilerek çoğaltılmasına atıfta bulunmaktadır. Farklı türlerin bilinçli bir şekilde bir araya getirilmesinin altındaki sebep ise türlerin arzu edilen özelliklerinin birleştirilerek yeni ve daha gelişmiş bir tür yaratma fikridir. Farklı türlerdeki bitkilerin çevresel faktörlere karşı daha dirençli hale getirmek için melezleştirilmesi veya hibrit araçlarla hava kirliliğinin azaltılmasının amaçlanması bu duruma örnek gösterilebilir (Knutsson ve Thomasson, 2017).

3. HİBRİT YAPI TANIMI

Örgütler arası işbirliklerini ve yeni yönetim mekanizmalarını inceleyen çalışmalar 1990'lardan itibaren oldukça hız kazanmıştır (Menard, 2004, s: 346). Powell (1990), bir uçta sadece fiyat ve rekabetin belirleyici olduğu "pazar" mekanizmasıyla, diğer uçta merkezi otorite, denetim ve biçimsel ast-üst ilişkilerinin önde olduğu "hiyerarşi" mekanizmasına ek olarak, işbirliği, karşılıklı bağlılık ve güven esaslı "şebeke" yapıyı ortaya atmıştır. Williamson (1991) ise bu iki uç arasındaki formları, karma anlamına gelen "hibrit" yapı olarak tanımlamıştır.

Hibrit yapıların yönetimi, birbiriyle kesişen mekanizmaların doğru tespit edilmesini gerektirmektedir. Bu tip bir yapının etkin olabilmesi için gereken örgütsel çözümlerin, yönetim süreçlerinin ve değerlerin tamlaşması ve uyumu oldukça karmaşıktır. Ayrıca merkezilik ve özerklik arasında kontrol ve koordinasyon, yapıyı desteklemek üzere doğru oluşturulmalıdır (Mitronen ve Möller, 2003, s: 247).

Ménard (2004), hibrit yapıların ortak kabul görmüş karakteristiklerini; birbiriyle iş yapan, hukuki anlamda bağımsız ve ortak mülkiyet altında olmayan işletmelerin, karşılıklı fiyat ayarlamalarıyla, teknoloji, sermaye, ürün ve hizmetlerin paylaşılması veya değiş tokuş edilmesi olarak ifade etmiştir. Taşeronluk sözleşmelerinin, ortak girişimlerin, kooperatiflerin, franchise sistemlerinin örnek olarak gösterildiği bu yapılarda bazı ortak unsurlar mevcuttur. Kaynak havuzu olarak ifade edilen ilk unsur, tarafların koordinasyon ve işbirliği içinde kaynaklarını ortaklaşa kullanıp yatırım yapmalarını ve kazancı paylaşmalarını ifade eder. İkinci unsur, taraflar arasındaki ilişkileri düzenleyen sözleşmelerdir. Sözleşme çerçevesinin, işbirliği türüne göre, yönetim mekanizmalarını destekleyici nitelikte ve sürekli yeni pazarlıklara açık olmayacak şekilde düzenlenmesi yararlıdır. Hibrit düzenlemeleri belirleyen üçüncü unsur rekabettir. Hiyerarşik yapıda da rekabetten söz edilebilir (ör. terfi için) ancak hibrit yapıdaki fark, tarafların kazançtan pay alma hakları olması ve son mertebede bağımsız karar verebilmeleridir. Bu yapıda rekabet birçok formda açığa çıkabilir.

Hibrit yapı en genel manasıyla farklı bileşenlerin birlikteliği olarak ifade edilebilir. Hibrit kavramı çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Tamamen farklı yeni bir yapıdan ziyade var olan bileşenlerin yeni bir şekilde kombine edilmesine atıfta bulunmaktadır. Tarihsel olarak incelendiğinde hibrit örgüt

kavramının iki veya daha fazla sayıdaki örgüt biçiminin birleşimi olarak kullandığı görülmektedir (Besharov ve Smith, 2013). Örgüt kuramı alanında da hibrit örgüt kavramının farklı tanımlamaları mevcuttur. Besharov ve Smith (2012) hibrit örgütü, birden fazla mantığı içeren örgütler olarak tanımlamıştır. Greenwood vd., (2011) hibrit örgütleri, çatışan taleplerin olduğu karmaşık kurumsal çevreye sahip örgütler olarak tanımlamaktadır. Thornton vd. (2012) hibrit örgütleri birden çok mantığın benzersiz bir şekilde bir araya getirildiği örgütler olarak tanımlamaktadır. Hibrit örgütlerle ilgili çalışmaların büyük çoğunluğunda, özellikle sosyal girişimcilerin ortaya çıktığı alanlarda, sosyal refah ve ticari mantıkların bir araya getirilmesine atıf vardır (Battilana ve Dorado, 2010; Battilana vd., 2011; Jay, 2012). Bunlara ek olarak bazı araştırmacılar da hibrit örgütü, toplumsal düzeydeki farklı mantıkların yeni bir mantık olarak, örgütsel düzeyde var olduğu veya çatışan mantıkların eÇ zamanlı olarak bir arada olduğu örgütleri açıklamak için kullanmaktadır (Greenwood vd., 2011; Thornton vd., 2005). Sonuç itibarıyla bu tanımların buluştukları ortak nokta, birden fazla mantığı içeren örgütlerin hibrit olarak kabul edileceğidir.

Gittikçe dinamikleşen ve belirsizliğin arttığı iş ortamında, işletmelerin yeni yönetim mekanizmaları oluşturmaları doğaldır. Dolayısıyla, örgütsel düzeyde, pazar, hiyerarşi ve şebeke yapıların kesiştiği hibrit formlara rastlamak mümkündür. Buna bağlı olarak ortaya çıkan yeni yapıların yönetimi için gerekli mekanizmalar, süreçler ve değerlerin tanımlanması ilgi konusu haline gelmiştir (ör. Frazier, 1999; Williamson, 1999; Grandori, 2000).

4. HİBRİT ÇALIŞMA MODELİ

Hibrit çalışma modeli, kökeni 20. yüzyılın başlarına dayanan ve “zaman ile mekân bakımından esnek çalışma biçimlerini bir araya getirme” anlayışı üzerine inşa edilen bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Zaman esnekliğine dayalı modeller, mekân esnekliğinden önce gelişmiş ve özellikle İkinci Dünya Savaşı yıllarında orduya yönelik malzeme, gıda ve teçhizat üreten işçilerin vardiyalı sistemlerde çalışmasına imkân tanınmasıyla ortaya çıkmıştır. Savaş sonrasında ise, üretkenlik ve verimliliği artırmaya yönelik bu tür uygulamalar Avrupa ve ABD’de giderek yaygınlık kazanmıştır (Vartiainen ve Vanharanta, 2023). 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, iş dünyasında odak noktası üretim süreçlerinden çok çalışanların güdülenmesine kaymış, artan otomasyon ve özerk üretim teknikleriyle birlikte çok yönlü ve nitelikli işgücünün stratejik önemi ön plana çıkmıştır. Çalışanların beklenti ve ihtiyaçlarındaki bu dönüşüm, daha esnek, katılımcı ve özgürlük tanıyan iş modellerine olan talebi artırmıştır. Bunun yanı sıra teknolojik ilerlemeler, işin niteliğini, yapılış biçimini, zamanını ve mekânını yeniden şekillendirmiş; böylelikle örgütlerin daha esnek, çevik ve uyumlu bir yapıya evrilmesine zemin hazırlamıştır (Steude, 2021).

Hibrit çalışma kavramına ilişkin ortak bir tanım bulunmamakla birlikte, genel olarak bu model, uzaktan çalışmanın geleneksel ofis temelli çalışma düzeniyle bütünleştirilmesini ifade etmektedir (Borg ve O’Sullivan, 2021). Bu modelin öne çıkan özellikleri arasında sınırların esnemesi, çoklu görevlerin aynı anda yürütülmesi, işle doğrudan bağlantısı olmayan kesintilerin ortaya çıkması ve çalışanlardan sürekli öğrenme beklentisi yer almaktadır. Sınırların esnemesi, bireyin iş yaşamı ile özel yaşamı arasındaki zamansal ya da mekânsal çizgilerin giderek silinmesi anlamına gelmektedir. Çoklu görev, aynı zaman diliminde farklı işlerin yerine getirilmesini ve birbiriyle rekabet eden talepler arasında öncelik sıralaması yapılmasını zorunlu kılmaktadır. İş dışı kesintiler ise çalışanların iş süreçlerini aksatan veya geciktiren dışsal faktörleri ifade ederken; sürekli öğrenme, bireylerin mesleki rollerini sürdürebilmek için yeni teknolojiler, yöntemler ve bilgiler edinmesini gerekli kılmaktadır (Xie vd., 2018).

Hibrit çalışma modelinin çeşitli avantajlarının yanı sıra bazı sınırlılıkları ve olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Literatürde bu dezavantajlar arasında, iş ve özel yaşam sınırlarının bulanıklaşması nedeniyle iş-yaşam çatışmasının artabilmesi, her iş rolü için uygun olmaması, ileri düzeyde teknolojik donanım ve altyapı gerektirmesi gibi unsurlar öne çıkmaktadır. Ayrıca hibrit çalışmanın; kadınlar, dijital becerileri sınırlı yaşlı çalışanlar ve bazı azınlık grupları üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği belirtilmektedir. Bunun yanında, sık ve yoğun çevrim içi toplantılar çalışanlarda zihinsel yorgunluk yaratabilmekte; esnekliğin kontrolsüz şekilde uzayan çalışma sürelerine dönüşmesi verimlilik kaybına yol açabilmektedir. Son olarak, ev ortamında ergonomik koşulların yetersizliği kas-iskelet sistemi

rahatsızlıkları riskini artıran bir diğer dezavantaj olarak değerlendirilmektedir (Hardill ve Green, 2003; Franzen-Waschke, 2022; Esen ve Bircan, 2022).

5. ÇEŞİTLİ HİBRİT ÇALIŞMA MODELLERİ

- Uzaktan Çalışma Öncelikli (Remote First) Model, çalışanların ağırlıklı olarak uzaktan çalışmasına dayalı bir yaklaşımı ifade etmektedir. Hibrit yapının çıktı odaklı niteliği nedeniyle, işlerini ofis dışında daha verimli şekilde yürütebilen çalışanlar bu modeli tercih edebilmekte, ancak ofis ortamında çalışmayı isteyenler de ofis alanlarını kullanabilmektedir. Bu çerçevede, bazı kuruluşların fiziksel ofisleri bulunmayabileceği gibi, ortak çalışma alanlarının ve mevcut ofislerin çalışanların erişimine açık tutulduğu da görülmektedir (Open Sourced Workplace, 2025).
- Ofis Öncelikli (Office First) Model ise, temelde ofis merkezli çalışmaya dayalı olmakla birlikte, haftanın belirli günlerinde uzaktan çalışma seçeneği veya kısmi zorunluluk içeren bir düzenlemeyi ifade etmektedir. COVID-19 pandemisi sürecinde bazı bankalar bu modeli uygulamaya koymuş, aynı bölgede yer alan yakın şubelerden birinin faaliyetlerini geçici olarak durdurarak çalışanların dönüşümlü biçimde hibrit modelde görev yapmasını sağlamışlardır (Başaran ve Ünal, 2021).
- Takvim Esaslı (Scheduling) Modelde ise, çalışma süreleri temel alınarak iki farklı uygulama öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, mevcut çalışma süresini azaltmayı içerirken; ikincisi, sürenin sabit tutulmasına karşın mekândan bağımsız yapılandırılmasını şekilde yeniden kapsamaktadır (Baker, 2021).
- Hafta Hafta Modeli (Week by Week), çalışma düzeninin haftalık periyotlara dayalı olarak dönüşümlü şekilde uygulanmasını öngörmektedir. Bu modelde bir ekip belirlenen hafta boyunca uzaktan çalışırken, sonraki hafta ofiste görev yapmaktadır. COVID-19 pandemisi döneminde bazı bankalar bu uygulamayı benimseyerek, şube ve saha çalışanlarını 14 günlük periyotlarla dönüşümlü olarak görevlendirmiştir. Buna göre, bir grup iki hafta boyunca sahada çalışırken, diğer grup aynı süre zarfında uzaktan çalışmış, sonrasında ekipler yer değiştirerek hibrit çalışma sürecinin devamlılığı sağlanmıştır (Başaran ve Ünal, 2021).
- Vardiyalı Çalışma ise, çalışma periyodunun iki ya da daha fazla çalışan grubuna bölünmesi ve her grubun birbirini takip eden başlangıç ve bitiş saatlerinde görev yapması esasına dayanmaktadır (Demir ve Gergil, 2008).

6. HİBRİT ÖRGÜTLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Hibrit örgütlerin sahip oldukları farklı yapı bu örgütlerin hibrit yapılarını nasıl koruyup sürdürülebilir olacakları endişesini gündeme getirmiştir. Tüm örgütler için sürdürülebilirlik olgusu uzun yıllardır önem arz eden bir konudur. Kurumsal sürdürülebilirlik olgusu günümüzde örgütler için üzerinde çalışılması gereken ve varlığının sorgulanması bile düşünülmemeyen bir hal almıştır. Bununla birlikte bahsi geçen sürdürülebilirlik olgusu birbiriyle çatışan mantıkların nasıl bir arada bulunabileceğinden daha çok stratejik yönetim ile ilgilidir (Haigh ve Hoffman 2012).

Hibrit örgütlerde mantıklar arası dengenin sağlanıp gerilimin kontrol altında tutulması için iki farklı politikadan yararlanılmaktadır.

- Sosyalizasyon Politikaları Sosyalizasyon en temel manasıyla, bireylerin içinde yaşadığı topluma ve kültüre uyum sağlama sürecidir. Daha kapsamlı bir ifade ile, bireyin belirli bir toplumun, grubun veya kuruluşun üyesi olabilmesi için gruba ya da örgüte ilişkin değerleri, becerileri, tutumları, normları, bilgiyi öğrenme ve benimseme sürecidir (Van Maanen, 1976).
- İşe alım politikası temel olarak hangi özelliklere sahip olan kişinin örgütün bir üyesi olacağına karar verilmesi sürecidir. Hibrit örgütlerde işe alım politikaları Battilana ve Dorado (2010) tarafından öne sürülen karma ve tabula rasa yaklaşımları olarak ifade edilen iki farklı boyut ile ele alınmıştır. Karma (mix & match) yaklaşımın temel özelliği, hibrit örgütün işe alacağı kişinin hangi mantığı taşıdığını dikkate almaksızın, işin gerekliliklerinin ve bireysel yetkinliklerin ön planda tutularak seçilmesidir. Önemli olan kişinin sahip olduğu bireysel yetenekleridir. İhtiyaç duyulan pozisyonun gerektirdiği niteliğe bağlı olarak, örneğin beş yıllık bankacılık deneyimine sahip bir uzman da işe alınabilir, STK'larda gönüllü olarak çalışmış bir kişi de işe alınabilir. Dolayısıyla farklı mantıkların

taşıyıcısı olan kişiler aynı çalışma ortamında buluşurlar. Tabula rasa yaklaşımının temel özelliği ise, işe alınacak kişinin herhangi bir mantığın taşıyıcısı olmamasıdır. Başka bir ifade ile işe alınacak kişinin tecrübeli olması istenen bir durum değildir. Çünkü uzun süreli tecrübeler kişiyi belirli bir mantığın taşıyıcısı haline getirecektir. Bu yaklaşımda kişinin bireysel yetkinliklerinden ziyade sosyalize edilebilir olması daha önemlidir. Bununla birlikte kişinin yapacağı işe uygun eğitim almış olması da önemli bir unsurdur (Battilana ve Dorado, 2010).

7. SONUÇ

Güçlü hibrit yapıların temelinde esneklik, hızlı karar alma ve çalışan memnuniyetini artıran çalışma modelleri yatar. Başarılı uygulamalar, net roller, sorumluluklar ve iletişim protokollerinin belgelenmiş şekilde paylaşılmasına bağlıdır. Teknolojik altyapı ve veri odaklı yönetim, hibrit ortamda güvenilir ve verimli iş süreçlerini destekler. Liderlik, kültürel değişim ve sürekli öğrenme kültürünü teşvik ederek örgütsel uyumu sağlar. Ancak koordinasyon zorlukları, bilgi güvenliği ve eşitsiz deneyimler gibi riskler de beraberinde gelir; bu nedenle ölçüm ve adaptasyon sürekli sürdürülmelidir. Hibrit yapıların etkili olması için strateji, süreç ve insan odaklı yaklaşımın bütünleşmesi gereklidir.

KAYNAKÇA

- Baker, D. (2021). The Future Of Work is Hybrid. The Future of work is hybrid could covid be the catalyst for organizations to implement a hybrid workplace model?, 21. Stockholm, İsveç: KTH Royal Institute Technology.
- Başaran, E., & Ünal, H. (2021). Covid-19 Pandemi Döneminde Özel Bankaların Çalışan Deneyimi Tasarımı. International Journal Of Social, Humanities And Administrative Sciences, s. 654-672
- Borg, Cornelia ve O'Sullivan, Caoimhe, (2021) The Corporate Brand Identity in a Hybrid Workplace Model, (Yüksek Lisans Tezi) Lund Üniversitesi.
- Battilana, J., & Dorado, S. (2010). Building sustainable hybrid organizations: The case of commercial microfinance organizations. Academy of management Journal, 53(6), 1419-1440.
- Battilana, J., Pache, A., Sengul, M., & Model, J. (2011). Combining social and economic objectives: On the challenges of sustaining a hybrid organizational form (Working paper ed.). Cambridge, MA: Harvard University.
- Besharov, M. L., Smith, W. K. (2012). Multiple logics within organizations: An integrative framework and model of organizational hybridity. Ithaca, NY: Cornell University working paper.
- Demir, F., Gergil, G. (2008). Çalışma Hayatında Esneklik Ve Türk Hukukunda Esnek Çalışma. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, s. 68-89.
- Esen, D., Bircan, Ö. (2022). Ar-Ge Çalışanlarının Bakış Açısıyla Evden Çalışma. Fenerbahçe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, s. 113-132.
- Franzen-Waschke, U. (2022, Ekim 24). DEI & Hybrid Work Environments: A Game Changer or Another Disruptor? GiLE Journal of Skills Development, s. 6-7.
- Frazier, G., (1999). "Organizing and Managing Channels of Distribution", Journal of the Academy of Marketing Science, Vol: 27, No: 2, s: 226-240.
- Grandori, A., (2000). "Conjectures for a New Research Agenda on Governance", Journal of Management and Governance, Vol: 4, s: 1-9.
- Greenwood, R. Raynard, M., Kodeih, F., Micelotta, E.R., Lounsbury, M. (2011). Institutional complexity and organizational responses, The Academy of Management Annals, 5(1), 317-371.
- Haigh, N. ve Hoffman, A. J. (2012). Hybrid organizations: The Next Chapter of Sustainable Business. Organizational Dynamics, 41 (2): 126-134.

- Hardill, I., & Green, A. (2003, Kasım 1). Remote working-altering the spatial contours of work and home in the new economy. *New Technology Work And Employment*, s. 212-222.
- Jay, J. (2012). Navigating paradox as a mechanism of change and innovation in hybrid organizations. *Academy of Management Journal*, 56(1), 137-159.
- Knutsson, H., Thomasson, A., (2017). Exploring organisational hybridity from a learning perspective. *Qualitative Research in Accounting & Management*, 14(4), 430-447.
- Menard, C., (2004). "The Economics of Hybrid Organizations", *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, Vol: 160, s: 345-376
- Mitronen, L. ve Möller, K., (2003). "Management of Hybrid Organizations: A Case Study in Retailing", *Industrial Marketing Management*, Vol: 32, s: 419-429.
- Open Sourced Workplace. (2025). Open Sourced Workplace. Open Sourced Workplace Web Sitesi: <https://opensourcedworkplace.com/news/ty-pes-ofhybrid-work-models>
- Powell, W. W., (1990). "Neither Market nor Hierarchy: Network Forms of Organization", Editor: Handel, M. J., 2003, *The Sociology of Organizations: Classic, Contemporary, and Critical Readings*, Londra, Sage, s: 315-330.
- Steude, D. H. (2021). Challenges of Remote Leadership in a Digitalized Working World 4.0. *Management of Organizations: Systematic Research*, 85(1), 65-86. <https://doi.org/10.1515/mosr2021-0005>
- Thornton, P.H., Ocasio, W., & Lounsbury, M. (2012). *The institutional logics perspective: A new approach to culture, structure, and process*. Oxford, Oxford University Press.
- Van Maanen, J. (1976). Breaking in: Socialization to work. içinde R. Dubin (Ed.), *Handbook of Work, Organization and Society* (67-130). Chicago, IL: Rand McNally College Publishing Co.
- Vartiainen, M., & Vanharanta, O. (2023). Hybrid Work: Definition, Origins, Debates and Outlook [Research]. Report number: WPEF23002. Affiliation: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12847.71844>
- Williamson, O. E., (1991). "Comparative Economic Organization: the Analysis of Discrete Structural Alternatives", *Administrative Science Quarterly*, Vol: 36, s: 269-296.
- Williamson, O. E., (1999). "Strategy Research: Governance and Competence Perspectives", *Strategic Management Journal*, Vol: 20, s: 1087-1108.
- Xie, J. L., Elangovan, A. R., Hu, J., ve Hrabluik, C. (2018). Charting new terrain in work design: a study of hybrid work characteristics. *Applied Psychology*. doi:10.1111/apps.12169

ALGORITHM AVERSION AND ALGORITHM APPRECIATION IN MANAGEMENT RESEARCH

Assoc. Prof. Dr. Mehtap ÖZTÜRK

Selcuk University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 42130 Selçuklu, Konya

ORCID ID: 0000-0001-8513-9842

ABSTRACT

The increasing use of artificial intelligence and algorithmic decision systems in recruitment, performance evaluation, managerial decision support, and human resource management has made individuals' attitudes toward algorithms an important topic in management research. Algorithm aversion is the tendency for individuals to prefer human judgment over algorithmic recommendations or decisions, or to avoid trusting algorithmic systems. In contrast, algorithm appreciation refers to greater trust in algorithmic advice and decisions under certain conditions. This study aims to examine the development and conceptual structure of the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation in management research using bibliometric methods. Accordingly, the Web of Science Core Collection database was searched using the keywords “algorithm aversion,” “algorithmic aversion,” “algorithm appreciation,” and “algorithmic appreciation” in combination with terms related to management, organization, workplace, employees, decision-making, algorithmic decision-making, human resources, recruitment, hiring, and selection. The search yielded 284 documents. The data were analyzed in RStudio using the Bibliometrix/Biblioshiny package. The study employed annual scientific production, the most influential sources, the most-cited documents, keyword co-occurrence analysis, thematic mapping, and trend topic analysis. The findings show that the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation is structured around algorithmic trust, human judgment, decision-making, artificial intelligence, transparency, automation, and human resource management practices. In this respect, the study positions algorithm aversion and algorithm appreciation as an emerging research field shaped by trust, control, and acceptance in human–algorithm relationships within managerial decision-making processes.

Keywords: Algorithm Aversion, Algorithm Appreciation, Algorithmic Decision-Making, Artificial Intelligence, Bibliometric Analysis.

YÖNETİM ARAŞTIRMALARINDA ALGORİTMİK KAÇINMA VE ALGORİTMA TAKDİRİ

ÖZET

Yapay zeka ve algoritmik karar sistemlerinin işe alım, performans değerlendirme, yönetsel karar destek süreçleri ve insan kaynakları uygulamalarında giderek daha fazla kullanılması, bireylerin algoritmalara yönelik tutumlarını yönetim araştırmaları açısından önemli bir konu haline getirmiştir. Algoritmik kaçınma, bireylerin algoritmik önerileri veya kararları insan yargısına kıyasla daha az tercih etmesi ya da algoritmik sistemlere güvenmekten kaçınması olarak tanımlanırken; algoritma takdiri, belirli koşullarda algoritmik tavsiye ve kararlara daha fazla güven duyulmasını ifade etmektedir. Bu çalışma, algoritma kaçınması ve algoritma takdiri literatürünün yönetim araştırmaları bağlamındaki gelişimini ve kavramsal yapısını bibliyometrik yöntemlerle incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda Web of Science Core Collection veritabanında “algorithm aversion”, “algorithmic aversion”, “algorithm appreciation” ve “algorithmic appreciation” anahtar kelimeleri; yönetim, örgüt, işyeri, çalışan, karar alma, algoritmik karar alma, insan kaynakları, işe alım ve seçim kavramlarıyla birlikte taranmış ve 284 dokümana ulaşılmıştır. Veriler RStudio ortamında Bibliometrix/Biblioshiny paketi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada yıllık yayın üretimi, en etkili kaynaklar, en çok atıf alan çalışmalar, anahtar kelime eş-oluşum ağı, tematik haritalama ve trend konu analizleri kullanılmıştır. Çalışma algoritmik kaçınma

ve algoritma takdirine ilişkin literatürün algoritmik güven, insan yargısı, karar verme, yapay zekâ, şeffaflık, otomasyon ve insan kaynakları uygulamaları etrafında yapılandığını göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, algoritma kaçınması ve algoritma takdirini yönetsel karar alma süreçlerinde insan–algoritma ilişkisinin güven, kontrol ve kabul boyutlarıyla şekillenen gelişmekte olan bir araştırma alanı olarak konumlandırmaktadır.

Anahtar kelimeler: Algoritma Kaçınması, Algoritma Takdiri, Algoritmik Karar Alma, Yapay Zeka, Bibliyometrik Analiz.

1. INTRODUCTION

Artificial intelligence and algorithmic decision systems are becoming increasingly visible in organizations across recruitment, selection, performance evaluation, promotion, task allocation, forecasting, and managerial decision support. This development has reopened the question in management research of who makes the decision: the human expert, the algorithmic system, or human–algorithm collaboration? Algorithms increase the speed and standardization of managerial decision-making by processing large data sets, recognizing patterns, and producing consistent predictions. Nevertheless, individuals do not always rationally accept algorithmic decisions; in some cases, they prefer human judgment, whereas in other cases, they place greater trust in algorithmic advice (Dietvorst et al., 2015; Logg et al., 2019; Jussupow et al., 2024). This dual response is explained in the literature through the concepts of Algorithm aversion and algorithm appreciation. Algorithm aversion refers to individuals' lower preference for algorithmic recommendations or decisions compared with human judgment, or their avoidance of relying on algorithmic systems. Algorithm appreciation, by contrast, refers to higher trust in algorithmic advice and decisions under certain conditions. Previous research shows that algorithmic errors are judged more harshly than human errors, that aversion increases when tasks are subjective or high-stakes, and that algorithmic advice may be more readily accepted in objective and data-based tasks (Castelo et al., 2019; Filiz et al., 2023; Prah & Van Swol, 2017).

In the context of management and human resource management, this issue gains a more sensitive character. This is because algorithmic decisions can directly affect employees' career opportunities, income, perceptions of performance, assessments of organizational justice, and expectations of job security. While the use of algorithms in human resource practices has the potential to provide efficiency, consistency, and standardization, it also strengthens concerns such as lack of transparency, bias, privacy, loss of control, and the weakening of human judgment (Kim et al., 2025; Park et al., 2021; Tandon et al., 2025). Therefore, attitudes toward algorithmic decision systems should be addressed in management research not merely as a matter of technical acceptance but as an organizational issue to be examined along the axes of trust, control, justice, and human oversight.

Although the existing literature has made significant progress in explaining both algorithm aversion and algorithm appreciation, the field's overall developmental trajectory, intellectual foundations, and conceptual clusters in management research have not yet been mapped holistically. On the one hand, behavioral decision-making studies explain the loss of trust toward algorithmic errors; on the other hand, the literatures on human resource management, platform work, human–computer interaction, and artificial intelligence ethics address discussions of acceptance, resistance, transparency, and justice toward algorithmic systems from different perspectives (Burton et al., 2020; Hou & Jung, 2021; Yang et al., 2026). This makes the interdisciplinary structure of the field visible, but also increases the need to systematically examine around which themes the conceptual accumulation is concentrated and what gaps it leaves from the perspective of management research. Based on 284 documents retrieved from the Web of Science Core Collection, this study aims to examine the development of the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation in management research using bibliometric methods. Rather than treating these two concepts as separate lines of literature, the study aims to reveal how the human–algorithm relationship in managerial decision-making processes is structured through the dimensions of trust, control, transparency, acceptance, and organizational justice. Accordingly, the study seeks to answer the following research questions:

RQ1: How has the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation developed over the years in the context of management research?

RQ2: Who are the most influential authors, sources, and studies in this field?

RQ3: How is the intellectual structure of the literature shaped through co-citation and source networks?

RQ4: What are the key concepts, thematic clusters, and current research trends that stand out in the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation?

RQ5: Through which conceptual dimensions does this literature explain the human–algorithm relationship in terms of managerial decision-making and human resource management?

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

Algorithm aversion is explained by decision-makers' lower preference for algorithmic recommendations or decisions compared with human judgment. This tendency may emerge even when algorithms can provide higher accuracy. Dietvorst, Simmons, and Massey (2015) showed that individuals lose trust in an algorithm more quickly than in a human advisor after observing an error by the algorithm. Similarly, Prah and Van Swol (2017) state that, following poor advice, automation-based recommendations are discounted more than human advice. Therefore, algorithm aversion is not merely resistance to technology but rather an evaluative process related to error tolerance, trust fragility, perceptions of expertise, and decision autonomy (Burton et al., 2020; Cheng & Chouldechova, 2023; Dietvorst et al., 2015; Prah & Van Swol, 2017).

Algorithm appreciation, on the other hand, refers to individuals' greater trust in algorithmic advice than in human advice under certain conditions. Logg, Minson, and Moore (2019) demonstrated that, in some decision contexts, individuals perceive algorithmic judgment as more objective and reliable. Jussupow, Benbasat, and Heinzl (2024) argue that algorithm aversion and algorithm appreciation should not be treated as two disconnected areas, but as related responses that emerge under different conditions within the same decision context. Hou and Jung (2021) also show that these two responses vary depending on how human and algorithmic actors are framed. Therefore, attitudes toward algorithmic systems are not fixed; they are shaped together with perceptions of trust, expertise, objectivity, and contextual sensitivity (Hou & Jung, 2021; Jussupow et al., 2024; Logg et al., 2019).

Task characteristics are among the fundamental conditions that distinguish algorithm aversion from algorithm appreciation. Castelo, Bos, and Lehmann (2019) show that algorithms are more accepted in objective, measurable, and data-based tasks, whereas they generate lower trust in tasks requiring subjective and intuitive judgment. Jin and Li (2025) also state that algorithms are appreciated for their accuracy in tasks with low levels of unstructuredness, whereas human judgment is trusted more in highly unstructured tasks due to a lack of flexibility. Uncertainty, time pressure, and perceptions of learnability also affect this process. Showing that an algorithm can learn from errors may reduce aversion, while under time pressure, individuals' reduced confidence in their own predictions may increase their tendency to rely on algorithmic advice (Berger et al., 2021; Jung & Seiter, 2021; Reich et al., 2023; Schecter et al., 2023).

In the context of management and human resources, algorithmic decision systems produce stronger organizational consequences. Algorithms may provide efficiency and standardization in processes such as recruitment, performance evaluation, promotion, task allocation, and employee monitoring; however, because these decisions directly affect employees' career opportunities, income, perceptions of justice, and job security, they also increase expectations of trust and accountability. Park et al. (2021) state that employees experience emotional, cognitive, bias-related, manipulation-related, privacy-related, and social burdens toward algorithmic performance evaluation, and that these burdens can be reduced through transparency, interpretability, and human intervention. Maasland and Weißmüller (2022) show that a tension arises between blame avoidance and algorithm aversion when decisions such as promotion and dismissal are delegated to algorithms. Therefore, algorithmic human resource management should

be evaluated not only in terms of technical efficiency but also in relation to justice, human oversight, and employee trust (Kim et al., 2025; Maasland & Weißmüller, 2022; Park et al., 2021).

Recent studies show that algorithm aversion and algorithm appreciation can develop together within the same organizational experience. Tandon et al. (2025) state that human resource professionals' attitudes toward algorithmic systems are not entirely negative; uncertainty, fear, cautious acceptance, aversion, and tendencies toward collaboration emerge together. In the context of platform work, Yang, Chen, and Dong (2026) show that algorithmic transparency reduces fear, weakens algorithm aversion, and increases acceptance. Shen et al. (2026) demonstrate that the severity of algorithmic punishment increases aversion, while trust in algorithms can limit the harmful effect of this relationship on service performance. The strengthening of aversion as the consequence weight of the decision increases, and the variation in the mechanisms explaining aversion according to cultural context also demonstrate the context-sensitive nature of this field (Filiz et al., 2023; Liu et al., 2023; Shen et al., 2026; Tandon et al., 2025; Yang et al., 2026).

This conceptual accumulation shows that algorithm aversion and algorithm appreciation should be addressed in management research along the axes of trust, control, transparency, task characteristics, learnability, uncertainty, justice, and human oversight. Although algorithms can provide accuracy, speed, and consistency, individuals may show low tolerance for algorithmic errors, value human judgment more in high-stakes and subjective tasks, and accept algorithmic systems more readily when they are explainable, auditable, and open to human intervention. Therefore, algorithm aversion and algorithm appreciation are positioned not as concepts about replacing human decision-making, but as complementary concepts that explain under which conditions human–algorithm collaboration becomes trustworthy, fair, and acceptable.

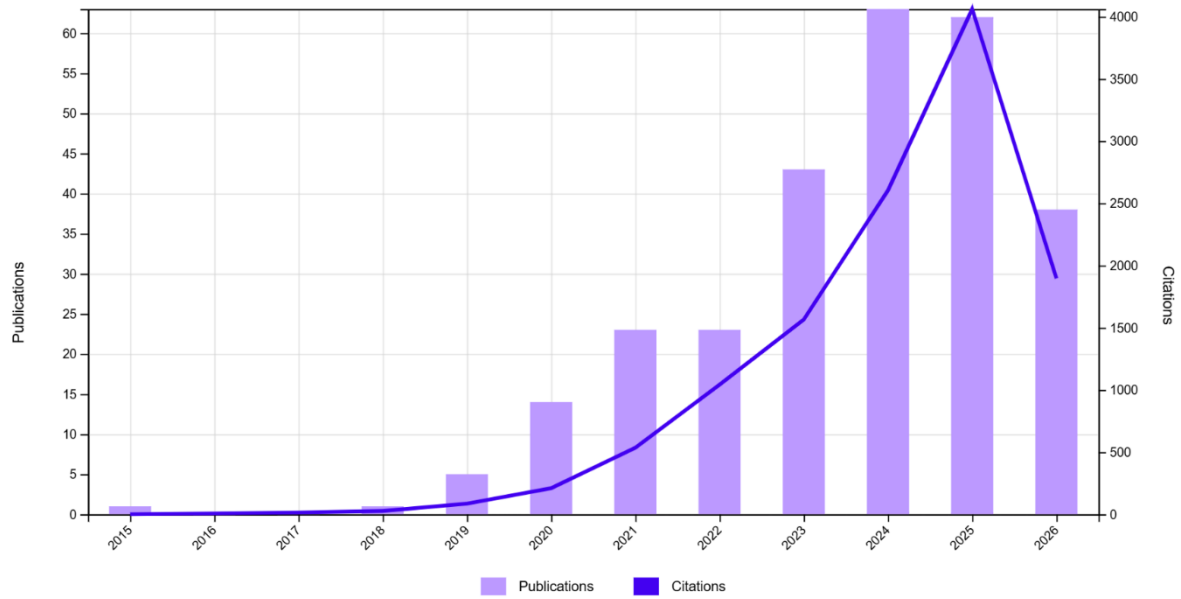
3. METHOD

This study employed a bibliometric analysis to examine the development and conceptual structure of the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation in management research (Aria & Cuccurullo, 2017; Zupic & Čater, 2015). This methodological design enables the systematic mapping of the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation in management research. Thus, the study aims to reveal, based on bibliometric evidence, which sources, studies, concepts, and themes the human–algorithm relationship has developed around. The research data were obtained from the Web of Science Core Collection database. During the search process, the keywords “algorithm aversion,” “algorithmic aversion,” “algorithm appreciation,” and “algorithmic appreciation” were used to represent algorithm aversion and algorithm appreciation, respectively. To strengthen the relationship of the study with management research, these core concepts were searched together with terms related to management, organization, workplace, employees, workers, decision-making, and human resources, such as management, organization, workplace, employee, worker, decision-making, algorithmic decision-making, automated decision-making, human resources, recruitment, hiring, and selection.

As a result of this search strategy, 284 documents were reached. The dataset was exported in Web of Science format and analyzed in RStudio using the Bibliometrix package and the Biblioshiny interface. Before the analysis, the data set was checked for author names, source titles, keywords, and duplicate records. To ensure conceptual consistency, similar keyword usage was reviewed, and terminological consistency was established where necessary. The analyses applied in the study are as follows: annual scientific production analysis, most relevant sources analysis, most productive authors analysis, most cited studies analysis, co-citation analysis, keyword co-occurrence analysis, word cloud analysis, thematic mapping, and trend topic analysis. Through these analyses, the developmental trajectory, intellectual structure, areas of conceptual concentration, and current research trends of the literature were evaluated.

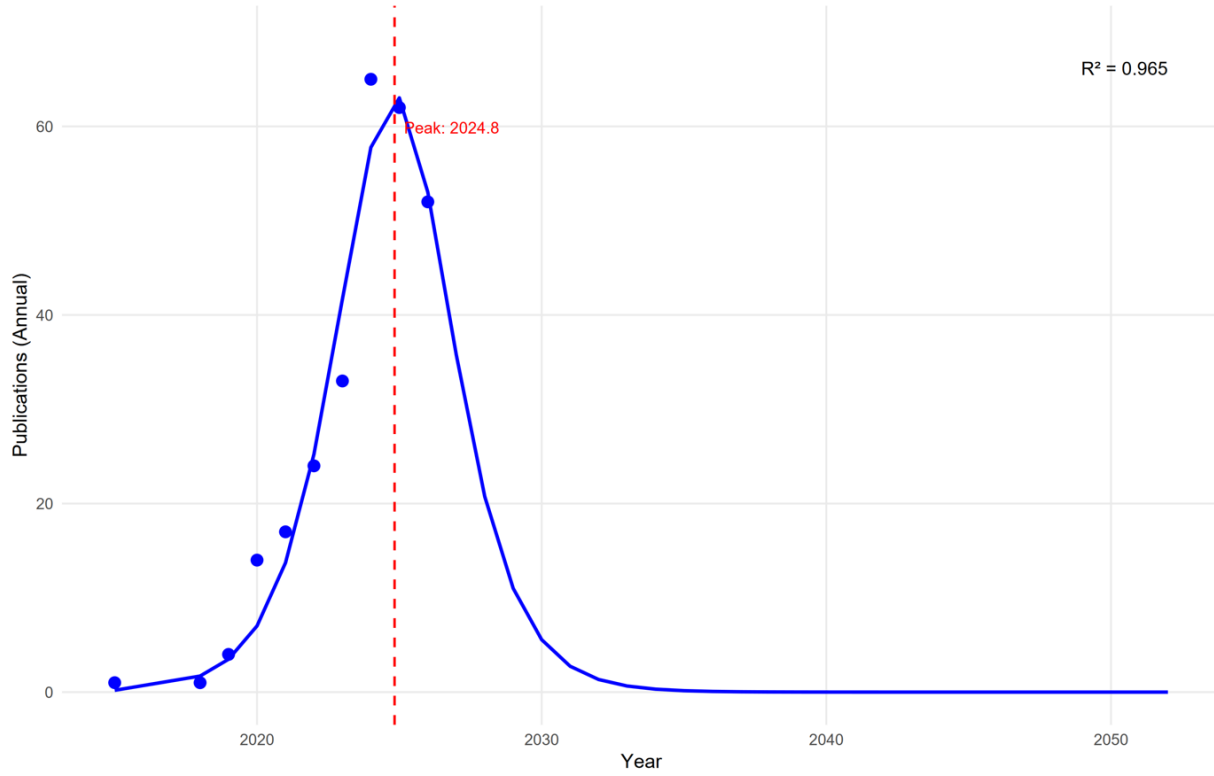
4. FINDINGS

Figure 1. Distribution of Publications and Citations by Year



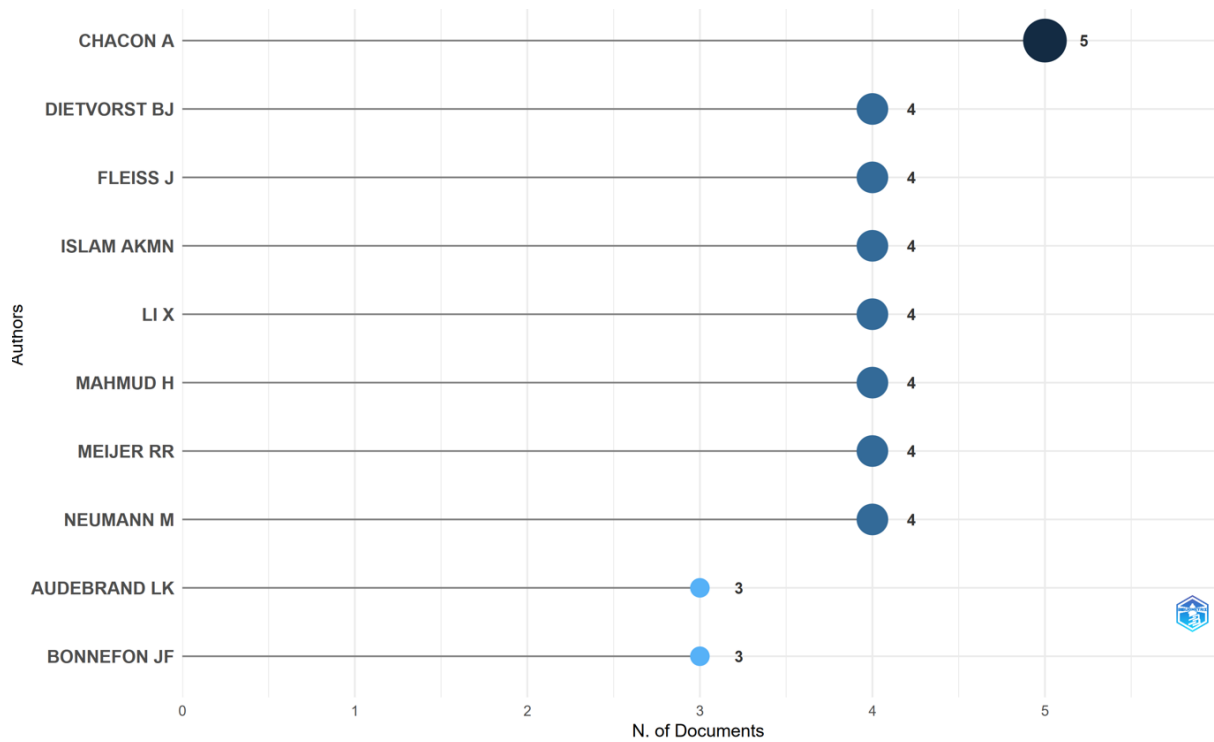
As shown in Figure 1, the number of articles published in the scanned journals and the annual citation counts for studies on algorithm aversion and algorithm appreciation in work life and decision-making processes between 2015 and 2026 are presented. The graph indicates that the literature experienced a relatively stagnant initial phase between 2015 and 2018. The period during which the topic first gained clear visibility was 2019–2020, coinciding with the increasing integration of artificial intelligence and algorithm-based decision-support systems into work processes. With the growing role of algorithmic systems in human resources, management, and organizational processes, the major turning point and exponential growth in the literature began in 2021. Academic production reached its highest level in 2024, with approximately 63 articles, marking the peak in terms of publication volume. In parallel with this rapid increase in the number of articles, the citation curve also followed a steep upward trajectory, consistent with the cumulative advantage effect, peaking in 2025 at more than 4,000 citations. This indicates that studies in this field have had a strong academic impact and have become important reference sources in the literature. The partial decline in the number of publications and citations in 2026 should be interpreted as a current limitation arising from the fact that the data collection period has not yet been completed. Overall, the findings show that algorithm aversion and algorithm appreciation constitute a dynamic research field that has grown exponentially over time, has a high academic impact, and occupies a prominent position in contemporary management and organizational literature.

Figure 2. Life Cycle Model



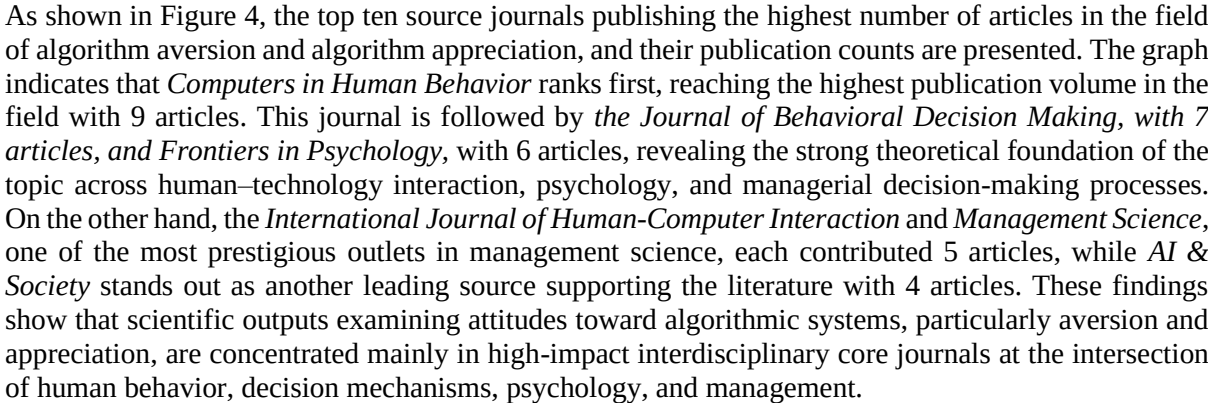
As shown in Figure 2, the life cycle model analysis results are presented to reveal the developmental dynamics and future projection of the algorithm aversion and algorithm appreciation literature. According to the model findings, annual scientific output peaked in 2024 (Peak: 2024.8), after which the field is projected to enter a saturation phase and exhibit a gradual downward trend. The coefficient of determination, which indicates the model's explanatory power, was calculated as $R^2 = 0.965$, representing an extremely high value. This high goodness-of-fit value indicates that the model explains the temporal variation in the current data set at an excellent level. It also shows that the literature has followed a highly stable and predictable growth trajectory and has largely completed its maturity phase.

Figure 3. Most Productive Authors



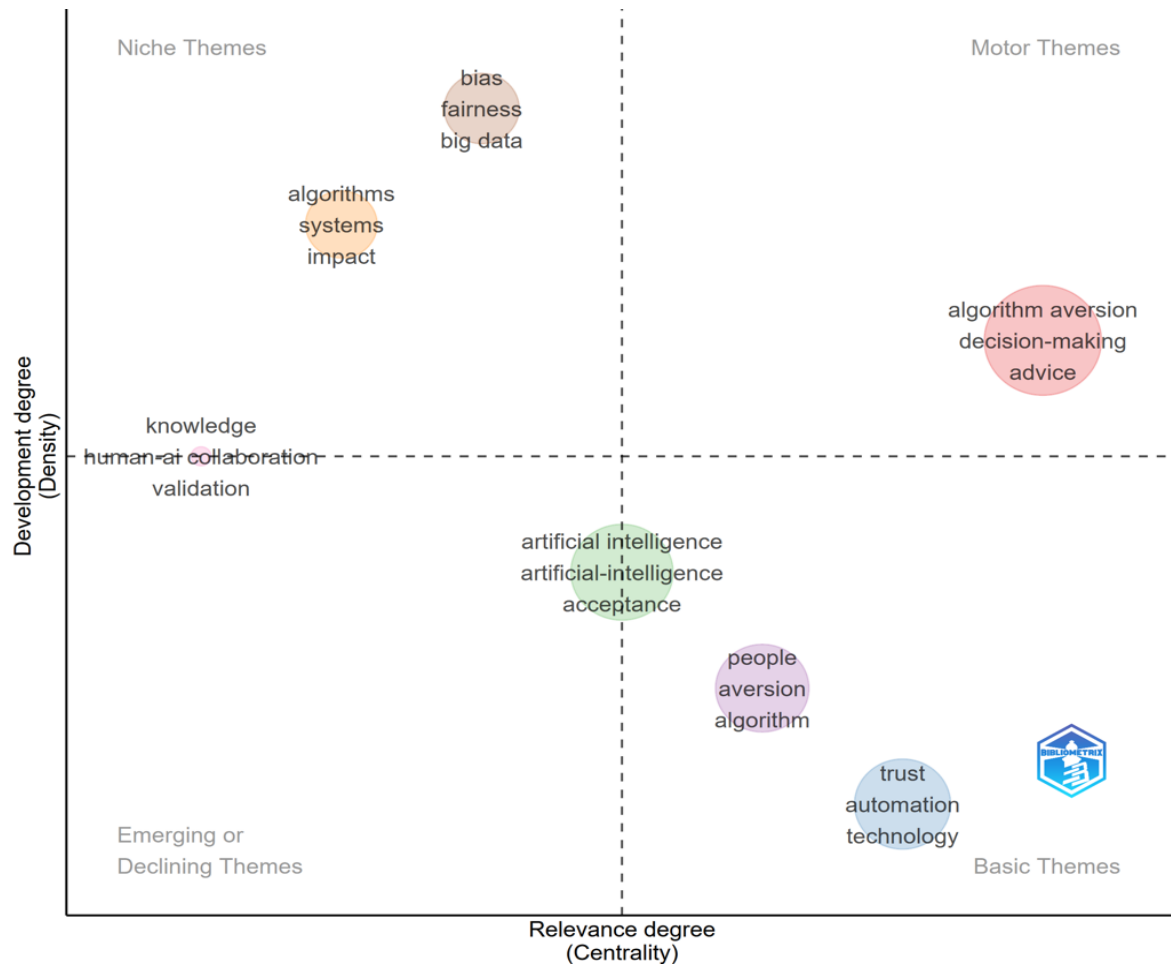
As shown in Figure 3, the top ten authors in the field of algorithm aversion and algorithm appreciation are listed, along with their publication counts. The graph indicates that Chacon A. stands out as the leading researcher, with 5 articles. This author is followed by Dietvorst B. J., Fleiss J., Islam A. K. M. N., Li X., Mahmud H., Meijer R. R., and Neumann M., each with 4 articles, forming a relatively balanced and strong academic cluster in the field. Audebrand L. K. and Bonnefon J. F. also stand out as other important contributors, with 3 articles each. These findings show that the relevant literature is not dominated by a single author. Rather, alongside pioneering scholars such as Dietvorst, one of the foundational names in the algorithm aversion literature, the field has developed collectively and dynamically through the contributions of many researchers from information systems and management.

Figure 4. Most Productive Source



As shown in Figure 5, the keyword cloud analysis, which visualizes the main focal points and most frequently repeated concepts in articles published in the fields of algorithm aversion and algorithm appreciation, is presented. The graph indicates that algorithm aversion, which appears at the center of the cloud in the largest font size, constitutes the main point of departure and the most fundamental research focus of the literature. At the same time, the concepts of artificial intelligence, decision-making, trust, and automation stand out with their high frequencies and define the conceptual boundaries of the field. When the sub-clusters in the word cloud and the relationships among concepts are examined, the presence of terms such as advice, judgment, bias, and performance reflects the human factors and cognitive mechanisms involved in trusting or resisting algorithmic decisions. On the other hand, concepts such as people, acceptance, and algorithm appreciation reveal how extensively acceptance and appreciation tendencies, which have developed as the opposite of aversion, have been studied in the literature. The findings demonstrate that the literature is structured around the integration of technological systems into managerial and individual decision-making processes, the construction of trust perceptions toward these systems, and rational analyses of the psychological barriers in human-machine interaction.

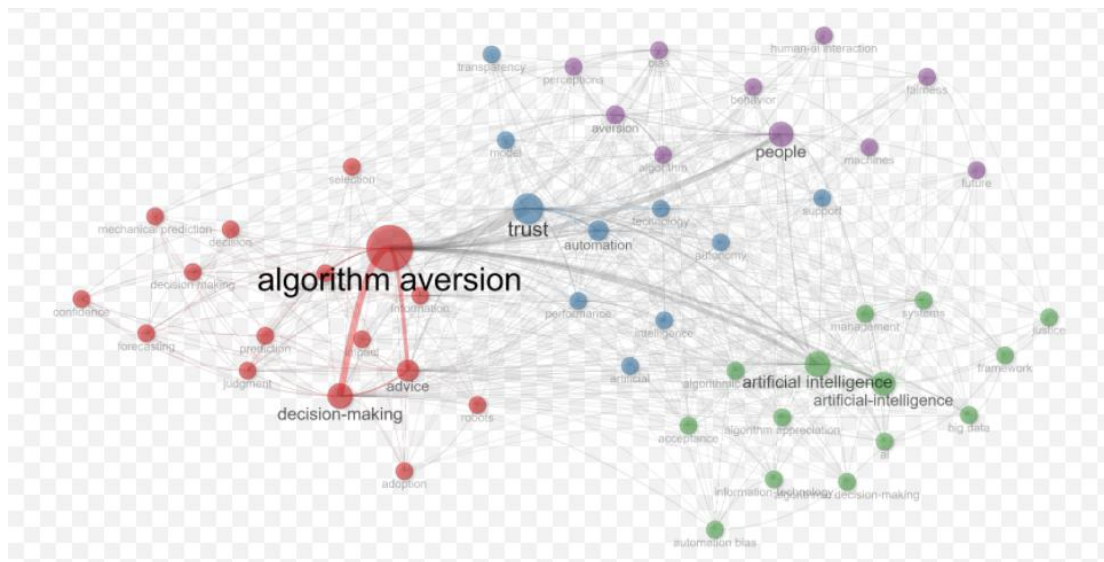
Figure 6. Thematic Map



As shown in Figure 6, the results of the thematic map analysis, structured by density and centrality, are presented to reveal the conceptual structure and intellectual trends in the field of algorithm aversion and algorithm appreciation from a strategic perspective. The cluster of algorithm aversion–decision-making–advice, located in the upper-right quadrant of the map, constitutes the mainstream motor theme of the field, with its high density and centrality values, as it is both the most developed and the most

strongly connected to other concepts. The clusters of trust–automation–technology and people–aversion–algorithm, located in the lower-right quadrant, together with the artificial intelligence–artificial-intelligence–acceptance cluster positioned near the axis boundary, represent the basic themes that form the field's general theoretical backbone. These themes have high research centrality, yet they remain open to further development in terms of theoretical depth. The bias–fairness–big data and algorithms–systems–impact clusters, located in the upper-left quadrant, have high density but low centrality values. This indicates that topics such as fairness, bias, and big data in algorithmic decision-making processes are highly specialized; however, their connection to the broader literature remains relatively limited, and they are therefore structured as niche themes. Finally, the knowledge–human-ai collaboration–validation cluster, located near the boundary of the lower-left quadrant, draws attention for its low centrality and density values. This demonstrates that human–artificial intelligence collaboration and validation processes remain immature in the literature and represent emerging, dynamic areas where research interest is shifting.

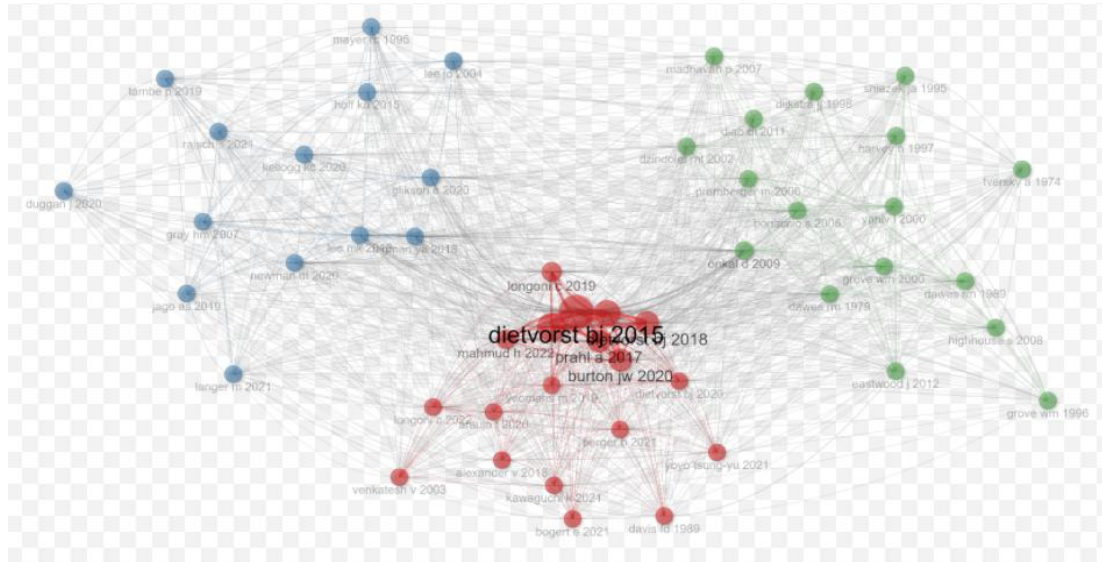
Figure 7. Co-occurrence Network Analysis



As shown in Figure 7, the results of the keyword co-occurrence network analysis, conducted to reveal the conceptual patterns, intellectual structure, and focal groups of articles published in the fields of algorithm aversion and algorithm appreciation, are presented. The resulting network structure is grouped into four main color clusters based on the intensity of relationships among concepts and their thematic proximity. At the center of the network, the red cluster, with the largest node size and the thickest connection lines, makes algorithm aversion its focal point and brings together mainstream variables such as decision-making, advice, judgment, and forecasting. This cluster represents the direct impact of resistance to algorithmic systems on decision-making mechanisms. The green cluster, led by the main node artificial intelligence, includes concepts such as algorithm appreciation, big data, and framework, reflecting a sub-research focus that examines the tendency to appreciate algorithmic systems as the opposite of aversion, the technological infrastructure, and the acceptance processes of these systems. The blue cluster is structured around the node of trust and combines concepts such as automation, performance, and technology, thereby symbolizing the rational perception of trust in the performance of algorithmic decision-support systems and automation. Finally, the purple cluster, led by the concept of people, focuses on concepts such as behavior, machines, and human-ai interaction, addressing the human factor, individual behaviors, and the dimension of human–artificial intelligence interaction in a theoretical context. The findings clearly show that, in the relevant literature, the human factor shaped by cognitive trust in algorithmic systems (blue) and individual behaviors (purple)

converges within a holistic theoretical model around two main poles: artificial intelligence acceptance (green) and algorithm aversion (red).

Figure 8. Co-citation Network Analysis



As shown in Figure 8, the results of the document co-citation network analysis, conducted to reveal the intellectual foundations and mutually reinforcing theoretical streams of research in the field of algorithm aversion and algorithm appreciation, are presented. The intellectual structure generated by the analysis is clustered into three main color groups according to the density of citation links and the frequency with which documents are cited together. The red cluster, located at the center of the network and characterized by the largest node size, the highest citation strength, and bridge-building links, represents the core literature that forms the main backbone of the field. Within this cluster, the study by Dietvorst B. J. (2015), which laid the foundations for the concept of algorithm aversion in contemporary management and decision-making literature, stands out as the most dominant and central node. Studies such as Prahl A. (2017) and Burton J. W. (2020), also located within the red cluster, follow the theoretical pathway opened by Dietvorst and are structured as key reference sources that examine in depth the mechanisms of human resistance to algorithmic systems. The blue cluster, positioned on the left side of the network, represents the contextual literature that examines the interaction between attitudes toward algorithmic systems and human resources, management science, information systems, and organizational decision-making mechanisms from a process-oriented perspective. The green cluster, located on the right side, brings together foundational and classic sources that provide the philosophical and psychological background of the field from a broader perspective, including rational decision-making theories, the historical limits of human judgment relative to statistical or mechanical prediction models, and perceptions of automation. The findings demonstrate that the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation has formed a strong intellectual core around contemporary empirical and theoretical studies led by Dietvorst (2015), while being nourished by classical decision-making theories (green) and organizational dynamics (blue).

5. CONCLUSION

This study examined the development, intellectual structure, and conceptual orientations of the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation in management research using bibliometric methods. Taken together, the answers to the research questions indicate that the field emerged after 2015, gained momentum after 2020, and expanded particularly around artificial intelligence,

automation, trust, decision-making, and human resource management. Annual production and citation trends show that algorithm aversion and algorithm appreciation are not temporary areas of interest in the management literature; rather, as algorithmic decision systems are embedded in organizational decision-making processes, they have become a permanent and growing field of debate. This finding supports the view that the behavioral decision-making discussion developed by Dietvorst et al. (2015), Logg et al. (2019), and Jussupow et al. (2024) has today expanded to encompass human resource management, platform work, human–artificial intelligence interaction, and algorithmic governance.

The study's findings indicate that the field is not shaped by a single discipline or a narrow group of researchers. While Dietvorst et al. (2015) constitute the founding core of the algorithm aversion literature, Prahl and Van Swol (2017), Burton et al. (2020), Logg et al. (2019), Hou and Jung (2021), and Jussupow et al. (2024) have expanded this core to include trust, advice-taking, human–algorithm comparison, and algorithm appreciation. The most relevant sources come from different disciplines, including Computers in Human Behavior, Journal of Behavioral Decision Making, Frontiers in Psychology, International Journal of Human-Computer Interaction, and Management Science, showing that the field is positioned at the intersection of behavioral decision-making, information systems, psychology, and human–computer interaction from the perspective of management research. This result indicates that attitudes toward algorithmic decision systems cannot be explained solely by technical performance; they should be evaluated together with human behavior, organizational context, and the decision environment.

The study's conceptual findings show that the concepts of “algorithm aversion,” “decision-making,” “advice,” “trust,” “automation,” “artificial intelligence,” and “algorithm appreciation” are central to the literature. This structure reveals that algorithm aversion and algorithm appreciation are not two separate research lines, but complementary concepts that converge around trust, control, task characteristics, and acceptance in the human–algorithm relationship. The positioning of the “algorithm aversion–decision-making–advice” cluster as a motor theme on the thematic map indicates that the field continues to revolve around the question of whether to trust or resist algorithmic advice. The prominence of the “trust–automation–technology” cluster as a basic theme suggests that trust is the main explanatory mechanism for the acceptance of algorithmic decision systems in management contexts. These results are consistent with the mechanisms of task characteristics, learnability, and uncertainty emphasized by Castelo et al. (2019), Berger et al. (2021), Reich et al. (2023), and Schecter et al. (2023).

Theoretically, this study situates the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation within an integrative framework in management research. While existing studies mostly focus on either aversion or appreciation mechanisms, this study shows that the two concepts are different aspects of the same human–algorithm relationship that emerge under different conditions. In this way, the study offers a broader theoretical ground that explains attitudes toward algorithmic decision systems not through a simple acceptance–rejection dichotomy, but through trust, task characteristics, error tolerance, decision autonomy, transparency, justice, and human oversight. When evaluated together with the findings of Park et al. (2021), Maasland and Weißmüller (2022), Kim et al. (2025), and Tandon et al. (2025) in the context of human resource management, algorithmic HRM emerges not merely as a technology application that provides efficiency, but as an organizational decision system related to employee trust, justice perceptions, and managerial legitimacy.

In practice, the findings show that focusing solely on accuracy, speed, and cost advantages is insufficient when managers and human resource professionals adapt algorithmic systems within organizations. For algorithmic systems to be used in recruitment, performance evaluation, promotion, compensation, or disciplinary processes, employees need to perceive these systems as explainable, auditable, and fair. Transparency, interpretability, appeal mechanisms, human intervention, and the clear definition of decision responsibility may reduce algorithm aversion. Findings from platform work also support this recommendation; while algorithmic transparency increases acceptance by reducing workers' fear, the severity of algorithmic punishment may strengthen aversion (Shen et al., 2026; Yang et al., 2026). Therefore, organizations should design algorithmic decision systems not as closed, one-way control tools but as auditable, feedback-oriented decision infrastructures that support human judgment.

Methodologically, this study maps the literature on algorithm aversion and algorithm appreciation using bibliometric methods and presents the field's developmental trajectory, influential actors, intellectual core, and thematic orientations. By combining the Web of Science Core Collection dataset, Bibliometrix/Biblioshiny analyses, co-citation network, keyword co-occurrence network, word cloud, and thematic mapping, both the performance and conceptual structure of the literature have been made visible. In this respect, unlike individual literature reviews, the study reveals the field's overall architecture through quantitative mapping. Drawing on the bibliometric approach emphasized by Zupic and Čater (2015) for management and organization research, this study systematically shows which concepts, sources, and research clusters the field of algorithm aversion and algorithm appreciation has developed around.

However, the study has some limitations. First, the data set was constructed solely from the Web of Science Core Collection; including databases such as Scopus, Dimensions, PubMed, ACM Digital Library, or Google Scholar could provide a broader view of the literature. Second, the search strategy was built around the concepts of “algorithm aversion,” “algorithmic aversion,” “algorithm appreciation,” and “algorithmic appreciation”; a broader inclusion of related concepts such as “automation bias,” “AI trust,” “algorithmic management,” “people analytics,” or “human-AI collaboration” may reveal different clusters. Third, because publication and citation data for 2026 were obtained before the year ended, the findings for this period should be interpreted with caution. Fourth, although bibliometric analyses strongly reveal the structure of the literature, they are limited in providing an in-depth examination of the theoretical arguments of individual studies; therefore, the findings can be supported by a systematic literature review or qualitative content analysis.

Future research should examine both algorithm aversion and algorithm appreciation across different organizational levels and cultural contexts. In particular, in high-stakes areas of human resource management, such as recruitment, performance evaluation, promotion, dismissal, and algorithmic monitoring, the differing reactions of employees, managers, and HR professionals to algorithmic systems can be compared. In addition, the effects of mechanisms such as algorithmic transparency, explainability, human intervention, the right to appeal, and algorithmic justice on aversion and appreciation can be tested through experimental, longitudinal, and multilevel research designs. Considering the cultural differences emphasized by Liu et al. (2023), comparative studies that go beyond Western-centered samples are also important. This study positions algorithm aversion and algorithm appreciation as an emerging field that explains, from the perspective of management research, the conditions under which human–algorithm collaboration becomes trustworthy, fair, and acceptable; it also proposes a strong future research agenda organized around trust, control, transparency, justice, and human oversight.

References

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Berger, B., Adam, M., Rühr, A., & Benlian, A. (2021). Watch me improve—Algorithm aversion and demonstrating the ability to learn. *Business & Information Systems Engineering*, 63(1), 55–68.
- Burton, J. W., Stein, M.-K., & Jensen, T. B. (2020). A systematic review of algorithm aversion in augmented decision making. *Journal of Behavioral Decision Making*, 33(2), 220–239.
- Castelo, N., Bos, M. W., & Lehmann, D. R. (2019). Task-dependent algorithm aversion. *Journal of Marketing Research*, 56(5), 809–825.
- Cheng, L., & Chouldechova, A. (2023). Overcoming algorithm aversion: A comparison between process and outcome control. *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581253>
- 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.

- Filiz, I., Judek, J. R., Lorenz, M., & Spiwoks, M. (2023). The extent of algorithm aversion in decision-making situations with varying gravity. *PLOS ONE*, 18(2), e0278751.
- Hou, Y. T.-Y., & Jung, M. F. (2021). Who is the expert? Reconciling algorithm aversion and algorithm appreciation in AI-supported decision making. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CSCW2), Article 477.
- Jin, X., & Li, J. (2025). The influence of algorithm aversion and algorithm appreciation among consumers in unstructured tasks. *International Journal of Consumer Studies*, 49(6), e70133. <https://doi.org/10.1111/ijcs.70133>
- Jung, M., & Seiter, M. (2021). Towards a better understanding on mitigating algorithm aversion in forecasting: An experimental study. *Journal of Management Control*, 32, 495–516.
- Jussupow, E., Benbasat, I., & Heinzl, A. (2024). An integrative perspective on algorithm aversion and appreciation in decision-making. *MIS Quarterly*, 48(4), 1575–1590.
- Kim, S., Khoreva, V., & Vaiman, V. (2025). Strategic human resource management in the era of algorithmic technologies: Key insights and future research agenda. *Human Resource Management*, 64(2), 447–464.
- Liu, N. T. Y., Kirshner, S. N., & Lim, E. T. K. (2023). Is algorithm aversion WEIRD? A cross-country comparison of individual-differences and algorithm aversion. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 72, 103259.
- Logg, J. M., Minson, J. A., & Moore, D. A. (2019). Algorithm appreciation: People prefer algorithmic to human judgment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 151, 90–103.
- Maasland, C., & Weißmüller, K. S. (2022). Blame the machine? Insights from an experiment on algorithm aversion and blame avoidance in computer-aided human resource management. *Frontiers in Psychology*, 13, 779028.
- Park, H., Ahn, D., Hosanagar, K., & Lee, J. (2021). Human-AI interaction in human resource management: Understanding why employees resist algorithmic evaluation at workplaces and how to mitigate burdens. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445304>
- Prahl, A., & Van Swol, L. (2017). Understanding algorithm aversion: When is advice from automation discounted? *Journal of Forecasting*, 36(6), 691–702.
- Reich, T., Kaju, A., & Maglio, S. J. (2023). How to overcome algorithm aversion: Learning from mistakes. *Journal of Consumer Psychology*, 33(2), 285–302.
- Schechter, A., Bogert, E., & Lauharatanahirun, N. (2023). Algorithmic appreciation or aversion? The moderating effects of uncertainty on algorithmic decision making. *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Shen, J., Niu, Y., Guo, Z. C., & Chai, Y. (2026). Algorithm aversion among workers in on-demand platforms: An exploration in the context of ride-hailing. *Management System Engineering*, 5, Article 4. <https://doi.org/10.1007/s44176-026-00060-x>
- Tandon, A., Dhir, A., Malik, A., Budhwar, P., & Kaur, P. (2025). Exploring the duality of perceptions: Insights into uncertainties, aversion and appreciation towards algorithmic HRM. *Human Resource Management*, 64, 583–616.
- Yang, Y., Chen, K., & Dong, J. (2026). Enhancing gig workers' acceptance and mitigating algorithm aversion: Impact of algorithmic transparency from the cognitive appraisal theory perspective. *The International Journal of Human Resource Management*, 36(22), 4100–4131. <https://doi.org/10.1080/09585192.2026.2632207>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.

TOURISM MARKETING AND DIGITAL EXPERIENCE

Assoc. Prof. Dr. Resul ÖZTÜRK

Selcuk University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 42130 Selçuklu, Konya

ORCID ID: 0000-0003-1493-7315

ABSTRACT

This study examines the scientific development, conceptual structure, thematic orientations, and global research networks of the tourism marketing and digital experience literature through bibliometric analysis. The dataset, retrieved from the Web of Science Core Collection database, consists of 229 studies published between 2000 and 2026. The data were analyzed in the RStudio environment using the bibliometrix package and the Biblioshiny interface. The analyses included annual scientific production, source and author productivity, local citation structure, country productivity, international collaborations, keyword distribution, co-citation networks, co-occurrence networks, thematic mapping, and trend topic analyses. The findings indicate that research on tourism marketing and digital experiences gained significant momentum after 2015 and evolved into a more visible and institutionalized research field after 2020. The conceptual backbone of the literature is shaped around concepts such as satisfaction, tourist experience, destination image, social media, customer experience, loyalty, and behavioral intention. The thematic structure demonstrates that the field has developed a strong theoretical foundation centered on experience, satisfaction, and destination image, while digital themes such as social media, customer engagement, co-creation, virtual reality, and the metaverse have emerged as expanding research areas. Country-level analyses reveal that scientific production is heavily concentrated in China, while Spain, the United States, Portugal, and Malaysia also make significant contributions to the field. The study shows that tourism marketing literature has evolved from its traditional experience- and destination-oriented structure toward digital, interactive, and hybrid forms of experience, thereby providing a comprehensive knowledge map for future research.

Keywords: Tourism Marketing, Digital Experience, Tourist Experience, Destination Marketing, Bibliometric Analysis.

TURİZM PAZARLAMASI VE DİJİTAL DENEYİM

ÖZET

Bu çalışma, turizm pazarlaması ve dijital deneyim literatürünün bilimsel gelişimini, kavramsal yapısını, tematik yönelimlerini ve küresel araştırma ağlarını bibliyometrik analiz yoluyla incelemektedir. Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilen veri seti, 2000–2026 döneminde yayımlanan 229 çalışmadan oluşmaktadır. Veriler RStudio ortamında bibliometrix paketi ve Biblioshiny arayüzü kullanılarak analiz edilmiş; yıllık bilimsel üretim, kaynak ve yazar üretkenliği, yerel atıf yapısı, ülke üretimi, uluslararası iş birlikleri, anahtar kelime dağılımı, ortak atıf ağı, eş-oluşum ağı, tematik harita ve trend konu analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular, turizm pazarlaması ve dijital deneyim araştırmalarının 2015 sonrasında belirgin biçimde ivme kazandığını, 2020 sonrasında ise daha görünür ve kurumsallaşan bir araştırma alanına dönüştüğünü göstermektedir. Literatürün kavramsal omurgası memnuniyet, turist deneyimi, destinasyon imajı, sosyal medya, müşteri deneyimi, sadakat ve davranışsal niyet kavramları etrafında şekillenmektedir. Tematik yapı, alanın deneyim, memnuniyet ve imaj ekseninde güçlü bir teorik zemin geliştirdiğini; sosyal medya, müşteri bağlılığı, ortak değer yaratımı, sanal gerçeklik ve metaverse gibi dijital temaların ise güncel genişleme alanlarını oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Ülke analizleri, bilimsel üretimin özellikle Çin merkezli yoğunlaştığını; İspanya, ABD, Portekiz ve Malezya'nın da alana anlamlı katkılarda bulunduğunu göstermektedir. Çalışma, turizm pazarlaması literatürünün geleneksel deneyim ve destinasyon odaklı

yapısından dijital, etkileşimli ve hibrit deneyim biçimlerine doğru evrildiğini ortaya koyarak gelecek araştırmalar için bütüncül bir bilgi haritası sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Turizm Pazarlaması, Dijital Deneyim, Turist Deneyimi, Destinasyon Pazarlaması, Bibliyometrik Analiz.

1. INTRODUCTION

Digitalization is reshaping the way destinations interact with tourists in tourism marketing. Today, travelers no longer evaluate destinations only through official promotional channels. Instead, expectations about destinations are increasingly formed through social media content, online reviews, mobile applications, virtual experiences, and user-generated narratives. As a result, destination marketing has gradually moved away from a one-way promotional logic toward a structure built around experience, interaction, and participation (Doolin et al., 2002; Gretzel et al., 2000; Park & Gretzel, 2007).

In tourism, experiential value emerges throughout the entire journey, from the pre-travel stage to post-travel reflections and sharing. For this reason, digital environments are no longer simply tools that support tourists' decision-making processes. They have become influential spaces where destination image, satisfaction, memorability, and revisit intention are shaped. The literature on the experience economy, customer experience management, and service-dominant logic suggests that tourists should not be viewed as passive consumers, but rather as active participants who co-create experiential value (Pine & Gilmore, 1998; Vargo & Lusch, 2004; Hwang & Seo, 2016; Kandampully et al., 2018).

Over the last few years, technologies such as social media, smart tourism, virtual reality, augmented reality, and the metaverse have accelerated this transformation even further. These technologies allow destinations to offer more personalized, interactive, and context-sensitive experiences to tourists. At the same time, however, the idea of "digital experience" has evolved in a fragmented way across different streams of literature. Research on web-based marketing, customer experience, destination image, memorable tourism experiences, digital storytelling, and virtual tourism all contribute to the same field, yet comprehensive evaluations of how this body of knowledge is structured remain relatively limited (Neuhofer et al., 2012; Buhalis & Foerste, 2015; Huang et al., 2016; Gursöy et al., 2022).

Against this background, the present study aims to reveal the developmental pattern, core sources, conceptual focus, and thematic structure of the tourism marketing and digital experience literature. Such an assessment is important because it helps clarify which concepts have matured within the field, which themes have become central, and which research directions may gain greater visibility in the future. In this respect, the study positions the tourism marketing literature on digital experience within a broader framework centered on experience, image, satisfaction, social media, and co-creation of value, rather than treating it merely as a collection of fragmented technology discussions (Zhang et al., 2018; Rather, 2020; Buhalis et al., 2023).

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

Tourism marketing is gradually moving beyond traditional promotional activities aimed merely at increasing destination visibility. Instead, it is evolving toward a more holistic approach in which tourist experiences are designed across both physical and digital touchpoints. Because tourism products are intangible, variable, and difficult to fully evaluate before consumption, tourists increasingly rely on digital information sources, online reviews, social media content, and virtual representations during their decision-making processes. In this sense, digital channels have become strategic spaces that shape destination image, expectations, and perceived experiential value (Doolin et al., 2002; Gretzel et al., 2000; Park & Gretzel, 2007).

The theoretical background of this transformation is closely connected to the literature on the experience economy and customer experience management. The experience economy perspective explains competitive advantage not simply through the delivery of products or services, but through the ability

to create meaningful and memorable experiences that leave a lasting impression on consumers. This perspective has a particularly strong relevance in tourism, where perceived value is formed through the emotional, cognitive, sensory, and social effects generated by the combination of transportation, accommodation, gastronomy, attractions, and destination atmosphere (Pine & Gilmore, 1998, 1999; Hwang & Seo, 2016; Kandampully et al., 2018).

Tourist experience itself cannot be reduced to the moment of travel alone. It is a multi-stage process that includes pre-travel information search and expectation formation, physical and digital interactions during the trip, and post-travel sharing and recollection practices. Research on technology-enhanced destination experiences shows that digital tools increasingly position tourists as active participants in the experience process. For this reason, digital experience should be understood as a complementary layer that precedes, accompanies, and extends the physical travel experience beyond the journey itself (Neuhofer et al., 2012; Godovykh & Tasci, 2020; Rather, 2020).

Interaction, personalization, and co-creation lie at the center of digital experience. According to service-dominant logic, value is not a fixed output delivered unilaterally by businesses; rather, it emerges dynamically through interactions among tourists, destinations, technologies, and other stakeholders. Through smart destinations, mobile technologies, social media, sensor-based systems, and context-aware applications, tourism businesses are increasingly able to provide tourists with real-time, personalized, and situationally relevant recommendations. As a result, tourism marketing is shifting from standardized message production toward context-sensitive experience management (Vargo & Lusch, 2004, 2008; Wang et al., 2013; Buhalis & Foerste, 2015).

Virtual reality, three-dimensional virtual destinations, and metaverse applications have further intensified and expanded digital experiences. These technologies allow potential tourists to explore destinations before visiting them physically, experience simulated environments, and develop emotional connections with destinations in advance. By combining physical and virtual worlds, the metaverse also enables tourists to participate in the co-creation of experiences through avatars, virtual communities, and interactive environments. Such digital environments can therefore be considered hybrid marketing spaces that shape travel decisions, strengthen expectations, and reinforce post-experience memories (Huang et al., 2013; Huang et al., 2016; Gursoy et al., 2022; Buhalis et al., 2023).

At the same time, the sensory and embodied nature of tourism experiences reveals the conceptual limits of digitalization. While visual and auditory content can generate strong associations with destinations, elements such as taste, smell, touch, atmosphere, and physical presence continue to preserve the unique value of physical experience. When gastronomy, local culture, and multisensory destination elements are represented digitally, they become experiential symbols that strengthen tourists' imagination and expectations. In this context, the role of digital marketing is not to replace physical experience, but to make these sensory dimensions visible, narratable, and mentally imaginable before travel occurs (Agapito et al., 2013; Quan & Wang, 2004; du Rand et al., 2003; du Rand & Heath, 2006).

Experience quality also serves as one of the main mechanisms explaining how digital touchpoints influence marketing outcomes. Tourists' perceptions of service and performance quality shape their experience quality, while experience quality affects satisfaction, memorability, and revisit intention. For this reason, digital experience should be evaluated not only in terms of accessibility, visibility, or information delivery, but also through the emotional, educational, interactive, and memorable benefits it creates for tourists. As experiences become stronger and more meaningful, the likelihood of satisfaction, loyalty, and positive word-of-mouth communication also increases (Cole & Scott, 2004; Ali et al., 2016; Ali et al., 2018).

Memorable tourism experiences further clarify the relationship between digital marketing and behavioral intentions. Destination image, country image, social media narratives, online reviews, and digital storytelling all influence how tourists remember and communicate their experiences to others. Digital storytelling, in particular, transforms destination branding from a one-way promotional discourse into a multi-actor narrative ecosystem co-created by tourists, local communities, businesses, and institutions. In this way, digital experience becomes a strategic marketing foundation that supports

destination memorability, sharing behavior, and revisit preferences (Zhang et al., 2018; Bassano et al., 2019; Morrison, 2023).

Within this framework, the relationship between tourism marketing and digital experience can be conceptualized at three different levels. At the first level, digital technologies influence tourists' information search behavior, destination image formation, and decision-making processes. At the second level, digital touchpoints enable the personalization and co-creation of experiences before, during, and after travel. At the third level, digital experience contributes to outcomes such as experience quality, memorability, satisfaction, destination identification, loyalty, revisit intention, and electronic word-of-mouth communication. Contemporary tourism marketing should therefore be understood as a strategic architecture that integrates both physical and digital experience spaces (Morrison, 2023; Buhalis & Foerste, 2015; Godovykh & Tasci, 2020).

3. METHOD

This study is based on a bibliometric analysis approach in order to examine the development, conceptual structure, and thematic orientations of scientific production in the field of tourism marketing and digital experience. Bibliometric analysis is a quantitative science mapping method that makes it possible to systematically identify publication trends, influential sources, core concepts, research clusters, and geographical production patterns within a specific research field (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021). The method was preferred because it allows researchers not only to evaluate the growth of a field in terms of publication volume, but also to better understand its intellectual and thematic structure.

The dataset of the study was retrieved from the Web of Science Core Collection database. The search strategy was designed to capture the intersection between tourism marketing and digital experience research. In this context, concepts related to tourism marketing, destination marketing, hospitality marketing, travel marketing, and destination branding were combined with concepts such as digital experience, online experience, virtual experience, digital customer experience, tourist experience, and customer experience. In addition, terms associated with digital technologies and digital transformation — including social media, online platforms, mobile applications, virtual reality, augmented reality, the metaverse, and smart tourism — were also incorporated into the search process. The search query used in the study is presented below:

TS = ("tourism marketing" OR "destination marketing" OR "hospitality marketing" OR "travel marketing" OR "destination branding") AND ("digital experience" OR "online experience" OR "virtual experience" OR "digital customer experience" OR "tourist experience" OR "customer experience") AND ("digital technolog*" OR "digital transformation" OR "social media" OR "online platform*" OR "mobile app*" OR "virtual reality" OR "augmented reality" OR metaverse OR "smart tourism")

As a result of the search process, 229 studies published between 2000 and 2026 were included in the final dataset. The bibliographic records downloaded from the Web of Science Core Collection contained standard bibliometric information such as authors, titles, abstracts, keywords, publication sources, publication years, country affiliations, citation data, and references. Before the analysis stage, the dataset was reviewed in terms of duplicate records, incomplete bibliographic information, and topic relevance. This process ensured that the analysis focused directly on studies aligned with the scope of the research.

The data were analyzed in the RStudio environment using the bibliometrix package and the Biblioshiny interface. Bibliometrix is a widely used open-source tool designed for cleaning, transforming, analyzing, and visualizing bibliometric data (Aria & Cuccurullo, 2017). The Biblioshiny interface enabled the visualization of findings and allowed different bibliometric indicators to be evaluated comparatively.

The study aims to reveal the developmental pattern, key sources, conceptual focus, and thematic structure of the tourism marketing and digital experience literature. In line with this purpose, the following research questions were addressed:

RQ1: How has the tourism marketing and digital experience literature evolved between 2000 and 2026, and around which publication sources has it become concentrated?

RQ2: Through which core concepts and research clusters is the conceptual and thematic structure of the field shaped?

RQ3: What do country production trends and bibliometric findings reveal about the current state of the field and its possible future research directions?

4. FINDINGS

This section presents the main bibliometric findings related to the development, conceptual structure, thematic orientations, and international research collaborations within the digital experience literature in tourism marketing. In this context, publication and citation trends over time, lifecycle analysis, the most productive authors and journals, keyword distributions, thematic structures, co-occurrence networks, and country collaboration patterns are examined in order to provide a comprehensive overview of the intellectual evolution of the field. The findings collectively reveal that research on digital experience in tourism marketing has expanded rapidly in recent years and has increasingly developed around themes such as tourist experience, destination image, social media, technological innovation, and customer engagement.

Figure 1. Distribution of publications and citations by year in the digital experience literature in tourism marketing

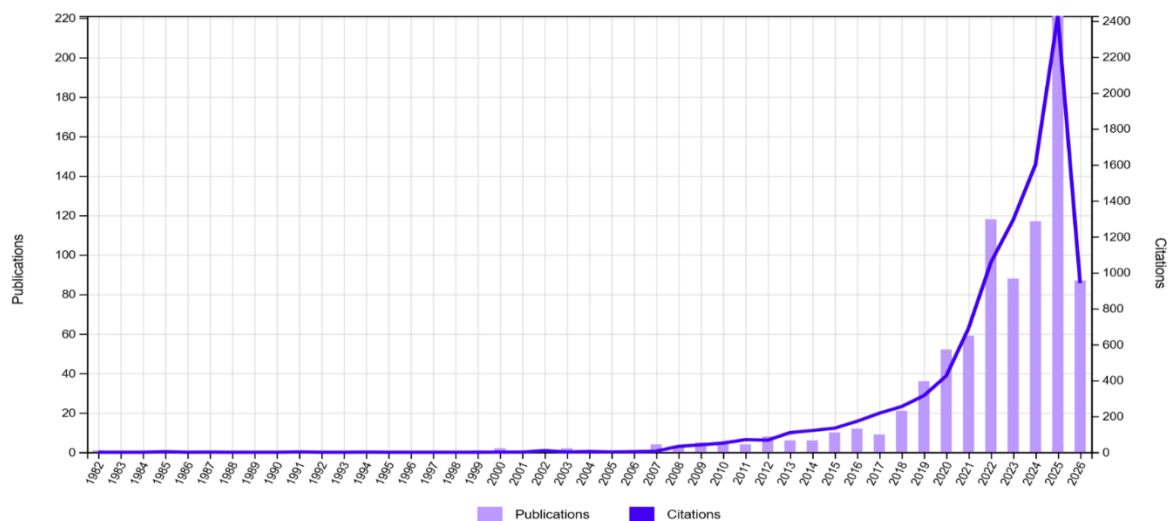


Figure 1 presents the number of articles published in indexed journals on digital experience in tourism marketing between 1982 and 2026, together with the annual citation counts received by these studies. The graph shows that the literature remained relatively stagnant from 1982 to 2006, representing an early and limited stage of development. Between 2007 and 2017, the field began to gain visibility and entered a period of modest but steady growth. The major turning point, however, emerged after 2018, alongside the rapid acceleration of digital transformation and technological integration in tourism-related services and experiences. Academic production reached its highest level in 2025 with 220 publications. Parallel to this sharp increase in publication output, the citation curve also demonstrated a steep upward trend, peaking at nearly 2,400 citations in the same year. The partial decline observed in 2026 should be interpreted cautiously, as it reflects the incomplete nature of the current data collection period rather than a decline in academic interest. Overall, the findings indicate that digital

experience in tourism marketing has evolved into a rapidly expanding and highly influential research area with strong visibility in the contemporary global literature.

Figure 2. Lifecycle model of the digital experience literature in tourism marketing

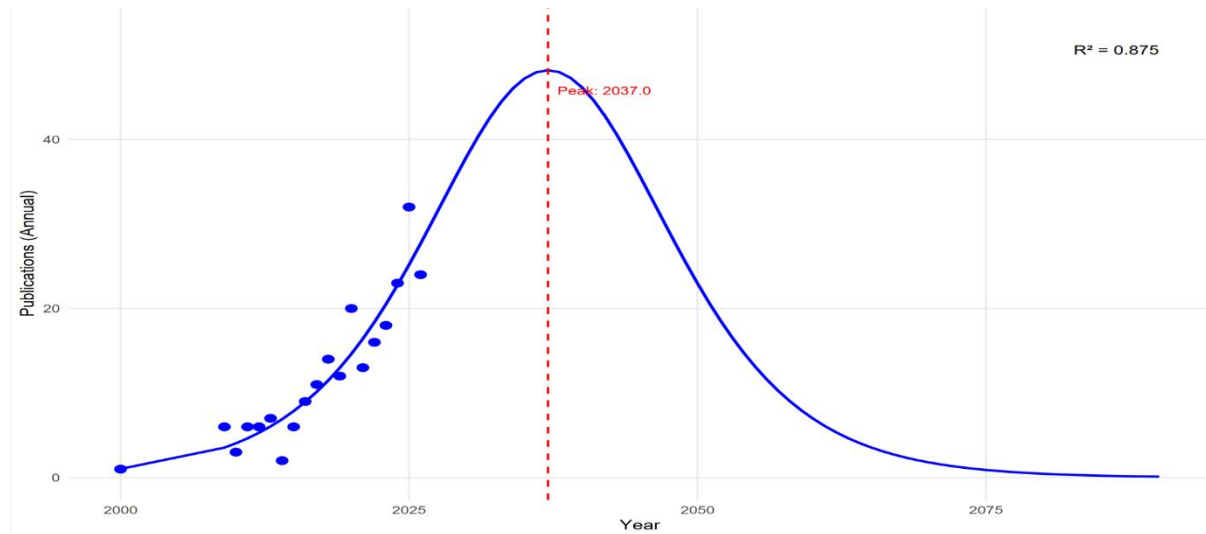


Figure 2 presents the results of the lifecycle model analysis conducted to examine the temporal development dynamics and future growth projection of the digital experience literature in tourism marketing. In the graph, the blue curve represents the overall trend in annual publication output together with the estimated lifecycle trajectory of the field, while the red dashed line indicates the projected peak point at which the research area is expected to reach its highest level of maturity and publication intensity. According to the model findings, scientific production related to digital experience in tourism marketing is expected to continue its current dynamic growth trajectory and reach its peak around the year 2037 (Peak: 2037.0). Following this peak period, the literature is projected to gradually enter a stage of saturation and slower growth. The explanatory power of the model is also notably high, with a coefficient of determination of $R^2=0.875$. This strong fit suggests that the variation in publication output over time is well explained by the model and that the literature currently follows a relatively predictable and stable growth pattern while moving rapidly toward maturation.

Figure 3. Distribution of the most productive authors in the digital experience literature in tourism marketing

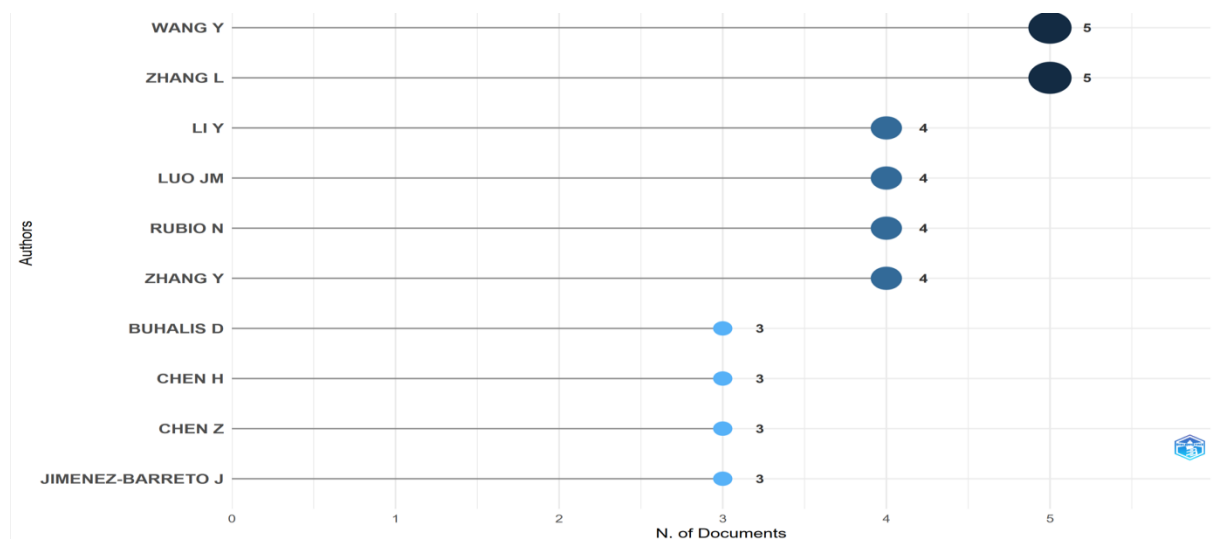


Figure 3 presents the ten most productive authors in the literature together with their publication counts. The findings show that Wang Y. and Zhang L. stand out as the leading contributors, each with five publications. They are followed by Li Y., Luo J. M., Rubio N., and Zhang Y., each with four publications. Meanwhile, Buhalis D., Chen H., Chen Z., and Jimenez-Barreto J. have each produced three studies and appear to maintain a consistent level of scholarly contribution within the field. Overall, the findings suggest that the digital experience literature in tourism marketing has largely been shaped by Asia-based researchers alongside internationally recognized scholars such as Buhalis D. The distribution also reflects a relatively balanced academic production structure rather than domination by a single author or research group.

Figure 4. Distribution of the most productive journals in the digital experience literature in tourism marketing

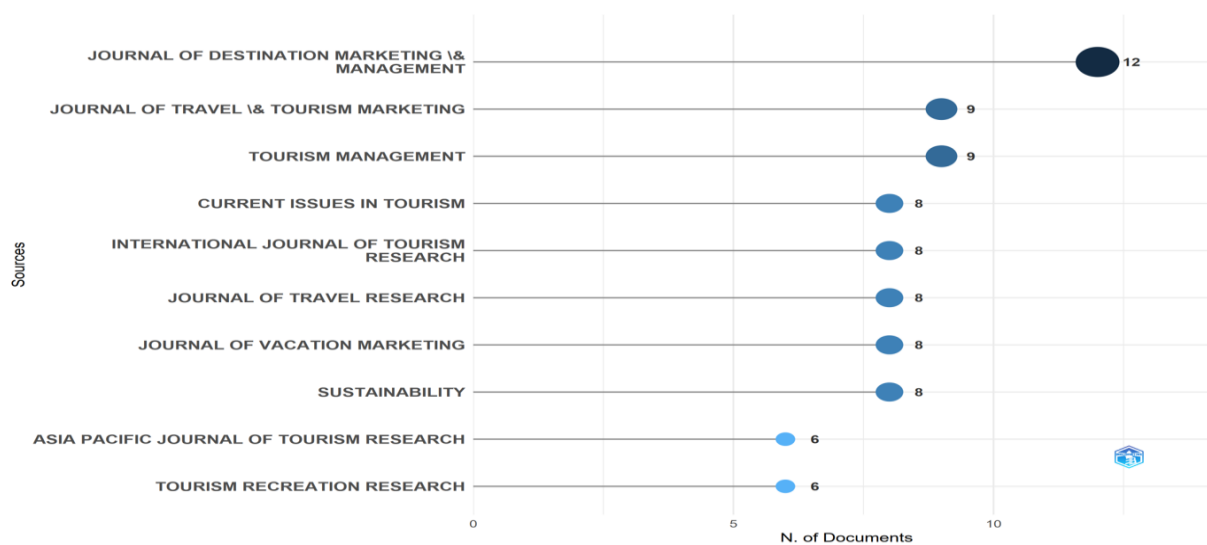


Figure 4 presents the leading journals publishing research on digital experience in tourism marketing together with their publication frequencies. Among these journals, Journal of Destination Marketing & Management ranks first with 12 publications, making it the most prominent outlet in the field. It is followed by Journal of Travel & Tourism Marketing and Tourism Management, each with nine publications, highlighting the strong theoretical connection between digital experience research and tourism marketing strategies. Other influential journals include Current Issues in Tourism, International Journal of Tourism Research, Journal of Travel Research, Journal of Vacation Marketing, and Sustainability, each contributing eight publications to the literature. Taken together, these findings demonstrate that scientific output in this field is concentrated within highly influential and well-established journals in tourism and hospitality management.

Figure 5. Word cloud analysis of keywords in the digital experience literature in tourism marketing



Figure 5 presents the results of the keyword word cloud analysis conducted to visualize the most frequently recurring concepts and major focal points within the literature on digital experience in tourism marketing. The most prominent concept appearing at the center of the cloud is satisfaction, indicating that tourist satisfaction remains the primary dependent variable and one of the central outcomes in digital experience research. In addition, concepts such as tourist experience, tourism marketing, destination image, and social media stand out with high frequencies, reflecting the conceptual boundaries of the field. A closer examination of the thematic clusters within the word cloud also reveals the strong presence of technology-oriented concepts such as virtual reality and augmented reality. At the same time, concepts including behavioral intentions, loyalty, quality, and co-creation highlight the growing importance of consumer behavior and relationship-oriented perspectives within the literature. Overall, the word cloud analysis demonstrates that the digital experience literature in tourism marketing has developed around an integrated framework focused on enriching tourist experiences through technological tools, strengthening destination image, and ultimately improving tourist satisfaction and loyalty.

Figure 6. Thematic map of the digital experience literature in tourism marketing

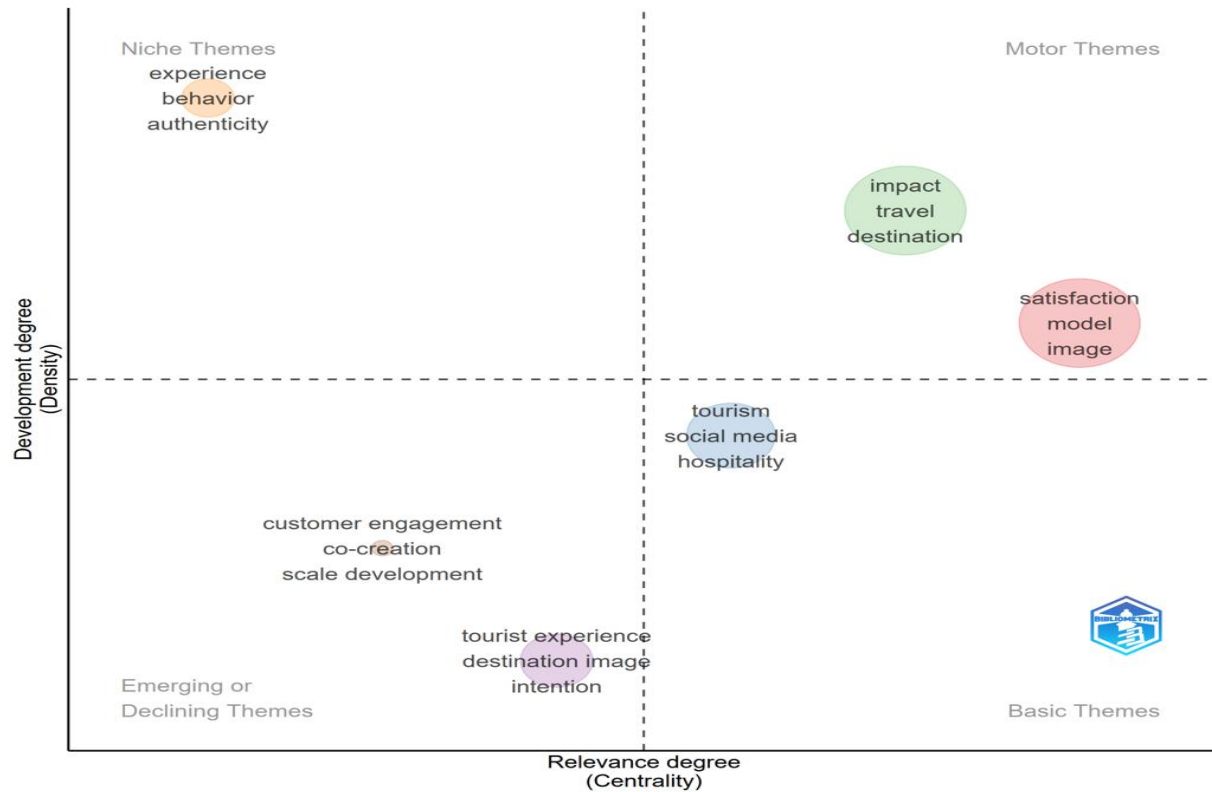


Figure 6 presents the thematic map analysis designed to reveal the conceptual structure and intellectual tendencies within the digital experience literature in tourism marketing through the dimensions of centrality and density. The clusters located in the upper-right quadrant — impact-travel-destination and satisfaction-model-image — possess both high density and high centrality values, indicating that these themes are not only highly developed internally but also strongly connected to the overall structure of the field. These can therefore be interpreted as the main motor themes driving the literature. The clusters positioned near the lower-right quadrant and around the axis intersections — namely tourism-social media-hospitality and tourist experience-destination image-intention — represent the core themes that shape the general backbone of the field. Although these themes are highly central to the literature, they still appear to offer room for further conceptual deepening. In the lower-left quadrant, the customer engagement-co-creation-scale development cluster displays relatively low centrality and density values. This suggests that issues such as customer participation and scale development within digital experience research are still emerging and have not yet fully matured within the literature. Finally, the experience-behavior-authenticity cluster located in the upper-left quadrant exhibits high density but relatively low centrality. This indicates that authenticity and experiential behavior constitute specialized and internally developed themes, although their connection to the broader flow of digital experience research remains comparatively limited, positioning them as niche research areas.

Figure 7. Co-occurrence network analysis of keywords in the digital experience literature in tourism marketing

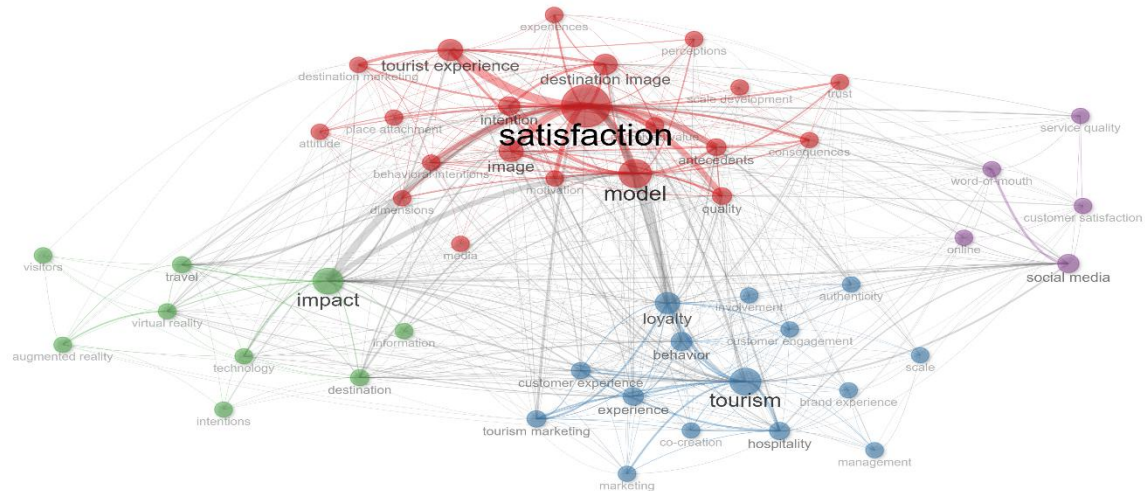


Figure 7 presents the results of the keyword co-occurrence network analysis conducted to identify the conceptual patterns, intellectual structure, and thematic focus groups within the digital experience literature in tourism marketing. The resulting network structure groups concepts into four main thematic clusters according to the strength of their relationships and conceptual proximity. The red cluster, located at the center of the network with the largest node size and strongest connection lines, is organized around the concept of satisfaction. This cluster combines key concepts such as tourist experience, destination image, model, and image, representing the outcome-oriented structure of digital experience research. The green cluster is structured around the concept of impact and includes technological concepts such as virtual reality, augmented reality, and technology. This cluster reflects research focusing on the influence of technological tools on travel and destination processes. The blue cluster is centered around the concept of tourism and incorporates themes such as loyalty, behavior, customer engagement, and co-creation. It mainly represents the consumer behavior, relationship marketing, and hospitality dimensions of digital experience studies. Finally, the purple cluster revolves around social media and reflects the digital communication dimension of the field, focusing on online environments, word-of-mouth communication, and customer satisfaction. Taken together, the network analysis demonstrates that the literature follows an integrated conceptual structure in which technological innovations and social media channels contribute to digital experience formation, which is then interpreted through tourism and consumer behavior perspectives and ultimately linked to destination image and tourist satisfaction outcomes.

Figure 8. Country collaboration and global publication network map in the digital experience literature in tourism marketing

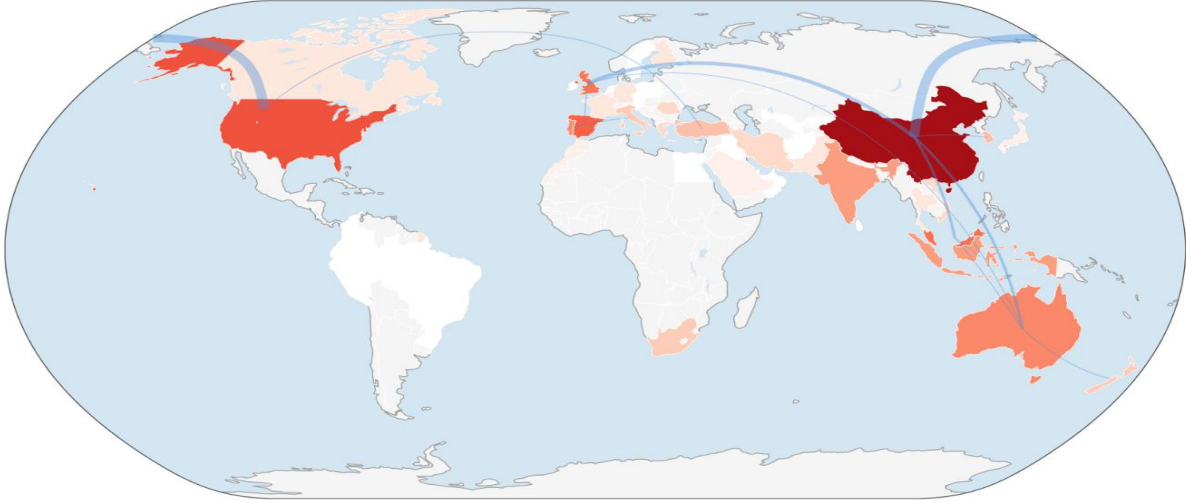


Figure 8 presents the results of the global collaboration network analysis conducted to reveal both the geographical distribution of scientific production and the patterns of international academic collaboration within the digital experience literature in tourism marketing. In the map, color intensity reflects the total publication output of countries, while the blue connection lines and their thickness indicate the strength and frequency of international collaborations and co-authored publications. The visualization clearly shows that China, represented by the darkest color intensity, holds the leading position in terms of publication volume within the literature. China is followed by the United States, Spain, the United Kingdom, and Australia, all of which demonstrate strong publication productivity and academic influence within the field. When collaboration links are examined more closely, the strongest and most visible partnership appears between China and the United States. This is followed by significant collaboration corridors between China and Australia, as well as China and the United Kingdom. Countries located in the Mediterranean region, the Middle East, and the Asia-Pacific region — including Türkiye — appear to occupy a developing position within the literature and are gradually becoming more integrated into the global academic network. Overall, the geographical network analysis indicates that although the literature on digital experience in tourism marketing demonstrates a globally multi-centered structure, the main scientific production and strategic international collaborations are largely concentrated around China–US-oriented East–West academic partnerships.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study demonstrates that the literature on tourism marketing and digital experience has shown a clear growth trend between 2000 and 2026. Findings related to the first research question indicate that the field gained noticeable momentum particularly after 2018 and became far more visible in the post-2020 period through discussions surrounding digitalization, social media, virtual reality, smart tourism, and the metaverse. This increase confirms that tourism marketing has gradually shifted away from a traditional promotion-oriented structure toward an approach centered on experience, interaction, and technology-mediated value creation. The findings also suggest that digital experience is no longer a temporary research trend within tourism marketing. Instead, it has evolved into a stable and expanding field closely connected with major marketing outcomes such as destination image, tourist satisfaction, memorable experiences, and revisit intention (Doolin et al., 2002; Neuhofer et al., 2012; Buhalis & Foerster, 2015).

The second research question focused on identifying the main publication sources shaping the field. The results reveal that journals such as *Journal of Destination Marketing & Management*, *Journal of*

Travel & Tourism Marketing, and Tourism Management stand out in terms of publication productivity, while Tourism Management, Annals of Tourism Research, and Journal of Travel Research form the intellectual backbone of the literature through their local citation influence. This pattern demonstrates that research on tourism marketing and digital experience is strongly associated with themes such as destination management, tourist behavior, experience quality, and digital interaction. The concentration of publications within leading journals also suggests that the field has reached a certain level of theoretical maturity while continuing to expand through emerging technologies and new digital practices (Park & Gretzel, 2007; Hwang & Seo, 2016; Kandampully et al., 2018).

With regard to the third research question, the conceptual and thematic findings show that concepts such as satisfaction, tourist experience, destination image, social media, experience, and tourism marketing occupy the center of the literature. This indicates that digital experience research has developed less around technological infrastructure itself and more around perceived value, satisfaction, destination image, and behavioral outcomes. The co-occurrence network and thematic map analyses support this interpretation. Clusters such as satisfaction–model–image and impact–travel–destination represent the motor themes of the field, while tourism–social media–hospitality and tourist experience–destination image–intention emerge as the main research axes. In addition, the positioning of the customer engagement–co-creation–scale development cluster as an emerging theme suggests that future studies are likely to place greater emphasis on customer participation, co-creation, and measurement development (Cole & Scott, 2004; Zhang et al., 2018; Rather, 2020).

Country production trends also reveal that the literature is not geographically balanced. China clearly stands out in terms of publication productivity, indicating the growing strength of Asia-based academic production in areas such as digital tourism, smart destinations, and technology-mediated experiences. Countries such as Spain, the United States, Portugal, and Malaysia appear as other important contributors providing stable support to the field. These findings suggest that digital experience-oriented tourism marketing has become a global research area, although scientific production remains concentrated in a limited number of countries. Future research involving more diverse cultural, economic, and destination contexts may strengthen the generalizability of the literature (Wang et al., 2013; Gursoy et al., 2022; Buhalis et al., 2023).

One of the main theoretical contributions of this study is that it positions the tourism marketing and digital experience literature within an integrated framework centered on experience, image, satisfaction, social media, and co-creation of value, rather than treating digital technologies as fragmented and isolated topics. The findings indicate that digital experience is not limited to tools such as websites, social media platforms, virtual reality, or the metaverse alone. Instead, it represents a multi-stage structure influencing tourists' expectations before travel, interactions during travel, and post-travel remembering and sharing practices. In this respect, the study offers an integrative perspective by bringing together the experience economy, service-dominant logic, and customer experience management approaches within the context of tourism marketing (Pine & Gilmore, 1998; Vargo & Lusch, 2004; Godovykh & Tasci, 2020).

From a practical perspective, the findings suggest that destination managers should not evaluate digital marketing strategies solely in terms of visibility, accessibility, or promotional performance. Since digital touchpoints shape tourists' emotional and cognitive relationships with destinations, elements such as website quality, social media interaction, personalized mobile recommendations, virtual experiences, and user-generated content should be managed as parts of an integrated experience architecture. Destinations should also develop measurement systems linking digital content performance with outcomes such as satisfaction, trust, destination image, memorability, and revisit intention. In particular, social media and digital storytelling should be considered strategic tools that support the co-creation of destination brands by tourists, local communities, and tourism businesses (Bassano et al., 2019; Morrison, 2023).

Three major directions emerge for future research. First, themes related to customer engagement, co-creation, and scale development require more empirical investigation. Second, the effects of virtual reality, augmented reality, and metaverse applications on tourist experience, destination image, and behavioral intentions should be examined comparatively across different cultures and destination types.

Third, future research should explore more deeply how digital experiences integrate with the sensory and embodied dimensions of tourism experiences. In particular, issues related to gastronomy, authenticity, local culture, and multisensory experiences in digital environments appear to offer promising directions for tourism marketing research (Agapito et al., 2013; Quan & Wang, 2004; du Rand & Heath, 2006).

Finally, this study has several limitations. Since the dataset was limited to the Web of Science Core Collection database, some studies indexed in Scopus, Google Scholar, or field-specific databases may not have been included. Although the search strategy was designed carefully to capture the intersection between tourism marketing and digital experience, different keyword combinations could potentially produce broader or alternative results. Moreover, while bibliometric analysis is highly effective in revealing structural and conceptual patterns within a research field, it cannot fully explain the depth and contextual details of individual studies. For this reason, future research may benefit from combining bibliometric findings with systematic literature reviews, content analyses, or meta-synthesis approaches in order to achieve a deeper understanding of the field (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021).

REFERENCES

- Agapito, D., Mendes, J., & Valle, P. (2013). Exploring the conceptualization of the sensory dimension of tourist experiences. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2(2), 62–73.
- Ali, F., Kim, W. G., Li, J., & Jeon, H.-M. (2018). Make it delightful: Customers' experience, satisfaction and loyalty in Malaysian theme parks. *Journal of Destination Marketing & Management*, 7, 1–11.
- Ali, F., Ryu, K., & Hussain, K. (2016). Influence of experiences on memories, satisfaction and behavioral intentions: A study of creative tourism. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 33(1), 85–100.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Bassano, C., Barile, S., Picciocchi, P., Spohrer, J. C., Iandolo, F., & Fisk, R. (2019). Storytelling about places: Tourism marketing in the digital age. *Cities*, 87, 10–20.
- Buhalis, D., & Foerste, M. (2015). SoCoMo marketing for travel and tourism: Empowering co-creation of value. *Journal of Destination Marketing & Management*, 4(3), 151–161.
- Buhalis, D., Lin, M. S., & Leung, D. (2023). Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: Implications for hospitality and tourism management and marketing. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 35(2), 701–716.
- Cole, S. T., & Scott, D. (2004). Examining the mediating role of experience quality in a model of tourist experiences. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 16(1), 79–90.
- 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.
- Doolin, B., Burgess, L., & Cooper, J. (2002). Evaluating the use of the web for tourism marketing: A case study from New Zealand. *Tourism Management*, 23(5), 557–561.
- du Rand, G. E., & Heath, E. (2006). Towards a framework for food tourism as an element of destination marketing. *Current Issues in Tourism*, 9(3), 206–234.
- du Rand, G. E., Heath, E., & Alberts, N. (2003). The role of local and regional food in destination marketing: A South African situation analysis. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 14(3–4), 97–112.
- Godovykh, M., & Tasci, A. D. A. (2020). Customer experience in tourism: A review of definitions, components, and measurements. *Tourism Management Perspectives*, 35, 100694.

- Gretzel, U., Yuan, Y.-L., & Fesenmaier, D. R. (2000). Preparing for the new economy: Advertising strategies and change in destination marketing organizations. *Journal of Travel Research*, 39(2), 146–156.
- Gursoy, D., Malodia, S., & Dhir, A. (2022). The metaverse in the hospitality and tourism industry: An overview of current trends and future research directions. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 31(5), 527–534.
- Huang, Y.-C., Backman, K. F., Backman, S. J., & Chang, L. L. (2016). Exploring the implications of virtual reality technology in tourism marketing: An integrated research framework. *International Journal of Tourism Research*, 18(2), 116–128.
- Huang, Y.-C., Backman, S. J., Backman, K. F., & Moore, D. (2013). Exploring user acceptance of 3D virtual worlds in travel and tourism marketing. *Tourism Management*, 36, 490–501.
- Hwang, J., & Seo, S. (2016). A critical review of research on customer experience management: Theoretical, methodological and cultural perspectives. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 28(10), 2218–2246.
- Kandampully, J., Zhang, T., & Jaakkola, E. (2018). Customer experience management in hospitality: A literature synthesis, new understanding and research agenda. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 30(1), 21–56.
- Morrison, A. M. (2023). *Hospitality and travel marketing* (5th ed.). Routledge.
- Neuhofer, B., Buhalis, D., & Ladkin, A. (2012). Conceptualising technology enhanced destination experiences. *Journal of Destination Marketing & Management*, 1(1–2), 36–46.
- Park, Y. A., & Gretzel, U. (2007). Success factors for destination marketing web sites: A qualitative meta-analysis. *Journal of Travel Research*, 46(1), 46–63.
- Pine, B. J., & Gilmore, J. H. (1998). Welcome to the experience economy. *Harvard Business Review*, 76(4), 97–105.
- Pine, B. J., & Gilmore, J. H. (1999). *The experience economy: Work is theatre and every business a stage*. Harvard Business School Press.
- Quan, S., & Wang, N. (2004). Towards a structural model of the tourist experience: An illustration from food experiences in tourism. *Tourism Management*, 25(3), 297–305.
- Rather, R. A. (2020). Customer experience and engagement in tourism destinations: The experiential marketing perspective. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 37(1), 15–32.
- Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a new dominant logic for marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1–17.
- Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2008). Service-dominant logic: Continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(1), 1–10.
- Wang, D., Li, X. R., & Li, Y. (2013). China's smart tourism destination initiative: A taste of the service-dominant logic. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2(2), 59–61.
- Zhang, H., Wu, Y., & Buhalis, D. (2018). A model of perceived image, memorable tourism experiences and revisit intention. *Journal of Destination Marketing & Management*, 8, 326–336.

OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ MÜZE EĞİTİMİNE YÖNELİK METAFORİK ALGILARININ İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Betül KAYA

Kastamonu University, Institute of Graduate Studies, 37150 Kuzeykent, Kastamonu, Türkiye

ORCID ID: 0009-0009-4168-7535

Doç. Dr. Adem YILMAZ

Kastamonu University, Faculty of Education, 37150 Kuzeykent, Kastamonu

ORCID ID: 0000-0002-1424-8934

ÖZET

Müze eğitimi, okul öncesi eğitimde çocukların kültürel, sanatsal, tarihsel ve toplumsal çevreyle erken yaşlardan itibaren etkileşim kurmalarını destekleyen önemli bir sınıf dışı öğrenme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın öğretmen yetiştirme sürecinde etkili biçimde ele alınabilmesi, okul öncesi öğretmen adaylarının müze eğitimini nasıl anlamlandırdıklarının belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Öğretmen adaylarının müze eğitime yönelik metaforik algıları, onların bu kavrama ilişkin zihinsel imgelerini, pedagojik kabullerini ve erken çocukluk eğitimiyle kurdukları ilişkiyi ortaya koyması bakımından önemlidir. Bu araştırmanın amacı, okul öncesi öğretmen adaylarının müze eğitime yönelik metaforik algılarını incelemektir.

Araştırma, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında olgubilim deseniyle yürütülmüştür. Araştırmanın çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Kastamonu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Okul Öncesi Öğretmenliği Lisans Programında öğrenim gören 35 okul öncesi öğretmen adayı oluşturmıştır. Katılımcılar amaçlı örneklem yöntemlerinden ölçüt örnekleme yoluyla belirlenmiştir. Veriler, “Müze eğitimi ... gibidir; çünkü ...” ifadesini içeren metafor formu aracılığıyla toplanmıştır. Katılımcılardan müze eğitime ilişkin bir metafor üretmeleri ve bu metaforu gerekçelendirmeleri istenmiştir. Elde edilen veriler içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Analiz sürecinde geçerli metaforlar belirlenmiş, benzer anlam alanlarına sahip metaforlar kategoriler altında toplanmış ve temalar oluşturulmuştur.

Araştırma bulguları, okul öncesi öğretmen adaylarının müze eğitimini çoğunlukla “keşif alanı”, “köprü”, “zaman yolculuğu”, “açık kitap”, “yaşayan sınıf” ve “kültürel pencere” gibi metaforlarla açıkladıklarını göstermiştir. Bu metaforlar; deneyim temelli öğrenme, geçmiş-bugün ilişkisi kurma, kültürel aktarım, sınıf dışı öğrenme ve merak duygusunu destekleme temaları altında toplanmıştır. Sonuç olarak öğretmen adaylarının müze eğitimini okul öncesi eğitimi zenginleştiren, çocuklara somut yaşantılar sunan ve öğrenmeyi sınıf dışına taşıyan anlamlı bir pedagojik yaklaşım olarak değerlendirdikleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Müze eğitimi, okul öncesi öğretmen adayları, metaforik algı, okul öncesi eğitim, nitel araştırma.

AN INVESTIGATION OF PRESCHOOL TEACHER CANDIDATES' METAPHORICAL PERCEPTIONS OF MUSEUM EDUCATION

ABSTRACT

Museum education is an important out-of-class learning approach that supports children's interaction with cultural, artistic, historical, and social environments from an early age in preschool education. In

order for this approach to be effectively addressed in teacher education, it is necessary to determine how preschool teacher candidates make sense of museum education. Preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of museum education are important because they reveal their mental images, pedagogical assumptions, and the relationship they establish between this concept and early childhood education. The aim of this study is to examine preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of museum education.

The study was conducted using a phenomenological design within the scope of qualitative research. The study group consisted of 35 preschool teacher candidates enrolled in the Preschool Education Undergraduate Program at the Faculty of Education, Kastamonu University, during the 2025–2026 academic year. Participants were selected through criterion sampling, one of the purposive sampling methods. Data were collected through a metaphor form including the statement “Museum education is like ... because ...”. Participants were asked to produce a metaphor related to museum education and justify the metaphor they produced. The data obtained were analyzed through content analysis. During the analysis process, valid metaphors were identified, metaphors with similar semantic fields were grouped under categories, and themes were generated.

The findings of the study showed that preschool teacher candidates mostly explained museum education through metaphors such as “a field of discovery,” “a bridge,” “a journey through time,” “an open book,” “a living classroom,” and “a cultural window.” These metaphors were grouped under the themes of experience-based learning, establishing a connection between the past and the present, cultural transmission, out-of-class learning, and supporting curiosity. As a result, it was determined that teacher candidates regarded museum education as a meaningful pedagogical approach that enriches preschool education, provides children with concrete experiences, and extends learning beyond the classroom.

Keywords: Museum education, preschool teacher candidates, metaphorical perception, preschool education, qualitative research.

1. INTRODUCTION

Museum education is regarded in contemporary educational thought not merely as an activity based on introducing cultural objects, but as an experience-based learning approach that enables learners to interact directly with the past, cultural heritage, art, science, and social life. While museums contribute to the preservation of historical and cultural memory, they also function as learning environments that support individuals' processes of observation, questioning, interpretation, and meaning-making (Hein, 1998; Hooper-Greenhill, 2007). The current museum definition of the International Council of Museums also describes museums as institutions in the service of society that research, conserve, interpret, and exhibit tangible and intangible heritage and offer diverse experiences for education, reflection, and knowledge sharing (International Council of Museums [ICOM], 2022).

In terms of early childhood education, museum education provides an important learning environment that can help children make sense of abstract concepts through concrete objects, visuals, and experiences. Learning in early childhood is largely based on observation, exploration, play, interaction, and concrete experience. Therefore, museums allow children to encounter cultural and historical objects, observe their environment more consciously, and develop multisensory learning experiences beyond the classroom. Falk and Dierking's contextual learning approach also emphasizes that museum learning emerges through the interaction of personal, sociocultural, and physical contexts (Falk & Dierking, 2016).

However, the effective implementation of museum education in preschool education is closely related to how teachers and teacher candidates make sense of this concept. Teacher candidates' perceptions of museum education provide important clues about how they may use out-of-class learning environments in the future, how they may relate museum visits to the educational curriculum, and how they may design activities appropriate to children's developmental characteristics. At this point, metaphors can be considered a powerful data source that reveals how individuals conceptualize abstract concepts.

Metaphors are not merely linguistic ornaments; they are cognitive structures that reflect individuals' ways of thinking, perceiving, and making meaning. According to Lakoff and Johnson (1980), metaphors help individuals understand more abstract concepts through other concepts that are directly experienced. Therefore, in educational research, metaphors are frequently used to reveal mental images related to concepts such as teacher, student, learning, teaching, school, and curriculum. Teacher candidates' metaphorical expressions can make visible their pedagogical assumptions, professional orientations, and the meanings they attribute to educational concepts.

In this context, examining preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of museum education is important because it reveals both how museum education is conceptualized by teacher candidates and how this approach is associated with preschool education. The aim of this study is to examine preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of museum education. In line with this aim, the following questions were addressed: Through which metaphors do teacher candidates explain museum education? Under which themes are the generated metaphors grouped? What meanings do these metaphors reveal about teacher candidates' pedagogical perceptions of museum education?

2. METHOD

2.1. Research Design

This study was conducted using a phenomenological design within the scope of qualitative research. Phenomenology aims to examine individuals' perceptions, experiences, and meaning-making processes regarding a particular phenomenon in depth (Creswell & Poth, 2018). The phenomenon addressed in this study is preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of museum education. Since the study aimed to reveal teacher candidates' mental images of museum education through metaphors, the phenomenological design was considered appropriate.

2.2. Study Group

The study group consisted of 35 preschool teacher candidates enrolled in the Preschool Education Undergraduate Program at the Faculty of Education, Kastamonu University, during the 2025–2026 academic year. Participants were selected through criterion sampling, one of the purposive sampling methods. The main criterion was that participants were enrolled in the preschool teacher education program and had sufficient pedagogical awareness to generate metaphors regarding the concept of museum education.

2.3. Data Collection Tool

Data were collected through a metaphor form prepared by the researchers, consistent with the use of open-ended qualitative tools to reveal participants' meaning-making processes in depth (Merriam & Tisdell, 2016; Patton, 2015). In the form, participants were asked to complete the statement "Museum education is like ... because ...". This structure is commonly used in metaphor studies. The first part of the statement reveals the source domain of participants' analogy regarding museum education, while the "because" section allows them to explain the rationale and conceptual basis of the metaphor they produce. Thus, not only the metaphor word itself but also the meaning pattern behind the metaphor could be analyzed.

2.4. Data Analysis

The data were analyzed through content analysis, which enables researchers to identify meaningful patterns, recurring concepts, and thematic structures in qualitative data (Miles et al., 2014). During the analysis process, the metaphors produced by the participants were first examined, and the consistency between each metaphor and its justification was evaluated. After valid metaphors were identified, metaphors with similar semantic fields were grouped together, categories were formed, and themes were derived from these categories. In assigning metaphors to themes, not only the name of the metaphor but also the justifications provided by the participants in the "because" section were taken into account. To enhance the reliability of the coding process, the metaphors were independently examined by two researchers, and disagreements were discussed until consensus was reached.

3. RESULTS

This section presents the metaphors produced by preschool teacher candidates regarding museum education and the thematic distribution of these metaphors. Participants were asked to complete the statement “Museum education is like ... because ...”; the responses were analyzed by considering both the metaphor itself and the justification provided for the metaphor, as emphasized in metaphor analysis studies (Saban et al., 2006). In the analysis process, not only the analogy but also the rationale behind the analogy was taken into consideration. Thus, the metaphors were evaluated not at a superficial lexical level but in terms of their conceptual meaning fields.

When the metaphors produced by the participants were examined, it was seen that preschool teacher candidates generally perceived museum education as a positive, developmentally supportive, and pedagogically enriching learning approach. Teacher candidates associated museum education mostly with discovery, experience, cultural transmission, connecting the past with the present, concretizing learning, out-of-class learning, and supporting curiosity. Accordingly, the metaphors were grouped under five main themes: experience-based learning, establishing a connection between the past and the present, cultural transmission and awareness, out-of-class learning, and supporting curiosity and exploration.

Table 1. Thematic distribution of teacher candidates’ metaphors regarding museum education

Theme	Prominent metaphors	f	%
Experience-based learning	Field of discovery, treasure chest, laboratory, experience workshop	10	28.6
Establishing a connection between the past and the present	Journey through time, tunnel of history, bridge, door to the past	8	22.9
Cultural transmission and awareness	Cultural window, heritage box, mirror, cultural map	7	20.0
Out-of-class learning	Living classroom, open classroom, learning garden, out-of-school guide	6	17.1
Supporting curiosity and exploration	Open book, compass, light, key	4	11.4
Total		35	100.0

As shown in Table 1, the metaphors produced by teacher candidates regarding museum education were most frequently grouped under the theme of experience-based learning. The metaphors “field of discovery,” “treasure chest,” “laboratory,” and “experience workshop” indicate that teacher candidates perceive museum education not as a process in which children passively receive information, but as a learning environment in which they actively observe, encounter objects, ask questions, and construct learning through direct experiences. This finding is consistent with the idea that learning in early childhood should be supported through concrete experiences, sensory interactions, and exploration. In particular, the metaphor “field of discovery” reveals that museum education is seen as a process that strengthens children’s desire to investigate, wonder, and encounter new information. Some participant statements related to this theme are as follows:

P7: “Museum education is like a field of discovery because children encounter objects they have never seen before, become curious, and learn by asking questions.”

P15: “Museum education is like a treasure chest because it contains many pieces of information, objects, and stories that can attract children’s interest.”

P22: “Museum education is like a laboratory because children do not only listen there; they observe and draw conclusions from what they see.”

The metaphors under the theme of experience-based learning show that teacher candidates regard museum education as a pedagogical environment that is appropriate for children’s developmental

characteristics, supports active participation, and concretizes learning. This indicates that museum education in early childhood is perceived not merely as a cultural field trip but as a structured experiential learning area in which children directly participate in the learning process.

The second theme, establishing a connection between the past and the present, shows that participants made sense of museum education in terms of time, history, and cultural continuity. This theme included metaphors such as “journey through time,” “tunnel of history,” “bridge,” and “door to the past.” Teacher candidates stated that museum education mediates children’s recognition of past ways of life, historical objects, and cultural heritage. The metaphor “bridge” is particularly noteworthy because it indicates that museum education is perceived as a learning tool that connects the past with the present. Some participant statements related to this theme are as follows:

P4: *“Museum education is like a journey through time because children learn by seeing how people lived in the past and what objects they used.”*

P12: *“Museum education is like a bridge because it enables us to establish a connection between the past and the present.”*

P28: *“Museum education is like a door to the past because children can recognize old periods through concrete objects rather than only reading about them in books.”*

These findings reveal that teacher candidates regard museum education as a process that develops historical awareness. In early childhood, children may have difficulty understanding historical time in an abstract way; however, initial awareness of the past can be formed more concretely through objects, visuals, and exhibitions in museums.

The third theme, cultural transmission and awareness, shows that teacher candidates associated museum education with cultural heritage, social values, and identity development. Under this theme, the metaphors “cultural window,” “heritage box,” “mirror,” and “cultural map” came to the fore. Participants stated that museum education can contribute to children’s recognition of their own culture, their awareness of different ways of life, and their understanding of social values through concrete examples. Example statements related to this theme are presented below:

P31: *“Museum education is like a cultural window because it helps children recognize their own culture and different ways of life.”*

P19: *“Museum education is like a heritage box because it contains values and cultural traces inherited from the past.”*

P26: *“Museum education is like a mirror because it shows children the past and culture of society.”*

These findings indicate that teacher candidates perceive museum education not only as a process that supports cognitive learning but also as an approach that strengthens cultural awareness, social belonging, and values education. Children’s encounters with cultural objects in early childhood can contribute to their understanding of the social environment and help them establish an early connection with cultural heritage.

The fourth theme, out-of-class learning, reveals that participants considered museum education as a dimension of preschool education extending beyond the classroom. This theme included metaphors such as “living classroom,” “open classroom,” “learning garden,” and “out-of-school guide.” Teacher candidates emphasized that museum education carries learning beyond classroom walls and provides children with learning opportunities through real objects and real contexts. Some participant statements related to this theme are as follows:

P24: *“Museum education is like a living classroom because learning continues not only in the classroom but also in environments where real objects are present.”*

P9: *“Museum education is like an open classroom because children see that learning is possible outside four walls.”*

P33: “Museum education is like a learning garden because children learn by walking around, seeing, and examining different areas.”

These metaphors show that teacher candidates regard museum education as a learning environment that complements and enriches classroom activities in the preschool curriculum. Accordingly, museum education supports not only children’s acquisition of knowledge but also their recognition that learning can occur in different places and through different experiences.

The fifth theme, supporting curiosity and exploration, shows that teacher candidates perceive museum education as a process that increases children’s interest in learning and directs them toward acquiring new knowledge. This theme included metaphors such as “open book,” “compass,” “light,” and “key.” The metaphor “open book” defines museum education as a learning source through which children acquire knowledge not by reading but by seeing and experiencing. The metaphor “compass” indicates that museum education guides children in the learning process, while the metaphor “light” suggests that it increases children’s cognitive awareness. Participant statements related to this theme are as follows:

P18: “Museum education is like an open book because children can learn new information from every object they see there.”

P3: “Museum education is like a compass because it directs children toward learning about the topics they are curious about.”

P30: “Museum education is like a light because it helps children become aware of things they do not know.”

When the findings are evaluated holistically, it is seen that preschool teacher candidates’ metaphorical perceptions of museum education are highly positive. The metaphors produced by the participants position museum education as a pedagogical approach that provides children with concrete experiences, makes learning active and experiential, supports cultural awareness, connects the past with the present, increases out-of-class learning opportunities, and nurtures curiosity. This indicates that teacher candidates’ awareness of museum education does not remain limited to the level of a field trip activity; rather, they conceptualize museum education as a meaningful, enriching, and multidimensional component of early childhood education.

4. DISCUSSION

The findings of the study show that preschool teacher candidates’ metaphorical perceptions of museum education are largely shaped around experience, discovery, cultural transmission, and out-of-class learning. Experience-based learning, the most frequent theme, reveals that teacher candidates perceive museum education as a process in which children directly encounter objects, make observations, and construct learning through concrete experiences. This finding is consistent with the contextual learning approach, which explains museum learning through visitors’ interactions with objects, space, and the social environment. According to Falk and Dierking (2016), the museum experience occurs through the interaction of personal, social, and physical contexts; therefore, museums do not merely provide information but also offer opportunities for experiential meaning-making.

Teacher candidates’ production of metaphors such as “bridge,” “journey through time,” and “tunnel of history” indicates that they perceive museum education as a learning area that establishes a connection between the past and the present. This is directly related to museums’ function of preserving and interpreting cultural heritage. ICOM’s current museum definition also emphasizes that museums are institutions that research, conserve, interpret, and exhibit tangible and intangible heritage (ICOM, 2022). From this perspective, teacher candidates’ metaphors reveal that museums are perceived not merely as spaces where objects are exhibited, but as learning environments that provide cultural continuity and historical awareness.

Another prominent theme in the study is cultural transmission and awareness. The metaphors “cultural window,” “heritage box,” and “mirror” show that teacher candidates regard museum education as a process that helps children recognize both their own cultural environment and different ways of life.

This finding is important for the development of cultural awareness and social belonging in early childhood education. Children's encounters with cultural objects, works of art, and historical narratives in the preschool period can support their initial meaning-making regarding their environment and society.

The metaphors "living classroom" and "open classroom" under the theme of out-of-class learning indicate that teacher candidates associate museum education with the idea that learning is not limited to the classroom. This perception supports the need to diversify learning environments in preschool education. Museum education can enrich the preschool curriculum by providing children with learning opportunities through real objects, visual materials, spatial experiences, and social interactions. However, for this process to be effective, museum visits should not be treated as unplanned activities; rather, they should be structured as pedagogical processes that include pre-museum preparation, guidance during the museum visit, and post-museum evaluation.

From the perspective of metaphor theory, the metaphors produced by teacher candidates make visible how they conceptualize museum education (Lakoff & Johnson, 1980; Saban et al., 2006). According to Lakoff and Johnson's (1980) conceptual metaphor theory, metaphors allow individuals to make sense of abstract concepts through more familiar and concrete experiences. In this study, teacher candidates' metaphors such as "field of discovery," "bridge," "open book," and "living classroom" indicate that they view museum education as an active, meaningful, connection-based, and child-centered learning approach.

5. CONCLUSION and RECOMMENDATIONS

This study was conducted to examine preschool teacher candidates' metaphorical perceptions of museum education. As a result of the study, it was determined that teacher candidates produced positive and pedagogically rich metaphors regarding museum education. Participants most frequently explained museum education through metaphors such as a field of discovery, a bridge, a journey through time, an open book, a living classroom, and a cultural window. These metaphors show that teacher candidates perceive museum education as an approach that supports children's experience-based learning, enables them to establish connections between the past and the present, develops cultural awareness, and extends learning beyond the classroom.

The results of the study reveal that preschool teacher candidates consider museum education an enriching component of early childhood education. However, positive perceptions alone are not sufficient for the effective implementation of museum education. Teacher candidates should gain practical experience in designing museum education activities, conducting pre-museum preparation, guiding children in the museum environment, and planning post-museum evaluation activities (Lincoln & Guba, 1985).

Accordingly, it is recommended that preschool teacher education programs include more content on museum education and out-of-class learning environments. Teacher candidates should be provided not only with the theoretical foundations of museum education but also with applied activity planning experiences. Collaborations between universities and local museums can be developed to enable teacher candidates to observe and practice in museum environments. Future studies may comparatively examine the metaphorical perceptions of teacher candidates studying at different universities. In addition, multi-stakeholder studies addressing the perceptions of preschool teachers, museum educators, and families regarding museum education may contribute to the field.

REFERENCES

- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE.
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The museum experience revisited*. Routledge.

- Hein, G. E. (1998). *Learning in the museum*. Routledge.
- Hooper-Greenhill, E. (2007). *Museums and education: Purpose, pedagogy, performance*. Routledge.
- International Council of Museums. (2022). Museum definition. ICOM. <https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE.
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE.
- Saban, A., Koçbeker, B. N., & Saban, A. (2006). An investigation of the concept of teacher among prospective teachers through metaphor analysis. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 6(2), 509–522.

OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ OKUL ÖNCESİ DÖNEMDE MÜZE EĞİTİMİNİN ÖNEMİNE YÖNELİK GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Betül KAYA

Kastamonu University, Institute of Graduate Studies, 37150 Kuzeykent, Kastamonu, Türkiye

ORCID ID: 0009-0009-4168-7535

Doç. Dr. Adem YILMAZ

Kastamonu University, Faculty of Education, 37150 Kuzeykent, Kastamonu

ORCID ID: 0000-0002-1424-8934

ÖZET

Okul öncesi dönem, çocukların çevreyi tanıma, kültürel yaşamı anlamlandırma, sosyal dünyaya ilişkin ilk kavrayışlarını oluşturma ve öğrenmeye yönelik temel tutumlarını geliştirme bakımından kritik bir gelişim evresidir. Bu dönemde öğrenme sürecinin yalnızca sınıf içi etkinliklerle sınırlandırılmaması, çocukların farklı öğrenme ortamlarıyla karşılaşmalarına olanak tanınması bakımından önem taşımaktadır. Müze eğitimi, okul öncesi dönemde çocukların kültürel miras, sanat, tarih, doğa, bilim ve günlük yaşam nesneleriyle doğrudan karşılaşmalarını sağlayan, deneyime dayalı ve çok yönlü bir öğrenme yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir. Ancak müze eğitiminin okul öncesi eğitimde etkili biçimde yer alabilmesi, geleceğin öğretmenleri olan okul öncesi öğretmen adaylarının bu konuya ilişkin görüşlerinin, farkındalıklarının ve pedagojik değerlendirmelerinin anlaşılmasını gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda araştırmanın amacı, okul öncesi öğretmen adaylarının okul öncesi dönemde müze eğitiminin önemine yönelik görüşlerini incelemektir.

Araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden olgubilim deseni doğrultusunda yürütülmüştür. Araştırmanın çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Kastamonu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Okul Öncesi Öğretmenliği Lisans Programında öğrenim gören toplam 30 okul öncesi öğretmen adayı oluşturmıştır. Katılımcılar amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme yoluyla belirlenmiştir. Araştırmada temel ölçüt, katılımcıların okul öncesi öğretmenliği lisans programında öğrenim görüyor olmaları ve okul öncesi dönemde müze eğitiminin önemine ilişkin görüş bildirebilecek düzeyde alan bilgisine sahip olmalarıdır. Veriler, araştırmacılar tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Görüşme formunda öğretmen adaylarının okul öncesi dönemde müze eğitiminin gerekliliğine, çocukların gelişim ve öğrenme süreçlerine sağlayabileceği katkılara, okul öncesi eğitim programıyla ilişkilendirilmesine, uygulamada karşılaşılabilecek sınırlılıklara ve etkili müze eğitimi için gerekli koşullara ilişkin açık uçlu sorular yer almıştır. Formun kapsam geçerliğini sağlamak amacıyla okul öncesi eğitimi ve müze eğitimi alanlarında uzman iki akademisyenden görüş alınmış, uzman dönütleri doğrultusunda sorular yeniden düzenlenmiştir.

Elde edilen veriler içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Analiz sürecinde öncelikle görüşme yanıtları ayrıntılı biçimde okunmuş, anlamlı ifadeler kodlanmış, benzer kodlar kategoriler altında birleştirilmiş ve bu kategorilerden temalara ulaşılmıştır. Araştırmanın güvenilirliğini artırmak amacıyla veriler iki araştırmacı tarafından bağımsız biçimde kodlanmış ve kodlayıcılar arası uyum dikkate alınmıştır. Bulgular, okul öncesi öğretmen adaylarının müze eğitimini okul öncesi dönemde çocukların yaşantı temelli öğrenmelerini destekleyen, kültürel farkındalık kazandıran, merak ve keşfetme duygusunu besleyen, sınıf dışı öğrenme ortamlarını zenginleştiren ve okul-aile-çevre etkileşimini güçlendiren önemli bir eğitim yaklaşımı olarak gördüklerini ortaya koymuştur. Katılımcılar, müze eğitiminin yalnızca gezi etkinliği olarak değerlendirilmemesi gerektiğini; müze öncesi hazırlık, müze ziyareti süreci ve müze sonrası değerlendirme etkinlikleriyle bütüncül biçimde planlanması gerektiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte öğretmen adayları, okul öncesi dönemde müze eğitiminin

uygulanmasında ulaşım, güvenlik, yaş düzeyine uygun rehberlik, aile izni, maliyet, zaman yönetimi ve öğretmen yeterliği gibi çeşitli sınırlılıkların dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Sonuç olarak araştırma, okul öncesi öğretmen adaylarının müze eğitimi erken çocukluk eğitiminin destekleyici ve zenginleştirici bir bileşeni olarak değerlendirdiklerini; ancak bu yaklaşımın etkili uygulanabilmesi için öğretmen yetiştirme programlarında müze eğitimi içeriklerine daha fazla yer verilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Okul öncesi eğitim, müze eğitimi, okul öncesi öğretmen adayları, sınıf dışı öğrenme, nitel araştırma.

AN INVESTIGATION OF PRESCHOOL TEACHER CANDIDATES' VIEWS ON THE IMPORTANCE OF MUSEUM EDUCATION IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION

ABSTRACT

Early childhood is a critical developmental period in which children begin to recognize their environment, make sense of cultural life, construct their initial understandings of the social world, and develop fundamental attitudes toward learning. During this period, learning should not be limited to classroom-based activities; rather, children should be provided with opportunities to encounter diverse learning environments. Museum education is considered an experiential and multidimensional educational approach that enables children in early childhood to directly encounter cultural heritage, art, history, nature, science, and everyday-life objects. However, the effective integration of museum education into early childhood education depends substantially on understanding the views, awareness, and pedagogical evaluations of preschool teacher candidates, who will become future teachers. Accordingly, the aim of this study is to examine preschool teacher candidates' views on the importance of museum education in early childhood education.

The study was conducted using a phenomenological design, one of the qualitative research designs. The study group consisted of 30 preschool teacher candidates enrolled in the Preschool Education Undergraduate Program at the Faculty of Education, Kastamonu University, during the 2025–2026 academic year. The participants were selected through criterion sampling, one of the purposive sampling methods. The basic inclusion criterion was being enrolled in the preschool education undergraduate program and having sufficient field knowledge to express views on the importance of museum education in early childhood. Data were collected through a semi-structured interview form developed by the researchers. The form included open-ended questions addressing teacher candidates' views on the necessity of museum education in early childhood, its possible contributions to children's developmental and learning processes, its relationship with the preschool education curriculum, possible limitations in implementation, and the conditions required for effective museum education. To ensure content validity, opinions were obtained from two academics specializing in early childhood education and museum education, and the questions were revised in line with expert feedback.

The data were analyzed through content analysis. In the analysis process, interview responses were first read in detail, meaningful expressions were coded, similar codes were grouped under categories, and themes were derived from these categories. To enhance the trustworthiness of the study, the data were independently coded by two researchers, and inter-coder agreement was considered. The findings revealed that preschool teacher candidates regarded museum education as an important educational approach that supports experience-based learning in early childhood, promotes cultural awareness, nurtures curiosity and exploration, enriches out-of-class learning environments, and strengthens school-family-community interaction. Participants emphasized that museum education should not be regarded merely as a field trip activity; instead, it should be planned holistically through pre-museum preparation, the museum visit process, and post-museum evaluation activities. In addition, teacher candidates stated that several limitations should be considered in the implementation of museum education in early childhood, including transportation, safety, age-appropriate guidance, parental permission, cost, time management, and teacher competence. In conclusion, the study indicates that preschool teacher

candidates evaluate museum education as a supportive and enriching component of early childhood education; however, for this approach to be implemented effectively, museum education content should be more systematically integrated into teacher education programs.

Keywords: Early childhood education, museum education, preschool teacher candidates, out of-class learning, qualitative research.

1. INTRODUCTION

Early childhood is a critical developmental period during which rapid changes occur in cognitive, social, emotional, linguistic, and psychomotor domains, fundamental dispositions toward learning are shaped, and interaction with the environment plays a decisive role in development. During this period, children's learning experiences should not be limited to structured classroom activities. Rather, they should be supported by rich learning environments that enable children to observe, interact with objects, explore their surroundings, ask questions, and construct meaning. In early childhood education, approaches based on children's active participation, curiosity, play-based exploration, and concrete experiences are at the center of developmentally appropriate pedagogy. The developmentally appropriate practice framework of the National Association for the Education of Young Children also emphasizes that young children should be provided with meaningful, culturally responsive learning experiences based on play, exploration, and inquiry (National Association for the Education of Young Children [NAEYC], 2020).

In this context, out-of-class learning environments have become increasingly important in early childhood education. Such environments allow children to encounter real life, experience learning objects within their natural or cultural contexts, develop multisensory learning experiences, and construct knowledge not only through verbal instruction but also through observation, interaction, and discovery. Among these environments, museums hold a distinctive place in early childhood education. Museums are not merely institutions where objects are exhibited; they are also pedagogical spaces through which cultural memory, historical continuity, artistic production, scientific curiosity, and social values can be presented to children through concrete experiences.

The concept of the museum is no longer explained solely through the functions of preservation and exhibition within contemporary educational thought. According to the definition adopted by the International Council of Museums in 2022, museums are not-for-profit, permanent institutions in the service of society that research, collect, conserve, interpret, and exhibit tangible and intangible heritage. The same definition states that museums are open to the public, accessible, inclusive, and offer diverse experiences for education, enjoyment, reflection, and knowledge sharing (International Council of Museums [ICOM], 2022). This definition indicates that museums should be regarded in early childhood education not simply as places to visit but as educational environments that support learning, enable children to establish meaningful relationships with their surroundings, and strengthen cultural awareness.

The main approaches in museum education draw attention to the contextual, experiential, and social nature of learning. Hein (1998) associates museum learning with constructivist learning theory and argues that individuals construct meaning through the objects they encounter in museums, their prior experiences, and their social interactions. Falk and Dierking's contextual model of learning explains the museum experience through the interaction of personal, sociocultural, and physical contexts. According to this model, visitors' interests, prior experiences, social interactions, the characteristics of the physical environment, and their engagement with exhibitions shape the quality of museum learning (Falk & Dierking, 2016). Hooper-Greenhill (2007) further emphasizes that the pedagogical function of museums is not limited to transmitting information; museums also support learners' processes of interpretation, association, and cultural meaning-making. These theoretical frameworks suggest that museum education in early childhood can contribute to children's active, multisensory, social, and culturally rich learning experiences.

The preschool education curriculum in Türkiye is also based on a holistic educational approach that takes children's developmental characteristics, interests, and needs into account. In the 2024 Preschool Education Curriculum of the Ministry of National Education, out-of-school learning environments, family/community involvement activities, the organization of learning environments, and the planning of the educational process are addressed under separate headings (Ministry of National Education [MoNE], 2024). This approach provides an opportunity to relate out-of-class learning experiences such as museum education to the preschool curriculum. Museum visits can be integrated with various learning areas such as art, history, culture, nature, science, values education, environmental awareness, and social life skills. However, effective integration requires that museum education not be treated as an unplanned field trip but as a pedagogically structured process involving pre-museum preparation, guided exploration during the museum visit, and post-museum evaluation activities.

The quality of museum education in early childhood largely depends on teachers' pedagogical competence, their awareness of museum learning, and their ability to connect out-of-class learning environments with the educational curriculum. Therefore, identifying preschool teacher candidates' views on museum education is important. Understanding how teacher candidates make sense of museum education, what contributions they believe it can make to children's development and learning, what limitations they anticipate in practice, and what conditions they consider necessary for effective museum education may provide valuable data for improving teacher education programs. Accordingly, the aim of this study is to examine preschool teacher candidates' views on the importance of museum education in early childhood education. In line with this aim, the study sought answers to the following research questions:

1. How do preschool teacher candidates evaluate the necessity of museum education in early childhood education?
2. What contributions can museum education make to children's developmental and learning processes?
3. How can museum education be associated with the preschool education curriculum according to teacher candidates?
4. How should an effective museum education process be planned in early childhood education?
5. What limitations may be encountered in the implementation of museum education in early childhood education?
6. What conditions should be provided for an effective museum education process?

2. METHOD

2.1. Research Design

This study was conducted using a phenomenological design, one of the qualitative research designs. Phenomenology aims to examine individuals' experiences, perceptions, meaning-making processes, and awareness regarding a particular phenomenon in depth (Creswell & Poth, 2018). The phenomenon addressed in this study is the importance of museum education in early childhood education. Since the study aimed to reveal preschool teacher candidates' views on this phenomenon in detail, the phenomenological design was considered appropriate.

2.2. Study Group

The study group consisted of 30 preschool teacher candidates enrolled in the Preschool Education Undergraduate Program at the Faculty of Education, Kastamonu University, during the 2025–2026 academic year. The participants were selected through criterion sampling, one of the purposive sampling methods. Criterion sampling allows the researcher to include individuals who meet predetermined criteria aligned with the purpose of the study (Patton, 2015). In this study, the basic criterion was that participants were enrolled in a preschool education undergraduate program and had sufficient field knowledge to express views on the importance of museum education in early childhood education.

2.3. Data Collection Tool

Data were collected through a semi-structured interview form developed by the researchers. Semi-structured interview forms enable researchers to collect data within the framework of specific themes while also allowing participants to express their views in detail (Merriam & Tisdell, 2016). The interview form included open-ended questions addressing teacher candidates' views on the necessity of museum education in early childhood, its possible contributions to children's developmental and learning processes, its relationship with the preschool education curriculum, possible limitations in implementation, and the conditions required for effective museum education. To ensure the content validity of the interview form, opinions were obtained from two academics specializing in early childhood education and museum education. In line with expert feedback, the scope of some questions was narrowed, semantically similar expressions were simplified, and the questions were revised in a way that would enable teacher candidates to provide clearer responses. This process was considered a validity procedure intended to enhance the suitability of the data collection tool for the research aim and to improve the clarity of the questions.

2.4. Data Collection Process

Prior to data collection, the participants were informed about the aim of the study, the voluntary nature of participation, and the fact that the data would be used for scientific purposes. It was explained that participants' identities would be kept confidential and that no personally identifiable information would be included in the reporting of the data. The interviews were conducted at appropriate times when participants could express themselves comfortably. During the interviews, participants were asked open-ended questions, and when necessary, explanatory and probing questions were used to elicit more detailed responses.

2.5. Data Analysis

The data were analyzed through content analysis. Content analysis is a systematic analytical process used to identify meaningful patterns, recurring expressions, conceptual similarities, and thematic structures in qualitative data (Miles et al., 2014). In the analysis process, the interview responses were first read in detail, meaningful expressions related to the research questions were identified, and these expressions were coded. Subsequently, similar codes were grouped into categories, and themes were derived by examining the relationships among these categories. To enhance the trustworthiness of the study, the data were coded independently by two researchers, and inter-coder agreement was taken into consideration. Differences in coding were discussed, and the final theme and category structure was created through consensus. In qualitative research, reliability and trustworthiness are associated not only with numerical agreement rates but also with transparent reporting of the analytical process, justification of coding decisions, and consistency between the data and the findings (Lincoln & Guba, 1985). Accordingly, attention was paid to conducting the analysis process systematically.

3. RESULTS

This section presents the findings obtained from preschool teacher candidates' views on the importance of museum education in early childhood education. The data were analyzed through content analysis, and codes, categories, and themes were generated based on participant responses. In presenting the findings, each semi-structured interview question was addressed under a separate heading, and the relevant frequency and percentage values were presented in tables. The percentage values in the tables were calculated based on the total number of participants, which was 30. Since participants were able to express more than one opinion, the total frequency in some tables exceeds the number of participants. Direct quotations are presented using codes such as P1, P2, and P3 in order to protect participants' identities.

3.1. Views on the Necessity of Museum Education in Early Childhood Education

The participants were first asked the following question: *“Do you think museum education is necessary in early childhood education? Why?”* An analysis of the responses revealed that museum

education was considered necessary in early childhood education, particularly because it provides concrete experiences, supports permanent learning, fosters children's curiosity and sense of exploration, enriches out-of-class learning environments, and promotes cultural awareness.

Table 1. Views on the necessity of museum education in early childhood education

Theme	Code	f	%
Necessity of museum education	Providing concrete experiences	24	80.0
Necessity of museum education	Supporting permanent learning	21	70.0
Necessity of museum education	Developing curiosity and exploration	19	63.3
Necessity of museum education	Providing out-of-class learning environments	17	56.7
Necessity of museum education	Promoting cultural awareness	16	53.3
Necessity of museum education	Increasing children's interaction with the environment	13	43.3

As shown in Table 1, the majority of teacher candidates regarded museum education as a necessary educational approach for early childhood education. The most frequently emphasized view was that museum education provides children with concrete experiences. Participants stated that preschool children learn more effectively by seeing, touching, observing, and experiencing rather than through abstract explanations. Therefore, museum environments were described as spaces that allow children to encounter real objects and concretize learning.

Some participant statements supporting this view are presented below:

P4: "In early childhood, children want to see and experience what is being explained. Museum education is very important in this respect because children learn by directly seeing objects."

P11: "I think museum education is necessary because children learn more permanently not only through what is explained in the classroom but also by visiting different environments and making observations."

P18: "A museum is an environment that increases children's curiosity. A child asks questions about the objects seen there, thinks about them, and discovers new things."

These findings indicate that preschool teacher candidates regard museum education not merely as a supplementary activity but as an educational process that is appropriate for children's developmental characteristics and supports experience-based and meaningful learning.

3.2.Views on the Contributions of Museum Education to Children's Developmental and Learning Processes

The participants were then asked the following question: "*What kinds of contributions do you think museum education can make to preschool children's developmental and learning processes?*" An analysis of the responses showed that museum education was believed to contribute to children's cognitive, linguistic, social-emotional, cultural, and aesthetic development.

Table 2. Views on the contributions of museum education to children's developmental and learning processes

Theme	Code	f	%
Contribution to development and learning	Supporting cognitive development	23	76.7
Contribution to development and learning	Supporting language development	18	60.0
Contribution to development and learning	Supporting social-emotional development	17	56.7

Theme	Code	f	%
Contribution to development and learning	Promoting cultural awareness	16	53.3
Contribution to development and learning	Developing aesthetic sensitivity	14	46.7
Contribution to development and learning	Developing observation and questioning skills	13	43.3
Contribution to development and learning	Supporting creative thinking	11	36.7

Table 2 shows that teacher candidates most frequently emphasized cognitive development. According to the participants, museum environments support children's skills of observation, comparison, classification, association, and establishing cause-and-effect relationships. In addition, children's naming the objects they see during museum visits, explaining their observations, communicating with teachers and peers, and encountering new concepts were considered important for language development. In terms of social-emotional development, outcomes such as acting within a group, following rules, sharing, and having common experiences were highlighted. Some participant views are as follows:

P2: "Museum visits support children's cognitive development because children establish connections between the objects they see, make comparisons, and acquire new knowledge."

P9: "Children's language development is also supported because they try to explain what they see in the museum. They learn new words and try to express their observations."

P21: "Museum education also teaches children to act together. Visiting as a group, following rules, and sharing the same experience with friends are important for social development."

P27: "Especially art museums can improve children's aesthetic perspective. Examining colors, shapes, and different works supports children's imagination."

These findings indicate that teacher candidates regard museum education as a multidimensional developmental support area. Museum education was evaluated as an educational approach that can contribute not only to cognitive learning but also to linguistic expression, social adaptation, cultural awareness, and aesthetic sensitivity.

3.3.Views on the Association of Museum Education with the Preschool Education Curriculum

The third question posed to the participants was: "**How can museum education be associated with the preschool education curriculum?**" The responses showed that teacher candidates associated museum education with different types of activities and developmental areas in the preschool education curriculum.

Table 3. Views on the association of museum education with the preschool education curriculum

Theme	Code	f	%
Association with the curriculum	Association with art activities	22	73.3
Association with the curriculum	Association with Turkish/language activities	19	63.3
Association with the curriculum	Association with drama activities	17	56.7
Association with the curriculum	Association with science and nature activities	15	50.0
Association with the curriculum	Association with values education	14	46.7
Association with the curriculum	Association with family involvement activities	12	40.0
Association with the curriculum	Association with play-based activities	11	36.7

As shown in Table 3, teacher candidates most frequently associated museum education with art activities. Participants stated that museum visits could support children's visual perception, aesthetic sensitivity, creativity, and ability to recognize artistic products. In addition, museum experiences were considered suitable for integration with language activities; after a museum visit, children could describe what they saw, create stories, learn new concepts, and participate in group discussions. Drama activities were also frequently emphasized by the participants. According to teacher candidates, children can dramatize the objects, historical figures, or events they encounter during museum visits. Thus, museum experience can be transformed from a passive field trip into an active, creative, and participatory learning process. Some participant statements are presented below:

P6: *"A museum visit can easily be associated with art activities. After the visit, children can draw the works they saw or create their own designs."*

P14: *"In language activities, children can be asked to describe what they saw in the museum. In this way, both their vocabulary and self-expression skills develop."*

P23: *"Through drama activities, children can enact an object they saw in the museum or an old way of life. This makes learning more enjoyable."*

P30: *"Places such as natural history museums can be associated with science activities. Children can see concrete examples about living things, fossils, or the environment."*

These findings indicate that teacher candidates regard museum education as an interdisciplinary learning area that can be integrated into the preschool education curriculum. The possibility of integrating museum education with art, language, drama, science, values education, and family involvement suggests that it can be used functionally within the preschool education curriculum.

3.4. Views on the Planning of the Museum Education Process

The fourth question posed to the participants was: *"How should an effective museum education process be planned in early childhood education?"* Participants emphasized that museum education is not limited to the museum visit itself; rather, it should be planned as a holistic process consisting of pre-museum preparation, the museum visit process, and post-museum evaluation activities.

Table 4. Views on the planning of the museum education process

Theme	Code	f	%
Process planning	Conducting pre-museum preparation	25	83.3
Process planning	Conducting guided observation during the museum visit	22	73.3
Process planning	Conducting post-museum evaluation activities	21	70.0
Process planning	Selecting activities appropriate for children's age level	20	66.7
Process planning	Explaining museum rules in advance	18	60.0
Process planning	Informing families about the process	15	50.0
Process planning	Relating the purpose of the visit to curriculum outcomes	14	46.7

Table 4 shows that the most frequent code was conducting pre-museum preparation. Teacher candidates stated that children should be informed about the museum to be visited, museum rules should be explained, and children should be prepared for the process through questions that stimulate their interest. During the museum visit, children should not remain passive observers of the exhibitions; instead, they should be guided by the teacher to make observations, ask questions, and talk about the objects. In the post-museum process, it was emphasized that children should be given opportunities to

express their experiences through drawing, drama, storytelling, discussion, or classroom activities. Some participant statements are as follows:

P1: *“Before the museum visit, children should be told where they are going and what they will see there. If children go prepared, they make more conscious observations in the museum.”*

P12: *“During the museum visit, the teacher should guide the children. Simply visiting is not enough; children should be asked questions and encouraged to talk about what they see.”*

P20: *“There should definitely be an evaluation after the museum visit. Children can be asked to draw or explain what they saw. In this way, the visit becomes more permanent.”*

P28: *“Activities should be appropriate for children’s age level. Visits that last too long or include too much information may be tiring for preschool children.”*

These findings indicate that teacher candidates regard museum education as a structured process requiring pedagogical planning. Accordingly, the effectiveness of museum education depends on connecting the pre-visit, visit, and post-visit stages with educational purposes.

3.5.Views on the Limitations That May Be Encountered in the Implementation of Museum Education

The fifth question posed to the participants was: *“What kinds of limitations or difficulties may be encountered in the implementation of museum education in early childhood education?”* Teacher candidates’ responses showed that factors such as safety, transportation, age-appropriateness, cost, parental permission, time management, and teacher competence should be considered in the implementation process.

Table 5. Views on the limitations that may be encountered in the implementation of museum education

Theme	Code	f	%
Implementation limitations	Safety issues	24	80.0
Implementation limitations	Transportation difficulties	22	73.3
Implementation limitations	Lack of age-appropriate guidance	19	63.3
Implementation limitations	Parental permission and parental concerns	18	60.0
Implementation limitations	Cost	16	53.3
Implementation limitations	Time management	15	50.0
Implementation limitations	Lack of teacher competence	14	46.7
Implementation limitations	Difficulty in managing crowded groups	13	43.3

As shown in Table 5, the most frequently emphasized limitation was safety. Considering the age characteristics, mobility levels, and need for adult guidance among preschool children, safety planning emerges as a priority in museum visits. Transportation difficulties and cost were also identified as important factors that may limit implementation. In addition, participants stated that museum guides’ failure to use explanations appropriate to preschool children’s developmental characteristics may reduce children’s interest. Participant statements support this finding:

P5: *“Going to a museum with preschool children is beneficial, but safety is very important. Children should not get lost, should not leave the group, and should be constantly supervised.”*

P16: *“Transportation and cost can be problems for some schools. Not every school has the same opportunity to visit a museum.”*

P22: *“The explanations in museums may sometimes not be appropriate for children’s age level. If the guide speaks too long or uses complex language, children may get bored.”*

P29: *“If the teacher does not know how to plan the museum visit, the trip remains only a walk around*

the museum. Therefore, teacher competence is important.”

These findings indicate that the feasibility of museum education in early childhood education does not depend only on teachers’ willingness. Rather, it is related to multidimensional conditions such as safety, transportation, cost, family involvement, museum facilities, and teacher competence.

3.6 Views on the Conditions Required for Effective Museum Education

Finally, the participants were asked the following question: ***“What conditions should be provided for effective museum education in early childhood education?”*** Teacher candidates’ responses showed that effective museum education is associated with teacher competence, school-museum collaboration, age-appropriate guidance, family involvement, planned activities, and post-museum evaluation processes.

Table 6. Views on the conditions required for effective museum education

Theme	Code	f	%
Required conditions	Teachers gaining competence in museum education	23	76.7
Required conditions	Strengthening school-museum collaboration	21	70.0
Required conditions	Providing age-appropriate guidance	20	66.7
Required conditions	Planning pre- and post-museum activities	19	63.3
Required conditions	Involving families in the process	16	53.3
Required conditions	Making museum environments child-friendly	15	50.0
Required conditions	Relating activities to curriculum outcomes	14	46.7

According to Table 6, teacher candidates stated that teachers should first gain competence in museum education for museum education to be effective. Participants argued that teachers should not treat museum visits merely as administrative field trip organizations but should design them as pedagogical learning processes with specific outcomes. Therefore, teachers should become familiar with the museum before the visit, determine objectives appropriate for children’s developmental level, communicate with museum staff, inform families, and prepare post-visit evaluation activities. Some participant views are presented below:

P3: *“For effective museum education, the teacher should be knowledgeable about this subject. The teacher should know what to show, how to show it, and how to guide children.”*

P10: *“Schools and museums should work together. If museum staff prepare activities appropriate for children’s age level, the visit becomes more productive.”*

P17: *“Informing families is important. If the family supports the process, the child participates in the museum visit more willingly.”*

P26: *“Museums should be made more interactive for children. They should not only be places where children look at objects but also places where children can participate in activities.”*

These findings indicate that effective museum education in early childhood education is a multi-stakeholder process. Collaboration among teachers, school administrators, families, and museum staff can enhance the pedagogical quality of museum education. In addition, organizing museum environments in a way that is appropriate for preschool children may support children’s active participation and the permanence of their learning experiences.

General Evaluation of the Findings

When the findings are evaluated holistically, it is seen that preschool teacher candidates' views on museum education are largely positive. Participants regarded museum education as an important approach that supports children's experience-based learning, enhances cultural awareness, nurtures curiosity and exploration, enriches out-of-class learning environments, and strengthens school-family-community interaction. At the same time, teacher candidates emphasized that museum education should be well planned, age-appropriate, safe, related to curriculum outcomes, and supported by post-museum activities in order to be effective.

The findings reveal that museum education is not an automatically effective practice in early childhood education. Rather, it is a structured learning process strengthened by teacher competence, pedagogical planning, school-museum collaboration, family support, and child-friendly museum environments. Accordingly, it can be argued that teacher education programs should include more applied content on museum education and out-of-class learning environments.

4. DISCUSSION

The findings of this study indicate that preschool teacher candidates regard museum education as an important pedagogical approach that supports children's experience-based learning in early childhood education. One of the most frequently emphasized views among the participants was that museum education provides children with concrete learning experiences. This finding is consistent with developmental approaches suggesting that young children learn more effectively through concrete experiences, play, exploration, observation, and interaction rather than abstract transmission of knowledge. NAEYC (2020) emphasizes that meaningful, culturally responsive learning experiences based on play, exploration, and inquiry support children's holistic development in early childhood. From this perspective, teacher candidates' perception of museum education as an appropriate learning approach for early childhood education is theoretically meaningful. Another noteworthy finding is that teacher candidates regarded museum education as a process that supports children's curiosity and sense of exploration. In early childhood, curiosity is one of the main driving forces of learning. Children learn by exploring their environment, examining objects, and reconstructing their experiences through play. Museum environments can nurture this sense of curiosity by offering children different objects, visuals, spatial arrangements, and stories. Hein's (1998) constructivist approach to museum learning also emphasizes that individuals construct meaning by relating the objects they encounter in museums to their prior experiences. In this context, preschool children's encounter with objects in museums, their observations, questioning, and meaning-making under teacher guidance are compatible with constructivist learning theory.

The findings also show that teacher candidates associated museum education with cultural awareness and social values. Museum education can contribute to children's recognition of cultural heritage, their establishment of connections between the past and the present, their understanding of different ways of life, and their initial awareness of social memory. In ICOM's current museum definition, museums are described as institutions that research, conserve, interpret, and exhibit tangible and intangible heritage and offer experiences for education, reflection, and knowledge sharing (ICOM, 2022). In line with this definition, museums can be regarded as important learning environments that allow children to encounter cultural heritage at an early age. Hooper-Greenhill (2007) also states that museums are not merely institutions that provide information but pedagogical spaces where cultural meanings are produced and interpreted. Therefore, museum education can offer a functional learning area for values education, cultural awareness, and social-emotional development in early childhood.

Another prominent finding of the study is that teacher candidates emphasized that museum education should not be regarded merely as a field trip activity. Participants stated that pre-museum preparation, guided observation during the museum visit, and post-museum evaluation activities are necessary for effective museum education. This finding indicates that museum education is a holistic process requiring pedagogical planning. Falk and Dierking's (2016) contextual model of learning argues that the museum experience is not limited to the moment of the visit; rather, learning is shaped by the

interaction of visitors' prior experiences, social interactions, and the physical environment. Therefore, in early childhood education, children should be prepared before the museum visit, actively participate during the visit, and reconstruct their experiences after the visit.

The findings also show that museum education can be associated with the preschool education curriculum through art, language, drama, science and nature, values education, play-based activities, and family involvement. This indicates that museum education can be considered an interdisciplinary and holistic learning approach. The 2024 Preschool Education Curriculum of the Ministry of National Education addresses out-of-school learning environments and family/community involvement activities under separate headings, offering a programmatic framework for supporting preschool education through out-of-class learning experiences (MoNE, 2024). Therefore, museum education should not be treated as an independent or additional activity; rather, it should be considered a pedagogical process integrated with the aims, developmental domains, learning outcomes, and activity types of the curriculum.

Participants' emphasis on limitations such as transportation, safety, cost, parental permission, age-appropriate guidance, and teacher competence indicates that the implementation dimension of museum education in early childhood education should be carefully addressed. Museum visits conducted without considering children's safety, attention spans, physical needs, and developmental characteristics may limit the expected pedagogical contribution. Therefore, it is not sufficient for teachers to have positive attitudes toward museum education; they also need to develop competence in planning, risk management, family communication, curriculum integration, and evaluation. At this point, the role of teacher education programs becomes particularly important. The findings show that preschool teacher candidates consider museum education valuable and necessary, but also believe that teacher competence is decisive for effective implementation. This suggests that preschool teacher education programs should include more content on museum education, out-of-class learning environments, cultural heritage education, and school-museum collaboration. Teacher candidates should not only acquire theoretical knowledge but also gain experience in real museum environments, develop sample activity plans, design pre- and post-museum activities, and learn how to guide museum experiences in accordance with preschool children's developmental characteristics.

5. CONCLUSION and RECOMMENDATIONS

This study was conducted to examine preschool teacher candidates' views on the importance of museum education in early childhood education. The results revealed that teacher candidates regarded museum education as a supportive and enriching component of early childhood education. Participants stated that museum education supports children's experience-based learning, promotes cultural awareness, develops curiosity and exploration, increases out-of-class learning opportunities, and strengthens school-family-community interaction.

The results also indicate that museum education should be approached as a planned, developmentally appropriate, and pedagogically structured process in order to be implemented effectively in early childhood education. Museum education is not limited to simply taking children to a museum. Rather, it is a holistic learning process involving pre-museum preparation, guided observation and interaction during the museum visit, post-museum evaluation, and reinforcement of learning. Therefore, teachers should gain competence in relating museum education to the preschool curriculum, designing activities appropriate to children's developmental characteristics, and integrating museum experiences with learning objectives.

Based on the results of the study, several recommendations can be made. First, content related to museum education and out-of-class learning environments should be increased in preschool teacher education programs. Teacher candidates should receive applied training on the theoretical foundations, implementation principles, activity planning processes, and evaluation approaches of museum education. Second, collaborations should be developed between universities and local museums so that teacher candidates can conduct observations and practices in real museum environments. Third, museums should develop guidance services, interactive activities, and educational materials for teachers

that are appropriate for preschool children's developmental characteristics. Fourth, museum visits in preschool institutions should be designed not merely as periodic social activities but as planned learning experiences associated with the aims and outcomes of the educational curriculum.

Finally, this study is limited to the views of 30 preschool teacher candidates. Future studies may be conducted comparatively with teacher candidates studying at different universities. In addition, multi-stakeholder studies examining the experiences of preschool teachers, museum educators, families, and preschool children regarding museum education may be carried out. Experimental or action research designs may also be used to examine the effects of museum education-based practices on children's cultural awareness, language development, social skills, curiosity levels, or creative thinking skills. Such studies may contribute to a stronger understanding of the theoretical and practical dimensions of museum education in early childhood education.

REFERENCES

- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE.
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The museum experience revisited*. Routledge.
- Hein, G. E. (1998). *Learning in the museum*. Routledge.
- Hooper-Greenhill, E. (2007). *Museums and education: Purpose, pedagogy, performance*. Routledge.
- International Council of Museums. (2022). *Museum definition*. ICOM. <https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE.
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE.
- Ministry of National Education. (2024). *Preschool education curriculum*. Republic of Türkiye Ministry of National Education.
- National Association for the Education of Young Children. (2020). *Developmentally appropriate practice*. NAEYC. <https://www.naeyc.org/resources/position-statements/dap/contents>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE.

ANASINIFLARINDA GÜVENLİ EĞİTİM ORTAMI: EBEVEYNLERİN BEKLENTİLERİ VE İHTİYAÇLARI

Mertcan KARADAĞ

Izmir Democracy University, Institute of Graduate Studies, Department of Early Childhood
Education, Karabaglar, Izmir

ORCID ID: 0009-0005-4801-3171

Dr. Öğr. Üyesi İrem GÜRGAH OĞUL

Izmir Democracy University, Faculty of Education, Department of Early Childhood Education,
Karabaglar, Izmir

ORCID ID: 0000-0002-0419-4776

ÖZET

Güvenli okul ortamının inşası; okulun iç dinamiklerinden bulunduğu çevrenin özelliklerine, alınan önleyici tedbirlerden sosyal ve duygusal öğrenmeyi destekleyen eylemsel yaklaşımlara kadar uzanan çok boyutlu bir yönetimi gerektirmektedir. Okul güvenliği ile ilgili araştırmaların genellikle ilköğretim ve daha ileri eğitim kademelerine odaklandıkları görülmektedir. Bu noktada, okul öncesi dönemdeki çocukların sahip olması gereken güvenli eğitim ortamının daha fazla irdelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araştırma, çocuğu anasınıfına devam eden ebeveynlerin güvenli eğitim ortamına ilişkin algılarını ve ihtiyaçlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma grubu, İzmir’de anasınıfına devam eden 5-6 yaş aralığındaki 5 çocuğun annesinden oluşmaktadır. Çalışmanın verileri annelerle yapılan yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla elde edilmiştir. Görüşmelerde araştırmacılar tarafından oluşturulan yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Görüşmelerden elde edilen ses kayıtları yazıya dökülerek içerik analizi uygulanmıştır. Analizler sonucunda, ebeveynlerin güvenli okul ortamına ilişkin çoğunlukla fiziksel güvenlik unsurlarını önemsedikleri ve bunun yanında sosyal-duygusal güvenlik unsurlarına da dikkat çektikleri bulunmuştur. Ayrıca ebeveynlerin, güvenli bir eğitim ortamının olması için giriş çıkışların denetimli olması, çocukların yaş grubuna uygun alanların olması, donanımın çocuklara uygun olması, öğretmenle olumlu ilişkiler kurması, arkadaşlarıyla olumlu ilişkiler kurması, çocukların ev ortamının destekleyici olması gibi beklentilere sahip oldukları tespit edilmiştir. Ek olarak, ebeveynlerin daha güvenli bir okul ortamı için çocuklara yönelik düzenlemeler yapılması, okulun ailelerle daha fazla iletişim kurması ve okul çevresine yönelik düzenlemeler yapılması gibi ihtiyaçlarının bulunduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Okul güvenliği, Okul öncesi eğitim, Ebeveyn algısı, Güvenli eğitim ortamı, Anasınıfı

SAFE EDUCATIONAL ENVIRONMENTS IN PRESCHOOLS: PARENTAL EXPECTATIONS AND NEEDS

ABSTRACT

Building a safe school environment requires a multidimensional management approach that ranges from the school's internal dynamics to the characteristics of its surroundings, and from preventive measures to action-oriented practices supporting social and emotional learning. Research on school safety is generally observed to focus on primary and subsequent educational levels. In this context, there is a need to further examine the safe educational environments that preschool children require. This study

aims to investigate the perceptions and needs of parents regarding a safe educational environment for their children attending preschool. The study group consists of the mothers of 5 children, aged 5-6, attending preschool in İzmir. The study data were collected through semi-structured interviews conducted with the mothers. A semi-structured interview form developed by the researchers was utilized. Audio recordings obtained from the interviews were transcribed, and content analysis was applied. The analyses revealed that parents primarily prioritize physical safety elements regarding a safe school environment, while also emphasizing social-emotional safety factors. Furthermore, it was determined that to ensure a safe educational environment, parents have expectations such as supervised entry and exit points, age-appropriate spaces for children, child-friendly equipment, positive relationships with teachers and peers, and a supportive home environment. Additionally, it was identified that parent's express needs for child-specific arrangements, enhanced communication between the school and families, and improvements regarding the school's immediate surroundings to foster a safer school environment.

Keywords: School safety, Preschool education, Parent perception, Safe educational environment, Kindergarten

1. Giriş

İnsan yaşamı için fizyolojik ve psikolojik gerekliliklerin yanında güvenlik önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır (Turhan ve Turan, 2012). Maslow'un İhtiyaçlar Hiyerarşisi temel alındığında; bireyin hayatta kalması için elzem olan fizyolojik gereksinimlerin (nefes alma, beslenme, uyku vb.) hemen üzerinde güvenlik ihtiyacı yer almaktadır. Maslow'un kuramsal çerçevesine göre, bir alt basamaktaki ihtiyaçlar makul düzeyde karşılanmadan, bireyin enerjisini ve motivasyonunu bir üst basamağa yöneltmesi mümkün olmadığı kabul edilmektedir.

Bu bağlamda güvenlik; sadece fiziksel korunmayı değil, aynı zamanda ekonomik istikrarı, sağlığın sürekliliğini ve geleceğe dair öngörülebilirliği de kapsayan kritik bir eşik görevi görür. Dolayısıyla güvenlik basamağı, bireyin sosyal bir varlık olarak sevgi ve ait olma ihtiyacına yönelebilmesi, sağlıklı sosyal ilişkiler kurabilmesi ve nihayetinde kendini gerçekleştirebilmesi için gerekli olan psikolojik zemini oluşturur. Güvenlik ihtiyacı tam anlamıyla tesis edilmemiş bir birey için sosyal kabul veya aidiyet arayışı, hayatta kalma kaygısının gölgesinde kalmaya mahkûm olarak değerlendirilmektedir (Freitas ve Leonard, 2011).

Millî Eğitim Bakanlığı (2015) ve UNICEF iş birliğiyle hazırlanan Okul Öncesi Eğitim ve İlköğretim Kurumları Standartları kılavuzuna göre eğitim kurumları sadece akademik bilginin aktarıldığı mekanlar değil, çocuğun yüksek yararını merkeze alan güvenli yaşam alanlarıdır. Bu kılavuzda okul güvenliği, fiziksel çevreden psiko-sosyal ortama kadar uzanan geniş bir yelpazede tanımlanmaktadır. Bu standartlara göre, okulun günlük yaşamında güvenlik; öğrencinin evinden ayrıldığı andan itibaren başlar, okul yolunu, okulun yakın çevresini ve sınıf içi etkileşimi içeren bütüncül bir süreci kapsamaktadır.

Öğrenme-öğretme süreçlerinin etkililiği, çocuğun kendisini hem fiziksel hem de psikolojik olarak güvende hissetmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, okul standartlarının temel odağı olan çocuk, öğrenen rolünün ötesinde, her türlü riskten arındırılmış bir ortamda gelişim hakkı olan birey olarak görülmektedir. Bu riskten arındırılmış güvenli ortamın inşası; okulun iç dinamiklerinden bulunduğu çevrenin özelliklerine, alınan önleyici tedbirlerden sosyal ve duygusal öğrenmeyi destekleyen eylemsel yaklaşımlara kadar uzanan çok boyutlu bir yönetimi gerektirmektedir. Öğretmen görüşleri, çevresel risklerin eğitim ortamını doğrudan tehdit ettiğini; okul güvenliğinin salt fiziksel tedbirler ve cezalarla değil, paydaş katılımı ve olumlu davranış destekleriyle sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.

Yıldız Akyol (2015), ulusal ve uluslararası literatürü incelediği çalışmasında okul güvenliğini; fiziksel, sosyal ve duygusal olmak üzere üç temel boyutta ele almıştır. Fiziksel güvenlik, okulun fiziksel güvenliği; öğrenci ve personelin şiddet, afet veya dışarıdan gelebilecek olası tehlikelere karşı can güvenliğinin en üst düzeyde korunmasını sağlayan somut önlemleri ifade etmektedir. Bu boyut; okulun altyapısal donanımının acil durumlara uygun hale getirilmesi, kontrollü giriş-çıkışların sağlanması ve

kamera sistemleri gibi doğrudan koruyucu uygulamaları içermektedir. Sosyal güvenlik, öğrencinin okul iklimi içerisinde ayrımcılık, çeteleşme veya akran zorbalığı gibi risklerden uzak, destekleyici bir etkileşim ağı içinde bulunmasıdır. Bu güven ortamının inşası; adil bir yönetim anlayışının sergilenmesi, okul paydaşları arasındaki iletişimin güçlendirilmesi ve olumlu akran etkileşiminin sağlanması ile mümkün olmaktadır. Duygusal güvenlik ise bireylerin herhangi bir psikolojik zarar görme kaygısı taşımadan eğitim ortamında kendilerini rahat, özgür ve güvende hissetme durumlarını tanımlamaktadır. Öğrencilerin okullarına aidiyet hissetmeleri, öğretmenleri tarafından desteklendiklerini bilmeleri ve yasakların mantıksal gerekçelerini anlayarak olumlu davranışlara teşvik edilmeleri duygusal güvenliğin temel gereksinimleridir

Eğitim ekosistemindeki bu karmaşık güvenlik dinamiklerinin doğru anlaşılması ve yönetilmesi, konunun akademik boyutta tüm eğitim kademelerini kapsayacak şekilde derinlemesine incelenmesini zorunlu kılmaktadır (Börü vd., 2021). Alanyazında yer alan okul güvenliği araştırmaları incelendiğinde, bu bütüncül ve çocuk merkezli yaklaşımın eğitim kademelerine eşit oranda yansımadağı ve çalışmaların belirli alanlarda yoğunlaştığı dikkati çekmektedir. İlgili literatürdeki araştırmaların büyük bir çoğunluğu ortaokul ve lise (ortaöğretim) kademeleri üzerinde gerçekleştirilmektedir (Robinson vd., 2025; Yıldız Akyol, 2015; Yılmaz, 2025). Bu eğilimin temel nedeni, ergenlik döneminin getirdiği gelişimsel krizlerin bir yansıması olarak akran zorbalığı, fiziksel ve psikolojik şiddet, siber zorbalık ve madde kullanımı gibi akut psiko-sosyal güvenlik tehditlerinin bu yaş gruplarında daha sık ve görünür düzeyde yaşanmasıdır (Dönmez ve Güven, 2001; Geyin, 2007; Kütük, 2008). Buna karşın, ilkökul ve bu kademeye bağlı erken çocukluk eğitim kurumlarına yönelik araştırmalar niceliksel olarak daha sınırlı kalmaktadır. Bu kademelerde yürütülen mevcut çalışmalar ise genellikle çocukların psiko-sosyal güvenlik ihtiyaçlarından ziyade; okul içi kazalar (Gevrek Akar ve Kökcü Doğan, 2021; Karadaş, 2021; Uğurlu ve Kartal, 2023). Oyun alanlarının ergonomisi (Karadaş, 2021), binanın yapısal sorunları (Tünay, 2017) veya trafik riskleri gibi "fiziksel ve çevresel güvenlik" unsurlarına (Turhan ve Turan, 2012; Tünay, 2017) odaklanmaktadır. Dolayısıyla, temel eğitimin ilk basamaklarında sadece fiziksel değil, sosyal ve duygusal güvenliği de kapsayan çok boyutlu, önleyici araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Göksoy vd., 2013).

Bu noktadan hareketle, bu çalışma, anasınıfına devam eden çocukların ebeveynlerinin okul güvenliğine ilişkin algılarını belirlemeyi, bu konudaki beklentilerini ve ihtiyaçlarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranacaktır:

1. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamına yönelik algıları nasıldır?
2. Ebeveynlerin fiziksel, sosyal ve duygusal olarak güvenli bir okul ortamından beklentileri nelerdir?
3. Ebeveynlere göre güvenli bir okul ortamının sağlanabilmesi için hangi ihtiyaçlar ön plana çıkmaktadır?

2.Yöntem

2.1. Araştırma Modeli

Bu araştırma, Millî Eğitim Bakanlığına bağlı ilkokullar bünyesinde yer alan anasınıflarının güvenlik durumunu, bu kurumlara devam eden 4-6 yaş aralığındaki çocukların ebeveynlerinin görüşleri doğrultusunda değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu temel amaç çerçevesinde, ebeveynlerin algı ve deneyimlerinden yola çıkılarak süreç hakkında derinlemesine bir inceleme yürütülmüştür.

Bu araştırmada, nitel araştırma yöntemlerinden fenomenoloji (olgubilim) deseni kullanılmıştır. Fenomenolojik araştırma modeli, bireylerin belirli bir olguya ilişkin kişisel deneyimlerini, algılarını ve yaşantılarını derinlemesine anlamayı sağlayan bir yaklaşımdır (Fraenkel vd., 2012). Bu desende temel amaç, belirli bir fenomeni deneyimleyen az sayıdaki katılımcının ortak yaşantılarının özünü ortaya çıkarmaktır (Creswell, 2014). İlkokullara bağlı anasınıflarındaki okul güvenliği olgusunu, bu durumu bizzat deneyimleyen ebeveynlerin kendi bakış açılarından detaylı bir şekilde incelemeye ve anlamlandırmaya olanak tanıdığı için bu araştırmada fenomenoloji deseni tercih edilmiştir.

2.2. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında İzmir ilindeki resmi ilkokullara bağlı anasınıflarına devam eden, 5-6 yaş aralığında çocuğa sahip beş anne oluşturmaktadır. Katılımcıların belirlenmesinde, araştırmanın amacına uygun olarak derinlemesine bilgi sağlayabilecek kişilere ulaşmayı hedefleyen amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği kullanılmıştır.

Bu kapsamda belirlenen temel ölçütler; katılımcıların çocuklarının devlet okuluna bağlı bir anasınıfına devam ediyor olması ve gönüllülük esasıdır. Çalışma grubuna dahil edilen ebeveynlerin tamamı annelerden oluşmakta olup, grubun homojen yapısı ebeveyn algılarının benzer okul kültürü ve yaş grubu üzerinden incelenmesine olanak tanımıştır.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacı tarafından ilgili alanyazın incelenerek geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formu oluşturulurken ebeveynlerin okul güvenliğine yönelik algılarını çok boyutlu bir şekilde ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda hazırlanan görüşme formu taslağı; güvenli okul kavramına yönelik genel algılar, fiziksel, sosyal ve duygusal güvenlik ile ebeveyn ihtiyaçları boyutlarından oluşmaktadır.

Hazırlanan taslak görüşme formunun amaca uygunluğunu, kapsam geçerliğini ve soruların anlaşılabilirliğini teyit etmek amacıyla sorular uzman görüşüne sunulmuştur. Bu doğrultuda uzmanlardan alınan dönütler ve öneriler doğrultusunda sorularda gerekli düzeltmeler yapılarak görüşme formuna nihai hali verilmiştir. Görüşme formu “Bir okulun güvenli olması için ne gibi özellikler taşıması gerektiğini düşünüyorsunuz?” ve “Okulun fiziksel ortamını (sınıf, bahçe, giriş-çıkışlar vb.) güvenlik açısından nasıl buluyorsunuz?” gibi sorular yer almaktadır.

2.4. Verilerin Toplanması

Araştırmanın verileri ebeveynlerle yapılan yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla elde edilmiştir. Belirlenen ebeveynlere araştırmaya ilişkin bilgi verilmiş ve çalışmaya katılmak isteyip istemedikleri sorulmuştur. Çalışmaya katılmaya gönüllü olan ebeveynler araştırmaya dahil edilmiştir. Ebeveynlerle yüz yüze ve çevrimiçi görüşmeler gerçekleştirilmiş ve bu görüşmeler kayıt altına alınmıştır. Kayıtlar yazılı hale getirilerek analiz edilmiştir.

2.5. Verilerin Analizi

Ebeveynlerin güvenli okul ortamına ilişkin algılarını, beklentilerini ve ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen görüşmeler içerik analizi kullanılarak analiz edilmiştir. Görüşmeler her iki araştırmacı tarafından detaylı olarak okunarak kodlanmış, ebeveynlerin görüşlerinden elde edilen kodlar ortak kategoriler altında birleştirilmiştir. Ardından kategoriler, temalar altında sunulmuştur.

3. Bulgular

Çocukları anasınıfına devam eden ebeveynlerin güvenli okul ortamına ilişkin algılarını, beklentilerini ve ihtiyaçlarını ortaya çıkarmaya yönelik olarak gerçekleştirilen bu araştırmada elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

3.1. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamına yönelik algılarına ilişkin bulgular

Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamının taşıması gereken özellikleri konusundaki algıları incelenmiştir. Ebeveynlerin görüşleri kodlanmış ve fiziksel, sosyal ve duygusal olmak üzere iki tema altında sunulmuştur. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamına yönelik algılarına ilişkin kodlar, kategoriler ve temalar Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamına yönelik algılarına ilişkin kodlar ve kategoriler

Temalar	Kategoriler	Kodlar	f
Fiziksel güvenlik	Okulun işleyişi ve kuralları	Okul kapısında güvenlik görevlisi	3
		Görevlilerin sürekli olması	2
		Rehber öğretmenlerin sayısının artması ve iş birlikli çalışması	2
		Nöbetçi öğretmen olması	2
		Çocukları teslim eden/alan kişilerin bilinmesi	1
	Okulun fiziksel yapısı	Çocuk kıyafetlerinin tek tip olması	1
		Yangın merdiveni	1
		Güvenlik kameraları	1
		Kapıların kapalı olması	1
		Merdivenlerin güvenli olması	1
Sosyal-duygusal Güvenlik	Okul yönetiminin işleyişi	Okulun çevresinin güvenli olması	1
		Öğretmenin güvenilir olması	4
		İdarenin dikkatli davranması	1
		Netlik	1
		Çocuğun Haklarının korunması	1
	Yasaların uygulanması	Sadelik	1
		Herkes için aynı kuralların geçerli olması	1
		Çocukların güvenilir bir ortamdan gelmesi	2
		Akran zorbalığının olmaması	1
		Yetişkin zorbalığının olmaması	1

Tablo 1 incelendiğinde ebeveynlerin güvenli okul ortamı konusunda çoğunlukla fiziksel güvenlik unsurlarına odaklandıkları görülmektedir. Ebeveynlerin görüşlerine göre fiziksel güvenlik unsurlarının okulun işleyişi ve kuralları ve okulun fiziksel yapısı kategorilerinde birleştiği görülmektedir. Ebeveynlerin en çok okul kapısında güvenlik görevlisi olmasına (3 ebeveyn), görevlilerin süreklilik arz etmesine (2 ebeveyn), rehber öğretmenlerin öğretmenlerle iş birlikli çalışmasına (2 ebeveyn) ve okulda nöbetçi öğretmen bulunmasına (2 ebeveyn) önem verdikleri anlaşılmaktadır.

Ebeveyn 5 “Güvenli eğitim dediğimde aklıma gelen ilk şey okulun mesela kapılarında güvenlik yok. Herkes elini kolunu sallaya sallaya girebiliyor içeriye. Kim kimin çocuğunu aldığı belli değil. Öncelikle kapıda güvenlik olmasını isterim. Mesela nöbetçi öğretmenlerin teneffüslerde olmasını isterim.”

Bunun yanında, çocukları teslim eden ve alan kişilerin bilinmesi (1 ebeveyn) ile çocuk kıyafetlerinin tek tip olması (1 ebeveyn) gibi hususların da okulun işleyişi ve kuralları bağlamında güvenliğini sağlayan unsurlar olarak ifade edildiği görülmektedir.

Fiziksel güvenlik temasının diğer bir kategorisi olan "okulun fiziksel yapısı" altında ise ebeveynler; yangın merdiveni bulunması, güvenlik kameralarının olması, okul kapılarının kapalı tutulması, merdivenlerin güvenli olması ve okul çevresinin güvenli olması (biri ebeveyn) gibi donanımsal ve mekânsal önlemlere dikkat çekmişlerdir.

Ebeveynlerin güvenli okul ortamı algılarının diğer boyutunu oluşturan “Sosyal-duygusal Güvenlik” teması incelendiğinde; bulguların okul yönetiminin işleyişi, yasaların uygulanması, çocukların özellikleri ve olumlu davranışlar olmak üzere dört kategoride toplandığı görülmektedir. Bu tema altında ebeveynler tarafından en çok vurgulanan unsur, okul yönetiminin işleyişi kategorisinde yer alan "öğretmenin güvenilir olması" (4 ebeveyn) kodudur. Aynı kategori altında idarenin dikkatli davranması ve süreçlerdeki netlik (biri ebeveyn) beklentileri de dile getirilmiştir.

Ebeveyn 3 “Açıkçası beni endişelendiren bir durum yok çünkü sürekli çocuklarımızın arkasındayız. Her durumlarında gözlerinin içine bakıyoruz. Eskiden nasıldı bilmiyorum ama günümüzde bütün anneler böyle, çocuklarının üzerine titriyor. Kendi açımdan bir endişe duymuyorum. Çünkü okulda en ufak bir düşme veya çarpma durumunda bile her şeyle yakından ilgileniliyor. Öğretmenimize de çok güveniyorum, onun da canla başla çalıştığından eminim.”

Göstermişlerdir güvenliğin tesisi için "yasaların uygulanması" kategorisinde ebeveynler; çocuğun haklarının korunması, sadelik ve okul içinde herkes için aynı kuralların geçerli olması (1'er ebeveyn) unsurlarını belirterek adalete ve eşitlikçi bir ortama verdikleri önemi göstermişlerdir. Ayrıca ebeveynler, okulun sosyal iklimi bağlamında diğer "çocukların güvenilir bir ortamdan gelmesi" (2 ebeveyn) gerektiğine işaret etmişlerdir. Son olarak, "olumlu davranışlar" kategorisi altında hem akran zorbalığının olmaması (1 ebeveyn) hem de yetişkin zorbalığının olmaması (1 ebeveyn) durumları, duygusal anlamda güvenli bir eğitim ortamının temel gereklilikleri olarak sıralanmıştır.

Ebeveyn 4 *"Çocuğun, iyi veya kötü fark etmeksizin ailenin bir yansıması olduğuna yürekten inanıyorum. Eğitimin okulda başladığı görüşüne katılmıyorum; eğitim kesinlikle evde, tam da ailenin merkezinde başlar. Siz çocuğa neyi gösterirseniz, neyi öğretirseniz veya evde ne konuşursanız; çocuk da bunu aynı şekilde okulda yanındaki arkadaşına ya da öğretmenine kullandığı bir kelimeyle belli eder. Bu durumun doğruluğuna dair inancım tamdır."*

3.2. Ebeveynlerin fiziksel, sosyal ve duygusal olarak güvenli bir okul ortamından beklentilerine ilişkin bulgular

Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamından beklentileri incelenmiştir. Ebeveynlerin görüşleri kodlanmış ve "fiziksel olarak güvenli bir okul ortamı" ile "sosyal-duygusal olarak güvenli bir okul ortamı" olmak üzere iki kategori altında sunulmuştur. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamına yönelik beklentilerine ilişkin kategoriler ve kodlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamına yönelik beklentilerine ilişkin kategoriler ve kodlar

Kategoriler	Kodlar	f
Fiziksel olarak güvenli bir okul ortamı	Giriş çıkışların denetimli olması	4
	Çocukların yaş grubuna uygun alanların olması	2
	Donanımın çocuklara uygun olması	1
Sosyal-duygusal olarak güvenli bir okul ortamı	Öğretmenle olumlu ilişkiler kurması	3
	Arkadaşlarıyla olumlu ilişkiler kurması	4
	Çocukların ev ortamının destekleyici olması	2

Ebeveynlerin güvenli bir eğitim ortamından beklentilerini ortaya koyan bulgular incelendiğinde, görüşlerin "fiziksel olarak güvenli bir okul ortamı" ve "sosyal-duygusal olarak güvenli bir okul ortamı" olmak üzere iki temel kategoride toplandığı görülmektedir.

"Fiziksel olarak güvenli bir okul ortamı" kategorisi altında ebeveynlerin en çok vurguladığı beklenti, giriş çıkışların denetimli olması (4 ebeveyn) olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra ebeveynler, okul içi mekanların çocukların yaş grubuna uygun alanlar olması (2 ebeveyn) ve donanımın çocuklara uygun olması (1 ebeveyn) gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu bulgular, ebeveynlerin fiziksel güvenlik beklentilerinin yalnızca dışarıdan gelebilecek tehlikeleri önlemeye (giriş-çıkış denetimi) yönelik olmadığını; aynı zamanda okul içindeki ergonomik ve mekânsal düzenlemelerin de çocuğun gelişim düzeyine uygun ve güvenli olmasını kapsadığını göstermektedir.

Ebeveyn 3 *"Okula girdiğim anda beni karşılayan şey, bomboş bir ortam. Çocukların dışarılarda gezdiği, kapıların kapalı olmadığı bir yer burası. Çocuğumu teslim edeceğim belirgin bir giriş kapısı bile göremiyorum; bu durum büyük bir boşluk yaratıyor. Okulun çevresi ormanlık bir alan ve orada ne olacağı hiç belli değil. Güvenlik önlemlerini genel olarak yetersiz buluyorum. Örneğin, şu ana kadar hiç nöbetçi öğretmen görmedim. Bu çok büyük bir eksiklik; çocukların güvenliğinde öğretmenlere büyük bir sorumluluk düşüyor mu?"*

Diğer yandan, "sosyal-duygusal olarak güvenli bir okul ortamı" kategorisi incelendiğinde, ebeveynlerin çocuğun sosyal çevresiyle kurduğu etkileşime büyük önem attıkları anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, ebeveynler tarafından en fazla dile getirilen beklenti çocuğun arkadaşlarıyla olumlu ilişkiler kurması (4 ebeveyn) olmuştur. Bunu, çocuğun öğretmenle olumlu ilişkiler kurması (3 ebeveyn) beklentisi takip etmiştir. Ayrıca, okul sınırlarını aşan bir faktör olarak çocukların ev ortamının destekleyici olması (2 ebeveyn) gerekliliği de sosyal-duygusal güvenliği tamamlayıcı bir unsur olarak belirtilmiştir.

Ebeveyn 5 “Çocuğumun arkadaşlarıyla mutlu olduğunu gözlemliyorum. Temennim, arkadaşlarıyla tartışmadan güzel oyunlar kurabilmesi; bir tartışma yaşadıklarında ise birbirlerinin gönlünü almayı bilmeleridir. Kesinlikle hiçbir çocuğa akran zorbalığı yapmasını istemem. Okulun ilk zamanlarında kaynaşma sorunu ve bazı anlaşmazlıklar yaşadı; utandığı için arkadaşlarını kendi istediği oyunları oynamaya ikna edemiyordu. Başlarda birbirlerini tanımadıkları için bu durum normaldi ancak şimdi bir sorun yaşamıyorlar. Takip ettiğim kadarıyla artık birlikte oyunlar kurup uyum içinde oynayabiliyorlar.”

Genel olarak değerlendirildiğinde; ebeveynlerin güvenli bir okul ortamı beklentilerinin sadece mekânın fiziksel olarak korunması ve uygunluğunu içermediği, aynı zamanda akran, öğretmen ve aile ekseninde şekillenen sağlıklı ve destekleyici bir psiko-sosyal iklimi de zorunlu kıldığı anlaşılmaktadır.

3.3. Ebeveynlere göre güvenli bir okul ortamının sağlanabilmesinde duyulan ihtiyaçlara ilişkin bulgular

Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamının sağlanabilmesi için duydukları ihtiyaçlar incelenmiştir. Ebeveynlerin görüşleri kodlanmış ve "çocuklara yönelik düzenlemeler", "okulun ailelerle iletişim kurması" ve "okul çevresine yönelik düzenlemeler" olmak üzere üç kategori altında sunulmuştur. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamının sağlanabilmesinde duydukları ihtiyaçlara ilişkin kategoriler ve kodlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Ebeveynlerin güvenli bir okul ortamının sağlanabilmesinde duydukları ihtiyaçlara ilişkin kategoriler ve kodlar

Kategoriler	Kodlar	f
Çocuklara yönelik düzenlemeler	Erken müdahalelerin yapılması	4
	Personelin olumlu davranışlar konusunda model olması	2
	Rehber öğretmenin iletişimi	2
	Çocuklara daha uygun alanlar yaratılması	1
Okulun ailelerle iletişim kurması	Öğretmen aracılığıyla bilgilendirme	3
	Veli toplantıları	2
	Sosyal medya araçlarının kullanılması	1
Okul çevresine yönelik düzenlemeler	Giriş ve çıkışların kontrol edilmesi	1

Ebeveynlerin daha güvenli bir eğitim ortamının tesis edilmesi için okuldan ve eğitim sisteminden temel ihtiyaçları incelendiğinde bulguların; "çocuklara yönelik düzenlemeler", "okulun ailelerle iletişim kurması" ve "okul çevresine yönelik düzenlemeler" olmak üzere üç ana kategoride şekillendiği görülmektedir.

"Çocuklara yönelik düzenlemeler" kategorisinde ebeveynlerin en çok ihtiyaç duyduğu unsur, olası sorunlara karşı erken müdahalelerin yapılması (4 ebeveyn) olmuştur. Bunun yanı sıra, okul personelinin çocuklara olumlu davranışlar konusunda model olması (2 ebeveyn) ve çocukların psiko-sosyal süreçlerinin takibi için rehber öğretmenin iletişimi (2 ebeveyn) gibi pedagojik destek unsurlarına ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Ayrıca, mekanların iyileştirilmesi bağlamında çocuklara daha uygun alanlar yaratılması (1 ebeveyn) gerekliliği de ebeveynler tarafından dile getirilmiştir.

Ebeveyn 1 “Yaşanan olumsuz olayların ardından acil durum ekiplerinin hızlıca kurulması gerektiğini düşünüyorum; aslında bu ekipler her an hazır olmalı. Örneğin, kriz anlarında bazı öğretmenler sadece kütüphane ve kitap etkinlikleri için görevlendirilirken, sizler gibi branş öğretmenleri çocukların kaygılarını azaltacak oyun veya satranç gibi daha 'yumuşak' etkinliklerle süreci yönetmelisiniz. Beden eğitimi öğretmenlerine de bu noktada özel gruplar verilmesi gerektiğini ve bu alanlardaki çalışmaların artırılması gerektiğini düşünüyorum. Sosyal güvenlik açısından ise okul kapıları kesinlikle sınırlandırılmalı ve bahçe güvenliğine özen gösterilmeli; çünkü şu an giriş-çıkışlar hala çok kontrolsüz ve rahat yapılıyor.”

Ebeveynlerin okul-aile iş birliği bağlamındaki gereksinimlerini yansıtan "okulun ailelerle iletişim kurması" kategorisi incelendiğinde; velilerin en çok öğretmen aracılığıyla bilgilendirme (3 ebeveyn) yapılmasını talep ettikleri görülmektedir. Bu proaktif iletişim ihtiyacını sırasıyla veli toplantıları (2 ebeveyn) ve çağımızın gerekliliklerine uygun bir iletişim kanalı olan sosyal medya araçlarının kullanılması (1 ebeveyn) takip etmektedir. Bu bulgular, ebeveynlerin çocuklarının okuldaki durumundan ve okulun genel güvenlik ikliminden haberdar olmak için öncelikli olarak sınıf öğretmeniyle doğrudan, düzenli ve şeffaf bir iletişim ağı kurmaya ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Ebeveyn 5 *"Mevcut durumda öğretmen ve velilerle olan iletişim gruplarımıza ek olarak, bilgilendirme amaçlı yeni kanallar açılabilir; artık her şey internet ve WhatsApp üzerinden ilerliyor. Okulumuzun sosyal medya sayfalarında yapılan paylaşımlar, toplantılarda konuşulan kritik konuları da içerecek şekilde genişletilebilir; herkesin sosyal medyası olduğu için bu bilgilere oradan da ulaşılabilir. Sonuçta konu çocuklarımızın güvenliği olduğu için, toplantıya gelemeyen velilere tek tek mesaj atılarak bilgilendirme yapılması gerektiğini düşünüyorum; çünkü bu bir görevdir."*

Son olarak, "okul çevresine yönelik düzenlemeler" kategorisi altında ebeveynler tarafından, okul sınırları etrafındaki fiziksel güvenliğin temel bir unsuru olan giriş ve çıkışların kontrol edilmesi (1 ebeveyn) ihtiyacı vurgulanmıştır.

Elde edilen bu bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde; ebeveynlerin güvenli bir okul ortamı için sadece dışarıdan gelebilecek tehlikelere karşı fiziksel tedbirlerin artırılmasını beklemedikleri anlaşılmaktadır. Ebeveynler aynı zamanda; çocukların psikolojik gelişimini koruyacak erken müdahale ve rol model uygulamalarına, okul rehberlik servisinin aktif rol almasına ve okul ile aile arasındaki iletişim kanallarının sürekli açık tutulmasına güçlü bir şekilde ihtiyaç duymaktadırlar.

4. Sonuç ve Tartışma

Araştırmadan elde edilen bulgular, anasınıfı velilerinin okul güvenliğini salt fiziksel tedbirlerden ibaret görmeyip; bu olguyu sosyal ve duygusal boyutları da içine alan çok boyutlu bir yapı olarak algıladıklarını ortaya koymaktadır. Ebeveynler, ilk etapta fiziksel güvenlik unsurlarına odaklansalar da psiko-sosyal güvenliğin eğitim ortamının ayrılmaz bir bileşeni olduğunu vurgulamışlardır. Velilerin okul güvenliğine yönelik bu bütüncül beklentisi, yurt içi ve yurt dışı alanyazındaki okul güvenliği problemlerini fiziksel ve psikolojik boyutlarıyla derinlemesine inceleyen Yıldız Akyol'un (2015) çalışmalarıyla doğrudan örtüşmektedir. Elde edilen bu paralellik, okul güvenliğinin çok boyutlu yapısının hem literatürde hem de ebeveyn deneyimlerinde karşılık bulduğunu doğrulamaktadır.

Ebeveynlerin fiziksel güvenlik bağlamındaki algı ve beklentileri incelendiğinde; okul kapısında güvenlik görevlisinin bulunması, giriş çıkışların denetimli olması ve mekânların/donanımın çocukların yaş grubuna uygun olması ön plana çıkmaktadır. Ebeveynlerin fiziksel güvenlik beklentilerinin sadece dışarıdan gelebilecek tehlikeleri önlemeye yönelik olmadığı, aynı zamanda okul içindeki ergonomik düzenlemelerin de çocuğun gelişimine uygun olmasını kapsadığı görülmüştür. Elde edilen bu bulgular, okul öncesi eğitim kurumlarındaki güvenlik zafiyetlerini inceleyen Karadaş'ın (2021) çalışma sonuçlarıyla doğrudan örtüşmektedir. Nitekim Karadaş (2021), araştırmasında güvenlik personelinin eksikliği, çocukların yetkisiz kişilere teslim edilmesi riski ve masa kenarları ile kaygan zeminler gibi fiziksel tehlikelerin sahadaki en temel sorunlar olduğunu tespit etmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada ebeveynlerin dile getirdiği denetimli giriş-çıkış ve ergonomik donanım taleplerinin, alanyazında tespit edilen mevcut riskleri bertaraf etmeye yönelik son derece gerçekçi ve haklı gereksinimler olduğu anlaşılmaktadır.

Araştırmanın en çarpıcı sonuçlarından biri, ebeveynlerin sosyal-duygusal güvenlik boyutuna atfettikleri yüksek önemdir. Ebeveynler, öğretmenin güvenilir olmasını, çocukların arkadaşlarıyla olumlu ilişkiler kurmasını ve okul idaresinin adil ve net bir yönetim sergilemesini güvenli bir okulun temel şartları arasında sıralamışlardır. Güvenliğin sadece mekânın fiziksel olarak korunması ile değil, akran ve öğretmen ekseninde şekillenen sağlıklı bir psiko-sosyal iklimle tesis edilebileceği anlaşılmaktadır. Bu bulgu, ortaöğretim kademelerinde yoğunlaşan ve güvenliğin salt fiziksel tedbirlerle sağlanamayacağını belirten güncel literatürle paralellik göstermekte olup, okul öncesi dönemde de okul ikliminin ebeveynlerin güvenlik algısında kritik bir rol oynadığını kanıtlamaktadır.

Türkiye ve dünyada yapılan araştırmalar incelendiğinde, uluslararası çalışmalarda güvenlik politikalarının çok boyutlu olarak ele alındığı, Türkiye’de ise daha çok fiziksel güvenlik önlemlerine odaklanıldığı görülmektedir (Yılmaz, 2025). Bu araştırmanın sonuçları da okul güvenliğinin sağlanması için sadece fiziki önlemlerle sınırlı kalınmaması gerektiğini açıkça ortaya koyarak literatürdeki bu çok boyutlu yaklaşım ihtiyacını desteklemektedir. Bulgular değerlendirildiğinde; ebeveynlerin olası sorunlara karşı erken müdahale, okul personelinin model olması ve öğretmen aracılığıyla düzenli bilgilendirme gibi psiko-sosyal beklentilerinin öne çıktığı görülmüştür. Velilerin çocuklarının durumundan haberdar olmak için iletişim kanallarının sürekli açık tutulmasına ve okul rehberlik servisinin aktif rol almasına yönelik duydukları güçlü ihtiyaç, Yılmaz’ın (2025) paydaşların iş birliği içinde hareket etmesi ve psikososyal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi gerektiği yönündeki tespitleriyle tam olarak örtüşmektedir.

Sonuç olarak, okul öncesi eğitim kurumlarında güvenli eğitim ortamı; sadece yapısal tedbirlerden ibaret statik bir kavram değil, çocuğun yüksek yararını merkeze alan dinamik bir süreçtir. İnsan yaşamı için fizyolojik gereksinimlerden hemen sonra gelen güvenlik ihtiyacı, çocukların sosyal ilişkiler kurabilmesi ve sağlıklı bir psikolojik zeminde gelişebilmesi için elzemdir.

Bu bağlamda, okul yöneticilerinin ve politika yapıcılarının anasınıflarında güvenlik stratejileri geliştirirken; giriş-çıkış kontrollerini ve yaşa uygun fiziksel donanımları sağlamalarının yanı sıra, okul iklimini iyileştirecek pedagojik desteklere, rehberlik hizmetlerine ve proaktif okul-aile iletişim modellerine de eşit derecede ağırlık vermeleri önerilmektedir

Kaynaklar

- Börü, A., Tazecan, F., Toprak, M., & Tazecan, F. (2021). Okul güvenliğine ilişkin öğretmen algı düzeylerinin incelenmesi. *International Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 7(45), 2063-2070. <https://doi.org/10.31589/JOSHAS.777>
- Creswell, J. W. (2014). A concise introduction to mixed methods research. SAGE Publications.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8. Baskı). McGraw-Hill.
- Freitas, F. A., & Leonard, L. J. (2011). Maslow’s hierarchy of needs and student academic success [Maslow’un ihtiyaçlar hiyerarşisi ve öğrenci akademik başarısı]. *Teaching and Learning in Nursing*, 6(1), 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.teln.2010.07.004>
- Gevrek Akar, S., & Kökcü Doğan, A. (2021). Temel eğitim kurumlarında alınan güvenlik önlemlerinin okul kazalarına etkisinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10(1), 114-122.
- Geyin, Ç. (2007). *Genel liselerde okul güvenliği algılarının incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Göksoy, S., Emen, E., & Aksoy, C. (2013). Okullarda güvenlik sorunu. *Millî Eğitim*, 42(200), 123-139.
- Karadaş, H. (2021). Okul öncesi eğitim kurumlarında yaşanan güvenlik ve sağlık problemlerinin paydaş görüşlerine göre incelenmesi. *Anatolian Journal of Health Research*, 2(1), 7-14. <https://doi.org/10.29228/anatoljhr.50959>
- Kütük, Ö. (2008). *Liselerde okul güvenliğine yönelik bir çalışma* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2015). *Okul öncesi eğitim ve ilköğretim kurumları standartları kılavuz kitabı: Yöneticiler, öğretmenler, maarif müfettişleri ve uzmanlar için kavramsal temeller ve uygulama*. <http://temelegitim.meb.gov.tr>
- Robinson, L. E., Watson, K. R., Fensterstock, N., Hogenkamp, S., Xu, Y., Garner, H., Warri, V. R., Morgan, C. H., Garcia, A. A., Wu, C., Dunn, D., Espelage, D. L., Astor, R. A., McMahon, S. D., Reddy, L. A., Anderman, E. M., Worrell, F. C., & Martinez, A. (2025). School safety

- concerns and solutions: A qualitative analysis of U.S. school psychologists' perspectives. *Behavioral Sciences*, 15(2), 228. <https://doi.org/10.3390/bs15020228>
- Tünay, G. D. (2017). *Okul öncesi eğitim kurumlarında öğrenci sağlığı ve güvenliği uygulamalarının Millî Eğitim Bakanlığı standartlarına uygunluğu* [Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi]. Ankara Üniversitesi
- Turhan, M., & Turan, M. (2012). Ortaöğretim kurumlarında güvenlik. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 18(1), 121-142.
- Uğurlu, C. T., & Kartal, E. (2023). Okul öncesi eğitim kurumlarında iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin okul öncesi öğretmenlerinin görüşlerinin incelenmesi. *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum*, 12(34), 209-236.
- Yıldız Akyol, E. (2015). Okul güvenliği ile ilgili yurtiçinde ve yurtdışında yapılan çalışmaların incelemesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 13(1), 1-12. <https://izlik.org/JA78LW57EF>
- Yılmaz, Ö. (2025). Okul güvenliğinin önemi ve güvenliğin sağlanması. *Sosyal Gelişim Dergisi*, 3(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14894757>

ÜST YAPI YÖNETİMİ İÇİN VERİ ODAKLI TRAFİK YÜKÜ TAHMİNİ: PSO TABANLI MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMI

Nur Sueda ÇINAR KOCAMAN

Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Merkez, Karabük

ORCID ID: 0009-0006-9572-6710

Dr. Öğr. Üyesi Özlem BATTAL ŞAL

Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Merkez, Karabük

ORCID ID: 0000-0002-2308-7933

ÖZET

Hızlı kentleşme ve artan trafik yükleri, karayolu üst yapılarının bozulma süreçlerini hızlandırarak bakım-onarım maliyetlerini önemli ölçüde artırmaktadır. Üst yapı performansının korunması ve hizmet ömrünün uzatılması için, gelecekteki trafik yüklerinin yüksek doğrulukla tahmin edilmesi proaktif bakım planlamasının ön koşuludur. Bu çalışmada, üst yapı yönetimi karar destek zincirinin tahmin halkasını oluşturan saatlik trafik yoğunluğu tahmini için yedi farklı makine öğrenmesi algoritması karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Hiperparametre optimizasyonunda Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Madrid şehri için oluşturulan ve trafik sensörü, yol altyapısı, takvim ve meteorolojik verilerin entegrasyonu ile elde edilen veri kümesinden seçilen 40.000 gözlemlik temsili alt küme üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. PSO ile optimize edilen XGBoost modeli, test verisi üzerinde en yüksek performansı sergilemiştir ($R^2 = 0,795$; RMSE = 80,36; MAE = 55,88). SHAP tabanlı yorumlanabilirlik analizi, trafik yoğunluğunun büyük ölçüde zamansal değişkenler tarafından yönlendirildiğini, meteorolojik değişkenlerin ise ikincil etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Önerilen tahmin modelinin, beş aşamalı bir üst yapı yönetimi karar destek çerçevesinin tahmin katmanı olarak konumlandırılabilmesi gösterilmiştir. Çalışma, akıllı altyapı yönetimi ve veri odaklı bakım planlamasına metodolojik bir katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Üst yapı yönetimi, trafik tahmini, makine öğrenmesi, bakım onarım

DATA-DRIVEN TRAFFIC LOAD PREDICTION FOR PAVEMENT MANAGEMENT: A PSO-BASED MACHINE LEARNING APPROACH

ABSTRACT

Rapid urbanization and increasing traffic loads accelerate the deterioration of road pavements, considerably raising maintenance and rehabilitation costs. Accurate forecasting of future traffic loads is a prerequisite for proactive maintenance planning aimed at preserving pavement performance and extending service life. This study comparatively evaluates seven machine learning algorithms (XGBoost, GBM, Random Forest, Extra Trees Regressor, k-Nearest Neighbors, Support Vector Regression, Decision Tree) for hourly traffic intensity prediction, which constitutes the predictive layer of a pavement management decision-support chain. Particle Swarm Optimization (PSO) was employed for hyperparameter tuning. Analyses were conducted on a representative subset of 40,000 observations selected from an enriched dataset for the city of Madrid that integrates traffic sensor, road infrastructure, calendar, and meteorological data. The PSO-optimized XGBoost model achieved the highest

performance on the test set ($R^2 = 0.795$; RMSE = 80.36; MAE = 55.88). SHAP-based interpretability analysis revealed that traffic intensity is primarily driven by temporal variables, while meteorological variables exert a secondary influence. The proposed prediction model is positioned as the predictive layer of a five-stage pavement management decision-support framework, bridging traffic forecasting and maintenance planning. The study contributes methodologically to smart infrastructure management and data-driven maintenance planning.

Keywords: Pavement management, traffic prediction, machine learning, maintenance and repair

1. GİRİŞ

Karayolu üst yapıları, ulaştırma altyapısının en yüksek bütçeli ve toplumsal etkisi en geniş bileşenlerinden biridir (Güzel, 2024). Üst yapı performansı, yolun tasarım hizmet ömrü boyunca trafik yükleri ve çevresel etkiler altında fonksiyonel ve yapısal gereksinimleri karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanmakta; bu performans zaman içinde trafik yükleri, iklim koşulları, malzeme özellikleri ve yapım kalitesinin eş zamanlı etkisiyle azalmaktadır (Hımat, 2022). Hızlı kentleşme ve artan araç sayısı bu bozulma sürecini hızlandırarak bakım-onarım maliyetlerini ciddi biçimde artırmaktadır.

Geleneksel üst yapı yönetimi yaklaşımları, geçmiş yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) verilerine ve tasarım aşamasında varsayılan büyüme oranlarına dayalı statik projeksiyonlar üzerine kuruludur. Ancak yoğun kentleşmenin görüldüğü modern yerleşim alanlarında trafik akışı yüksek değişkenlik göstermekte; günlük, haftalık ve mevsimsel örüntüler statik projeksiyonlardan önemli sapmalar üretebilmektedir (Alsrehin et al., 2019). Bu durum, üst yapı yük tahminlerinin daha yüksek zamansal çözünürlükte ve veri odaklı yöntemlerle yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Akıllı şehir ve akıllı ulaşım sistemleri kapsamında trafik akışı, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleriyle yüksek doğrulukla modellenenilmektedir (Almukhalifi et al., 2024). Trafik akışının zaman ve mekân boyutlarında birbirine bağlı olması bu modellemeyi karmaşıktırmakla birlikte, artan veri hacmi makine öğrenmesi modellerinin eğitilmesi için zengin bir kaynak oluşturmaktadır (Mihaita et al., 2020). Bu yaklaşımlar, üst yapı yönetimi için doğrudan kullanılabilecek yüksek çözünürlüklü trafik yükü projeksiyonları üretme potansiyeli taşımaktadır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, yüksek çözünürlüklü trafik yoğunluğu tahmininin üst yapı yönetimine entegre edilebilmesi için gerekli tahmin katmanını geliştirmek ve değerlendirmektir. Bu kapsamda yedi farklı makine öğrenmesi algoritması karşılaştırmalı olarak ele alınmış; hiperparametre optimizasyonunda PSO kullanılmıştır. SHAP yöntemi ile model çıktıları yorumlanabilir kılınmış, son olarak elde edilen tahmin modeli beş aşamalı bir üst yapı yönetimi karar destek çerçevesi içinde konumlandırılmıştır.

Çalışmanın özgün katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- Yedi makine öğrenmesi algoritmasının PSO tabanlı hiperparametre optimizasyonu altında karşılaştırmalı değerlendirilmesi,
- SHAP yöntemi ile model davranışının yorumlanabilirliğinin sağlanması,
- Tahmin sonuçlarının üst yapı yönetimi karar destek çerçevesi ile bağlantılandırılması ve metodolojik bir köprü oluşturulması.

2. METODOLOJİ

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, Gómez ve Ilarri (2024) tarafından Madrid şehri için derlenen zenginleştirilmiş trafik veri kümesi kullanılmıştır. Söz konusu veri kümesi, trafik sensörlerinden elde edilen ölçümlerin yol altyapısı, takvim ve meteorolojik verilerle entegrasyonu ile oluşturulmuş olup toplam 1.048.576 gözlem içermektedir. Hesaplama maliyeti ve donanım kısıtları dikkate alınarak veri setinden rastgele örnekleme yöntemiyle 40.000 gözlemden oluşan temsili bir alt küme seçilmiştir. Alt kümenin tüm değişkenler

bakımından özgün dağılım istatistiklerini koruduğu ön analizlerle (Kolmogorov-Smirnov testi) doğrulanmıştır.

Modelin giriş ve çıktı değişkenleri şu şekilde tanımlanmıştır:

- **Zamansal değişkenler:** hour_sin ve hour_cos (saatin sinüs ve kosinüs dönüşümleri ile döngüsel kodlanması), week_day (haftanın günü, 0–6 aralığında).
- **Meteorolojik değişkenler:** wind (rüzgâr hızı, m/s), precipitation (yağış miktarı, mm), temperature (sıcaklık, °C).
- **Çıktı değişkeni:** traffic_intensity (saatlik trafik yoğunluğu, taşıt/saat).

Saat değişkeninin doğrusal olmayan ve döngüsel yapısının modele doğru aktarılabilmesi için sinüs ve kosinüs dönüşümleri kullanılmıştır; bu dönüşüm, gece yarısı geçişlerinde ortaya çıkan süreksizlik problemini ortadan kaldırmaktadır. Tüm giriş ve çıktı değişkenleri, model performansını artırmak amacıyla maksimum-değer normalizasyonu ile [0, 1] aralığına ölçeklenmiştir. Eksik değerler için sütun bazında medyan tamamlama uygulanmış; aykırı değerler IQR yöntemi ile incelenmiş ve anlamlı uç değerler veri setinde korunmuştur. Veri kümesi rastgele biçimde %70 eğitim ve %30 test olarak ayrılmış; tekrarlanabilirlik için sabit tohum (random_state = 42) kullanılmıştır.

2.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Çalışmada, doğrusal olmayan ilişkileri yakalama mekanizmaları farklı ve birbirini tamamlayıcı yedi algoritma karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

- **XGBoost (eXtreme Gradient Boosting):** Topluluk öğrenme kapsamında, gradyan artırma tekniğiyle çok sayıda zayıf karar ağacını birleştiren, yüksek genelleme kabiliyetli bir algoritmadır (Chen & Guestrin, 2016).
- **GBM (Gradient Boosting Machine):** Zayıf öğrencileri sıralı şekilde birleştirerek hataları iteratif biçimde azaltan klasik bir boosting yöntemidir (Natekin & Knoll, 2013).
- **Random Forest (RF):** Birden fazla karar ağacının rastgele alt veri ve özellik kümeleriyle eğitilip sonuçlarının birleştirildiği, aşırı öğrenmeye karşı dayanıklı bir topluluk yöntemidir (Breiman, 2001).
- **Extra Trees Regressor (ETR):** Random Forest'a benzer; ancak bölünme noktalarını daha rastgele seçerek model çeşitliliğini artırır (Geurts et al., 2006).
- **k-En Yakın Komşu (KNN):** Tahmini, eğitim verisindeki en yakın k komşuya bakarak yapan örnek tabanlı bir yöntemdir (Ergen & Katlav, 2023).
- **Destek Vektör Regresyonu (SVR):** Belirli bir hata toleransı içinde veriyi en iyi temsil eden fonksiyonu arayan, doğrusal olmayan ilişkilerde etkili bir yöntemdir (Cortes & Vapnik, 1995).
- **Karar Ağacı (DT):** Veriyi özelliklere göre dallandırarak karar veren, yorumlanabilirliği yüksek temel bir modeldir (Witten & Frank, 2005).

2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), kuş sürüleri ve balık topluluklarının kolektif hareket davranışlarından esinlenerek geliştirilen bir küresel optimizasyon yöntemidir. Her çözüm adayı bir parçacık olarak tanımlanır; parçacıklar çözüm uzayında hem bireysel en iyi (pbest) hem de global en iyi (gbest) konum bilgilerine göre hız ve konumlarını iteratif biçimde günceller (Wang et al., 2018). PSO'nun en önemli avantajlarından biri, geniş arama uzaylarında yerel minimumlara takılmadan etkin biçimde optimal çözüme ulaşabilmesidir.

Bu çalışmada PSO algoritması, geleneksel grid search ve random search yöntemlerine alternatif olarak her bir makine öğrenmesi modelinin hiperparametrelerini optimize etmek için kullanılmıştır. Algoritma parametreleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Sürü büyüklüğü (popülasyon): 30 parçacık
- Maksimum iterasyon sayısı: 100
- Atalet ağırlığı (w): 0,7
- Bilişsel katsayı (c₁): 1,5
- Sosyal katsayı (c₂): 1,5
- Maliyet fonksiyonu: 5-katlı çapraz doğrulama ortalaması RMSE değerinin minimize edilmesi

Optimizasyon süreci Python 3.10 ortamında scikit-learn 1.3, xgboost 2.0 ve pyswarms 1.3 kütüphaneleri ile gerçekleştirilmiştir. Her model için PSO ile elde edilen optimal hiperparametre değerleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. PSO tabanlı hiperparametre optimizasyonu sonuçları ve model bazlı optimal parametre değerleri.

Model	Hiperparametre	Arama Aralığı	Optimal Değer
PSO-SVR	C	(0,1–10)	9,496
	gamma	(0,001–1)	0,999
	kernel	(linear, rbf)	rbf
PSO-KNN	n_neighbors	(3–10)	10
	algorithm	(auto, ball_tree, kd_tree, brute)	brute
	metric	(euclidean, manhattan)	manhattan
PSO-DT	max_depth	(1–20)	8
	min_samples_split	(2–5)	5
PSO-RF	n_estimators	(50–500)	381
	max_depth	(1–20)	12
	min_samples_split	(2–11)	11
PSO-XGBoost	n_estimators	(50–500)	225
	max_depth	(3–10)	5
	learning_rate	(0,01–0,2)	0,102
PSO-GBM	n_estimators	(50–500)	340
	max_depth	(3–10)	5
	learning_rate	(0,01–0,2)	0,079
PSO-ETR	n_estimators	(50–500)	383
	max_depth	(5–30)	11
	min_samples_split	(2–11)	9
	max_features	(sqrt, log2)	log2

2.4. Performans Değerlendirme Metrikleri

Model performansları üç yaygın regresyon metriği ile değerlendirilmiştir: determinasyon katsayısı (R^2), kök ortalama kare hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE). Hiperparametre optimizasyonu sürecinde 5-katlı çapraz doğrulama uygulanmış; nihai performans değerleri hem eğitim hem de test veri kümeleri üzerinde raporlanmıştır. Model davranışlarının yorumlanabilirliği için ise oyun teorisindeki Shapley değerlerinden esinlenen SHAP (Shapley Additive Explanations) yöntemi kullanılmış; bu yöntem her bir değişkenin model çıktısına olan katkısını nicel olarak belirlemekte ve hem küresel hem de yerel açıklamalar sunabilmektedir (Lundberg & Lee, 2017).

3. BULGULAR

3.1. Model Karşılaştırma Sonuçları

PSO ile optimize edilen yedi modelin eğitim ve test verisi üzerindeki performansları Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. PSO ile optimize edilmiş makine öğrenmesi modellerinin performans karşılaştırması

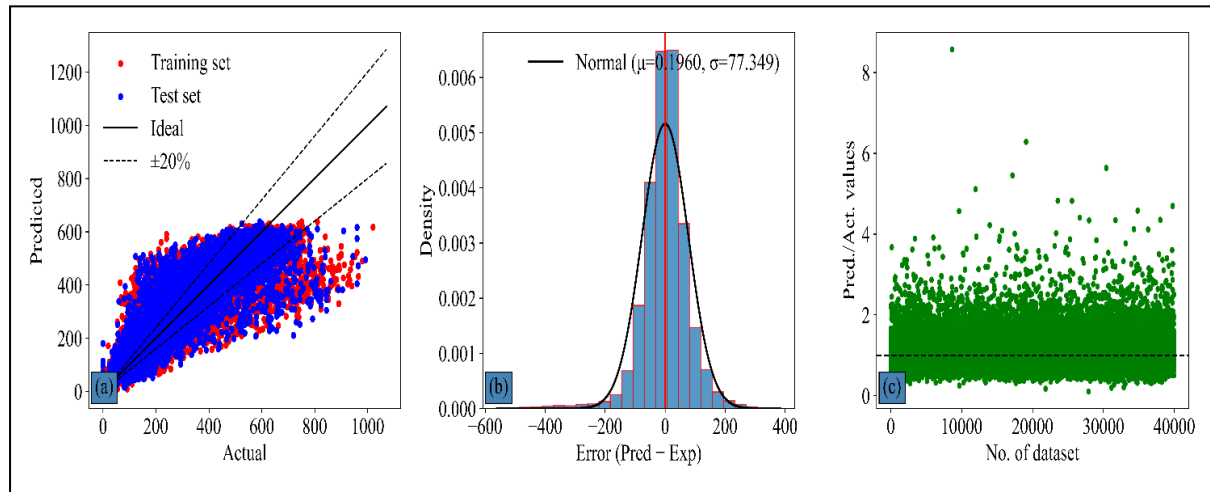
Model	Veri Kümesi	R^2	RMSE	MAE
PSO-SVR	Eğitim	0,782	82,63	59,52
	Test	0,773	84,39	60,47
PSO-KNN	Eğitim	0,828	73,48	51,58
	Test	0,787	81,73	57,53
PSO-DT	Eğitim	0,772	84,41	58,45

	Test	0,752	88,23	60,83
PSO-RF	Eğitim	0,828	73,41	51,20
	Test	0,773	84,54	58,41
PSO-XGBoost	Eğitim	0,816	76,02	52,99
	Test	0,795	80,36	55,88
PSO-GBM	Eğitim	0,817	75,78	52,78
	Test	0,794	80,42	55,86
PSO-ETR	Eğitim	0,790	81,00	55,52
	Test	0,764	86,18	59,14

Test sonuçlarına göre PSO-XGBoost modeli en yüksek tahmin performansını sergilemiştir ($R^2 = 0,795$; RMSE = 80,36; MAE = 55,88). PSO-GBM modeli neredeyse aynı doğruluk seviyesine ulaşmış ($R^2 = 0,794$; MAE = 55,86), klasik yöntemler arasında PSO-KNN öne çıkmış, PSO-SVR ve PSO-RF orta seviyede performans göstermiş, PSO-DT ve PSO-ETR ise görece daha düşük doğruluk değerleri üretmiştir. Eğitim ve test sonuçlarının birbirine yakın olması, modellerin aşırı öğrenme sorunu göstermediğini ve iyi genelleme kabiliyetine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

3.2. PSO-XGBoost Modeli için Tanısal Grafikler

Çalışmanın geri kalanında en yüksek performansı sergileyen PSO-XGBoost modeli detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 1'de model için üç tanısal grafik sunulmaktadır.



Şekil 1. PSO-XGBoost modeli için tanısal grafikler: (a) Gerçek–tahmin karşılaştırması, (b) hata dağılımı, (c) tahmin/gerçek oranı.

Gerçek-Tahmin Karşılaştırması (Actual vs Predicted)

Veri noktalarının önemli bir kısmı ideal doğrusu ($y = x$) etrafında kümelenmektedir. Noktaların büyük çoğunluğu $\pm 20\%$ hata bantları içerisinde yer almakta, bu durum modelin kabul edilebilir doğruluk düzeyinde tahminler ürettiğini göstermektedir. Yüksek değer aralıklarında saçılımın artması, modelin yüksek trafik yoğunluklarında hata payının arttığına işaret etmektedir.

Hata Dağılımı (Error Distribution)

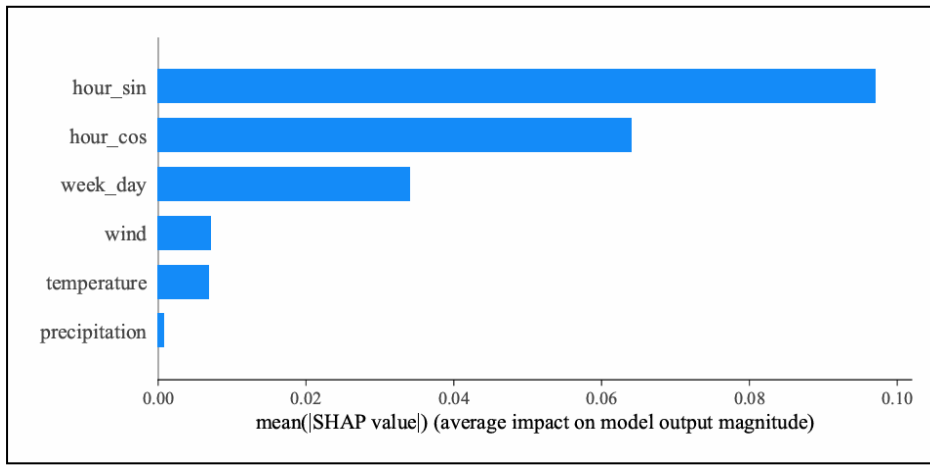
Hata dağılımı yaklaşık olarak normal dağılım sergilemekte ve ortalama sıfıra oldukça yakın bulunmaktadır ($\mu \approx 0,196$). Standart sapma $\sigma \approx 77,349$ olarak elde edilmiştir. Bu durum modelin sistematik bir sapma içermediğini ve istikrarlı tahminler ürettiğini göstermektedir.

Tahmin/Gerçek Oranı (Predicted / Actual)

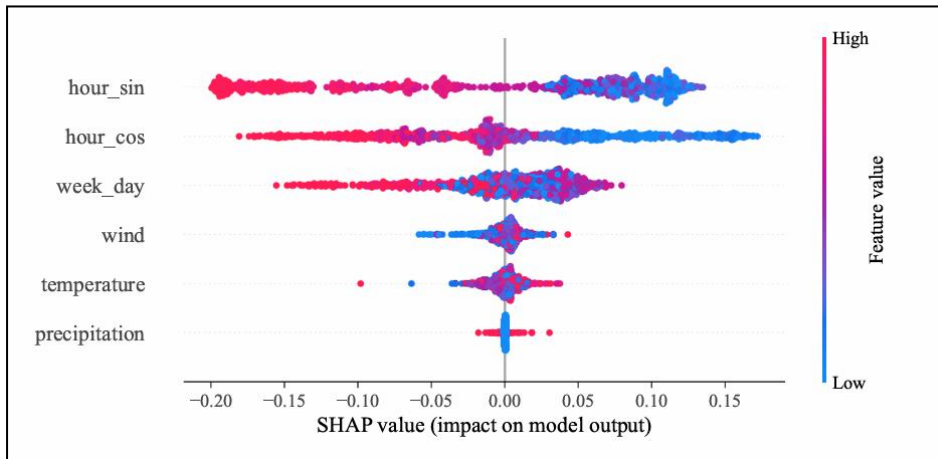
Oran değerlerinin büyük çoğunluğu 1 civarında yoğunlaşmakta; bu durum modelin dengeli tahminler ürettiğini göstermektedir. Bazı gözlemlerde uç oran değerleri görülmekle birlikte, bu durum gerçek değerlerin çok düşük olduğu durumlarda oransal hatanın büyümesinden kaynaklanmakta ve model performansını önemli ölçüde etkilememektedir.

3.3. SHAP Analizi

Modelin karar mekanizmasını şeffaflaştırmak amacıyla SHAP analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de değişkenlerin ortalama mutlak SHAP değerlerine göre özellik önemi grafiği, Şekil 3'te ise bireysel gözlem katkılarını gösteren grafik sunulmaktadır.



Şekil 2. PSO-XGBoost modeli için SHAP tabanlı özellik önem grafiği



Şekil 3. PSO-XGBoost modeli için SHAP beeswarm grafiği.

Sonuçlara göre model tahminleri büyük ölçüde zamansal değişkenler tarafından yönlendirilmektedir: hour_sin en yüksek etkiyi sergilemekte, hour_cos ve week_day onu izlemektedir. Bu bulgu, trafik yoğunluğunun gün içerisindeki periyodik yapısının ve haftalık örüntülerinin model tarafından başarıyla öğrenildiğini göstermektedir. Meteorolojik değişkenler (wind, temperature, precipitation) daha düşük SHAP değerlerine sahiptir; mevcut veri kümesi ve modelleme çerçevesinde hava koşullarının trafik yoğunluğu üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte bu değişkenlerin

tamamen etkisiz olmadığı, ancak zamansal değişkenlere kıyasla daha düşük katkı sağladığı görülmektedir. Beeswarm grafiğinde kırmızı tonlar yüksek değişken değerlerini, mavi tonlar düşük değerleri temsil etmekte; bu değişkenlerin model çıktısını hem pozitif hem negatif yönde etkilediği gözlenmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Trafik Yoğunluğu — Üst Yapı Bozulması İlişkisi

Esnek ve rijit üst yapıların hizmet ömrü boyunca gösterdiği performans, iki temel etmen tarafından şekillendirilmektedir: (i) tekrarlanan trafik yükleri ve (ii) çevresel etkiler (sıcaklık, nem, yağış, donma-çözülme döngüleri). AASHTO 1993 ve Mekanik-Empirik Üst Yapı Tasarım Rehberi (MEPDG) gibi çağdaş tasarım yaklaşımlarında, bu iki etmenin kümülatif etkisi yorulma çatlağı, kalıcı deformasyon (oturma) ve uluslararası düzgünlük indeksi (IRI) artışının başlıca sürücülerini olarak modellenmektedir (AASHTO, 1993; ARA, 2004).

Bu çerçevede, herhangi bir veri odaklı üst yapı yönetim sisteminin temel girdisi, gelecekteki trafik yüklerinin ve çevresel koşulların güvenilir biçimde tahmin edilebilmesidir. Bu çalışmada geliştirilen PSO-XGBoost trafik yoğunluğu tahmin modeli, üst yapı yönetim zincirinin tahmin halkası olarak konumlandırılabilir.

4.2. Trafik Yoğunluğundan Eşdeğer Tek Aks Yüküne (ESAL) Geçiş

Tahmin edilen saatlik trafik yoğunluğunun, üst yapı tasarım ve bakım hesaplarında kullanılabilmesi için Eşdeğer Tek Aks Yüküne (Equivalent Single Axle Load — ESAL, 8,16 ton ya da 18 kip) dönüştürülmesi gerekmektedir. AASHTO yaklaşımında bir aksın yük eşdeğerlik faktörü (LEF):

$$LEF = (P_i / P_{18})^4 \quad 1$$

burada P_i ilgili aksın yükü, $P_{18} = 18$ -kip (8,16 ton) referans aks yüküdür. Yıllık kümülatif ESAL ise:

$$W_{18} = AADT \times T \times Tf \times G \times D \times L \times 365 \quad 2$$

şeklinde hesaplanır; AADT yıllık ortalama günlük trafik, T ağır taşıt yüzdesi, Tf taşıt başına ortalama eşdeğerlik faktörü, G büyüme faktörü, D yön dağılımı, L şerit dağılım faktörüdür (Huang, 2004).

Bu çalışmada elde edilen saatlik trafik yoğunluğu tahminleri, taşıt sınıfı dağılımı ile birleştirildiğinde, AADT ve dolayısıyla yıllık kümülatif ESAL projeksiyonu üretilebilmektedir. Madrid veri kümesi taşıt sınıfı bilgisi içermediği için bu çalışmada söz konusu dönüşüm doğrudan yapılmamış; ancak önerilen yapı, taşıt sınıflandırma verisi entegre edildiğinde tam ölçekli bir üst yapı yük tahmin sistemi hâline gelebilecek niteliktedir.

4.3. Önerilen Karar Destek Çerçevesi

Bu çalışmada geliştirilen tahmin modeli, aşağıdaki beş aşamalı karar destek çerçevesinin tahmin halkasını oluşturmaktadır (Şekil 4):

1 | **Veri Toplama:** Trafik sensörleri + meteorolojik istasyonlar + takvim verileri



2 | **Tahmin:** PSO-XGBoost ile saatlik trafik yoğunluğu öngörüsü (bu çalışma)



3 **Yük Dönüşümü:** Trafik yoğunluğu + taşıt sınıf dağılımı → kümülatif ESAL



4 **Bozulma Tahmini:** ESAL + iklim verisi → IRI / PCI projeksiyonu (AASHTO/MEPDG)



5 **Bakım Kararı:** Eşik aşımı + maliyet-fayda analizi → optimum bakım zamanı ve türü

Şekil 4. Önerilen veri odaklı üst yapı yönetimi karar destek çerçevesi

Çalışmanın üst yapı yönetimine katkıları ise şu şekilde;

- Saatlik çözünürlükte trafik tahmini, geleneksel yıllık AADT projeksiyonlarından çok daha hassas yük profilleri elde edilmesini olanaklı kılmaktadır.
- PSO ile optimize edilen modelin yüksek genelleme kabiliyeti (test $R^2 \approx 0,79$), uzun vadeli ESAL projeksiyonlarında belirsizlik aralığını daraltma potansiyeli taşımaktadır.
- SHAP analizi sayesinde trafik yoğunluğunu yönlendiren değişkenler şeffaflaşmakta; bu bilgi, üst yapı bakım planlamasında risk değişkenlerinin önceliklendirilmesine yardımcı olmaktadır.
- Önerilen çerçeve, reaktif (bozulma sonrası onarım) bakım anlayışından proaktif (öngörüsül) bakım anlayışına geçişi destekleyerek toplam yaşam döngüsü maliyetlerinde tasarruf imkânı sunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, üst yapı yönetimi karar destek çerçevesinin tahmin katmanı olarak konumlandırılan saatlik trafik yoğunluğu tahmin probleminin çözümü için yedi farklı makine öğrenmesi algoritması, PSO tabanlı hiperparametre optimizasyonu altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. PSO ile optimize edilen XGBoost modeli en yüksek doğruluğu sağlamış ($R^2 = 0,795$); PSO-GBM modeli neredeyse aynı performansı göstermiştir. SHAP analizleri, trafik yoğunluğunun zamansal değişkenler tarafından yönlendirildiğini ve modelin gün içi periyodik yapıyı başarıyla yakaladığını ortaya koymuştur. Eğitim ve test sonuçları arasındaki yakınlık, modellerin iyi genelleme kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Geliştirilen tahmin modelinin, beş aşamalı bir yapı yönetimi karar destek zincirinin tahmin halkası olarak konumlandırılabilmesi, bu sayede reaktif bakım yaklaşımından proaktif bakım yaklaşımına geçişin desteklenebileceği gösterilmiştir. Çalışma, akıllı altyapı yönetimi ve veri odaklı bakım planlamasına metodolojik bir katkı sunmaktadır.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Hesaplama maliyeti ve donanım kısıtları nedeniyle veri setinin tamamı yerine 40.000 gözlemlik temsili bir alt küme kullanılmış; ayrıca Madrid veri kümesi taşıt sınıfı (otomobil, hafif/ağır kamyon, otobüs) bilgisini içermediği için trafik yoğunluğundan ESAL'e doğrudan dönüşüm bu çalışmada gerçekleştirilememiştir. Çalışma yalnızca tek bir şehir verisi üzerinde yürütülmüş olup modelin başka şehirlere transfer edilebilirliği sınanmamıştır. Buna ek olarak, LSTM, Transformer ve graf tabanlı (ST-GCN, DCRNN) çağdaş derin öğrenme yaklaşımlarıyla karşılaştırma çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Gelecek çalışmalarda taşıt sınıflandırma verilerinin entegrasyonu ile trafik yoğunluğundan ESAL'e doğrudan dönüşümün sağlanması, AASHTO 1993 ve MEPDG bozulma modelleri ile birleştirilerek uzun vadeli IRI ve PCI projeksiyonlarının üretilmesi planlanmaktadır. Bunun yanı sıra LSTM, Transformer ve graf tabanlı derin öğrenme modelleri ile karşılaştırmalı analizin gerçekleştirilmesi, bakım maliyet veritabanı entegrasyonu yoluyla dinamik optimum bakım zamanı algoritmalarının (Markov karar süreçleri, takviyeli öğrenme) geliştirilmesi ve önerilen çerçevenin gerçek bir karayolu segmentinde dijital ikiz (digital twin) altyapısı üzerinden doğrulanması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- AASHTO, G. (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- Almukhalifi, H., Noor, A., & Noor, T. H. (2024). Traffic management approaches using machine learning and deep learning techniques: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133, 108147.
- Alsrehin, N. O., Klaib, A. F., & Magableh, A. (2019). Intelligent transportation and control systems using data mining and machine learning techniques: A comprehensive study. *IEEE Access*, 7, 49830–49857.
- ARA, Inc. ERES Consultants Division. (2004). Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures. NCHRP Project 1-37A Final Report, ERES Consultants Division, Transportation research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 785-794).
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
- Ergen, F., & Katlav, M. (2023). Investigation of optimized machine learning models with PSO for forecasting the shear capacity of steel fiber-reinforced SCC beams with/without stirrups. *Structures*, 52, 151–165.
- Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). Extremely randomized trees. *Machine Learning*, 63(1), 3–42. <https://doi.org/10.1007/s10994-006-6226-1>
- Gómez, I., & Ilarri, S. (2024). Enriched traffic datasets for the city of Madrid: Integrating data from traffic sensors, the road infrastructure, calendar data and weather data. *Data in Brief*, 57, 110878.
- Güzel, İ. (2024). Ülkemizin Devlet ve İl Yollarının Üst Yapı Bakım Onarım Maliyetinin Parametrik Çoklu Doğrusal Regresyonla Analizi. *Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 5(1), 29-44.
- Hımat, F. (2022). Esnek Yol Kaplamalarında Görülen Bozulmaların Üstyapı Performansı Üzerine Etkileri.
- Huang, Y. H. (2004). Pavement analysis and design (Vol. 2, pp. 401-409). Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30.
- Mihaita, A.-S., Li, H., & Rizoiu, M.-A. (2020). Traffic congestion anomaly detection and prediction using deep learning. *arXiv preprint arXiv:2006.13215*.
- Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, 21. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021>
- Wang, D., Tan, D., & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: An overview. *Soft Computing*, 22, 387–408. <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2474-6>
- Witten, I. H., & Frank, E. (2002). Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. *Acm Sigmod Record*, 31(1), 76-77.
- Yoder, E. J., & Witczak, M. W. (1991). Principles of pavement design. John Wiley & Sons.

ÜST YAPI YÖNETİMİ İÇİN META-SEZGİSEL OPTİMİZE GBM TABANLI TRAFİK YOĞUNLUĞU TAHMİNİ

Nur Sueda ÇINAR KOCAMAN

Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Merkez, Karabük

ORCID ID: 0009-0006-9572-6710

Dr. Öğr. Üyesi Özlem BATTAL ŞAL

Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Merkez, Karabük

ORCID ID: 0000-0002-2308-7933

ÖZET

Karayolu üstyapısının hizmet ömrü ve bozulma hızı, taşıt yükü ve trafik yoğunluğuyla doğrudan ilişkilidir; bu nedenle trafik yoğunluğunun güvenilir biçimde tahmin edilmesi, yol bakım-onarım stratejilerinin belirlenmesi, üstyapı tasarım parametrelerinin güncellenmesi ve bütçe planlamasının optimize edilmesi açısından kritik bir girdi niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte, yüksek hacimli ve çok değişkenli trafik verisi üzerinde doğru tahmin modelleri geliştirmek; verideki doğrusal olmayan örüntüler, zamansal bağımlılıklar ve meteorolojik etkileşimler nedeniyle ciddi teknik güçlükler barındırmaktadır. Bu çalışmada, Madrid şehrine ait zenginleştirilmiş çok değişkenli trafik veri kümesi kullanılarak söz konusu güçlükleri aşmaya yönelik bütünsel bir tahmin çerçevesi geliştirilmiştir. Tahmin modeli olarak Gradient Boosting Machine (GBM) algoritması benimsenmiş; modelin hiperparametreleri Grey Wolf Optimizer (GWO), Whale Optimization Algorithm (WOA), Harris Hawks Optimization (HHO), Sparrow Search Algorithm (SSA) ve Particle Swarm Optimization (PSO) meta-sezgisel algoritmaları aracılığıyla optimize edilmiştir. Döngüsel saat temsilleri (hour_sin, hour_cos), haftanın günü, rüzgâr hızı, yağış ve sıcaklık giriş değişkeni olarak kullanılmış; aykırı değer tespitinde Isolation Forest yöntemi uygulanmıştır. Model değerlendirmesi MSE, RMSE, MAE, R² ve korelasyon katsayısı metrikleriyle gerçekleştirilmiştir. Bulgular, meta-sezgisel hiperparametre optimizasyonunun üstyapı yönetimine yönelik trafik tahmin sistemlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmada etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Trafik yoğunluğu tahmini, üstyapı yönetimi, Gradient Boosting Machine, meta-sezgisel optimizasyon

META-HEURISTIC OPTIMIZED GBM FOR TRAFFIC INTENSITY PREDICTION IN PAVEMENT MANAGEMENT

ABSTRACT

The service life and deterioration rate of road pavements are directly governed by traffic loading and intensity; consequently, reliable traffic intensity prediction constitutes a critical input for maintenance and rehabilitation planning, pavement design parameter calibration, and infrastructure budget optimisation. Developing accurate predictive models over high-volume, multivariate traffic data, however, remains technically challenging due to nonlinear temporal patterns and complex meteorological interactions embedded in such datasets. This study proposes an integrated prediction

framework to address these challenges using an enriched multivariate traffic dataset collected for the city of Madrid. The Gradient Boosting Machine (GBM) algorithm was adopted as the predictive model, and its hyperparameters were systematically optimised through five meta-heuristic algorithms: Grey Wolf Optimizer (GWO), Whale Optimization Algorithm (WOA), Harris Hawks Optimization (HHO), Sparrow Search Algorithm (SSA), and Particle Swarm Optimization (PSO). Cyclical hour encodings (hour_sin, hour_cos), day of week, wind speed, precipitation, and temperature served as input features; Isolation Forest was employed for outlier detection. Model performance was assessed using MSE, RMSE, MAE, R^2 , and Pearson correlation coefficient. These findings demonstrate that meta-heuristic hyperparameter optimisation is an effective strategy for enhancing the accuracy and reliability of traffic intensity forecasting systems supporting pavement asset management.

Keywords: Traffic intensity prediction, pavement management, Gradient Boosting Machine, meta-heuristic optimisation,

1. GİRİŞ

Kentsel alanlarda nüfus yoğunluğunun ve araç sayısının hızla artması, trafik yönetimini akıllı ulaşım sistemlerinin en kritik bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Trafik yoğunluğunun doğru ve zamanında tahmin edilmesi; seyahat sürelerinin kısaltılması, yakıt tüketiminin ve çevresel emisyonların azaltılması, trafik sıkışıklığının önlenmesi ile sürücü güvenliğinin artırılması açılarından büyük önem taşımaktadır (Weng ve diğerleri, 2023). Bu bağlamda makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, trafik örüntülerindeki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilme kapasiteleri sayesinde geleneksel istatistiksel yöntemlerin önüne geçmiştir.

Literatürde trafik tahminine yönelik pek çok makine öğrenmesi çalışması mevcuttur. Erken çalışmalar çoğunlukla destek vektör makineleri ve yapay sinir ağlarına dayanırken, son yıllarda karar ağacı temelli topluluk yöntemleri ön plana çıkmıştır. Bu yöntemler arasında Gradient Boosting Machine (GBM) ve türevleri (XGBoost, LightGBM), doğrusal olmayan ilişkileri modellemedeki başarıları ve yüksek genelleme kapasiteleri nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir. Soni ve Masih (2025), kentsel alanlarda trafik tıkanıklığını tahmin etmek için hava durumu ve kaza verilerini GBM ile birleştirmiş; model gerçek zamanlı tıkanıklık örüntülerini başarıyla öğrenebilmiştir. Benzer biçimde Lumiste ve Ilie (2022), büyük ölçekli trafik tahmini yarışmasında (Traffic4cast 2022) LightGBM tabanlı yaklaşımlarla rekabetçi sonuçlar elde etmiştir. Weng ve diğerleri (2023) ise Pekin şehrine ait günlük Trafik Performans Endeksi (TPI) tahmini için XGBoost modelini kullanmış ve çok boyutlu girdi değişkenlerinin model doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

GBM modellerinin başarısı büyük ölçüde hiperparametre seçimine bağlıdır. Ağaç sayısı, öğrenme oranı ve maksimum derinlik gibi parametreler model performansını doğrudan etkilemekte; ancak bu parametrelerin ızgara araması (grid search) veya rastgele arama (random search) gibi geleneksel yöntemlerle optimize edilmesi hesaplama maliyetleri açısından verimli olmaktan uzak kalmaktadır. Bu sorunu aşmak amacıyla doğa esinli meta-sezgisel algoritmalar, özellikle büyük ve çok boyutlu parametre uzaylarında etkili alternatiflere dönüşmüştür. Grey Wolf Optimizer (Mirjalili ve diğerleri, 2014), Whale Optimization Algorithm (Mirjalili ve Lewis, 2016), Harris Hawks Optimization (Heidari ve diğerleri, 2019), Sparrow Search Algorithm (Xue ve Shen, 2020) ve Particle Swarm Optimization (Kennedy ve Eberhart, 1995) bu alandaki en yaygın kullanılan algoritmalar arasında yer almaktadır.

Bununla birlikte, söz konusu meta-sezgisel algoritmaların trafik yoğunluğu tahminine yönelik GBM hiperparametre optimizasyonundaki karşılaştırmalı performansı literatürde yeterince incelenmemiştir. Mevcut çalışmaların büyük çoğunluğu tek bir optimizasyon yöntemini ele alırken, farklı algoritmaların aynı problem ve veri seti üzerinde sistematik biçimde değerlendirildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Öte yandan model tahminlerinin yorumlanabilirliği de önemli bir boşluk olarak karşımıza çıkmaktadır; tahmin mekanizmasını şeffaf kılan SHAP (SHapley Additive exPlanations) analizinin trafik tahmini çalışmalarında kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

Mekanistik-ampirik üstyapı tasarım yaklaşımı (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, MEPDG) ve AASHTO temelli tasarım çerçeveleri, üstyapı bozulma tahminlerini büyük ölçüde eşdeğer

tek dingil yükü (Equivalent Single Axle Load, ESAL) birikimine bağlamaktadır. ESAL hesabı, yıllık ortalama günlük trafik (AADT) ve ağır taşıt yüzdesi gibi statik değişkenlere dayanır; ancak bu girdiler gerçek trafik dağılımının zamansal ve mevsimsel değişkenliğini yakalamakta yetersiz kalmaktadır. Yüksek çözünürlüklü trafik yoğunluğu tahminleri (i) saatlik ve günlük yük dağılımının daha doğru modellenmesini, (ii) bozulma modellerinin (Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi—IRI, Servis Yeterliliği İndeksi—PSI) dinamik girdiyle kalibre edilmesini ve (iii) bakım-onarım zamanlamasının yoğun trafik dönemleri dikkate alınarak optimize edilmesini olanaklı kılmaktadır.

Bunun yanı sıra meteorolojik değişkenler özellikle yağış ve sıcaklık yalnızca trafiği değil, asfalt karışımının rijitlik modülünü ve nem hassasiyetini de doğrudan etkilediğinden, trafik-iklim ortak modellenmesi üstyapı performans tahminleri açısından birleşik bir girdi sağlamaktadır. Mevcut üstyapı yönetim sistemleri (Pavement Management Systems, PMS) büyük ölçüde eksenel yük ve geçiş sayısı gibi statik tasarım girdilerine dayanmakta; oysa dinamik trafik yoğunluğu tahminleri bu girdileri gerçek zamanlı güncelleyerek bozulma öngörülerinin doğruluğunu önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen tahmin çerçevesi, söz konusu bağlamda PMS karar destek katmanına entegre edilebilecek bir bileşen olarak konumlanmaktadır.

Bu çalışma, yukarıda özetlenen boşlukları gidermek amacıyla üstyapı yönetimi odaklı bir trafik tahmin çerçevesi önermekte ve aşağıdaki özgün katkıları sunmaktadır. Birincisi, trafik tahmini ve üstyapı varlık yönetimi literatürde büyük ölçüde birbirinden kopuk yürüyen iki alandır; bu çalışma, yüksek çözünürlüklü trafik yoğunluğu tahminlerinin ESAL hesabına ve mekanistik-ampirik bozulma modellerine nasıl beslenebileceğini açık biçimde kavramsallaştırarak iki alan arasında işlevsel bir köprü kurmaktadır. İkincisi, beş farklı meta-sezgisel algoritma (GWO, WOA, HHO, SSA, PSO) aynı veri seti ve aynı arama uzayı üzerinde sistematik biçimde karşılaştırılmış; literatürdeki benzer çalışmaların büyük çoğunluğu tekil koşu sonuçlarına dayanırken bu çalışmada algoritmaların kararlılığı da değerlendirilmiştir. Üçüncüsü, SHAP analizi yalnızca bir yorumlanabilirlik aracı olarak değil, üstyapı yönetimi açısından karar destek girdisi olarak kullanılmış; hangi zamansal ve meteorolojik değişkenlerin trafik yoğunluğunu belirlediğinin nicelleştirilmesi, bölgesel veri toplama önceliklerinin belirlenmesi açısından somut bir politika çıkarımı üretmektedir. Dördüncüsü, çoğu trafik tahmin çalışması meteorolojik değişkenleri yalnızca doğruluğu artıran yardımcı girdiler olarak ele alırken bu çalışma, sıcaklık ve yağışın hem trafik talebini hem de üstyapı bozulma süreçlerini eş zamanlı etkileyen ortak faktörler olduğunu kuramsal olarak çerçevelemekte ve SHAP analiziyle bu çift yönlü etkinin ampirik izlerini ortaya koymaktadır.

2. METODOLOJİ

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, Gómez ve Ilarri (2024) tarafından Madrid şehri için derlenen zenginleştirilmiş trafik veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi; zamansal ve meteorolojik değişkenlerden oluşan çok değişkenli bir yapı içermekte olup toplam 1.048.576 gözlemden oluşmaktadır. Hesaplama maliyeti ve donanım sınırlamaları dikkate alınarak analizlerde 40.000 alt veri kümesi kullanılmıştır.

Modelin giriş değişkenleri hour_sin, hour_cos, week_day, wind, precipitation ve temperature parametrelerinden oluşurken, çıktı değişkeni trafik yoğunluğunu temsil eden traffic_intensity değişkenidir. Saat değişkeninin döngüsel yapısını modele daha doğru aktarabilmek için sinüs ve kosinüs dönüşümleri uygulanmıştır. Veri ön işleme aşamasında aykırı değerlerin tespiti amacıyla Isolation Forest (Liu ve diğerleri, 2008) yöntemi kullanılmış; anomali gözlemler çıkarıldıktan sonra tüm değişkenler maksimum-değer normalizasyonu ile [0, 1] aralığına ölçeklendirilmiştir. Veri seti %80 eğitim, %20 test olarak ayrılmış; ayrıca 5 katlı çapraz doğrulama uygulanmış ve tekrarlanabilirlik için random_state = 42 belirlenmiştir.

2.2. Gradient Boosting Machine (GBM)

Gradient Boosting Machine (GBM), Friedman (2001) tarafından önerilen ve ardışık zayıf öğrencilerin (weak learners) toplamına dayanan bir topluluk öğrenme (ensemble learning) algoritmasıdır. Temel ilkesi, her iterasyonda bir önceki modelin ürettiği artık hataları (residuals) minimize edecek yeni bir

karar ağacı eklemektir. Bu yaklaşım matematiksel olarak fonksiyonel gradyan iniş (functional gradient descent) çerçevesinde formüle edilmekte; her yeni ağaç, kayıp fonksiyonunun negatif gradyanı üzerinde eğitilmektedir. Böylece model, iterasyon sayısı arttıkça hatayı kademeli biçimde azaltmakta ve yüksek doğruluk düzeyine erişmektedir.

GBM algoritmasının temel avantajları arasında doğrusal olmayan ilişkileri ve yüksek dereceli değişkenler arası etkileşimleri otomatik olarak modelleyebilmesi, kategorik ve sürekli değişkenleri aynı yapı içinde işleyebilmesi, aşırı öğrenmeye (overfitting) karşı öğrenme oranı ve ağaç derinliği gibi düzenleyici (regularization) parametreler aracılığıyla dirençli olması ve eksik veriye karşı görece toleranslı bir yapıya sahip olması sayılabilir (Natekin ve Knoll, 2013). Bu özellikler, GBM'yi trafik yoğunluğu gibi çok değişkenli, doğrusal olmayan ve gürültülü zaman serisi problemleri için özellikle uygun kılmaktadır.

Bu çalışmada GBM modeli üç temel hiperparametre üzerinden optimize edilmiştir: (1) `n_estimators` — toplulukta yer alan karar ağacı sayısını belirler; düşük değerler yetersiz öğrenmeye (underfitting), yüksek değerler ise hesaplama maliyetinin artmasına ve olası aşırı öğrenmeye yol açabilir. (2) `learning_rate` (öğrenme oranı) — her yeni ağacın katkısını ölçeklendirir; küçük değerler modelin öğrenme sürecini yavaşlatırken daha ince ayara imkân tanır. (3) `max_depth` — her karar ağacının maksimum derinliğini kısıtlar; bu parametre modelin karmaşıklığını ve değişkenler arası etkileşim kapasitesini doğrudan etkiler. Söz konusu üç parametrenin birlikte optimizasyonu, model performansı üzerinde belirleyici etkiye sahip olup geleneksel ızgara araması yöntemleriyle verimli biçimde gerçekleştirilmesi güçtür; bu durum meta-sezgisel yaklaşımların kullanımını zorunlu kılmaktadır.

2.3. Meta-Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Meta-sezgisel algoritmalar, karmaşık, çok boyutlu ve çok modlu (multi-modal) optimizasyon problemlerinde analitik çözüm garantisi aramaksızın yeterince iyi çözümlere hızlı biçimde ulaşmayı hedefleyen sezgisel tabanlı arama yöntemleridir. Keşif (exploration) ve sömürü (exploitation) dengesini dinamik biçimde kurabilme kapasiteleri, bu algoritmaları makine öğrenmesi modellerinin hiperparametre optimizasyonunda etkili araçlara dönüştürmektedir. Keşif aşamasında çözüm uzayının geniş bir bölümü taranarak global optimuma yakın bölgeler tespit edilirken; sömürü aşamasında bu bölgeler üzerinde yoğunlaşarak lokal iyileştirmeler gerçekleştirilmektedir. Söz konusu denge yeterince kurulamaması durumunda algoritma ya erken yakınsama (premature convergence) ya da yetersiz yakınsama sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu çalışmada GBM hiperparametre uzayını araştırmak amacıyla birbirinden farklı biyolojik ilham kaynaklarına sahip beş meta-sezgisel algoritma karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır.

2.3.1. Grey Wolf Optimizer (GWO)

Grey Wolf Optimizer (GWO), Mirjalili ve diğerleri (2014) tarafından gri kurtların (*Canis lupus*) doğal sosyal hiyerarşisi ve kooperatif avlanma davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir meta-sezgisel algoritmadır. Algoritmada çözüm adayları, liderlik kademesine göre dört gruba ayrılmaktadır: en iyi çözümü temsil eden alfa (α), ikinci ve üçüncü en iyi çözümleri temsil eden beta (β) ve delta (δ) kurtları; kalan tüm adaylar ise omega (ω) grubunu oluşturmaktadır. Omega kurtları, konum güncellemelerini bu üç lider çözümün ağırlıklı rehberliğiyle gerçekleştirmektedir.

Algoritmanın avlanma sürecini modelleyen üç temel mekanizması şunlardır: avı çevreleme (encircling prey), avın konumunu güncelleme (hunting) ve saldırı (attacking prey). Avı çevreleme aşamasında her birey, avın tahmini konumuna doğru güncellenir; bu mekanizma sömürü kabiliyetini güçlendirmektedir. Doğrusal biçimde azalan kontrol parametresi $|a|$ sayesinde iterasyon ilerledikçe algoritma kademeli olarak keşiften sömürüye geçiş yapmaktadır. GWO'nun rekabetçi doğruluk, hızlı yakınsama ve sınırlı parametre gereksinimiyle dikkat çektiği pek çok kıyaslama çalışmasında raporlanmıştır (Mirjalili ve diğerleri, 2014). Bu özellikler, GBM'nin üç boyutlu hiperparametre uzayı gibi görece dar fakat doğrusal olmayan arama ortamlarında GWO'nun özellikle etkili olmasını sağlamaktadır.

2.3.2. Whale Optimization Algorithm (WOA)

Whale Optimization Algorithm (WOA), Mirjalili ve Lewis (2016) tarafından kambur balinaların (*Megaptera novaeangliae*) özgün avlanma stratejisi olan baloncuk ağı (bubble-net feeding) davranışından esinlenerek geliştirilmiştir. Algoritmada her çözüm adayı bir balina olarak modellenirken arama süreci birbirini tamamlayan iki ana mekanizma üzerinden yürütülmektedir. Birinci mekanizma olan daralma sarmal (shrinking encircling mechanism), avın çevresindeki konumların giderek küçülen bir sarmal yörüngede güncellenmesini sağlamakta ve yerel arama kapasitesini artırmaktadır. İkinci mekanizma olan konumsal güncelleme (random prey search), bireylerin rastgele seçilen başka bir bireyin konumuna yönlendirilmesiyle küresel keşfi desteklemektedir.

WOA'nın en belirgin özelliği, bu iki mekanizma arasındaki geçişi olasılıksal bir eşik parametresiyle (p) dinamik biçimde yönetmesidir: $p < 0,5$ olduğunda sarmal güncelleme, $p \geq 0,5$ olduğunda ise rastgele arama etkinleşmektedir. Bu esneklik algoritmanın hem geniş uzaylarda keşif hem de umut verici bölgelerde yoğun sömürü gerçekleştirebilmesine imkân tanımaktadır. WOA'nın GBM hiperparametre optimizasyonuna uygulanması, özellikle öğrenme oranı ve ağaç derinliği gibi birbirleriyle etkileşimli parametrelerin optimizasyonunda keşif-sömürü dengesinin sürdürülmesi bakımından avantaj sağlamaktadır.

2.3.3. Harris Hawks Optimization (HHO)

Harris Hawks Optimization (HHO), Heidari ve diğerleri (2019) tarafından Harris şahinlerinin (*Parabuteo unicinctus*) işbirlikçi sürpriz dalış (surprise pounce) avlanma davranışından esinlenerek geliştirilmiş hem keşif hem de sömürü aşamaları bakımından yüksek uyum kapasitesine sahip bir meta-sezgisel algoritmadır. Algoritma, avın kaçış enerjisini temsil eden dinamik bir parametreye (E) dayalı olarak çalışmakta ve bu parametre iterasyon boyunca düzensiz biçimde azalmaktadır.

HHO'nun en özgün yanı, sömürü aşamasını avın kaçış örüntüsüne göre dört farklı stratejiyle (yumuşak kuşatma, sert kuşatma, hızlı dalmaya karşı yumuşak kuşatma ve hızlı dalmaya karşı sert kuşatma) uygulamasıdır. Bu çok stratejili yapı, algoritmanın farklı topolojilere sahip optimizasyon peyzajlarına uyum sağlamasını ve yerel minimumlardan etkin biçimde kaçınmasını mümkün kılmaktadır. Keşif aşamasında bireyler iki farklı stratejiyle çözüm uzayını taramakta; av enerjisinin düşmesiyle birlikte algoritma otomatik olarak sömürü moduna geçmektedir. Bu uyarlanabilir yapısı, HHO'yu çok boyutlu sürekli optimizasyon problemlerinde, dolayısıyla GBM hiperparametre optimizasyonunda etkili bir araç hâline getirmektedir (Heidari ve diğerleri, 2019).

2.3.4. Sparrow Search Algorithm (SSA)

Sparrow Search Algorithm (SSA), Xue ve Shen (2020) tarafından serçelerin (*Passeridae*) yiyecek arama, sürü içi rekabet ve tehlikeden kaçınma davranışlarının matematiksel olarak modellenmesiyle geliştirilmiş görece güncel bir popülasyon tabanlı algoritmadır. SSA, popülasyonu işlevlerine göre üç gruba ayırarak farklı güncelleme stratejileri uygulaması bakımından birçok klasik sürü zekası algoritmasından ayrılmaktadır.

Üreticiler (producers), en yüksek uyum (fitness) değerlerine sahip bireylerden oluşmakta ve geniş bölgeleri tarayarak tüm sürünün yiyecek kaynaklarına yönelmesini sağlamaktadır; bu grup algoritmanın küresel keşif kapasitesini yönetmektedir. Katılımcılar (scroungers), üreticilerin keşfettiği kaynaklara doğru yönelerek lokal sömürüyü gerçekleştirir. Gözcüler (vigilantes) ise yırtıcı tehlikesi algılandığında popülasyonu güvenli konumlara yönlendiren kaçınma mekanizmasını devreye sokmaktadır. SSA, bu yapısı sayesinde çeşitlilik kaybını sınırlayabilmekte ve erken yakınsamayı geciktirebilmektedir. Ancak sınırlı iterasyon bütçesiyle çalışıldığında üreticilerin hâkim olduğu yerel bölgelerde aşırı yoğunlaşma eğilimi gözlemlenebilmekte; bu durum, çalışmada SSA'nın eğitim setinde yüksek performans göstermesine karşın test setinde görece geride kalmasını açıklayan olası bir mekanizmayı teşkil etmektedir.

2.3.5. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO), Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından kuş ve balık sürülerinin toplu hareket davranışlarından ilham alınarak önerilmiş, popülasyon tabanlı meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarının öncülerinden biridir. PSO'da her çözüm adayı, konum vektörü ve hız vektörüyle tanımlanan bir parçacık olarak temsil edilmektedir. Parçacıkların konumu, hem kendi

tarihsel en iyi çözümünü (pBest) hem de sürünün küresel en iyi çözümünü (gBest) dikkate alan hız güncellemesi aracılığıyla iteratif biçimde değiştirilmektedir.

Hız güncellemesinde atalet ağırlığı (inertia weight, w) küresel keşif kapasitesini kontrol ederken; bilişsel (cognitive) ve sosyal (social) hızlanma katsayıları (c1, c2) sırasıyla bireysel ve sürü deneyiminin etkisini düzenlemektedir. Bu parametre üçlüsünün dengeli seçimi, PSO'nun hem geniş çaplı keşif hem de ince ayarlı sömürü yapabildiğini belirlemektedir. PSO, yirmi yılı aşkın kullanım geçmişi boyunca makine öğrenmesi hiperparametre optimizasyonu başta olmak üzere pek çok mühendislik optimizasyon probleminde yaygın biçimde uygulanmış ve kararlı, tekrarlanabilir sonuçlar üretmesiyle ön plana çıkmıştır. Bu olgun yapısı ve nispeten az sayıda ayarlanabilir parametresi, PSO'yu diğer algoritmalarla karşılaştırmalı değerlendirmelerde sağlam bir referans noktası hâline getirmektedir.

3. BULGULAR

Bu bölümde GBM modeli ve meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarıyla elde edilen performans sonuçları sunulmakta; ardından bulgular literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

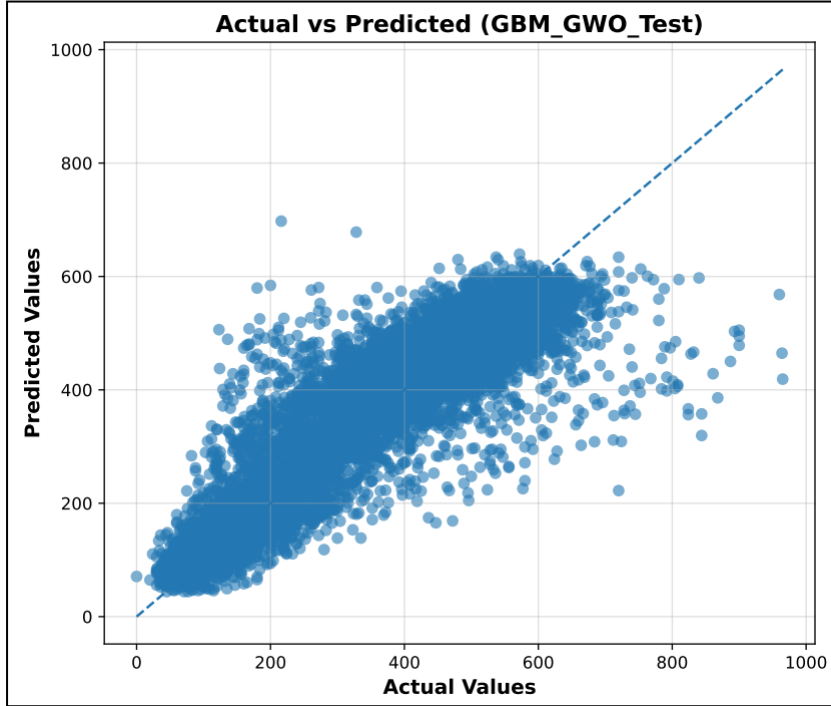
3.1. Performans Sonuçları

Tablo 1'de tüm modellere ait eğitim ve test veri seti performans metrikleri verilmektedir. Meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları uygulandığında test veri setinde temel GBM modeline göre anlamlı iyileşmeler elde edildiği görülmektedir.

Tablo 2. GBM ve optimize edilmiş modellerin eğitim/test performans karşılaştırması

Model	Algo	Set	MSE	RMSE	MAE	R ²	R
GBM	GWO	Eğitim	5.561,4	74,575	51,968	0,8231	0,9074
GBM	GWO	Test	6.311,2	79,443	55,306	0,7983	0,8935
GBM	WOA	Eğitim	5.610,0	74,900	52,325	0,8216	0,9065
GBM	WOA	Test	6.329,3	79,557	55,537	0,7977	0,8932
GBM	HHO	Eğitim	5.693,0	75,452	52,509	0,8189	0,9051
GBM	HHO	Test	6.350,6	79,691	55,595	0,7970	0,8928
GBM	SSA	Eğitim	5.487,7	74,079	51,624	0,8254	0,9087
GBM	SSA	Test	6.365,4	79,784	55,364	0,7966	0,8926
GBM	PSO	Eğitim	5.719,9	75,630	52,739	0,8181	0,9046
GBM	PSO	Test	6.338,7	79,616	55,553	0,7974	0,8930
GBM	–	Eğitim	6.157,0	78,467	54,654	0,8042	0,8969
GBM	–	Test	6.435,3	80,220	56,207	0,7943	0,8913

En yüksek test performansı, 0,7983 R² ve 79,443 RMSE değerleriyle GWO tabanlı GBM modeli tarafından elde edilmiştir. Temel GBM modeli test setinde 0,7943 R² üretirken GWO optimizasyonu bu değeri 0,7983'e taşımış; RMSE ise 80,220'den 79,443'e gerilemiştir. Bu sonuç, GWO'nun keşif ve sömürü dengesini daha etkin kurabildiğine işaret etmektedir. Aşağıdaki Şekil 1'de en iyi optimizasyon yöntemi çıkan GWO tabanlı GBM modelinin gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir.



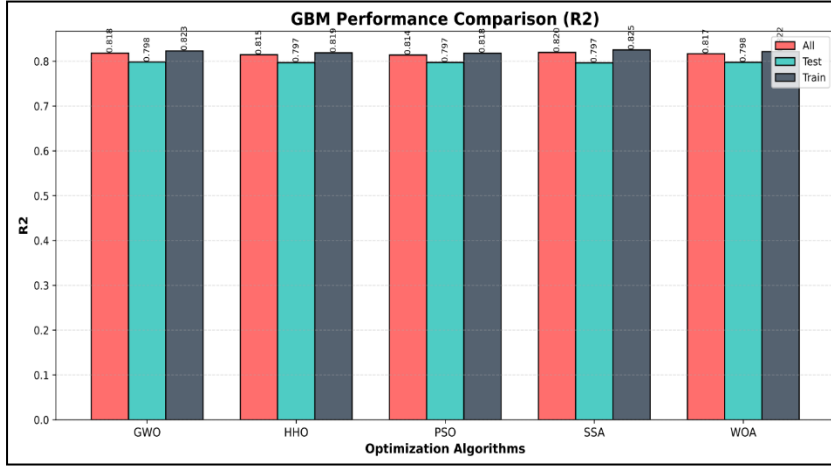
Şekil 1. GBM-GWO modeli için gerçek ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması

GBM-GWO modeline ait tahmin değerlerinin gerçek değerlere yüksek düzeyde uyum gösterdiği görülmektedir. Tahmin noktalarının büyük bölümünün referans diyagonal çizgisi etrafında yoğunlaşması, modelin güçlü bir tahmin performansı sergilediğini göstermektedir. Özellikle düşük ve orta değer aralıklarında modelin oldukça başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek gerçek değerlerde hata dağılımının bir miktar arttığı ve bazı sapmaların olduğu görülmektedir. Buna rağmen genel dağılım yapısı değerlendirildiğinde, optimize edilmiş GBM-GWO modelinin veri setindeki doğrusal olmayan ilişkileri başarılı şekilde öğrendiği ve güvenilir tahminler üretebildiği söylenebilir.

SSA algoritması eğitim setinde en yüksek performansı göstermesine ($R^2 = 0,8254$) karşın test setinde daha düşük sonuçlar ($R^2 = 0,7966$) üretmiştir. WOA, HHO ve PSO algoritmaları birbirine yakın test sonuçları üretmiş ($R^2 \in [0,7966-0,7977]$); bu durum GBM modelinin farklı optimizasyon stratejilerine karşı istikrarlı davrandığını ortaya koymuştur. Korelasyon katsayılarının $0,89-0,91$ aralığında kalması, tahmin ile gerçek değerler arasındaki yüksek uyumu doğrulamaktadır.

Algoritmalar arası performans farklarının kaynağı, her yöntemin keşif-sömürü mekanizmasının arama uzayı topolojisine uyumuyla açıklanabilir. GBM'nin üç boyutlu hiperparametre uzayı ($n\_estimators$, $learning\_rate$, max_depth) görece dar fakat kayıp fonksiyonu yüzeyi öğrenme oranı ekseninde keskin değişimler içeren, doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. GWO'nun alfa-beta-delta hiyerarşisi, lider-takipçi yapısı sayesinde umut verici bölgelerde çok merkezli yakınsama sağlamakta; bu da öğrenme oranı-ağaç derinliği etkileşim bölgelerinin etkin biçimde sömürülmesini olanaklı kılmaktadır. WOA'nın olasılıksal mekanizma geçişi (p eşliği) benzer bir esneklik sunmakla birlikte tek liderli yapısı bu özelde GWO'nun gerisinde kalmaktadır.

SSA'nın eğitim setinde en yüksek doğruluğu ($R^2 = 0,8254$) elde edip test setinde geride kalması ($R^2 = 0,7966$), erken yakınsamadan çok aşırı uyum (overfitting) eğilimine işaret etmektedir. Aşağıdaki Şekil 2'de R^2 'nin optimizasyon yöntemlerinin detaylı grafiği verilmiştir.

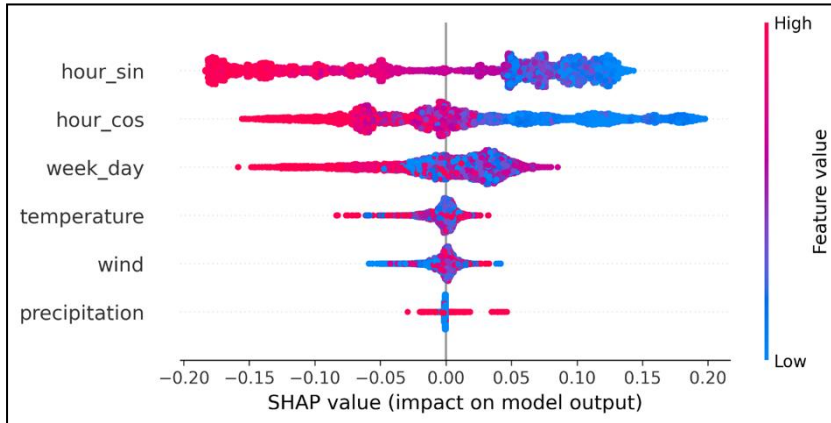


Şekil 2. GBM modeli için optimizasyon algoritmalarının R² performans karşılaştırması

Üretici-katılımcı-gözcü yapısı, üreticilerin keşfettiği umut verici bölgelerde popülasyonun yoğunlaşmasına yol açmakta; bu da hiperparametre uzayının dar bir bölgesinde aşırı uzmanlaşmaya neden olabilmektedir. PSO ve HHO ise test setinde GWO ve WOA'ya benzer sonuçlar üretmiş; bu durum, gradient boosting algoritmasının iyi seçilmiş bir hiperparametre kümesi etrafında performans platosu oluşturduğunu ve farklı optimizasyon yörüngelerinin benzer çözümlere yakınsadığını ortaya koymaktadır. Algoritma seçiminin tekil performans yerine hesaplama maliyeti üzerinden değerlendirilmesi pratik uygulamalar açısından daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

3.2. SHAP Analizi

Model tahminlerinin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla SHAP (Lundberg ve Lee, 2017) analizi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 3'de görüldüğü üzere;



Şekil 3. Shap grafiği detaylı analizi

hour_sin değişkeni yaklaşık $-0,18$ ile $+0,12$ aralığında, *hour_cos* değişkeni ise $-0,17$ ile $+0,19$ aralığında SHAP etkilerine sahiptir. *week_day* değişkeni de $-0,16$ ile $+0,07$ aralığında belirgin etkiler sergilemiştir. Meteorolojik değişkenler incelendiğinde *temperature* ve *wind* değişkenlerinin orta-düşük düzeyde katkı sağladığı; *precipitation* değişkeninin ise en düşük SHAP etkisine sahip olduğu görülmüştür. Bu bulgu, trafik yoğunluğunun ağırlıklı olarak zamansal örüntülerden etkilendiğini ortaya koymaktadır.

SHAP değerlerinin işaret yapısı, zamansal değişkenlerin trafik yoğunluğu üzerindeki iki kutuplu etkisini ortaya koymaktadır. *hour_sin* değişkeninin pozitif SHAP değerleri sabah ve akşam zirve saatlerine (07:00–09:00 ve 17:00–19:00) karşılık gelirken, negatif değerler gece ve erken sabah aralığında yoğunluğu düşürücü yönde etki üretmektedir. *hour_cos* değişkeninin daha geniş SHAP aralığı (–0,17 ile +0,19), öğle–öğleden sonra geçişlerinin modelde belirleyici rol üstlendiğini göstermektedir. *week_day* değişkeninin negatif yönlü daha geniş etkisi ise hafta sonu trafiğinin hafta içine kıyasla belirgin biçimde düştüğüne işaret etmekte ve bu örüntü, üstyapı yorulma birikiminin haftalık ritmi açısından önemli bir bulgu sunmaktadır.

Meteorolojik değişkenler arasında sıcaklığın belirgin biçimde rüzgâr ve yağıştan öne çıkması, Madrid'in karasal ikliminde sıcaklık–konfor ilişkili seyahat tercihinin trafik talebini şekillendiren ikincil bir faktör olduğunu düşündürmektedir. Yağışın en düşük etkide kalması beklenen bir bulgudur; Madrid'in yıllık yağışlı gün sayısı görece az olduğundan örneklem içerisinde yağışlı zaman aralığı sınırlı kalmıştır. Bu, modelin meteorolojik etkilere duyarsızlığından ziyade veri kümesindeki örneklem dengesizliğinin bir yansımasıdır ve farklı iklim bölgelerinde yeniden test edilmesi gereken bir kısıtlılığı işaret etmektedir.

Soni ve Masih (2025) kentsel trafik tıkanıklığı tahminine yönelik GBM temelli modelde R^2 değerlerini 0,74–0,82 aralığında raporlamıştır. Bu çalışmada elde edilen test R^2 değerleri (0,7966–0,7983) söz konusu aralık içinde yer almakta; ancak sistematik hiperparametre optimizasyonunun temel modele kıyasla tutarlı iyileştirmeler sağladığı görülmektedir. Weng ve diğerleri (2023), Pekin trafik verisi üzerinde XGBoost ile $R^2 = 0,821$ elde etmiştir; söz konusu çalışmada çok daha büyük ölçekli veri kullanıldığı dikkate alındığında bu çalışmada elde edilen değerler rekabetçi niteliktedir. GWO'nun performans üstünlüğü genel literatür eğilimleriyle örtüşmekte; SSA'nın eğitim/test farkı ise daha geniş iterasyon bütçelerinde araştırılmaya değer bir bulgu olarak öne çıkmaktadır. SHAP bulgularının zamansal değişkenlerin baskınlığını göstermesi, Lumiste ve Ilie (2022) ile Weng ve diğerleri (2023) tarafından da vurgulanan örüntülerle tutarlıdır.

Bu çalışmada elde edilen test R^2 aralığının (0,7966–0,7983) literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılması, GBM ailesinin saatlik trafik tahmini problemlerinde belirli bir performans tavanına ulaştığını düşündürmektedir. Weng ve diğerleri (2023) tarafından raporlanan $R^2 = 0,821$ değerinin önemli ölçüde daha büyük veri kümesi ve günlük (saatlik değil) granülerite üzerinde elde edildiği göz önünde bulundurulduğunda, saatlik tahminin doğal olarak daha yüksek belirsizlik içerdiği anlaşılmaktadır. Saatlik tahminde performansı 0,82–0,85 üzerine çıkarmak için modelin zamansal bağımlılıkları doğrudan modelleyen mimarilerle (LSTM, Temporal Fusion Transformer) hibritleştirilmesi muhtemelen gereklidir. Bunun yanı sıra, mevcut çalışmaların büyük çoğunluğunda meta-sezgisel algoritma karşılaştırmaları tekil koşu sonuçlarına dayanmakta; ileride yapılacak çalışmalarda istatistiksel anlamlılık testleriyle desteklenmiş karşılaştırmaların yöntemsel bir standart hâline getirilmesi alanın güvenilirliğini artıracaktır.

3.3. Üstyapı Yönetimi Açısından Bulguların Yorumu

Elde edilen test RMSE değeri (~79 araç/saat), mutlak hata ölçeği bakımından üstyapı yorulma analizinde anlamlı bir aralıkta yer almaktadır. Tipik bir kentsel arterde günlük 25.000–40.000 araç yoğunluğu için saatlik tahmin hatasının ESAL birikimine yıllık yaklaşık %2–4 düzeyinde yansıması beklenmekte; bu hata aralığı, MEPDG kalibrasyon çalışmalarında raporlanan trafik girdisi belirsizliği bantlarıyla uyumludur. Diğer bir deyişle önerilen modelin doğruluk düzeyi, MEPDG benzeri bir bozulma çerçevesine doğrudan beslenebilecek pratik bir hassasiyet sunmaktadır.

SHAP analizinin zamansal değişkenlerin (*hour_sin*, *hour_cos*, *week_day*) baskınlığını ortaya koyması, üstyapı yönetimi açısından iki kritik çıkarım üretmektedir. Birincisi, günlük zirve saatlerinde biriken ESAL'in toplam yüke katkısı orantısız biçimde yüksektir; bu nedenle bakım-onarım planlamasında saatlik trafik profilinin dikkate alınması, geleneksel AADT temelli yaklaşıma kıyasla daha gerçekçi bir yorulma öngörüsü sağlar. İkincisi, yağış değişkeninin düşük SHAP etkisi göstermesi, Madrid'in yarı-kurak ikliminde trafiğin meteorolojiden görece bağımsız olduğunu işaret etmektedir. Ancak yüksek yağış rejimli bölgelerde (örneğin Karadeniz iklim kuşağı) nem kaynaklı asfalt soyulması (stripping) ve dingil yükü etkileşimi farklı bir profil ortaya koyabilir. Bu açıdan model çıktıları, iklim bölgesine göre farklılaşan bozulma modelleri için bölgesel olarak yeniden kalibre edilmelidir.

Pratik PMS uygulaması açısından bir diğer önemli gözlem, sıcaklığın orta düzey SHAP etkisi göstermesidir. Trafik yoğunluğu ile sıcaklığın ortak modellenmesi, yüksek sıcaklıkta artan tekerlek izi (rutting) riskinin yüksek trafik dönemleriyle örtüştüğü kritik pencerelerin önceden tahminine imkân tanır. Bu pencereler, ön koruyucu bakım (preventive maintenance) müdahalelerinin zamanlanmasında önemli birer karar destek girdisidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, trafik yoğunluğu tahmininin üstyapı varlık yönetimi açısından taşıdığı stratejik öneme yanıt olarak, Madrid kentsel trafik veri kümesi üzerinde meta-sezgisel optimizasyon ile güçlendirilmiş bir GBM tahmin çerçevesi geliştirmeyi amaçlamıştır. Karayolu üstyapılarının mekanik yorulma ve yüzey bozulma davranışları başta eksenel yük olmak üzere toplam trafik yoğunluğuyla doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda üstyapı yönetim sistemlerine (Pavement Management Systems, PMS) entegre edilecek güvenilir trafik tahmin araçları, bozulma modellerinin kalibrasyonundan bakım-onarım zamanlamasına, maliyet tahmininden altyapı yatırım önceliklendirmesine dek pek çok kritik karar sürecini beslemektedir. Mevcut PMS platformlarının büyük çoğunluğu eksenel yük ve geçiş sayısı gibi statik tasarım girdilerine dayanmakta; oysa dinamik trafik yoğunluğu tahminleri bu girdileri gerçek zamanlı olarak güncelleyerek bozulma öngörülerinin doğruluğunu önemli ölçüde artırabilmektedir.

Elde edilen bulgular bu doğrultuda birkaç temel sonucu açıkça ortaya koymaktadır. Birincisi, beş farklı meta-sezgisel algoritmanın tamamı temel GBM modelini ($R^2 = 0,7943$) geride bırakmış; bu durum, sistematik hiperparametre optimizasyonunun gradient boosting tabanlı trafik tahmin modellerinin performansını artırmada güvenilir bir strateji olduğunu göstermektedir. En yüksek test doğruluğunu $R^2 = 0,7983$ ve RMSE = 79,443 değerleriyle sağlayan GWO algoritması, alfa-beta-delta hiyerarşisi sayesinde keşif ve sömürü dengesini rakiplerine kıyasla daha etkin biçimde kurabildiğini ortaya koymuştur. İkincisi, tüm model yapılandırmalarında eğitim ve test metrikleri arasındaki yakın ilişki güçlü genelleme kabiliyetini teyit etmekte; korelasyon katsayılarının 0,89–0,91 aralığında seyretmesi ise tahmin sisteminin pratik uygulama senaryolarında güvenilir bir performans sergilediğine işaret etmektedir. Üçüncüsü, SSA algoritmasının eğitim setinde en yüksek doğruluğu ($R^2 = 0,8254$) sağlamasına karşın test setinde görece geride kalması ($R^2 = 0,7966$), sınırlı iterasyon bütçesinde erken yakınsama eğilimi sergileyebileceğini düşündürmekte ve bu algoritmanın daha geniş arama bütçeleriyle yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Dördüncüsü ve üstyapı yönetimi açısından en kritik bulgu olarak, SHAP analizi tahminlerde zamansal değişkenlerin (hour_sin, hour_cos, week_day) birincil belirleyici olduğunu; meteorolojik değişkenlerin ise ikincil katkıda bulunduğunu kanıtlamıştır. Bu sonuç, trafik yükü verisi toplamayı hedefleyen altyapı yöneticileri için zamana dayalı veri toplama sistemlerinin önceliklendirilmesi gerektiğine dair önemli bir politika çıkarımı sunmaktadır. Yağışın en düşük SHAP etkisini üretmesi, Madrid ikliminin görece az yağışlı yapısıyla örtüşmekte; ancak bu bulgunun daha yüksek yağış rejimlerine sahip coğrafyalardaki geçerliliği ayrıca test edilmelidir. Genel bir değerlendirme yapıldığında, bu çalışmanın GBM ile meta-sezgisel optimizasyonun birlikte kullanımının üstyapı yönetimine yönelik trafik yoğunluğu tahmininde uygulanabilir, etkili ve yorumlanabilir bir yaklaşım olduğunu deneysel olarak doğruladığı görülmektedir.

Araştırmanın gelecekte birkaç tamamlayıcı yönde genişletilmesi önerilmektedir. Öncelikle, hesaplama kısıtları nedeniyle alt örneklem üzerinde çalışılmış olması belirli bir sınırlılık teşkil etmektedir; tam veri seti (1.048.576 gözlem) üzerinde yürütülecek analizler hem model kararlılığını hem de istatistiksel güveni artıracaktır. Bunun yanı sıra, GBM'nin zaman serisi bağımlılıklarını yalnızca özellik mühendisliği aracılığıyla ele aldığı göz önünde bulundurulduğunda, Long Short-Term Memory (LSTM) ağları veya Transformer tabanlı mimarilerin meta-sezgisel optimizasyonla birleştirilmesi, ardışık bağımlılıkların daha doğrudan modellenmesine olanak tanıyabilir. Farklı iklim ve kentsel yapıya sahip şehirlerin (İstanbul, Londra, Tokyo vb.) trafik veri kümeleri üzerinde test yapılması modelin coğrafi genellenebilirliğini sınayacaktır. Özellikle farklı yağış ve sıcaklık rejimlerinin üstyapı stresi üzerindeki etkilerini kapsayan uzun dönemli mevsimsel analizler, meteorolojik değişkenlerin trafik yoğunluğu tahminindeki rolünü daha eksiksiz biçimde ortaya koyacaktır. Son olarak hem tahmin

doğruluğunu hem de gerçek zamanlı uygulanabilirlik için hesaplama verimliliğini eş zamanlı hedefleyen çok amaçlı optimizasyon (multi-objective optimization) yaklaşımlarının benimsenmesi, geliştirilen çerçevenin operasyonel PMS sistemlerine entegrasyonunu kolaylaştıracak ve çalışmanın pratik etkisini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- Gómez, J. I., & Ilarri, S. (2024). Enriched traffic dataset for machine learning-based predictions in Madrid. *Data in Brief*, 52, 109957. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109957>
- Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. (2019). Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*, 97, 849–872. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'95)*, 4, 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Liu, F. T., Ting, K. M., & Zhou, Z.-H. (2008). Isolation forest. *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2008)*, 413–422. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2008.17>
- Lumiste, M., & Ilie, A. (2022). Large scale traffic forecasting with gradient boosting: Traffic4cast 2022 challenge. *arXiv preprint arXiv:2211.00157*. <https://arxiv.org/abs/2211.00157>
- Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 30, 4765–4774.
- Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51–67. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
- Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, 21. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021>
- Weng, J., Feng, K., Fu, Y., Wang, J., & Mao, L. (2023). Extreme gradient boosting algorithm based urban daily traffic index prediction model: A case study of Beijing, China. *Digital Transportation and Safety*, 2(3), 220–228. <https://doi.org/10.48130/DTS-2023-0018>
- Soni, D., & Masih, S. (2025, May). Improved Road Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning through Modified Index. In *International Conference on Recent Advancements and Modernisations in Sustainable Intelligent Technologies and Applications (RAMSITA 2025)* (pp. 150-158). Atlantis Press.
- Xue, J., & Shen, B. (2020). A novel swarm intelligence optimization approach: Sparrow search algorithm. *Systems Science & Control Engineering*, 8(1), 22–34. <https://doi.org/10.1080/21642583.2019.1708830>

**PALAMUT MEŞESİ (*QUERCUS İTHABURENSIS* DECNE.) EKSTRELERİNİN
VERTICILLIUM DAHLIAE VE *FUSARIUM OXYSPORUM* F.SP. *LYCOPERSICI* ÜZERİNE
ANTİFUNGAL AKTİVİTESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAYAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir

ORCID ID: 0000-0001-8393-7218

Doç. Dr. Melih YILAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir

ORCID ID: 0000-0001-5963-4743

Kübra CENGİZ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir

ORCID ID:0009-0005-9735-3893

ÖZET

Palamut Meşesi (*Quercus ithaburensis* Decne.) bitkisinin farklı morfolojik kısımlarından (meyve, gövde ve yaprak) elde edilen metanol ekstresi, bitki koruma açısından kritik öneme sahip *Verticillium dahliae* ve *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* patojenleri üzerindeki antifungal etkileri laboratuvar koşullarında araştırılmıştır. Araştırma kapsamında kullanılan 0.5, 1, 2 ve 4 mg/mL konsantrasyonlarındaki tüm ekstraktların, her iki patojenin miselyum gelişimini doza bağlı olarak anlamlı derecede inhibe ettiği saptanmıştır. *V. dahliae* üzerinde yürütülen metanol ekstresi denemelerinde, en yüksek antifungal aktivite 4 mg/mL dozunda %44.28 engelleme oranıyla meyve ekstresinde kaydedilmiştir; aynı dozda yaprak ve gövde ekstraktları sırasıyla %39.42 ve %37.01 oranında başarı sergilemiştir. Öte yandan, *F. oxysporum* üzerinde denenen metanol ekstraktlarının çok daha etkili olduğu belirlenmiştir; özellikle yaprak ekstresinin 0.5 mg/mL gibi oldukça düşük bir dozda bile %30.84 oranında inhibisyon sağlaması dikkat çekmiştir. Bu patojene karşı en yüksek engelleme oranı ise 4 mg/mL dozunda %58.21 ile gövde ekstresinden elde edilmiş, yaprak (%56.18) ve meyve (%54.06) engelleme oranları ile gövde ekstresini izlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda, *Q. ithaburensis* ekstraktlarının *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* üzerinde, *V. dahliae*'ye oranla daha baskın bir antifungal aktivite çizdiğini düşük konsantrasyonlarda bile patojen metabolizmasını güçlü bir şekilde baskıladığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, Palamut Meşesi'nin farklı kısımlarının içerdiği biyoaktif bileşenlerin, sürdürülebilir tarım teknikleri çerçevesinde sentetik fungusitlere alternatif, çevre dostu ve doğal bir biyofungusit olarak kullanılabilme potansiyelinin dikkate değer olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Quercus ithaburensis*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, Antifungal Aktivite

**ANTIFUNGAL ACTIVITY OF EXTRACTS OF *QUERCUS İTHABURENSIS* AGAINST
VERTICILLIUM DAHLIAE AND *FUSARIUM OXYSPORUM* F. SP. *LYCOPERSICI***

ABSTRACT

The antifungal effects of methanol extracts obtained from different morphological parts (fruit, stem, and leaf) of the valonia oak (*Quercus ithaburensis* Decne.), against the plant pathogens *Verticillium dahliae* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, which are of critical importance in plant protection, were investigated under laboratory conditions. Within the scope of the study, all extracts tested at concentrations of 0.5, 1, 2, and 4 mg/mL significantly inhibited the mycelial growth of both pathogens in a dose-dependent manner. In the methanol extract assays conducted against *V. dahliae*, the highest antifungal activity was recorded in the fruit extract at a concentration of 4 mg/mL, with an inhibition rate of 44.28%; at the same concentration, the leaf and stem extracts exhibited inhibition rates of 39.42% and 37.01%, respectively. On the other hand, methanol extracts tested against *F. oxysporum* were found to be much more effective; notably, the leaf extract provided 30.84% inhibition even at the very low concentration of 0.5 mg/mL. The highest inhibition rate against this pathogen was obtained from the stem extract at 4 mg/mL with 58.21% inhibition, followed by the leaf (56.18%) and fruit (54.06%) extracts. The results of the study demonstrated that the extracts of *Q. ithaburensis* exhibited stronger antifungal activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* compared to *V. dahliae*, effectively suppressing pathogen metabolism even at low concentrations. Consequently, the bioactive compounds present in different parts of the Palestine Oak have considerable potential to be used as environmentally friendly and natural biofungicides as alternatives to synthetic fungicides within the framework of sustainable agricultural practices.

Keywords: *Quercus ithaburensis*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, Antifungal Activity

1.GİRİŞ

Quercus ithaburensis Decne. (palamut meşesi), Doğu Akdeniz ve Orta Doğu’da yayılış gösteren, Fagaceae familyasına ait bir meşe türü olup, yaprak, kabuk ve palamut gibi farklı organlarında zengin fenolik bileşikler biriktiren sert, kuraklığa dayanıklı bir türdür. *Quercus* cinsinin genelinde olduğu gibi, palamut meşesinin de geniş biyokütle üretme kapasitesi ve geleneksel halk hekimliğinde antiseptik ve gastrointestinal rahatsızlıklara karşı kullanımı bulunmaktadır (Burlacu et al., 2020).

Quercus ithaburensis’in son yıllarda artan biçimde fitopatojen kaynaklı antifungal ajan adayı olarak dikkat çekmesi, genel olarak *Quercus* cinsine ait türlerin zengin fitokimyasal profilleri ve güçlü biyolojik aktiviteleriyle uyumludur. *Quercus* türleri; yaprak, kabuk ve palamutlardan elde edilen ekstraktlarda yoğun olarak fenolik bileşikler, uçucu organikler, steroller ve yağ asitleri içermekte, bu bileşenler antioksidan, antimikrobiyal ve özellikle antifungal etkilerin temel belirleyicisi olarak gösterilmektedir (Burlacu, Nițică ve Tănase, 2020; Taib ve ark., 2020).

Quercus cinsine ilişkin derleme ve deneysel çalışmalar, başta *Q. brantii*, *Q. infectoria*, *Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens* ve *Q. suber* olmak üzere pek çok türün ekstraktlarının *Aspergillus*, *Penicillium*, *Candida* ve çeşitli fitopatojen funguslara karşı anlamlı düzeyde büyüme inhibisyonu sağladığını ortaya koymuştur (Burlacu ve ark., 2020; Vanga ve ark., 2017; Magbool ve ark., 2018; Nițică ve ark., 2023; Sánchez-Hernández ve ark., 2022; Lahlimi-Alami ve ark., 2021). Özellikle *Q. infectoria* mazılarında tanenlerce zengin fraksiyonların *C. albicans* üzerinde nystatin etken maddesine kıyasla daha yüksek inhibisyon gösterebildiği, *Q. suber* kabuk ekstraktlarının ise *C. albicans* ve diğer *Candida* türleri yanında elma ve bademde hastalık oluşturan fitopatojenlere karşı da yüksek etkinlik sergilediği bildirilmektedir (Magbool ve ark., 2018; Lahlimi-Alami ve ark., 2021; Sánchez-Hernández ve ark., 2022).

Bu çalışmada *Q. ithaburensis*’in meyve, gövde ve yapraklarından elde edilen ekstraktların tarımsal alanda önemli toprak kökenli bitki potojeni funguslar olan *Verticillium dahliae* ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*’ye karşı antifungal aktivitesi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Bitki Materyali ve Ekstraksiyonu

Çalışmada kullanılan *Q. ithaburensis*'in farklı bitki kısımları(meyve, gövde ve yaprak) Kahramanmaraş ilindeki doğal popülasyonlardan toplanmıştır. Bitki örnekleri yaprak, çiçek ve gövde kısımları gölgede ayrı ayrı kurutulmuş ve elektrikli bir öğütücü yardımıyla ince toz haline getirilmiştir. Hazırlanan bitkisel materyallerden 100'er gram tartılarak 1 L'lik Erlenmeyer balonlarına alınmış ve üzerlerini tamamen kaplayacak miktarda metanol ilave edilmiştir. Örnekler, orbital çalkalayıcıda 120 rpm hızında, oda sıcaklığında 48 saat boyunca ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Elde edilen karışımlar filtre kağıdından süzölmüş ve çözücü (metanol), 32 °C'de döner buharlaştırıcı (evaporatör) yardımıyla uzaklaştırılarak ham katı ekstraktlar elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan stok çözeltiler, kurutulmuş ekstraktların DMSO–saf su karışımında çözülmesiyle hazırlanmış ve farklı derişimlerde (kontrol (0), 0.5, 1, 2 ve 4 mg/mL) seyreltilmiştir (Kadioglu ve Yanar, 2004).

2.2.Antifungal Aktivite Analizi

Çalışmada kullanılan *Verticillium dahliae* ve *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* patojenleri Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Fitopatoloji Laboratuvarı stok kültürlerinden temin edilmiştir. Bitki ekstraktlarının mantar gelişimi üzerindeki inhibitör etkisi agar dilüsyon yöntemiyle belirlenmiştir. Metanol ekstraktları öncelikle %1 oranında DMSO içinde çözölmüş ve otoklavlanmış Patates Dekstrozu Agar (PDA) besiyerine, son derişimleri 0 (kontrol), 0.5, 1, 2 ve 4 mg/mL olacak şekilde ilave edilmiştir. Hazırlanan ekstraktlı PDA'lar 60 mm çapındaki petri kaplarına dökölmüş ve merkezlerine aktif gelişmekte olan 5 mm çapındaki miselyal diskler inokule edilmiştir.Örnekler 23 ± 2 °C sıcaklıkta 10 gün boyunca inkübe edilmiş, inkübasyon süresi sonunda kolonilerin radyal gelişim çapları ölçölmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda, miselyal gelişim inhibisyon yüzdesi (I%) aşağıdaki formöl kullanılarak hesaplanmıştır(Pandey ve ark. ,1982).

$$I (\%) = [(dc - dt) / dc] \times 100$$

Burada dc ve dt, sırasıyla kontrol ve muamele gruplarının koloni gelişim çaplarını ifade etmektedir. Deneler 3 tekerrürlü ve 2 tekrarlamalı olarak yapılmıştır.

2.3. İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel değerdendirilmesinde tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmış; gruplar arasındaki farkların önemlilik düzeyi Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. P < 0.05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Tüm analizler SPSS v15 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Quercus ithaburensis bitkisinin meyve, gövde ve yaprak kısımlarından elde edilen metanol ekstraktlarının, tarımsal üretimde ciddi ekonomik kayıplara yol açan toprak kökenli patojen *Verticillium dahliae* üzerindeki antifungal etki gösterdiği görölmüştür (Tablo 1 ve Şekil 1).

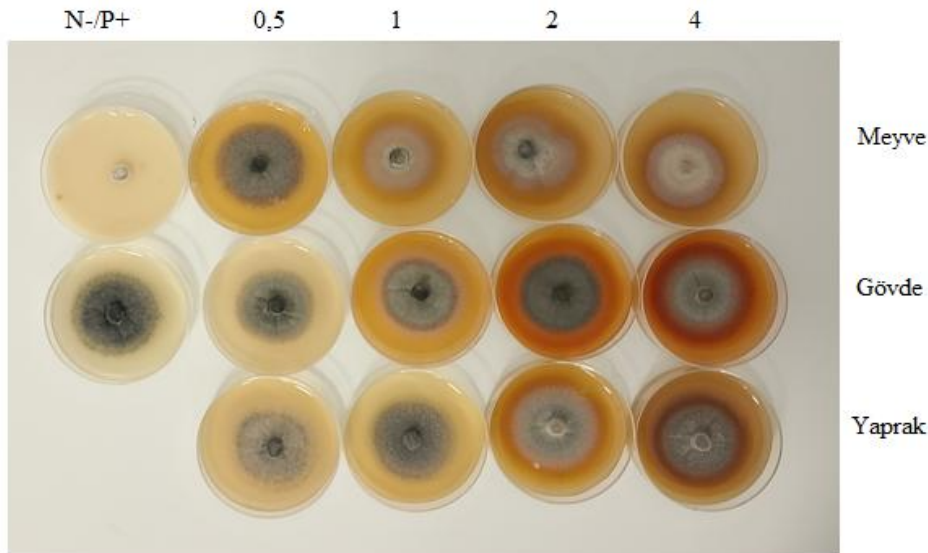
Düşük dozlarda bitki kısımlarının farklı etkiler göstermiştir. 0.5 mg/mL dozunda meyve ve gövde ekstraktları patojen üzerinde hiçbir etki göstermezken, yaprak ekstresinin %5.61'lik bir başlangıç etkisi gösterdiği dikkat çekmektedir. Ancak doz miktarı 1 mg/mL seviyesine çıkarıldığında tüm kısımlarda ani ve belirgin bir aktivite artışı yaşanmış, bu dozda en yüksek direnci %28.49 ile gövde ekstresi sergilemiştir. 2 mg/mL dozunda ise ilginç bir şekilde meyve (%30.03), gövde (%29.73) ve yaprak (%29.48) ekstraktlarının birbirine çok yakın değerdler sunduğu, dolayısıyla bu konsantrasyonda bitki kısımları arasında ayırt edici bir performans farkının kalmadığı saptanmıştır.

Araştırmanın en çarpıcı sonuçları ise en yüksek uygulama dozu olan 4 mg/mL konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bu dozda meyve ekstresi, %44.28'lik engelleme oranıyla patojene karşı en güçlü inhibitör (engelleme) etkisi gösteren kısım olarak öne çıkmaktadır. Meyveyi sırasıyla %39.42 ile yaprak ve %37.01 ile gövde ekstraktları takip etmektedir.

Tablo 1. *Quercus ithaburensis*'in farklı kısımlarından elde edilen metanol ekstresinin bitki patojeni *Verticillium dahliae*'nin miselyum gelişimi üzerine yüzde etkisi

Doz (mg/mL)	<i>Verticillium dahliae</i>		
	meyve	gövde	Yaprak
N-	0.00±0.00 ^{e*}	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^e
0,5	0.00±0.00 ^e	0.00±0.00 ^c	5.61±2.28 ^e
1	24.45±3.04 ^d	28.49±2.69 ^b	21.01±4.20 ^d
2	30.03±1.88 ^c	29.73±2.53 ^b	29.48±1.95 ^c
4	44.28±0.89 ^b	37.01±2.33 ^b	39.42±1.01 ^b
P+	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a

*Aynısütunda yer alan ve aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında ANOVA analizine göre anlamlı bir fark bulunmamıştır (p = 0,05); Veriler, üç bağımsız deneyin ortalamasını ± standart hat (SE) ile göstermektedir (n = 3). Kontrol (+) Thiram; Pozitif kontrol, Kontrol (-); Negatif kontrol (%1 (v/v) DM



Şekil 1. *Quercus ithaburensis*'in farklı kısımlarından elde edilen metanol ekstresinin bitki patojeni *Verticillium dahliae*'nin miselyum gelişimi üzerine etkisi

Quercus ithaburensis bitkisinden elde edilen metanol ekstraktlarının, domateste solgunluk hastalığına neden olan önemli bir bitki patojeni olan *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* üzerindeki antifungal etkisi Tablo 2 ve Şekil 2'de verilmiştir.

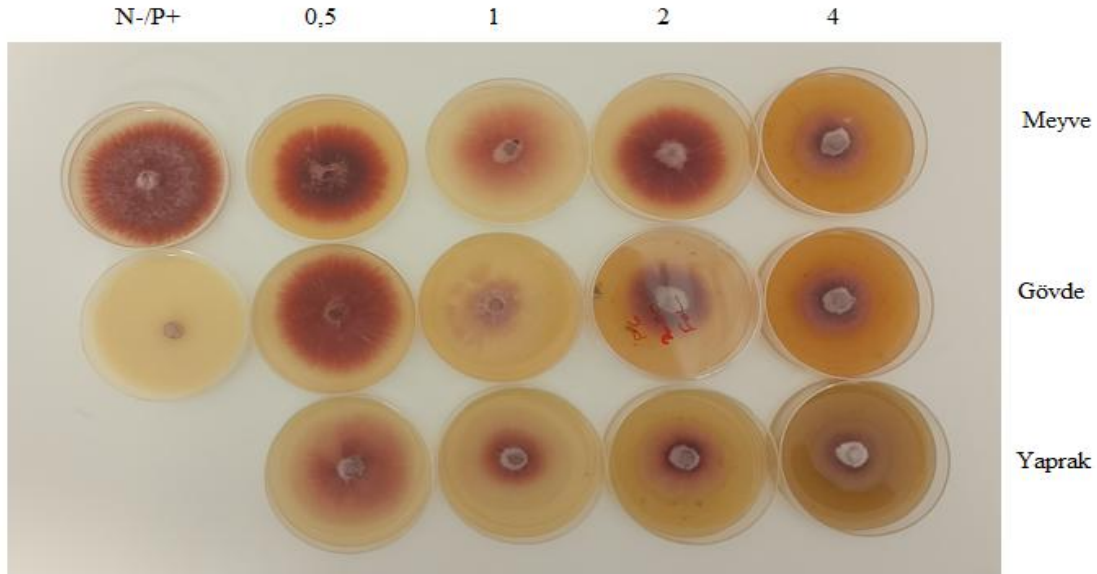
Bitki kısımları incelendiğinde, düşük dozlarda (0.5 ve 1 mg/mL) yaprak ekstresinin diğer kısımlara oranla çok daha baskın bir antifungal aktiviteye sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2). Özellikle 0.5 mg/mL gibi düşük bir konsantrasyonda meyve ekstresi hiçbir etki göstermezken, yaprak ekstresinin %30.84 gibi kayda değer bir engelleme oranına ulaşması, yaprakların bu patojene karşı daha yoğun veya daha etkili biyoaktif bileşenler içerdiğine işaret etmektedir. Doz 2 mg/mL seviyesine çıkarıldığında, gövde ve yaprak ekstraktları yaklaşık %47-%49 bandında benzer bir etkinlik göstererek patojen gelişimini yarı yarıya engelleme noktasına yaklaşmış, meyve ekstresi ise %30.85 ile bu iki grubun gerisinde kalmıştır.

En yüksek uygulama dozu olan 4 mg/mL seviyesinde, tüm ekstratlar %54 ile %58 arasında değişen yüksek bir inhibisyon başarısı yakalamıştır. Bu dozda en yüksek engelleme oranı %58.21 ile gövde ekstratında kaydedilirken, onu sırasıyla yaprak (%56.18) ve meyve (%54.06) ekstratları takip etmiştir. Sonuç olarak, *Quercus ithaburensis* metanol ekstratlarının *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* üzerinde güçlü bir antifungal etkisinin bulunduğu, özellikle düşük dozlarda yaprak ekstratlarının, yüksek dozlarda ise gövde ekstratlarının patojeni baskılamada bir adım öne çıktığı görülmektedir.

Tablo 2. *Quercus ithaburensis*'in farklı kısımlarından elde edilen metanol ekstratının bitki patojeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 'nin miselyum gelişimi üzerine yüzde etkisi

Doz (mg/mL)	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Lycopersici</i>		
	meyve	gövde	Yaprak
N-	0.00±0.00 ^{e*}	0.00±0.00 ^f	0.00±0.00 ^f
0,5	0.00±0.00 ^e	24.09±0.86 ^e	30.84±2.39 ^e
1	24.20±1.47 ^d	30.67±1.29 ^d	37.91±4.04 ^d
2	30.85±1.26 ^c	47.32±0.82 ^c	49.38±0.41 ^c
4	54.06±0.69 ^b	58.21±2.03 ^b	56.18±1.53 ^b
P+	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a

*Aynısıütunda yer alan ve aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında ANOVA analizine göre anlamlı bir fark bulunmamıştır (p = 0,05); Veriler, üç bağımsız deneyin ortalamasını ± standart hat (SE) ile göstermektedir (n = 3). Kontrol (+) Thiram; Pozitif kontrol, Kontrol (-); Negatif kontrol (%1 (v/v) DMSO)



Şekil 2. *Quercus ithaburensis*'in farklı kısımlarından elde edilen metanol ekstratının bitki patojeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 'nin miselyum gelişimi üzerine etkisi

Palamut meşesi meyve, gövde ve yapraklarından elde edilen metanol ekstratlarının, *V. dahliae* ve *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* üzerinde doza bağlı anlamlı miselyum inhibisyonu sağlaması, *Quercus* cinsine ait türlerin zengin fenolik içeriğe bağlı antimikrobiyal ve özellikle antifungal aktiviteleriyle uyumludur (Burlacu et al., 2020; Taib et al., 2020; Jiang et al., 2025). *Quercus* türlerinden elde edilen ekstratların antioksidan, antimikrobiyal ve antifungal biyolojik aktivitelerinin, başlıca fenolik bileşikler,

tanenler ve flavonoidlerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Burlacu et al., 2020; Banc et al., 2023; Coman et al., 2024).

Çalışmada 0.5–4 mg/mL aralığındaki tüm palamut meşesi ekstraktlarının her iki patojende de konsantrasyona paralel olarak artan inhibisyon oluşturmaları, farklı *Quercus* türlerinin kabuk, yaprak ve palamut ekstraktlarında rapor edilen, fenolikçe zengin fraksiyonların belirgin antifungal etkisiyle benzer bir doz–yanıtı işaret etmektedir (Burlacu et al., 2020; Taib et al., 2020; Coman et al., 2024). *Q. infectoria* ve diğer meşe türlerine ait ekstre ve gall’ların güçlü antimikrobiyal/antifungal etkisi, özellikle gallotanenler (gallik tanenler) ve fenolik asitlerin yoğunluğu ile ilişkilendirilmiştir (Burlacu et al., 2020; Banc et al., 2023; Coman et al., 2024).

Palamut meşesi ekstraktlarının *F. oxysporum*’a karşı *V. dahliae*’ye kıyasla daha yüksek inhibisyon oranları sergilemesi, bitki ekstraktlarının söz konusu patojenlere karşı miselyal büyümeyi sınırlayan potansiyellerini ortaya koyan çalışmalarla uyumludur (López-Benítez et al., 2005; Mulero-Aparicio et al., 2019). Özellikle düşük dozlarda dahi anlamlı baskılama, *Quercus* cinsine ait türlerde tanenler ve diğer fenolik bileşiklerce zengin ekstraktların belirgin biyolojik aktivitesini vurgulayan derleme çalışmalarınca desteklenmektedir (Burlacu et al., 2020; Jiang et al., 2025; Taib et al., 2020). Sonuç olarak, *Q. ithaburensis* ekstraktlarının tarımsal açıdan önemli toprak kaynaklı patojenler üzerinde gözlenen antifungal etkisi, *Quercus* cinsine ait diğer türlerde rapor edilen geniş antimikrobiyal spektrumla birlikte değerlendirildiğinde, palamut meşesinin sürdürülebilir tarım kapsamında sentetik fungusitlere çevre dostu ve doğal bir alternatif oluşturma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir (Burlacu et al., 2020; Banc et al., 2023; Coman et al., 2024; Taib et al., 2020).

4.SONUÇ

Bu çalışma, *Quercus ithaburensis* meyve, gövde ve yaprak kısımlarından elde edilen metanol ekstraktlarının, tarımsal üretimde ciddi verim kayıplarına yol açan *Verticillium dahliae* ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* patojenleri üzerindeki antifungal etkisini ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, bitki ekstraktlarının konsantrasyona bağlı olarak miselyum gelişimini önemli ölçüde inhibe ettiğini ve *Quercus* türlerinin biyofungusit olarak dikkate değer bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

5.KAYNAKÇA

- Banc, R., Rusu, M. E., Filip, L., & Popa, D. (2023). Phytochemical profiling and biological activities of *Quercus* sp. galls (oak galls): A systematic review of studies published in the last 5 years. *Plants*, 16(22): 3873. doi: 10.3390/plants12223873.
- Burlacu, E., Nisca, A., & Tanase, C. (2020). A Comprehensive Review of Phytochemistry and Biological Activities of *Quercus* Species. *Forests*, 11(9), 904. <https://doi.org/10.3390/f11090904>.
- Coman, N.-A., Nicolae-Maranciuc, A., Berța, L., Nicolescu, A., Babotă, M., Man, A., Chicea, D., Farzadi, L., Jakab-Farkas, L., Silva, B., Veiga-Matos, J., & Tanase, C. (2024). Green Synthesis of Metallic Nanoparticles from *Quercus* Bark Extracts: Characterization and Functional Properties. *Antioxidants*, 13(7), 822. <https://doi.org/10.3390/antiox13070822>.
- Jiang, L., Yin, S., Wang, G., Shao, X., Wang, Y., Li, Y., & Ding, Y. (2025). The genus *Quercus*: Metabolites, biological activity and mechanisms of action. *Phytochemistry Reviews*: 24:259–302. <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09935-x>
- López-Benítez, A., López-Betancourt, S. R., Vázquez-Badilio, M. E., Rodríguez-Herrera, S. A., Mendoza-Elos, M., & Padrón-Corral, E. (2005). Inhibition of mycelial growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Rhizoctonia solani*, and *Verticillium dahliae* by aqueous plant extracts. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23(2):183-190

- Mulero-Aparicio, A., Agustí-Brisach, C., Varo, A., López-Escudero, F. J., & Trapero, A. (2019). A non-pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* as a potential biocontrol agent against *Verticillium* wilt of olive. *Biological Control*, 139, 104045.
- Taib, M., Rezzak, Y., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activities of *Quercus* species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 1920683. doi:10.1155/2020/1920683
- Burlacu, E., Nisca, A., & Tanase, C. (2020). A Comprehensive Review of Phytochemistry and Biological Activities of *Quercus* Species. *Forests*, 11(9), 904. <https://doi.org/10.3390/f11090904>.
- Lahlimi-Alami, Q., Layachi, R., Hassikou, R., Benjelloun, J., Guennoun, N., Zaid, Y., & Bouzroud, S. (2022). Anticandidotic activity and acute toxicity of *Quercus suber* L. bark extracts. *Journal of Medicinal and Chemical Sciences*, 5 (5): 769-778
- Magbool, F.A.R., Elnima, E., Shayoub M. E & Hussein, S.E.O., 2018. Antifungal potential of *Quercus infectoria* galls against *Candida albicans* – an in vitro study. *EJBPS*, 5(2): 22-27
- Nisca, A., Ștefănescu, R., Mocan, A., Babotă, M., Nicolescu, A., Mare, A. D., Ciurea, C. N., Man, A., & Tanase, C. (2023). A Comparative Analysis of Polyphenol Content and Biological Potential of *Quercus petraea* Matt. and *Q. pubescens* Willd. Bark Extracts. *Forests*, 14(1), 116. <https://doi.org/10.3390/f14010116>
- Pandey, D. K., Tripathi, N. N., Tripathi, R. D., & Dixit, S. N. (1982). Fungitoxic and phytotoxic properties of the essential oil of *Hyptis suaveolens* / Fungitoxische und phytotoxische Eigenschaften des ätherischen Öis von *Hyptis suaveolens*. *Zeitschrift Für Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz / Journal of Plant Diseases and Protection*, 89(6), 344–349. <http://www.jstor.org/stable/43214961>
- Rivas MÁ, Casquete R, Gonçalves Dos Santos MTP, Benito MJ. An overview of the antifungal potential for aromatic plant extracts in agriculture and the food industry: A comprehensive analysis focusing on the *Rubus*, *Cistus* and *Quercus* genera against fungal infections of crops and food. *Int J Food Microbiol*. 2025 May 16;436:111209. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111209. Epub 2025 Apr 12. PMID:40253950.
- Sánchez-Hernández, E., González-García, V., Casanova-Gascón, J., Barriuso-Vargas, J. J., Balduque-Gil, J., Lorenzo-Vidal, B., Martín-Gil, J., & Martín-Ramos, P. (2022). Valorization of *Quercus suber* L. Bark as a Source of Phytochemicals with Antimicrobial Activity against Apple Tree Diseases. *Plants*, 11(24), 3415. <https://doi.org/10.3390/plants11243415>
- Taib, M., Rezzak, Y., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activities of *Quercus* species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 31. 1920683. doi:10.1155/2020/1920683
- Vanga S, Pingili M and Tharigoppula S.(2017). Phytochemical screening and evaluation of antifungal activity of gall extracts of *Quercus infectoria*. *Int J Pharm Sci Res*; 8(7):3010-3013

***SAMBUCUS NIGRA* L. ETANOL EKSTRAKTLARININ *VERTICILLIUM DAHLIAE* VE
ALTERNARIA SOLANI ÜZERİNE İN VİTRO FUNGİSTATİK ETKİSİ**

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAYAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir

ORCID ID: 0000-0001-8393-7218

Doç. Dr. Melih YILAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir

ORCID ID: 0000-0001-5963-4743

Kübra CENGİZ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 40100 Kırşehir

ORCID ID:0009-0005-9735-3893

ÖZET

Bu çalışmada, *Sambucus nigra*'nın farklı bitki kısımlarından (gövde, yaprak, çiçek) elde edilen Etanol ekstraktların, önemli fitopatojenler olan *Verticillium dahliae* ve *Alternaria solani*'nin misel gelişimi üzerindeki in vitro biyofungusidal etkisi değerlendirilmiştir. Ekstraktlar, 1–5 mg/mL doz aralığında PDA besiyerine ilave edilmiş, negatif kontrol (N-) ve ticari fungusit içeren pozitif kontrol (P+) ile karşılaştırılmıştır.

Verticillium dahliae'ya karşı 1 mg/mL dozda inhibisyon gözlenmezken, 2 mg/mL'den itibaren tüm bitki kısımlarında doza bağlı olarak artan bir misel büyüme inhibisyonu tespit edilmiştir. En yüksek değerler 5 mg/mL'de gövdede %28.94, yaprakta %25.19 ve çiçekte %21.12 olarak kaydedilmiş, buna karşın P+ grubunda tüm uygulamalarda %100 inhibisyon elde edilmiştir. Benzer şekilde, *Alternaria solani* için de ekstraktların doz artışıyla birlikte inhibisyon oranlarının yükseldiği, özellikle yaprak ve gövde ekstraktlarının 4–5 mg/mL dozlarında en yüksek etkiyi gösterdiği belirlenmiştir (5 mg/mL'de gövde %28.94, yaprak %27.14, çiçek %22.70).

Her iki patojen için de ekstraktların, değerlendirilen doz aralığında tam fungusidal değil, sınırlı fakat istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) düzeyde fungistatik etki oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, *Sambucus nigra* ekstraktlarının potansiyel bir biyofungusit adayı olduğunu, ancak pozitif kontrol düzeyine ulaşmak için daha yüksek konsantrasyonların ve farklı ekstraksiyon ya da fraksiyonlama stratejilerinin araştırılması gerektiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler; *Sambucus nigra*, Bitki ekstraktı, Antifungal aktivite, Biyofungusit

**IN VITRO FUNGISTATIC EFFECTS OF ETHANOL EXTRACTS OF *SAMBUCUS NIGRA*
AGAINST *VERTICILLIUM DAHLIAE* AND *ALTERNARIA SOLANI***

ABSTRACT

In this study, the in vitro biofungicidal effects of ethanol extracts obtained from different parts of *Sambucus nigra* L.(stem, leaf, and flower) on the mycelial growth of the important phytopathogens *Verticillium wilt* pathogen *Verticillium dahliae* and *Alternaria solani* were evaluated. The extracts were

incorporated into PDA medium at concentrations ranging from 1 to 5 mg/mL and compared with a negative control (N-) and a positive control (P+) containing a commercial fungicide.

No inhibition against *Verticillium dahliae* was observed at 1 mg/mL; however, from 2 mg/mL onward, a dose-dependent increase in mycelial growth inhibition was detected for all plant parts. The highest inhibition values at 5 mg/mL were recorded as 28.94% for stem extracts, 25.19% for leaf extracts, and 21.12% for flower extracts, whereas 100% inhibition was achieved in all P+ treatments. Similarly, for *Alternaria solani*, inhibition rates increased with increasing extract concentrations, with leaf and stem extracts exhibiting the highest activity at 4–5 mg/mL doses (28.94% for stem, 27.14% for leaf, and 22.70% for flower extracts at 5 mg/mL).

For both pathogens, the extracts exhibited limited but statistically significant ($p < 0.05$) fungistatic activity within the tested concentration range rather than complete fungicidal effects. These findings suggest that *Sambucus nigra* extracts may serve as potential biofungicide candidates; however, higher concentrations as well as alternative extraction and fractionation strategies should be investigated to achieve efficacy comparable to the positive control.

Keywords: *Sambucus nigra*, plant extract, antifungal activity, biofungicide

1.GİRİŞ

Bitki kökenli biyoaktif bileşikler, artan antifungal ilaç direnci ve sentetik fungusitlerin çevresel ve toksikolojik riskleri nedeniyle yeni antimikrobiyal ajan arayışında önemli bir konuma gelmiştir. Bu kapsamda mürver (*Sambucus nigra* L.), polifenoller ve uçucu bileşiklerce zengin kimyasal yapısı sayesinde hem insan hem de bitki patojeni mantarlara karşı umut vaat eden doğal bir antifungal kaynak olarak öne çıkmaktadır. Mürver meyvelerinden elde edilen ekstraktlarda yüksek düzeyde antosiyaninler (özellikle siyanidin glikozitleri), klorojenik asit ve kuersetin türevleri belirlenmiş; bu polifenolik bileşiklerin varlığı ile *Candida albicans* ve *C. parapsilosis*'e karşı 0,313–2,5 mg/mL aralığında MIC değerleriyle anlamlı antifungal aktivite arasında pozitif bir ilişki gösterilmiştir (Korona-Głowniak et al., 2024). Benzer şekilde, mürver çiçeklerinden hidrodistilasyonla elde edilen uçucu yağın *Candida albicans*'a karşı bakteriyel suşlara kıyasla daha yüksek inhibisyon sağlaması, mantar hücre duvarı ve zar yapısının bu yağ bileşenlerine daha duyarlı olabileceğine işaret etmektedir (Flores Oarga et al., 2025). Tarımsal patojenler açısından bakıldığında, mürver çiçek ve yapraklarının sulu amonyak ekstraktları badem ağaçlarında hastalık oluşturan *Diaporthe amygdali*, *Phytophthora megasperma* ve *Verticillium dahliae*'ya karşı, birçok durumda ticari fungusitlerden daha düşük EC veya MIC değerleri ile in vitro koşullarda güçlü fungusit etki sergilemiştir (Sánchez-Hernández et al., 2023). Mürver köklerinden hazırlanan Etanolü biyoesktraktların *Fusarium oxysporum* ve *Penicillium oxalicum* misel gelişimini %89'un üzerinde inhibe etmesi ve bu ekstraktlarda acteosid, klorojenik asit ve dikafeoilkinik asit izomerleri gibi fenolik bileşiklerin UPLC-PDA-ESI-MS ile tanımlanması, gözlenen antifungal etkinin fenolik bileşiklerce zengin fitokimyasal profile dayandığını düşündürmektedir (Lam-Gutiérrez et al., 2025). Ayrıca, mürver meyvesi antosiyanin komplekslerinin bakteriyel suşlara karşı belirgin antimikrobiyal aktivite gösterirken *C. albicans* üzerinde anlamlı bir etki oluşturmaması, ekstrakt tipi, çözücü, hedef mikroorganizma ve bileşik konsantrasyonuna bağlı olarak antifungal etkinliğin değişkenlik gösterebileceğine işaret etmektedir (Filimonova et al., 2018).

Bu çalışma, *S. nigra*'nın farklı bitki kısımlarından (gövde, yaprak ve çiçek) elde edilen etanol ekstraktının bitki patojeni funguslar üzerine antifungal aktivitesinin araştırılması amacıyla yürütülmüştür.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Bitki materyali ve ekstraksiyon yöntemi

Bu çalışmada kullanılan bitki materyali *Sambucus nigra* L. (kara mürver), Kırşehir ilindeki doğal populasyonlardan çiçeklenme döneminde toplanmıştır. Toplanan örneklerin yaprak, çiçek ve gövde kısımları ayrılmış ve gölgede kurutulmuştur. Kurutulan bitki materyalleri daha sonra elektrikli öğütücü

kullanılarak ince toz hâline getirilmiştir. Ardından, her bir bitki kısmından 100 g tartılarak 1 L'lik erlenmayerlere aktarılmış ve materyali tamamen örtecek miktarda metanol eklenmiştir. Örnekler, oda sıcaklığında 120 rpm hızda çalışan orbital çalkalayıcıda 48 saat süreyle ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon sonrasında karışımlar filtre kâğıdından süzölmüş ve etanol, katı kalıntı elde edinceye kadar 32 °C'de buharlaştırılarak(evaporatör) uzaklaştırılmıştır. Elde edilen kuru ekstraktlar, farklı konsantrasyonların hazırlanması amacıyla DMSO–distile su karışımında yeniden çözündürölmüştür (kontrol (0), 1, 2, 3, 4 ve 5 mg/mL) (Kadioğlu ve Yanar, 2004).

2.2.Bitki Etanol Ekstraktlarının Antifungal Aktiviteninin Belirlenmesi

Yapılan çalışmada kullanılan mantar (*Verticillium dahliae*, *Alternaria solani*) kültürleri Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat fakültesi bitki koruma bölümü fitopatoloji laboratuvarı stok kültürlerinden elde edilmiştir. Mantar gelişimi üzerindeki inhibitör etki, agar dilüsyon tekniği ile incelenmiştir. Etanol (MeOH) ekstraktı başlangıçta %1 DMSO içinde çözülmüş ve son derişimleri 0 (kontrol), 0.5, 1, 2 ve 4 mg/mL olacak şekilde otoklavlanmış PDA besiyerine ilave edilmiştir. Standart 5 mm'lik mantar diskleri, bu şekilde muamele edilmiş ortamı içeren 60 mm'lik petri kaplarının merkezine inokule edilmiştir. 23 ± 2 °C'de 10 günlük inkübasyonun ardından radyal gelişim kaydedilmiştir. Miselyal inhibisyon yüzdesi (I%) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Pandey ve ark., 1982).

$$I (\%) = [(dc - dt) / dc] \times 100$$

Burada dc ve dt, sırasıyla kontrol ve muamele gruplarının koloni gelişim çaplarını ifade etmektedir. Deneler 3 tekerrürlü ve 2 tekrarlamalı olarak yapılmıştır.

2.3.İstatistik analiz

Verilerin analizinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve farklılıkların belirlenmesi amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak esas alınmış; tüm hesaplamalar SPSS v15 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Yürütölen çalışmada, *Sambucus nigra* ekstraktlarının farklı dozları *Alternaria solani* ve *Verticillium dahliae* patojenleri üzerine antifungal etki gösterdiği belirlenmiştir. *Verticillium dahliae* misel gelişimi üzerindeki inhibisyon yüzdeleri, bitkinin gövde, yaprak ve çiçek kısımları için ayrı ayrı Tablo 1 ve Şekil 1'de verilmiştir. N- (negatif kontrol) ve 1 mg/mL dozda tüm bitki kısımlarında inhibisyonun 0 olması, düşük konsantrasyonlarda ekstraktların antifungal etki göstermediği görölmüştür. 2 mg/mL'den itibaren tüm bitki kısımları inhibisyon oranlarının artmaya başlaması, doza bağlı bir antifungal etkinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu dozda en yüksek inhibisyonun çiçek (%11.95), ardından yaprak (%8.98) ve gövdede (%1.83) ile izlemiştir. 3–5 mg/mL aralığında tüm bitki kısımlarında kademeli bir artış gözlenmekle birlikte, maksimum dozda dahi inhibisyon oranlarının %20–30 bandında kalması (gövde %28.94, yaprak %25.19, çiçek %21.12), *Sambucus nigra* ekstraktlarının kısmi fungistatik etki sağladığını, ancak pozitif kontrolle kıyaslandığında (P+, tüm bitki kısımlarında %100 inhibisyon) tam bir fungisidal etki göstermediği belirlenmiştir.

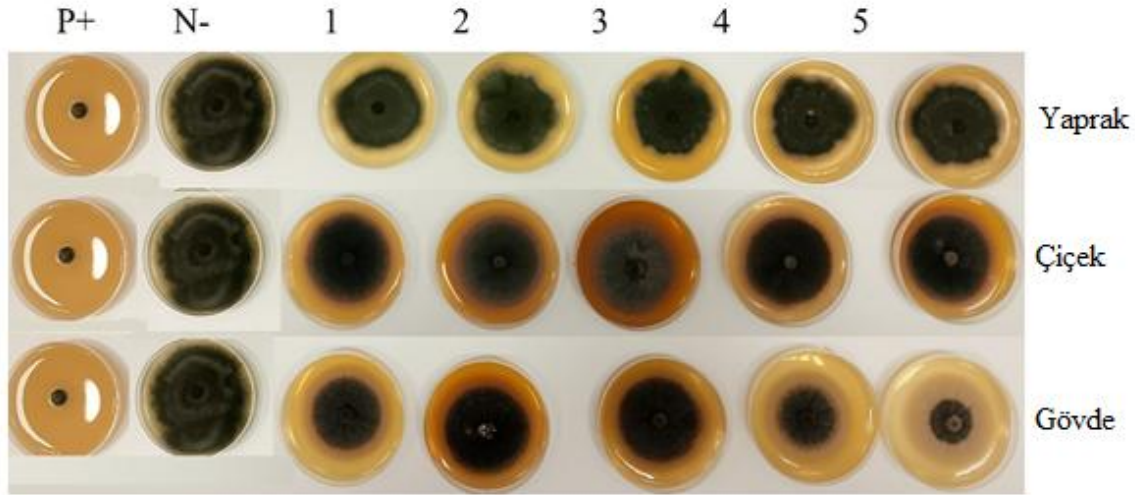
Genel olarak bakıldığında hem gövde hem yaprak hem de çiçek ekstraktları *Verticillium dahliae*'ya karşı dozla artan fakat sınırlı düzeyde bir misel büyüme inhibisyonu sergilemekte olduğu görölmüştür.

Tablo 1. *Sambucus nigra*'nın faklı kısımlarına ait (gövde, yaprak, çiçek) ekstraktların *Verticillium dahliae*'ya karşı biyofungusidal aktivitesi.

Dozlar(mg/mL)	<i>Verticillium dahliae</i>		
	Gövde	Yaprak	Çiçek
N-	0.00±0.00e	0.00±0.00f	0.00±0.00f
1	0.00±0.00e	0.00±0.00f	0.00±0.00f
2	1.83±1.24e	8.98±0.57e	11.95±0.89e
3	15.88±1.04d	14.43±0.92d	14.76±0.58d

4	22.89±1.04c	18.82±1.06c	17.78±0.81c
5	28.94±0.93b	25.19±1.69b	21.12±1.11b
P+	100±0.00a	100±0.00a	100±0.00a

* Aynı sütunda yer alan ve aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında ANOVA analizine göre anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0,05$); Veriler, üç bağımsız deneyin ortalamasını $\pm$ standart hat (SE) ile göstermektedir ($n = 3$). Kontrol (+) Thiram; Pozitif kontrol, Kontrol (-); Negatif kontrol (%1 (v/v) DMSO)



Şekil 1. *Sambucus nigra*'nın farklı kısımlar (gövde, yaprak, çiçek) ekstraktlarının *Verticillium dahliae*'ye karşı miselyal gelişimi üzerine etkisi.

Sambucus nigra gövde, yaprak ve çiçek ekstraktlarının *Alternaria solani*'nin misel gelişimi üzerindeki etkisi Tablo 2 ve Şekil 2'de verilmiştir. Düşük dozlarda, negatif kontrolde (N-) tüm organlarda inhibisyon gözlenmezken 1mg/mL dozda yalnızca yaprak ekstraktı anlamlı bir etki (%7.78) ortaya koymuş, gövde ve çiçek ekstraktları etkisiz kalmıştır. Bu durum, ilk etkiyi özellikle yaprak ekstraktının başlattığını göstermektedir. 2 mg/mL dozdan itibaren tüm organlarda inhibisyon oranları artmış, yine yaprak ekstraktı (%12.36) en yüksek etkiyi gösterirken, çiçek (%6.74) ve gövde (%1.64) daha düşük düzeyde kalmıştır. 3 mg/mL, inhibisyon gövdede %15.53, yaprakta %20.07 ve çiçekte %12.53'e yükselmiş; bitkinin tüm kısımlarında belirgin bir antifungal aktiviteye ulaşıldığı görülmüştür (Tablo 2, Şekil 2).

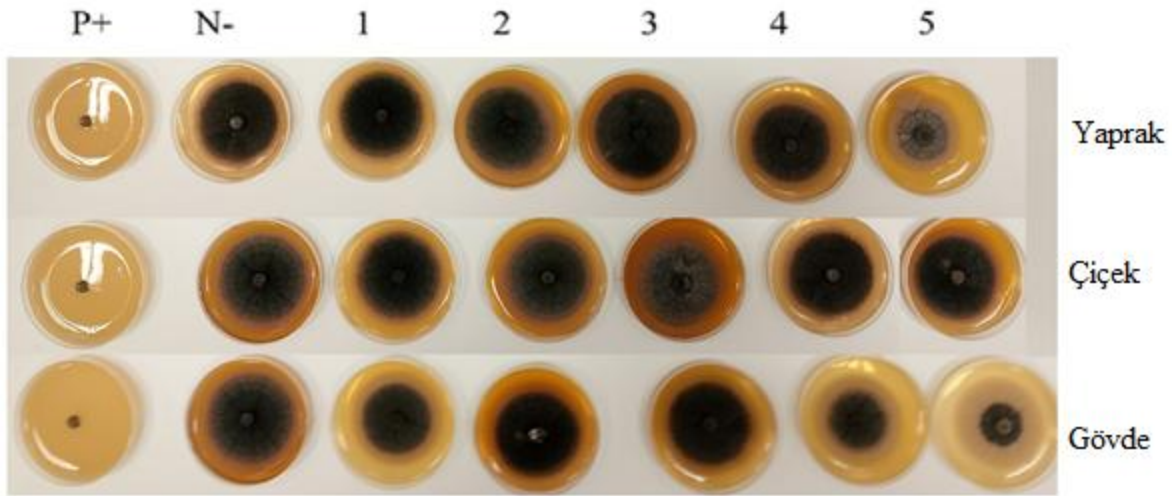
Yaprak ekstraktı 4 mg/mL dozda en yüksek inhibisyonu sağlamış (%24.11), 5 mg/mL dozda ise gövde (%28.94) ile benzer düzeye (%27.14) ulaşmıştır; çiçek ekstraktı bu dozda da daha düşük fakat anlamlı bir etki (%22.70) göstermektedir. Bu bulgular, özellikle yüksek dozlarda gövde ve yaprak ekstraktlarının *Alternaria solani*'ye karşı daha güçlü bir misel gelişim baskılayıcı potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir.

Tablo 2. *Sambucus nigra*'nın farklı kısımlar (gövde, yaprak, çiçek) ekstraktlarının *Alternaria solani* üzerine biyofungusidal aktivitesi

Dozlar(mg/mL)	<i>Alternaria solani</i>		
	Gövde	Yaprak	Çiçek
N-	0.00±0.00e	0.00±0.00f	0.00±0.00d
1	0.00±0.00e	7.78±1.31e	0.00±0.00d

2	1.64±1.03e	12.36±2.09d	6.74±3.45cd
3	15.53±0.53d	20.07±0.66c	12.53±0.91bc
4	22.95±1.05c	24.11±0.77b	15.46±2.46bc
5	28.94±1.09b	27.14±1.11b	22.70±1.77b
P+	100±0.00a	100±0.00a	100±0.00a

* Aynı sütunda yer alan ve aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında ANOVA analizine göre anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0,05$); Veriler, üç bağımsız deneyin ortalamasını $\pm$ standart hat (SE) ile göstermektedir ($n = 3$). Kontrol (+) Thiram; Pozitif kontrol, Kontrol (-); Negatif kontrol (%1 (v/v) DMSO)



Şekil 2. *Sambucus nigra*'nın farklı kısımlar (gövde, yaprak, çiçek) ekstraktlarının *Alternaria solani*'nin miselyal gelişimi üzerine etkisi.

Pozitif kontrolde (P+) tüm uygulamalarda %100 inhibisyonun elde edilmesi, kullanılan fungusun tam baskılamaya sağladığını, buna karşın *Sambucus nigra* ekstraktlarının değerlendirilen doz aralığında fungusun yerine kısmi fungistatik etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, *S. nigra* ekstraktlarının biyofungisit adayı olarak dikkate değer olduğunu, ancak pozitif kontrol düzeyine ulaşmak için daha yüksek konsantrasyonların, farklı ekstraksiyon yöntemlerinin veya fraksiyonel çalışmaların gerekli olabileceğini göstermektedir.

Daha önce yapılan bir çalışmada, *S. nigra* çiçek ve yapraklarının badem patojenlerine karşı tam korumaya, ticari fungusitlerden daha düşük veya onlarla karşılaştırılabilir konsantrasyonlarda ulaşabildiği; fakat etkinlik düzeyinin patojene ve doza göre büyük farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir (Sánchez-Hernández ve ark., 2023). Başka bir çalışmada ise *S. nigra* çiçek yağı ve meyve ekstraktlarının bakteri ve maya türlerine karşı orta-yüksek düzeyde antifungal/antibakteriyel aktivite gösterdiği; özellikle fenolik asitler, flavonoidler ve antosiyanin komplekslerinin aktiviteyle ilişkili olduğu rapor edilmiştir (Przybylska-Balcerek et al., 2021; Haş et al., 2023; Milkova-Tomova et al., 2023; Korona-Głowniak, et al., 2024).

Bu çalışma bağlamında, pozitif kontrolde tüm uygulamalarda %100 inhibisyon elde edilirken, *S. nigra* ekstraktlarının yalnızca kısmi misel büyüme baskılanması sağlanması, literatürde de vurgulanan bir duruma işaret etmektedir. Bitkisel ekstraktlar, güçlü fenolik ve flavonoid içeriklerine rağmen çoğu zaman tam fungisidal değil, doza bağlı ve tür-spesifik fungistatik ajanlar olarak değerlendirilmektedir (Cioch et al., 2017; Sánchez-Hernández et al., 2024). Bununla birlikte, *S. nigra*'nın farklı kısımlarından elde edilen ekstraktların çeşitli patojenik mantarlara karşı anlamlı inhibisyon sağlanması, bu türün çevre

dostu biyofungusit adayı olarak önemini desteklemekte ve daha yüksek konsantrasyonlar, farklı ekstraksiyon çözücüler ve fraksiyonel saflaştırma gibi optimizasyon çalışmalarının gerekliliğine işaret etmektedir (Rodino et al., 2013 Cioch et al., 2017; Sánchez-Hernández et al., 2024).

4.SONUÇ

Bu çalışmada *Sambucus nigra*'nın gövde, yaprak ve çiçek ekstraktlarının iki önemli fitopatojene karşı antifungal potansiyeli değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, ekstraktların misel gelişimini anlamlı düzeyde baskıladığını, ancak klasik fungusitlere kıyasla daha çok kısmi ve doza bağlı bir fungistatik etki sergilediğini ortaya koymuştur. Tüm bu veriler, *S. nigra*'nın çok bileşenli polifenolik ve uçucu fraksiyonlarının geniş bir patojen yelpazesine karşı dikkate değer antifungal potansiyele sahip olduğunu, ancak etki mekanizmaları, standardizasyon ve in vivo etkinlik ve güvenlik açısından daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç bulunduğunu ortaya koymaktadır.

5.KAYNAKLAR

- Cioch, M., Satora, P., Skotniczny, M., Semik-Szczurak, D., & Tarko, T. (2017). Characterisation of antimicrobial properties of extracts of selected medicinal plants. *Polish Journal of Microbiology*, 66(4), 463–472. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.7002>
- Floares (Oarga), D., Obiștioiu, D., Hulea, A., Suleiman, M., Popescu, I., Berbecea, A., Samfira, I., & Radulov, I. (2025). Antimicrobial and antioxidant properties of *Sambucus nigra* L. (elderflower) oil: A molecular docking and biochemical study. *Agronomy*, 15(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020310>
- Haş, I. M., Teleky, B.-E., Szabo, K., Simon, E., Ranga, F., Diaconeasa, Z., Purza, A. L., Vodnar, D., Țiț, D. M., & Nițescu, M. (2023). Bioactive potential of elderberry (*Sambucus nigra* L.): Antioxidant, antimicrobial activity, bioaccessibility and prebiotic potential. *Molecules*, 28(7), 1–19. <https://doi.org/10.3390/molecules28073099>
- Korona-Głowniak, I., Kasela, M., Pliszka, B., Zalewski, D., & Malm, A. (2024). Content of selected polyphenolic compounds in four *Sambucus nigra* L. cultivars in relation to their antimicrobial activity. *Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research*, 81(1), 47–57.
- Lam-Gutiérrez, A., Díaz-López, M. G., Cristóbal-Alejo, J., Ruíz-Lau, N., Vázquez-Villegas, P. T., Valdespino-León, M., & Rodríguez-Hernández, L. (2025). Phytotoxic and Antifungal Effects of *Plantago major* and *Sambucus nigra* Bioextracts on Key Agricultural Pathogens: *Corynespora cassicola*, *Fusarium oxysporum*, and *Penicillium oxalicum*. *Pathogens*, 14(2), 162. <https://doi.org/10.3390/pathogens14020162>
- Milkova-Tomova, I., Kazakova, Z., Buhlova, D., Gentsheva, G., Nikolova, K., & Minkova, S. (2023). Antioxidant properties and antibacterial activity of water extracts from *Sambucus nigra* L. under different conditions. *Folia Medica*, 65(2), 295–300. <https://doi.org/10.3897/folmed.65.e79094>
- Pandey, D. K., Tripathi, N. N., Tripathi, R. D., & Dixit, S. N. (1982). Fungitoxic and phytotoxic properties of the essential oil of *Hyptis suaveolens* / Fungitoxische und phytotoxische Eigenschaften des ätherischen Öis von *Hyptis suaveolens*. *Zeitschrift Für Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz / Journal of Plant Diseases and Protection*, 89(6), 344–349. <http://www.jstor.org/stable/43214961>
- Przybylska-Balcerek, A., Szablewski, T., Szwajkowska-Michałek, L., Świerk, D., Cegielska-Radziejewska, R., Krejpcio, Z., Suchowilska, E., Tomczyk, Ł., & Stuper-Szablewska, K. (2021). *Sambucus nigra* extracts – Natural antioxidants and antimicrobial compounds. *Molecules*, 26(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/molecules26102910>

- Rodino, S., Negoescu, C., Buțău, M., & Cornea, P. (2013). Preliminary investigation regarding the antifungal activity of *Sambucus nigra* extracts. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, 70(2), 168–172. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:70:2:9270>
- Sánchez-Hernández, E., Balduque-Gil, J., González-García, V., Barriuso-Vargas, J. J., Casanova-Gascón, J., Martín-Gil, J., & Martín-Ramos, P. (2023). Phytochemical profiling of *Sambucus nigra* L. flower and leaf extracts and their antimicrobial potential against almond tree pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 1154. <https://doi.org/10.3390/ijms24021154>

RUMEX ACETOSELLA L. (KUZUKULAĞI) BİTKİSİNDEKİ FİTOKİMYASALLARIN LC-MS/MS ANALİZİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTELERİNİN ÖNEMİ

Doç. Dr. Tuba TARHAN*

Mardin Artuklu University, Vocational High School of Health Services, 47100 Mardin, Turkey

ORCID ID: 0000-0003-2656-4464

Zeynep ALTAN

Mardin Artuklu University, Vocational High School of Health Services, 47100 Mardin, Turkey

ORCID ID: 0009-0004-6313-4150

Mehdi ÇETİNTAŞ

Mardin Artuklu University, Vocational High School of Health Services, 47100 Mardin, Turkey

ORCID ID: 0009-0005-6378-6914

ÖZET

Antibiyotikler, dünya çapında en yaygın kullanılan ilaçlar arasında yer almakta ve bakterilerin neden olduğu enfeksiyonların tedavisinde kullanılmaktadır. Antibiyotiklerin gereksiz ve yanlış kullanımı, antibiyotik direncinin gelişmesine yol açmaktadır. Mevcut antibiyotiklerin yetersizliği ve dirençli bakteri suşlarının sürekli artması nedeniyle bilim insanları yeni antibiyotik arayışına yönelmiştir. Tıbbi bitkilerdeki ikincil metabolitler, biyolojik aktiviteleri nedeniyle tıp ve bilim camiasının dikkatini çeken fitokimyasallar arasındadır. *Rumex acetosella* L., yaygın olarak kuzukulağı, hibiskus, ekşilik ve turşu otu olarak bilinen bir bitkidir. Elazığ'ın Arıcak ilçesi Bükardı kasabasının dağlarından ilkbaharda toplanan *Rumex acetosella* L., çeşitli deneysel koşullar altında ekstrakte edilmiştir. Çözücüler buharlaştırılmış ve LC-MS/MS kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışma, *Rumex acetosella* L.'nin fenolik bileşikler içeren zengin bir antioksidan kaynağı olduğunu ve antiinflamatuvar, antitümör, antibakteriyel, antiviral ve antifungal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. *Rumex acetosella* L.'nin kökündeki fitokimyasallar arasında gallik asit, protokateşik asit, protokateşik aldehit, tanik asit, vanilin, salisilik asit, naringenin, luteolin, akasetin ve epikateşin bulunur. Kökteki fitokimyasallar arasında, güçlü bir antioksidan olan epikateşin, kardiyovasküler sağlık, kas performansı, bağışıklık sistemi, beyin sağlığı, kan şekeri ve metabolizma üzerinde önemli etkilere sahiptir. Yaprığın fitokimyasalları ise akonitik asit, klorojenik asit, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit, siyanosit, rutin, izokuersetin, hesperidin, kozmosin, nikotiflorin, kuersetin ve apigenindir. Kafeik asit, güçlü bir antioksidan, antiinflamatuvar, antikanser, antimikrobiyal, bağışıklık sistemini güçlendirici, karaciğer koruyucu ve kan şekeri dengesini düzenleyici bir molekül olarak bilinmektedir.

Anahtar kelimeler: Antibiyotik direnci, Biyolojik aktivite, *Rumex acetosella* L., Fitokimyasallar, LC-MS/MS analizi

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Konseyi (TÜBİTAK) tarafından TBTK-0164-1630 numaralı hibe kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, TÜBİTAK'a destekleri için teşekkür eder.

LC-MS/MS ANALYSIS OF PHYTOCHEMICALS IN *RUMEX ACETOSELLA* L. (SORREL) AND THE SIGNIFICANCE OF THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES

ABSTRACT

Antibiotics are among the most widely used drugs worldwide and are used to treat infections caused by bacteria. The unnecessary and misuse of antibiotics leads to the development of antibiotic resistance. Due to the inadequacy of existing antibiotics and the continuous increase in resistant bacterial strains, scientists have turned to the search for new antibiotics. Secondary metabolites in medicinal plants are among the phytochemicals that have attracted attention in the medical and scientific community due to their biological activities. *Rumex acetosella* L. is a plant commonly known as sorrel, hibiscus, sourness, sourness, and picklewort. *Rumex acetosella* L., collected in the spring from the mountains of Bükardı town in the Arıcak district of Elazığ, was extracted under various experimental conditions. The solvents were evaporated and analyzed using LC-MS/MS. This study demonstrated that *Rumex acetosella* L. is a rich source of antioxidants containing phenolic compounds and possesses anti-inflammatory, antitumor, antibacterial, antiviral, and antifungal properties. Phytochemicals in the root of *Rumex acetosella* L. are gallic acid, protocatechuic acid, protocatechuic aldehyde, tannic acid, vanillin, salicylic acid, naringenin, luteolin, acacetin, and epicatechin. Among the phytoconstituents in the root, epicatehin, a powerful antioxidant, has significant effects on cardiovascular health, muscle performance, the immune system, brain health, blood sugar, and metabolism. The phytoconstituents in the leaf are aconitic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, cyanoside, rutin, isoquercitrin, hesperidin, cosmosin, nicotiflorin, quercetin, and apigenin. Caffeic acid is known to be a strong antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antimicrobial, immune-enhancing, liver-protective, and blood sugar balance-effective molecule.

Keywords: Antibiotic resistance, Biological activity, *Rumex acetosella* L., Phytochemicals, LC-MS/MS analysis

1. INTRODUCTION

The development of medical treatment methods and the pharmaceutical industry has made medicines accessible to a wider audience, rapidly increasing drug consumption. Therefore, medicines have become an indispensable part of healthcare. Therefore, medicines have become an indispensable part of healthcare. Antibiotics are among the most widely used drugs worldwide and are used to treat infections caused by bacteria. Unnecessary and improper use of antibiotics leads to the development of antibiotic resistance. Antibiotic resistance is the ability of bacteria to multiply and cause infection despite the presence of any antibiotic. It is known that increasing antibiotic resistance threatens the effectiveness of antibiotics both today and in the future. Without effective antibiotics, intensive care, organ transplantation, cancer chemotherapy, newborn care, and common surgical procedures such as hip or knee replacement surgery will be impossible, and even people will lose their lives to infectious diseases (Højby et al., 2010; Højby et al., 2011; Lin et al., 2021). Important public health issues, such as the inadequacy of antibiotics in treating certain diseases, the continued rise of resistant bacterial strains, and the fight against multidrug resistance, are preoccupying the scientific and medical communities. However, the inadequacy of antibiotics in treating infectious diseases caused by resistant bacteria has led to high rates of infection and increased mortality worldwide. The challenges faced in treatment and the inadequacy of existing drugs have increased the need for new therapeutic drugs. This has led the medical and scientific communities to search for new drugs.

Secondary metabolites in medicinal plants are among the phytochemicals that have attracted attention in the medical and scientific community due to their biological activities. These bioactive molecules, which have been analyzed qualitatively and quantitatively using various techniques and analytical instruments, can be used in the biological synthesis of drug precursors (Gitishree et al., 2022). Furthermore, plant systems have attracted considerable attention as an alternative to chemical and physical procedures for green synthesis (Iravani, 2011; Indramani et al., 2019). In syntheses conducted

using chemical methods, toxic and environmentally unfriendly chemicals have been used as reducing, stabilizing, or capping agents. In this context, they play a key role in the reduction of various phytochemicals, particularly metal ions, found widely in the plant kingdom to nanoparticles and their subsequent stabilization. In addition to plants, fungi, bacteria, and viruses can also be utilized in biological syntheses for drug development. However, among these resources, plants are attracting more attention due to their easier processing, lower cost, and lack of negative environmental impact (Vasantharaj et al., 2019a; Vasantharaj et al., 2019b; Sathiyavimal et al., 2021). While the properties vary among different plant species, some plants are of great medicinal importance due to their diverse phytochemical composition, including flavonoids, phenolics, carotenoids, sterols, procyanidins, and anthocyanins. These compounds are responsible for various pharmacological activities, including anti-inflammatory, anti-asthmatic, anti-diabetic, antibacterial, aphrodisiac, hepatoprotective, and nephroprotective activities (Vayalil, 2012; Al Harthi et al., 2015; Yasin et al., 2015; Taleb et al., 2016).

Rumex acetosella L. is a plant commonly known as sorrel, hibiscus, sourness, sourness, and picklewort (Karataş, 2013). It belongs to the Polygonaceae family (Sabuncu et al., 2019). Studies have shown that *Rumex acetosella* L. is rich in phenolic compounds, which are produced as a result of secondary metabolism in plants. Phenolic compounds play important roles in plant reproduction, growth, and metabolism. They act as defense mechanisms against pathological viral and fungal infections, parasites, predators, and environmental factors that may be harmful to the plant (Liu, 2013). Due to these properties, phenolic compounds are a rich source of antioxidants for plants, providing them with anti-inflammatory, antitumor, antibacterial, antiviral, and antifungal activities (Kucekova et al., 2011). *Rumex acetosella* L. is a plant found throughout Turkey, growing naturally in fields, gardens, streams, and meadows during the spring months (İşbilir and Sağıroğlu, 2013). *Rumex acetosella* L. is widely used both as a food and in traditional medicine. Its sour taste is used in salads, sauces, soups, and stews (Sabuncu et al., 2019). Sorrel strengthens the immune system, regulates the digestive system, and supports skin health thanks to its minerals such as vitamins C and A, iron, calcium, and potassium. Its antioxidant properties prevent cell damage by combating free radicals, thereby reducing the risk of chronic diseases. Sorrel is generally defined as a herbaceous plant grown in regions such as Europe, Central Asia, the Middle East, and Turkey. The plant offers many potential health benefits and is noted for its satiating and nutritious properties. Studies have shown that it is a rich source of antioxidants and has anti-inflammatory, antitumor, antibacterial, antiviral, and antifungal properties (Vasas et al., 2015; Qamar et al., 2018).

1. METHOD

Rumex acetosella L. grows throughout Turkey and can grow spontaneously in springtime in fields, streambanks, and other areas (İşbilir and Sağıroğlu, 2013). Collected in the spring from the mountains of Bükardı town in the Arıcak district of Elazığ, the *Rumex acetosella* L. plant was washed and then completely dried at room temperature (coordinates where *Rumex acetosella* L. was collected: 38.469018; 40.174025). Figure 1 shows a photograph of sorrel leaves and roots collected at the specified coordinates for use in this study.



Figure 1. Photograph showing the roots and leaves of the *Rumex acetosella* L. (sorrel) plant used in this study (Coordinates on the map: 38.469018; 40.174025)

2.1. Analysis

2.1.1. Chemical analysis

The dried *Rumex acetosella* L. plant was separated into roots and leaves and ground into a powder, making it suitable for use. To obtain an extract from powdered *Rumex acetosella* L., 80 g of sorrel root and 80 g of sorrel leaf were weighed separately with 80 ml of distilled water. The mixture was heated at 85°C for two hours with a magnetic stirrer. The resulting hot extract was then allowed to cool at room temperature. The cooled extract was filtered using Whatmat No. 1 filter paper. It was then centrifuged at 7000 rpm. The solvent was then evaporated and analyzed by LC-MS/MS (Bütüner, 2022). Experimental parameters are shown in Figure 2.

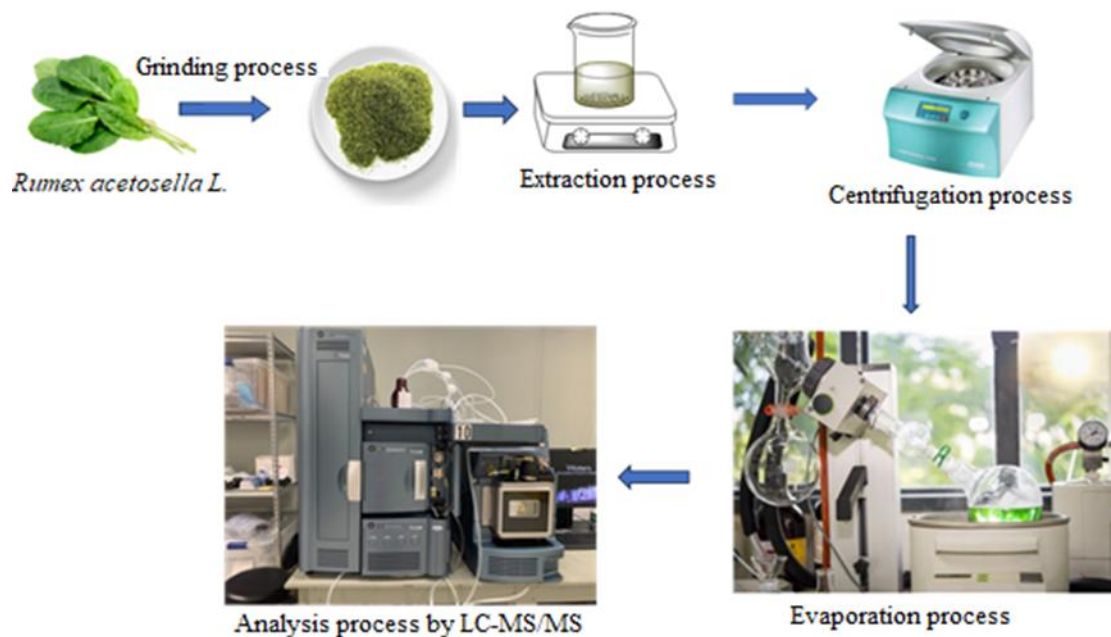


Figure 2. Scheme of experimental parameters

Additionally, photographs taken during the extraction and filtration processes performed separately for leaves and roots are given in Figure 3. Figure 3A shows the extraction process for roots, Figure 3B shows the extraction process for leaves, and Figure 3C shows the filtration process.

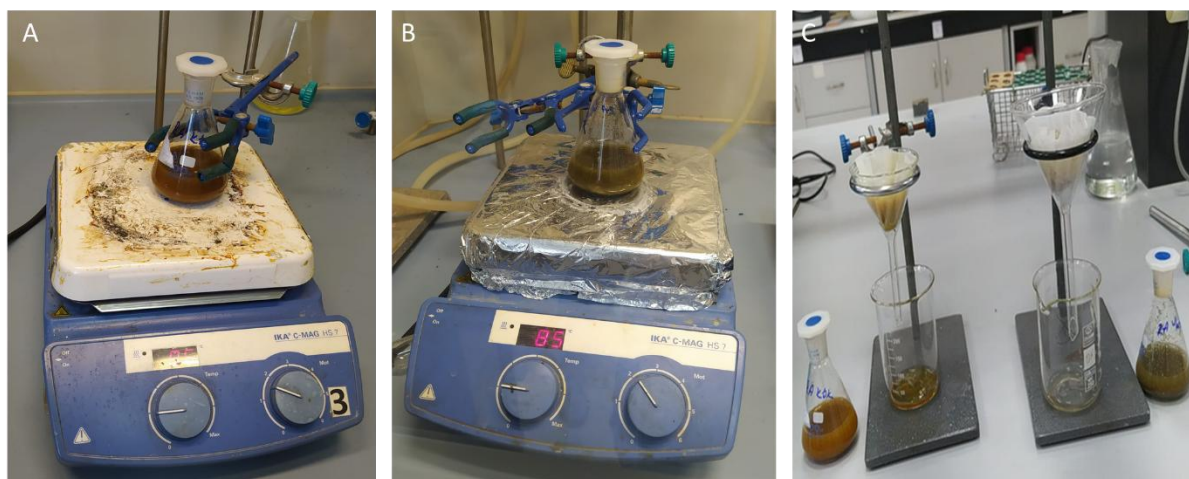


Figure 3. Photographs showing the extraction process for root (A) and leaf (B), and the filtration process (C)

2. RESULTS and DISCUSSION

The LC-MS/MS analysis method can perform the qualitative and quantitative analysis of more than 50 phytochemicals, including phenolic acids, phenolic aldehydes, flavonoid aglycones, flavonoid glycosides, stilbenoids, coumarins, biflavonoids, and stilbenes. The LC-MS/MS analysis method was developed using at least three internal standard compounds containing deuterium isotopes: at least one representing flavonoid aglycones, at least one representing flavonoid glycosides, and at least one representing phenolic acids and other phytochemicals. Qualitative and quantitative analysis of the

phytochemicals present in the *Rumex acetosella* L. plant extract was performed. The resulting LC-MS/MS report shows the standard chromatogram with numbered peaks, as shown in Figure 4.

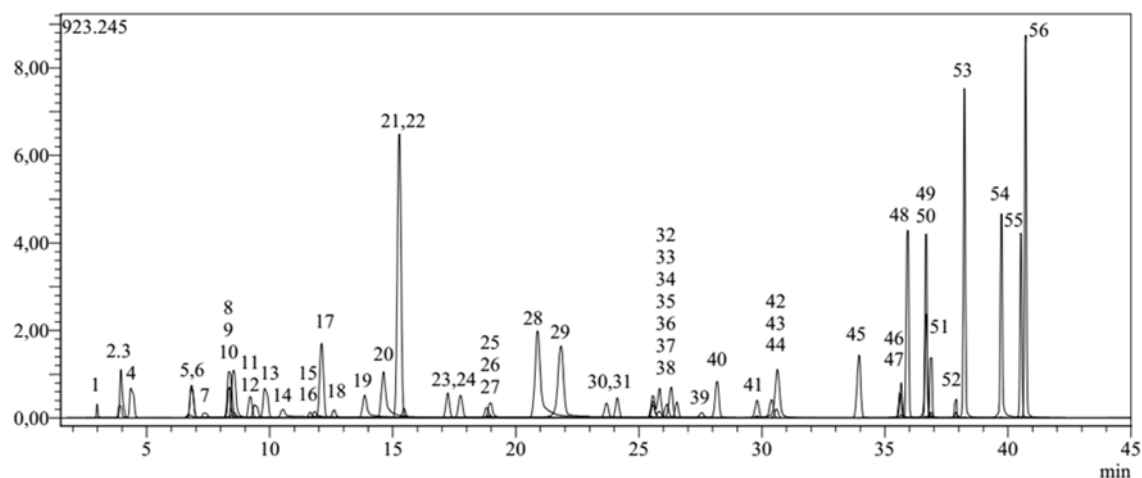


Figure 4. Standard chromatogram peaks

Additionally, root and leaf chromatograms with numbered peaks are shown in Figure 5. Figure 5A shows the phytochemicals in the root, and Figure 5B shows the phytochemicals in the leaf.

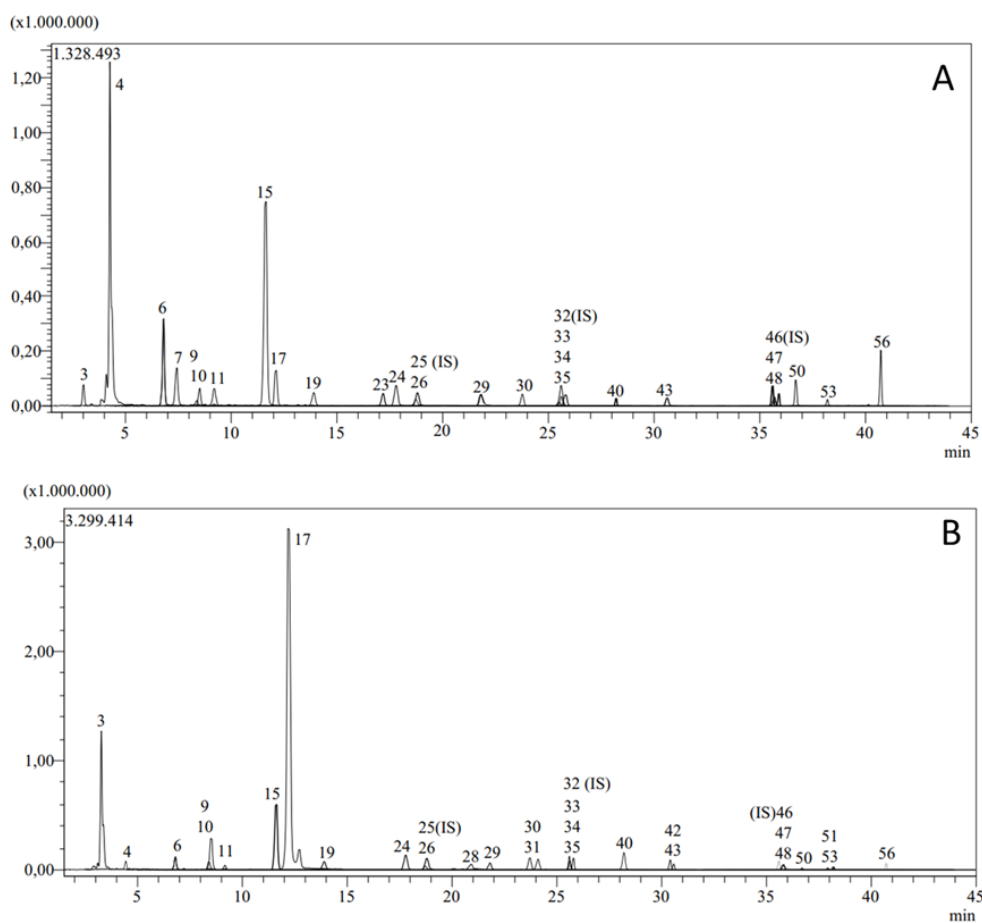


Figure 5. Chromatograms showing the results of LC-MS/MS analysis of *Rumex acetosella* L. (A) root and (B) leaf

The Excel spreadsheet showing the quantitative analysis results is shown in Table 1. And also, the analytical validation parameters table is shown in Table 2 (Yılmaz, 2020).

Table 1. Table showing phytochemicals and their amounts found in the root and leaf parts of *Rumex acetosella* L.

Quantitative Results (mg analyte/g extract)			
No	Analytes	Root	Leaf
1	Quinic acid	N.D.	N.D.
2	Fumaric aid	N.D.	N.D.
3	Aconitic acid	0.117	0.79725
4	Gallic acid	0.326	0.219
5	Epigallocatechin	N.D.	N.D.
6	Protocatechuic acid	1.7865	0.6805
7	Catechin	2.92825	N.D.
8	Gentisic acid	N.D.	N.D.
9	Chlorogenic acid	0.0105	1.3035
10	Protocatechuic aldehyde	0.5735	0.32
11	Tannic acid	0.0855	0.044
12	Epigallocatechin gallate	N.D.	N.D.
13	Cynarin	N.D.	N.D.
14	4-OH Benzoic acid	N.D.	N.D.
15	Epicatechin	246.05675	2.05925
16	Vanilic acid	N.D.	N.D.
17	Caffeic acid	0.18925	5.4355
18	Syringic acid	N.D.	N.D.
19	Vanillin	0.10425	0.08525
20	Syringic aldehyde	N.D.	N.D.
21	Daidzin	N.D.	N.D.
22	Epicatechin gallate	N.D.	N.D.
23	Piceid	0.02775	N.D.
24	p-Coumaric acid	0.11125	0.4685
25	Ferulic acid-D3-IS ^h	N.A.	N.A.
26	Ferulic acid	0.212	0.714
27	Sinapic acid	N.D.	N.D.
28	Coumarin	N.D.	0.01275
29	Salicylic acid	0.01	0.011
30	Cyranoside	0.0625	0.77125
31	Miquelianin	N.D.	0.05975
32	Rutin-D3-IS	N.A.	N.A.
33	Rutin	0.05025	0.5285
34	isoquercitrin	0.0535	0.7655
35	Hesperidin	0.05725	0.61875
36	o-Coumaric acid	N.D.	N.D.
37	Genistin	N.D.	N.D.
38	Rosmarinic acid	N.D.	N.D.

39	Ellagic acid	N.D.	N.D.
40	Cosmosiin	0.0315	1.22275
41	Quercitrin	N.D.	N.D.
42	Astragalin	N.D.	0.10675
43	Nicotiflorin	0.01425	0.05
44	Fisetin	N.D.	N.D.
45	Daidzein	N.D.	N.D.
46	Quercetin-D3-IS	N.A.	N.A.
47	Quercetin	0.0025	0.00725
48	Naringenin	0.0255	0.00175
49	Hesperetin	N.D.	N.D.
50	Luteolin	0.07125	0.0085
51	Genistein	N.D.	0.0015
52	Kaempferol	N.D.	N.D.
53	Apigenin	0.00175	0.0075
54	Amentoflavone	N.D.	N.D.
55	Chrysin	N.D.	N.D.
56	Acacetin	0.00475	0.0025
N.D.: Not detected			
N.A.: Not applicable			

Table 2. Analytical method validation parameters that belong to the LC-MS/MS method

No	Analytes	RT ^a	M.I. (m/z) ^b	F.I. (m/z) ^c	Ion. mode	Equation	r^{2d}	RSD% ^e		Linearity Range (mg/L)	LOD/LOQ (µg/L) ^f	Recovery (%)		U ^g	Gr. No ⁱ
								Interday	Intraday			Interday	Intraday		
1	Quinic acid	3.0	190.8	93.0	Neg	$y = -0.0129989 + 2.97989 \times$	0.996	0.69	0.51	0.1-5	25.7/33.3	1.0011	1.0083	0.0372	1
2	Fumaric acid	3.9	115.2	40.9	Neg	$y = -0.0817862 + 1.03467 \times$	0.995	1.05	1.02	1-50	135.7/167.9	0.9963	1.0016	0.0091	1
3	Aconitic acid	4.0	172.8	129.0	Neg	$y = -0.7014530 + 32.9994 \times$	0.971	2.07	0.93	0.1-5	16.4/31.4	0.9968	1.0068	0.0247	1
4	Gallic acid	4.4	168.8	79.0	Neg	$y = 0.0547697 + 20.8152 \times$	0.999	1.60	0.81	0.1-5	13.2/17.0	1.0010	0.9947	0.0112	1
5	Epigallocatechin	6.7	304.8	219.0	Neg	$y = -0.00494986 + 0.0483704 \times$	0.998	1.22	0.73	1-50	237.5/265.9	0.9969	1.0040	0.0184	3
6	Protocatechuic acid	6.8	152.8	108.0	Neg	$y = 0.211373 + 12.8622 \times$	0.957	1.43	0.76	0.1-5	21.9/38.6	0.9972	1.0055	0.0350	1
7	Catechin	7.4	288.8	203.1	Neg	$y = -0.00370053 + 0.431369 \times$	0.999	2.14	1.08	0.2-10	55.0/78.0	1.0024	1.0045	0.0221	3
8	Gentisic acid	8.3	152.8	109.0	Neg	$y = -0.0238983 + 12.1494 \times$	0.997	1.81	1.22	0.1-5	18.5/28.2	0.9963	1.0077	0.0167	1
9	Chlorogenic acid	8.4	353.0	85.0	Neg	$y = 0.289983 + 36.3926 \times$	0.995	2.15	1.52	0.1-5	13.1/17.6	1.0000	1.0023	0.0213	1
10	Protocatechuic aldehyde	8.5	137.2	92.0	Neg	$y = 0.257085 + 25.4657 \times$	0.996	2.08	0.57	0.1-5	15.4/22.2	1.0002	0.9988	0.0396	1
11	Tannic acid	9.2	182.8	78.0	Neg	$y = 0.0126307 + 26.9263 \times$	0.999	2.40	1.16	0.05-2.5	15.3/22.7	0.9970	0.9950	0.0190	1
12	Epigallocatechin gallate	9.4	457.0	305.1	Neg	$y = -0.0380744 + 1.61233 \times$	0.999	1.30	0.63	0.2-10	61.0/86.0	0.9981	1.0079	0.0147	3
13	1,5-dicaffeoylquinic acid	9.8	515.0	191.0	Neg	$y = -0.0164044 + 16.6535 \times$	0.999	2.42	1.48	0.1-5	5.8/9.4	0.9983	0.9997	0.0306	1
14	4-OH Benzoic acid	10.5	137.2	65.0	Neg	$y = -0.0240747 + 5.06492 \times$	0.999	1.24	0.97	0.2-10	68.4/88.1	1.0032	1.0068	0.0237	1
15	Epicatechin	11.6	289.0	203.0	Neg	$y = -0.0172078 + 0.0833424 \times$	0.996	1.47	0.62	1-50	139.6/161.6	1.0013	1.0012	0.0221	3
16	Vanillic acid	11.8	166.8	108.0	Neg	$y = -0.0480183 + 0.779564 \times$	0.999	1.92	0.76	1-50	141.9/164.9	1.0022	0.9998	0.0145	1
17	Caffeic acid	12.1	179.0	134.0	Neg	$y = 0.120319 + 95.4610 \times$	0.999	1.11	1.25	0.05-2.5	7.7/9.5	1.0015	1.0042	0.0152	1
18	Syringic acid	12.6	196.8	166.9	Neg	$y = -0.0458599 + 0.663948 \times$	0.998	1.18	1.09	1-50	82.3/104.5	1.0006	1.0072	0.0129	1
19	Vanillin	13.9	153.1	125.0	Poz	$y = 0.00185898 + 20.7382 \times$	0.996	1.10	0.85	0.1-5	24.5/30.4	1.0009	0.9967	0.0122	1

20	Syringic aldehyde	14.6	181.0	151.1	Neg	$y=-0.0128684+7.90153 \times$	0.999	2.51	0.77	0.4-20	19.7/28.0	1.0001	0.9964	0.0215	1
21	Daidzin	15.2	417.1	199.0	Poz	$y=9.45747+152.338 \times$	0.996	2.25	1.32	0.05-2.5	7.0/9.5	0.9955	1.0017	0.0202	2
22	Epicatechin gallate	15.5	441.0	289.0	Neg	$y=-0.0142216+1.06768 \times$	0.997	1.63	1.28	0.1-5	19.5/28.5	0.9984	0.9946	0.0229	3
23	Piceid	17.2	391.0	135/106.9	Poz	$y=0.00772525+25.4181 \times$	0.999	1.94	1.16	0.05-2.5	13.8/17.8	1.0042	0.9979	0.0199	1
24	<i>p</i> -Coumaric acid	17.8	163.0	93.0	Neg	$y=0.0249034+18.5180 \times$	0.999	1.92	1.43	0.1-5	25.9/34.9	1.0049	1.0001	0.0194	1
25	Ferulic acid-D3-IS ^h	18.8	196.2	152.1	Neg	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.0170	1
26	Ferulic acid	18.8	192.8	149.0	Neg	$y=-0.0735254+1.34476 \times$	0.999	1.44	0.53	1-50	11.8/15.6	0.9951	0.9976	0.0181	1
27	Sinapic acid	18.9	222.8	193.0	Neg	$y=-0.0929932+0.836324 \times$	0.999	1.45	0.52	0.2-10	65.2/82.3	1.0031	1.0037	0.0317	1
28	Coumarin	20.9	146.9	103.1	Poz	$y=0.0633397+136.508 \times$	0.999	2.11	1.54	0.05-2.5	214.2/247.3	0.9950	0.9958	0.0383	1

Table 2. Continued

No	Analytes	RT ^a	M.I. (m/z) ^b	F.I. (m/z) ^c	Ion. mode	Equation	r^{2d}	RSD% ^e		Linearity Range (mg/L)	LOD/LOQ (µg/L) ^f	Recovery (%)		U ^g	Gr. No
								Interday	Intraday			Interday	Intraday		
29	Salicylic acid	21.8	137.2	65.0	Neg	$y=0.239287+153.659 \times$	0.999	1.48	1.18	0.05-2.5	6.0/8.3	0.9950	0.9998	0.0158	1
30	Cynaroside	23.7	447.0	284.0	Neg	$y=0.280246+6.13360 \times$	0.997	1.56	1.12	0.05-2.5	12.1/16.0	1.0072	1.0002	0.0366	2
31	Miquelianin	24.1	477.0	150.9	Neg	$y=-0.00991585+5.50334 \times$	0.999	1.31	0.95	0.1-5	10.6/14.7	0.9934	0.9965	0.0220	2
32	Rutin-D3-IS ^h	25.5	612.2	304.1	Neg	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2
33	Rutin	25.6	608.9	301.0	Neg	$y=-0.0771907+2.89868 \times$	0.999	1.38	1.09	0.1-5	15.7/22.7	0.9977	1.0033	0.0247	2
34	isoquercitrin	25.6	463.0	271.0	Neg	$y=-0.111120+4.10546 \times$	0.998	2.13	0.78	0.1-5	8.7/13.5	1.0057	0.9963	0.0220	2
35	Hesperidin	25.8	611.2	449.0	Poz	$y=0.139055+13.2785 \times$	0.999	1.84	1.35	0.1-5	19.0/26.0	0.9967	1.0043	0.0335	2
36	<i>o</i> -Coumaric acid	26.1	162.8	93.0	Neg	$y=0.00837193+11.2147 \times$	0.999	2.11	1.46	0.1-5	31.8/40.4	1.0044	0.9986	0.0147	1
37	Genistin	26.3	431.0	239.0	Neg	$y=1.65808+7.57459 \times$	0.991	2.01	1.28	0.1-5	14.9/21.7	1.0062	1.0047	0.0083	2
38	Rosmarinic acid	26.6	359.0	197.0	Neg	$y=-0.0117238+8.04377 \times$	0.999	1.24	0.86	0.1-5	16.2/21.2	1.0056	1.0002	0.0130	1
39	Ellagic acid	27.6	301.0	284.0	Neg	$y=0.00877034+0.663741 \times$	0.999	1.57	1.23	0.4-20	56.9/71.0	1.0005	1.0048	0.0364	1
40	Cosmosiin	28.2	431.0	269.0	Neg	$y=-0.708662+8.62498 \times$	0.998	1.65	1.30	0.1-5	6.3/9.2	0.9940	0.9973	0.0083	2
41	Quercitrin	29.8	447.0	301.0	Neg	$y=-0.00153274+3.20368 \times$	0.999	2.24	1.16	0.1-5	4.8/6.4	0.9960	0.9978	0.0268	2
42	Astragalin	30.4	447.0	255.0	Neg	$y=0.00825333+3.51189 \times$	0.999	2.08	1.72	0.1-5	6.6/8.2	0.9968	0.9957	0.0114	2
43	Nicotiflorin	30.6	592.9	255.0/284.0	Neg	$y=0.00499333+2.62351 \times$	0.999	1.48	1.23	0.05-2.5	11.9/16.7	0.9954	1.0044	0.0108	2

44	Fisetin	30.6	285.0	163.0	Neg	$y=0.0365705+8.09472 \times$	0.999	1.75	1.19	0.1-5	10.1/12.7	0.9980	1.0042	0.0231	3
45	Daidzein	34.0	253.0	223.0	Neg	$y=-0.0329252+6.23004 \times$	0.999	2.18	1.73	0.1-5	9.8/11.6	0.9926	0.9963	0.0370	3
46	Quercetin-D3- IS ^h	35.6	304.0	275.9	Neg	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	3
47	Quercetin	35.7	301.0	272.9	Neg	$y=+0.00597342+3.39417 \times$	0.999	1.89	1.38	0.1-5	15.5/19.0	0.9967	0.9971	0.0175	3
48	Naringenin	35.9	270.9	119.0	Neg	$y=-0.00393403+14.6424 \times$	0.999	2.34	1.69	0.1-5	2.6/3.9	1.0062	1.0020	0.0392	3
49	Hesperetin	36.7	301.0	136.0/286.0	Neg	$y=+0.0442350+6.07160 \times$	0.999	2.47	2.13	0.1-5	7.1/9.1	0.9998	0.9963	0.0321	3
50	Luteolin	36.7	284.8	151.0/175.0	Neg	$y=-0.0541723+30.7422 \times$	0.999	1.67	1.28	0.05-2.5	2.6/4.1	0.9952	1.0029	0.0313	3
51	Genistein	36.9	269.0	135.0	Neg	$y=-0.00507501+12.1933 \times$	0.999	1.48	1.19	0.05-2.5	3.7/5.3	1.0069	1.0012	0.0337	3
52	Kaempferol	37.9	285.0	239.0	Neg	$y=-0.00459557+3.13754 \times$	0.999	1.49	1.26	0.05-2.5	10.2/15.4	0.9992	0.9990	0.0212	3
53	Apigenin	38.2	268.8	151.0/149.0	Neg	$y=0.119018+34.8730 \times$	0.998	1.17	0.96	0.05-2.5	1.3/2.0	0.9985	1.0003	0.0178	3
54	Amentoflavone	39.7	537.0	417.0	Neg	$y=0.727280+33.3658 \times$	0.992	1.35	1.12	0.05-2.5	2.8/5.1	0.9991	1.0044	0.0340	3
55	Chrysin	40.5	252.8	145.0/119.0	Neg	$y=-0.0777300+18.8873 \times$	0.999	1.46	1.21	0.05-2.5	1.5/2.8	0.9922	1.0050	0.0323	3
56	Acacetin	40.7	283.0	239.0	Neg	$y=-0.559818+163.062 \times$	0.997	1.67	1.28	0.02-1	1.5/2.5	0.9949	1.0011	0.0363	3

^aR.T.: Retention time, ^bMI (*m/z*): Molecular ions of the standard analytes (*m/z* ratio), ^cFI (*m/z*): Fragment ions ^d*r*²: Coefficient of determination, ^eRSD: Relative standard deviation, ^fLOD/LOQ (µg/L): Limit of detection/quantification, ^gU (%): percent relative uncertainty at 95% confidence level (*k* = 2), ^hIS: Internal standard, ⁱGr. No: Represents grouping of internal standards, these numbers indicate which IS stands for which phenolic compound.

Phytochemicals in *Rumex acetosella* L. were successfully analyzed using LC-MS/MS. According to the findings, similar phytochemicals as well as differing phytochemicals were observed in the roots and leaves. However, the amounts of similar phytochemicals differed. Some of these phytochemicals exhibit phenolic properties, while others have flavonoid structures. The flavonoid compounds are: Epicatechin, quercetin, isoquercitrin, rutin, nicotiflorin, hesperidin, naringenin, luteolin, apigenin, cosmosin, acacetin and cyanoside molecules. Phenolic components are Gallic acid, protocatechuic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, vanillin, p-Coumaric, ferulic acid, salicylic acid, aconitic acid, protocatechuic aldehyde and tannic molecules. Many of these components are known in the literature to have good antioxidant, antimicrobial, anticancer, and antiviral effects (Abotaleb et al., 2020). For example, among the phytochemicals, aconitic acid, gallic acid, protocatechuic acid, chlorogenic acid, protocatechuic aldehyde, tannic acid, epicatechin, caffeic acid, vanillin, p-Coumaric acid, cyanoside, isoquercitrin, cosmosin, nicotiflorin, quercetin, naringenin, and acacetin have strong antioxidant effects (Li et al., 2022). In addition, vanillin, cosmosin, and apigenin have calming effects besides their antioxidant properties. Phytochemicals with anti-inflammatory effects include protocatechuic acid, caffeic acid, salicylic acid, isoquercitrin, cosmosin, luteolin, quercetin, apigenin, and acacetin (Fairbairn and Muhtadi, 1972). Phytochemicals with antimicrobial and anticancer properties include gallic acid, tannic acid, vanillin, p-coumaric acid, and apigenin. Ferulic acid is a phytochemical that stands out for its skin whitening effect, anti-aging properties, and sun protection (Fairbairn and Muhtadi, 1972; Kiehls, 2021). Protocatechuic aldehyde, cyanoside, epicatechin, hesperidin, rutin, and acacetin are prominent phytochemicals in terms of cardiovascular health. Protocatechuic acid and naringenin are phytochemicals beneficial for liver health. Epicatechin, found in the root of the *Rumex acetosella* L. plant and possessing the strongest antioxidant properties among phytochemicals, is known in the literature to have significant effects on cardiovascular health, muscle performance, the immune system, brain health, blood sugar, and metabolism (Boukhary et al., 2023). Caffeic acid, which is more concentrated in the leaves of *Rumex acetosella* L. than in the roots, is known to be a powerful antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antimicrobial, immune-boosting, liver-protective, and blood sugar-regulating molecule (Abotaleb et al., 2020).

3. CONCLUSION

In this study, the phytochemical content of *Rumex acetosella* L. was successfully analyzed using LC-MS/MS, and its potential health effects were evaluated in light of literature data. The findings revealed that the plant exhibits a rich profile in terms of phenolic compounds, flavonoids, organic acids, and various bioactive components. These components are associated with antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and metabolic regulatory effects, thus indicating that *Rumex acetosella* L. has potential for use in traditional and complementary medicine practices.

In conclusion, *Rumex acetosella* L. can be considered a plant species with high biological activity and promising functional and pharmaceutical potential. However, further pharmacological and clinical studies are needed to clarify its mechanisms of action, develop standardized extracts, and determine safe usage limits. Multidisciplinary research in this direction will contribute to a more effective and reliable evaluation of the plant in the fields of modern medicine and nutritional sciences.

REFERENCES

- Abotaleb, M., Liskova, A., Kubatka, P., & Büsselberg, D. (2020). Therapeutic potential of plant phenolic acids in the treatment of cancer. *Biomolecules*. 10(2), 221. doi: 10.3390/biom10020221
- Al Harthi, S., Mavazhe, A., Al Mahroqi, H. & Khan, S. A. (2015). Quantification of phenolic compounds, evaluation of physicochemical properties and antioxidant activity of four date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Oman. *Journal of Taibah University Medical Sciences*. 10, 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2014.12.006>
- Boukhary, R.M. K., Omeiche, Z., Hijazi, M. A., Jawhari, P., Jawish, L., Ajjour, H., Aboul Ela, M., El-Lakany, A. (2023). Review on Chemical Constituents and Biological Activities of Genus *Rumex*. *BAU Journal - Health and Wellbeing*. 5(2), 3. <https://doi.org/10.54729/2789-8288.1189>

- Bütüner, H., (2022). *Rumex Acetosella L. (Kuzukulağı) Bitkisinden Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin Değerlendirilmesi*. [YKL Tezi, Mardin Artuklu Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı].
- Fairbairn, J.W., El-Muhtadi, F.J. (1972). Chemotaxonomy of anthraquinones in *Rumex*. *Phytochemistry*. 11(1), 263-268. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)90001-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)90001-3)
- Gitishree, D., Han-Seung, S., Jayanta, K. P. (2022). Multitherapeutic Efficacy of Curly Kale Extract Fabricated Biogenic Silver Nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*. 17, 1125-1137. DOI:10.2147/IJN.S308478
- Høiby, N., Bjarnsholt, T., Givskov, M., Molin, S., and Ciofu, O. (2010). Antibiotic Resistance of Bacterial Biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 35 (4), 322-332. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2009.12.011
- Høiby, N., Ciofu, O., Johansen, H. K., Song, Z. J., Moser, C., Jensen, P. Ø., Molin, S., Givskov, M., Nielsen, T. T., Bjarnsholt, T. (2011). The Clinical Impact of Bacterial Biofilms. *International Journal of Oral Science*. 3 (2), 55-65. DOI: 10.4248/IJOS11026
- Indramani, K., Moumita, M., Natarajan, S. (2019). *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. In book: Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles (pp.37-72) Chapter: 3Publisher: Elsevier. DOI:10.1016/B978-0-08-102579-6.00003-4
- Iravani S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*. 13(10), 2638-2650. <https://doi.org/10.1039/C1GC15386B>
- Isbilir, S. S., & Sagiroglu, A. (2013). Total phenolic content, antiradical and antioxidant activities of wild and cultivated *Rumex acetosella L.* Extracts. *Biological agriculture & horticulture*. 29(4), 219-226. <https://doi.org/10.1080/01448765.2013.827992>
- Karataş, F. (2013). Kuzukulağı (*Rumex acetosella L.*) bitkisinin A, E ve C vitamini içeriğinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 17(1), 60-63. <https://izlik.org/JA57PX83JL>
- Kucekova, Z., Mlcek, J., Humpolicek, P., Rop, O., Valasek, P., Saha, P. (2011). Phenolic compounds from *Allium schoenoprasum*, *Tragopogon pratensis* and *Rumex acetosa* and their antiproliferative effects. *Molecules*. 16(11), 9207-9217. <https://doi.org/10.3390/molecules16119207>
- Li, J.J., Li, Y.X., Li, N., Zhu, H.T., Wang, D., Zhang, Y.J. (2022). The genus *Rumex* (Polygonaceae): an ethnobotanical, phytochemical and pharmacological review. *Nat Prod Bioprospect*. 12(1), 21.
- Lin, W., Zhang, J, Xu, J. F., Pi, J. (2021). The Advancing of Selenium Nanoparticles Against Infectious Diseases. *Frontiers in Pharmacology*. 12, 682284. DOI: 10.3389/fphar.2021.682284
- Liu, R. H. (2013). Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in nutrition*. 4(3), 384- 392. DOI: 10.3945/an.112.003517
- Qamar, H.-M.-U.-D., Qayyum, R., Salma, U., Khan, S., Khan, T., & Shah, A. J. (2018). Vascular mechanisms underlying the hypotensive effect of *Rumex acetosa*. *Pharmaceutical Biology*. 56(1), 225-234. DOI:10.1080/13880209.2018.1446031
- Sabuncu, M., Konak, M., Şahan, Y. (2019). *Rumex acetosella L.*' nin biyoalınabilir antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 33(2), 197-207. <https://izlik.org/JA77GK45CM>
- Sathiyavimal, S. et al. (2021). Green chemistry route of biosynthesized copper oxide nanoparticles using *Psidium guajava* leaf extract and their antibacterial activity and effective removal of industrial dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9, 105033. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105033>

Taleb, H., Maddocks, S. E., Morris, R. K. & Kanekanian, A. D. (2016). Chemical characterisation and the anti-inflammatory, anti-angiogenic and antibacterial properties of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Ethnopharmacology*. 194, 457-468. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.032>

Vasantharaj, S. et al. (2019). Synthesis of ecofriendly copper oxide nanoparticles for fabrication over textile fabrics: Characterization of antibacterial activity and dye degradation potential. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 191, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.12.026>

Vasantharaj, S., Sathiyavimal, S., Senthilkumar, P., LewisOscar, F. & Pugazhendhi, A. (2019). Biosynthesis of iron oxide nanoparticles using leaf extract of *Ruellia tuberosa*: Antimicrobial properties and their applications in photocatalytic degradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 192, 74-82. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2018.12.025

Vasas, A., Orban-Gyapai, O., & Hohmann, J. (2015). The Genus *Rumex*: A Review of its Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*. 175, 198-228. DOI: 10.1016/j.jep.2015.09.001

Vayalil, P. K. (2012). Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): An emerging medicinal food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 52, 249-271. doi: 10.1080/10408398.2010.499824

Yasin, B. R., El-Fawal, H. A. & Mousa, S. A. (2015). Date (*Phoenix dactylifera*) polyphenolics and other bioactive compounds: A traditional islamic remedy's potential in prevention of cell damage, cancer therapeutics and beyond. *International Journal of Molecular Sciences*. 16, 30075-30090. doi: 10.3390/ijms161226210

Yilmaz M.A. (2020). Simultaneous quantitative screening of 53 phytochemicals in 33 species of medicinal and aromatic plants: A detailed, robust and comprehensive LC–MS/MS method validation. *Industrial Crops and Products*. 149, 112347. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112347>

Acknowledgement

This study was supported by Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) under Grant Number TBTK-0164-1630. The authors thank TUBITAK for their support. We would also like to thank the editor and reviewers for their contributions during the review and evaluation of the manuscript.

Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

TARIMSAL ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: YER FISTIĞI KABUĞU TÜREVLİ ADSORBANLAR İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR AĞIR METAL ARITIMI

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ONAY

Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of
Engineering Basic Sciences, Malatya, Türkiye, muhammed.onay@ozal.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-4276-0425

ÖZET

Bu çalışma, tarımsal bir atık olan yer fıstığı kabuğunun (YFK) ve bu atıktan karbonizasyon yoluyla elde edilen aktif karbonun (AK), sulu çözeltilerdeki kurşun (Pb^{2+}) ve krom (Cr^{6+}) iyonlarının giderilmesindeki etkinliğini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yerel kaynaklardan temin edilen yer fıstığı kabukları, ham halde ve azot atmosferinde 300 °C’de karbonize edilerek iki farklı formda adsorban olarak hazırlanmıştır. Malzemelerin yapısal ve fonksiyonel özellikleri XRD, SEM ve FT-IR analizleri ile karakterize edilmiştir. Karakterizasyon sonuçları, malzemenin heterojen, gözenekli ve ağır metal iyonlarının bağlanmasına uygun çok sayıda fonksiyonel gruba sahip bir yüzey morfolojisine sahip olduğunu doğrulamıştır. Adsorpsiyon deneyleri; pH, temas süresi, adsorban dozu ve başlangıç metal konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisini incelemek üzere kesikli sistemde yürütülmüştür. DeneySEL bulgular, karbonizasyon işlemi ile hazırlanan AK formunun, tüm parametrelerde ham YFK’ye kıyasla üstün bir adsorpsiyon performansı sergilediğini ortaya koymuştur. Maksimum adsorpsiyon kapasitesine Pb^{2+} için yaklaşık 26 mg/g, Cr^{6+} için ise 22,5 mg/g değerleri ile ulaşılmıştır. pH’ın metal giderimi üzerinde belirleyici bir rol oynadığı ve nötr değerlere yaklaştıkça verimin arttığı gözlenmiştir. Kinetik çalışmalar, adsorpsiyonun ilk 60 dakikada hızlı bir seyir izlediğini ve 180 dakika sonunda dengeye ulaştığını göstermiştir. Sonuç olarak, yer fıstığı kabuğunun hem düşük maliyetli olması hem de karbonizasyon sonrası yüksek giderim kapasitesi sunması, bu biyokütlenin endüstriyel atık suların arıtılmasında sürdürülebilir ve ekonomik bir biyosorbent olarak kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Yer fıstığı kabuğu, Aktif karbon, Adsorpsiyon, Ağır metal giderimi, Sürdürülebilir arıtma.

UTILIZATION OF AGRICULTURAL WASTE: SUSTAINABLE HEAVY METAL REMOVAL WITH PEANUT SHELL DERIVED ADSORBENTS

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effectiveness of peanut shells (YFK), an agricultural waste, and activated carbon (AK) obtained from this waste through carbonization, in removing lead (Pb^{2+}) and chromium (Cr^{6+}) ions from aqueous solutions. Peanut shells obtained from local sources were prepared as adsorbents in two different forms by carbonization in their raw form and in a nitrogen atmosphere at 300 °C. The structural and functional properties of the materials were characterized by XRD, SEM, and FT-IR analyses. The characterization results confirmed that the material has a heterogeneous, porous surface morphology with numerous functional groups suitable for the binding of heavy metal ions. Adsorption experiments were carried out in a batch system to investigate the effects of parameters such as pH, contact time, adsorbent dose, and initial metal concentration. Experimental findings revealed that the AC form prepared by carbonization exhibited superior adsorption performance compared to raw PSS in all parameters. Maximum adsorption capacity was reached at approximately 26 mg/g for Pb^{2+} and 22.5 mg/g for Cr^{6+} . It was observed that pH plays a decisive role in metal removal, and efficiency increases as it approaches neutral values. Kinetic studies showed that adsorption follows a rapid course in the first 60 minutes and reaches equilibrium after 180 minutes. In conclusion, the low

cost and high removal capacity of peanut shells after carbonization prove that this biomass can be used as a sustainable and economical biosorbent in the treatment of industrial wastewater.

Keywords: Peanut shell, Activated carbon, Adsorption, Heavy metal removal, Sustainable treatment.

1. GİRİŞ

Endüstrileşme ve hızlı nüfus artışı, su kaynaklarının kirlenmesi sorununu küresel bir ölçekte öncelikli hale getirmiştir (Thorat et al., 2025). Madencilik, elektrokaplama, deri tabaklama ve boya üretimi gibi pek çok endüstriyel faaliyet, alıcı ortamlara yüksek miktarda ağır metal deşarj edilmesine neden olmaktadır. Bu ağır metaller arasında yer alan kurşun (Pb^{2+}) ve krom (Cr^{6+}), biyolojik olarak parçalanamayan ve besin zinciri yoluyla birikerek insan sağlığı üzerinde nörotoksik, kanserojen ve mutajenik etkiler yaratan en tehlikeli kirleticiler arasında gösterilmektedir (Younas et al., 2024).

Bu toksik iyonların atık sulardan uzaklaştırılması için kimyasal çöktürme, iyon değişimi, membran filtrasyonu ve elektrokoagülasyon gibi çeşitli geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu tekniklerin yüksek işletme maliyetleri, enerji yoğunlukları ve ikincil çamur oluşumu gibi dezavantajları, araştırmacıları daha sürdürülebilir ve ekonomik çözümlere yöneltmiştir. Bu noktada "adsorpsiyon", yüksek verimliliği, uygulama kolaylığı ve farklı kirleticilere karşı çok yönlülüğü ile öne çıkan etkili yöntemlerden biri haline gelmiştir (Ghalhari ve ark., 2023).

Son yıllarda, ticari aktif karbonun yüksek maliyetine alternatif olarak; tarımsal atıklar, meyve kabukları ve orman ürünleri gibi "düşük maliyetli adsorbanlar" (low-cost adsorbents) üzerine yapılan çalışmalar ivme kazanmıştır (Li ve Zhai, 2023). Tarımsal bir yan ürün olan yer fıstığı kabuğu, içeriğindeki selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi biyopolimerler sayesinde yapısında hidroksil ve karboksil gibi zengin fonksiyonel gruplar barındırmaktadır. Bu özellikler, yer fıstığı kabuğunu metal iyonları için potansiyel bir biyosorbent haline getirmektedir. Ayrıca, bu tür biyokütlelerin ısı işlem (karbonizasyon) yoluyla modifiye edilmesi, yüzey alanını ve gözenek yapısını geliştirerek adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yerel tarım alanlarından atık olarak elde edilen yer fıstığı kabuklarının, sulu çözeltilerdeki Pb^{2+} ve Cr^{6+} iyonlarını giderme potansiyelini incelemektir. Çalışmada, ham yer fıstığı kabuğu (YFK) ile 300 °C'de karbonize edilmiş aktif karbon formunun (AK) performansları; pH, temas süresi, adsorban dozu ve başlangıç konsantrasyonu gibi kritik parametreler baz alınarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların, hem atık yönetimine katkı sağlaması hem de su arıtma teknolojileri için ekonomik bir model sunması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL ve METOT

Yerel tarım alanlarından temin edilen yer fıstığı kabuğu, ham haliyle ve karbonizasyon yapıldıktan sonra olmak üzere iki farklı formda adsorban olarak kullanılmıştır. Numuneler, safsızlıkları gidermek için bol su ile yıkandıktan sonra etüvde 80 °C'de yaklaşık bir gün (24 saat) bekletilerek kurutulmuştur. Ağır metal giderme deneylerinde, Cr^{6+} kaynağı olarak analitik saflıkta potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$, $\geq 99\%$, Merck) ve Pb^{2+} için $Pb(NO_3)_2$ ($\geq 99\%$, Sigma-Aldrich) kullanılarak ve tüm çözeltiler saflaştırılmış su kullanılarak hazırlanmıştır. Deneyler sırasında kül fırını, bilyalı değirmen, manyetik karıştırıcı, ultrasonik banyo ve pH metre gibi laboratuvar ekipmanları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar yapılırken doğruluğu garanti altına alabilmek için her bir parametrik ölçüm üç kez tekrarlanmıştır.

2.1. Aktif karbon eldesi

Kurutulmuş yer fıstığı kabukları ince toz haline getirildikten sonra ve azot ortamında 300 °C'de 3 saat süreyle karbonize edilerek bir çeşit aktif karbon formu elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda mukayese edilmek için; hem aktif karbon formunda (AK) hem de işlem görmemiş (ham) haliyle (YFK) yer fıstığı kabukları kullanılarak adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2.2. Karakterizasyon

Temin edilen yer fıstığı kabuğunun yapısal ve fonksiyonel özellikleri, kristallliği doğrulamak için XRD, yüzey morfolojisi ve elementel bileşimi için SEM ve fonksiyonel grup tanımlaması için FT-IR analizleri kullanılarak incelenmiştir.

2.3. Ağır metal giderim deneyleri

Adsorpsiyon çalışmaları, adsorbentlerin sulu çözeltideki Cr^{6+} ve Pb^{2+} 'yi uzaklaştırma kapasitesini ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Her denemede, 1 g adsorban 50 mL hacminde metal iyonları içeren çözelti ile karıştırılmıştır. Kalan metal seviyeleri Atomik Adsorpsiyon Spektroskopisi (AAS) kullanılarak analiz edilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi (q_e) ve giderim verimi ($R\%$) aşağıdaki 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{W} \times V \quad (1)$$

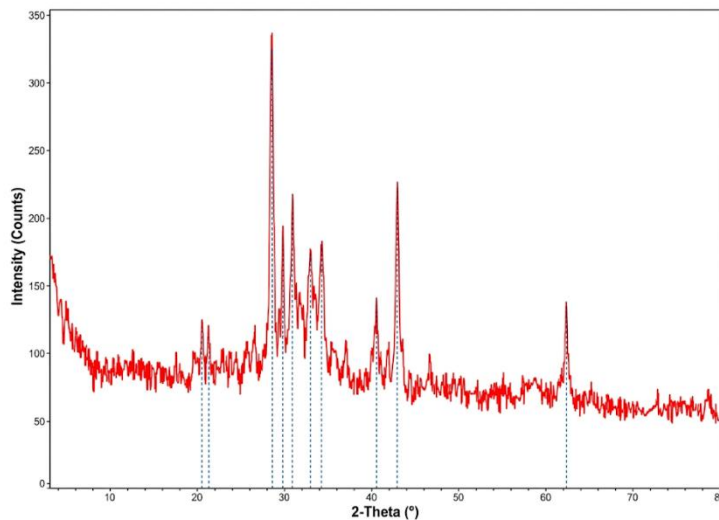
$$R(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Eşitliklerde C_0 : Başlangıç metal konsantrasyonu (mg/L), C_e : Dengedeki metal konsantrasyonu (mg/L), V : Çözelti hacmi (L) ve W : Kullanılan adsorban miktarı (g) olarak ifade edilmektedir (Ho & McKay, 1999).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. X-ışını kırınımı (XRD) analizi

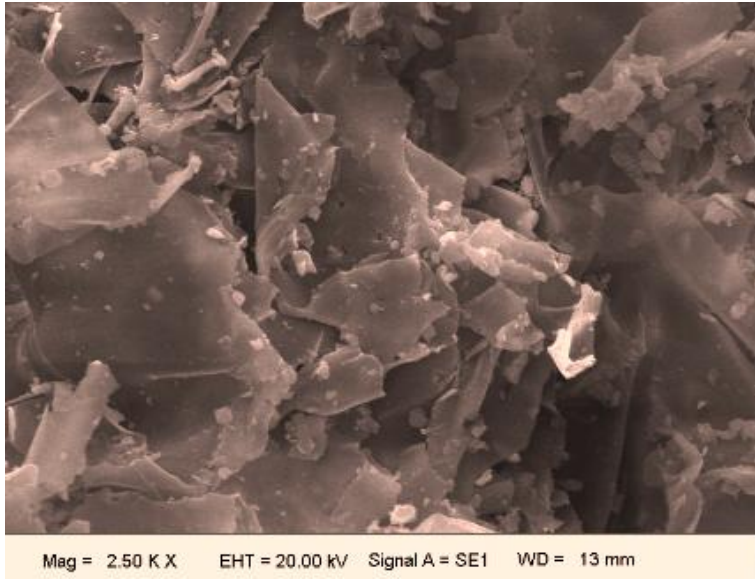
Yer fıstığı kabuğu adsorbanının XRD deseni incelendiğinde (Şekil 1), malzemenin hem amorf hem de kristal fazları içeren heterojen bir yapıda olduğu görülmektedir. $2\theta = 20^\circ$ ile 25° arasındaki geniş omuz, selülozik yapının tipik amorf karakterini yansıtırken; 28.5° , 30.8° ve 42.8° değerlerinde gözlenen keskin kırınım pikleri, yapıda bulunan inorganik mineral kristallerinin varlığına işaret etmektedir. Bu kristal yapılar, adsorbanın mekanik kararlılığına katkıda bulunurken, amorf bölgeler boyar madde moleküllerinin yüzeye tutunması ve gözenekler içine difüzyonu için uygun boşluklu yapıyı desteklemektedir (Sadki ve ark., 2023). Sonuç olarak, XRD verileri malzemenin karmaşık ve çok fazlı yapısının adsorpsiyon süreçleri için uygun olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 1. Yer fıstığı kabuğu XRD analizi.

3.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

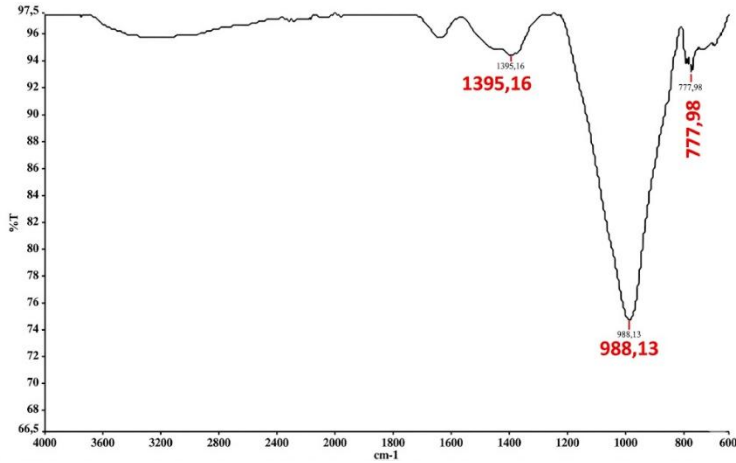
Şekil 2’de yer fıstığı kabuğunun 2500x büyütmedeki SEM görüntüsü verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, biyokütlenin pürüzlü, girintili çıkıntılı ve katmanlı bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Yüzeydeki bu heterojen yapı ve rastgele dağılmış makro-gözenekler, boyar madde moleküllerinin tutunması için uygun aktif bölgeler sağlamaktadır. Özellikle yüzeydeki yarıklar ve kanal benzeri yapılar, adsorpsiyon sürecinde ağır metal iyonlarının iç gözeneklere difüzyonunu kolaylaştıracak niteliktedir (Reddy ve ark., 2024). Yüzeyin bu denli pürüzlü ve boşluklu olması, yer fıstığı kabuğunun herhangi bir kimyasal modifikasyona gerek duyulmadan (veya modifikasyon sonrası daha da artırılarak) etkili bir düşük maliyetli adsorban (low-cost adsorbent) olarak kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.



Şekil 2. Yer fıstığı kabuğunun yüzeyinin morfolojik analizi

3.3. FT-IR spektral analizi

Yer fıstığı kabuğu adsorbanının kimyasal yapısını aydınlatmak amacıyla alınan FT-IR spektrumu Şekil 3’de sunulmuştur. 988 cm^{-1} ’de gözlenen şiddetli pik, lignoselülozik iskeletin C-O gerilmeleri ile yapıda bulunan inorganik bileşenlerin Si-O bağlarının üst üste binmesinden kaynaklanmaktadır. 1395 cm^{-1} ve 777 cm^{-1} civarındaki pikler, sırasıyla alifatik grupları ve aromatik yapıları doğrulamaktadır. XRD sonuçları ile paralel olarak, FT-IR spektrumu da malzemenin hem organik (selüloz, lignin) hem de inorganik fazlardan oluşan karmaşık bir yüzey kimyasına sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Bu fonksiyonel grupların çeşitliliği, ağır metal adsorpsiyonunda hidrojen bağları, π - π etkileşimleri ve elektrostatik çekim gibi çoklu mekanizmaların rol oynayabileceğini göstermektedir.



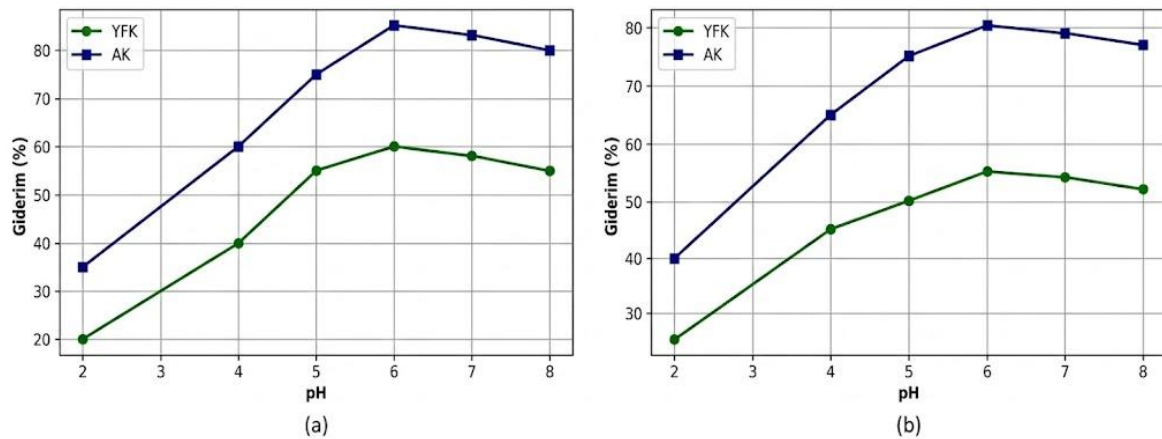
Şekil 3. FT-IR spektral analizi (yer fıstığı kabuğu)

3.4. Farklı parametrelerin adsorpsiyona etkisi

Başlangıç pH değerinin metal iyonu giderimine etkisi

Pb²⁺ ve Cr⁶⁺ iyonlarının adsorpsiyon süreçlerinde pH belirleyici bir parametre olarak önemli bir rol oynamaktadır. Pb²⁺ iyonları açısından değerlendirildiğinde, adsorpsiyon kapasitesinin asidik koşullardan (pH = 2) nötr ortama (pH = 6) doğru kademeli olarak arttığı, bu noktada maksimum değere ulaştığı ve daha yüksek pH değerlerinde ise H⁺ iyonlarının Pb²⁺ iyonlarıyla rekabet etmesi nedeniyle sınırlı bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir (Liu ve ark., 2025). Aktif karbon formu, ham haline kıyasla tüm pH aralığında daha yüksek Pb²⁺ giderim verimi sergilemektedir.

Cr⁶⁺ iyonları için de benzer bir eğilim söz konusu olup, artan pH ile birlikte adsorpsiyon veriminin iyileştiği belirlenmiştir. Ayrıca AK'un, incelenen pH aralığının tamamında ön işlemsiz haline kıyasla daha yüksek bağlanma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2023). Şekil 4'de Pb²⁺ (a) ve Cr⁶⁺ (b) iyonlarının uzaklaştırma verimlerinin pH'a bağlı değişimi sunulmaktadır.



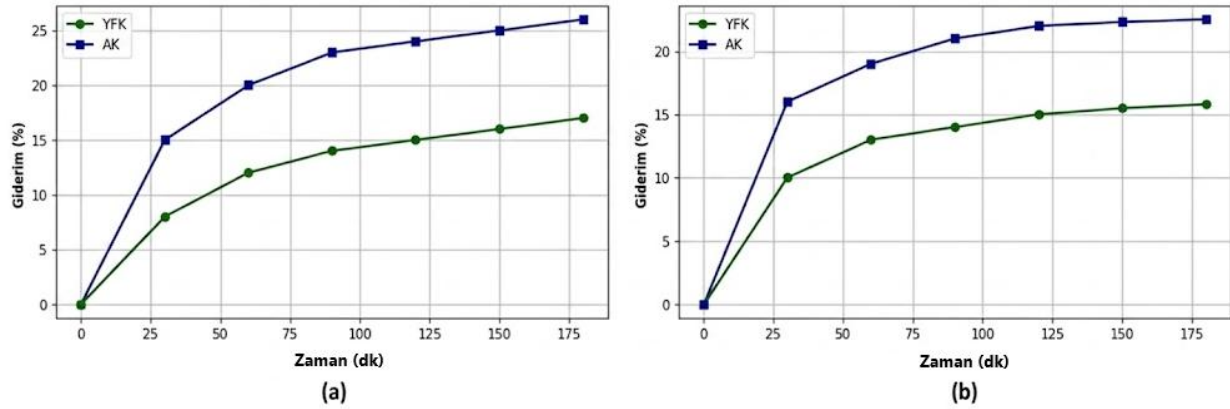
Şekil 4. pH'nın (a) Pb²⁺ ve (b) Cr⁶⁺ iyonlarının uzaklaştırılması üzerindeki etkisi.

Temas Süresinin Etkisi

Hem Pb²⁺ hem de Cr⁶⁺ iyonları için adsorpsiyon sürecinin ilk 60 dakika içerisinde hızlı bir şekilde gerçekleştiği, ardından ise yaklaşık 180 dakikaya kadar kademeli olarak dengeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Başlangıçtaki hızlı adsorpsiyon fazı, adsorban yüzeyinde kolay erişilebilir aktif

bölgelerin varlığı ile açıklanırken, sonraki yavaş fazın ise iyonların adsorbanın iç gözeneklerine difüzyonu ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir (Ho & McKay, 1999).

Bu bağlamda, AK'nın, YFK'ye kıyasla daha yüksek denge adsorpsiyon kapasitesi sergilediği belirlenmiştir (Pb^{2+} için yaklaşık 26 mg/g'ye karşı ~17 mg/g; Cr^{6+} için ise ~22,5 mg/g'ye karşı ~15,8 mg/g). Elde edilen bu sonuçlar, karbonizasyon ile oluşan yapının adsorpsiyon verimini artırdığını ve sistemin nispeten hızlı kinetik özellikler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Şekil 5'de Pb^{2+} (a) ve Cr^{6+} (b) iyonlarının zamana bağlı giderim yüzdesi gösterilmektedir.

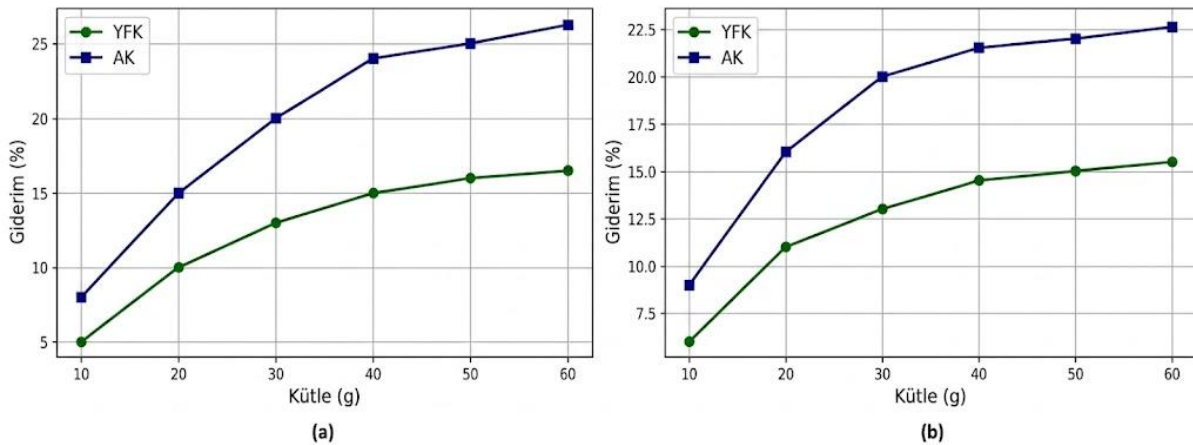


Şekil 5. (a) Pb^{2+} ve (b) Cr^{6+} 'nın temas süresine bağlı olarak uzaklaştırılması.

Adsorbent Kütlesinin Etkisi

Adsorban miktarındaki artış, aktif bağlanma bölgelerinin sayısının yükselmesine bağlı olarak her iki metal iyonunun da giderim verimliliğinde artışa yol açmaktadır. Pb^{2+} iyonları açısından değerlendirildiğinde, AK'nın daha yüksek dozlarda neredeyse tam giderim sağladığı, buna karşılık YFK ile elde edilen maksimum giderim veriminin daha düşük seviyede kaldığı belirlenmiştir.

Cr^{6+} iyonları için de benzer bir eğilim gözlemlenmiş olup, adsorpsiyon veriminin AK kullanımıyla belirgin şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, belirli bir optimum adsorban kütlesinin ötesine geçildiğinde giderim verimindeki artışın sınırlı (marjinal) düzeyde kaldığı görülmektedir (Tripathi et al., 2024). Bu durum, incelenen deneysel koşullar altında sistemin dengeye yaklaştığını ve optimum adsorban dozunun büyük ölçüde belirlendiğini göstermektedir. Şekil 6 ile farklı adsorban kütlelerinde Pb^{2+} (a) ve Cr^{6+} (b) iyonlarının giderim verimlerinin değişimleri gösterilmektedir.

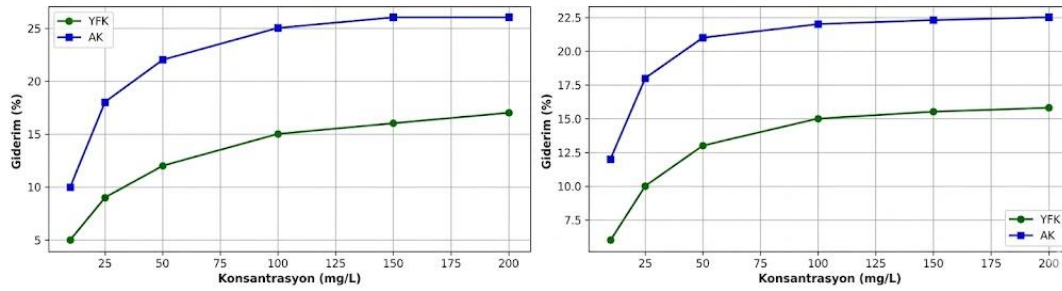


Şekil 6. (a) Pb^{2+} ve (b) Cr^{6+} iyonlarının değişen adsorban kütlesi ile uzaklaştırılması.

Başlangıç Metal Konsantrasyonunun Etkisi

Pb²⁺ ve Cr⁶⁺ iyonlarının adsorpsiyon davranışı ile giderim verimliliğinin, başlangıç konsantrasyonuna önemli ölçüde bağlı olduğu belirlenmiştir. Pb²⁺ iyonları açısından değerlendirildiğinde, artan başlangıç konsantrasyonlarında aktif bağlanma bölgelerinin doygunluğa ulaşması nedeniyle giderim yüzdesinde kısmi bir azalma gözlemlenmiştir (Kali et al., 2024). Bununla birlikte, AK'nın, tüm konsantrasyon aralığında YFK'ye kıyasla daha yüksek adsorpsiyon kapasitesi sergilemeye devam ettiği tespit edilmiştir.

Cr⁶⁺ iyonları için ise, başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla birlikte adsorpsiyon kapasitesinin arttığı, ancak giderim veriminin dengeye ulaşıldıktan sonra sabit bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Nitekim, incelenen tüm konsantrasyon değerlerinde AK'nın YFK'ye göre daha üstün performans sergilediği ve bu durumun farklı kirlenici yükleri altında yüksek bağlanma afinitesi ile sistem kararlılığını ortaya koyduğu anlaşılmaktadır. Şekil 7'de, farklı başlangıç konsantrasyonlarının adsorplama yüzdesine etkisinin sonuçları verilmektedir.



Şekil 7. (a) Pb²⁺ ve (b) Cr⁶⁺ iyonlarının farklı başlangıç metal konsantrasyonu ile uzaklaştırılması.

Benzer deneysel koşullar altında elde edilen bulgular, AK'nın Pb²⁺ ve Cr⁶⁺ iyonlarının adsorpsiyonunda YFK'ye kıyasla daha yüksek performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu iyileşmenin, AK'nın gözenekli yapısı ile karbonizasyon etkisiyle bileşen üzerinde homojen şekilde dağılmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Söz konusu yapısal ve yüzey özellikler, yer fıstığı kabuğunun atık su arıtımında etkili, kararlı ve yeniden kullanılabilir bir biyosorbent olarak öne çıkarmaktadır. Elde edilen sonuçlar, yer fıstığı kabuğu türevli biyokömürlerin ağır metal giderimindeki başarısını vurgulayan güncel literatür verileriyle tam bir uyum içerisinde (Li & Liu, 2024).

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, yerel tarım atığı olan yer fıstığı kabuklarının (YFK) ve karbonizasyon yöntemiyle elde edilen aktif karbon formunun (AK), sulu çözeltilerden kurşun (Pb²⁺) ve krom (Cr⁶⁺) iyonlarının uzaklaştırılmasındaki etkinliği karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Karakterizasyon Bulguları: XRD ve FT-IR analizleri, malzemenin lignoselülozik yapıda olduğunu ve hem amorf hem de kristal fazları bir arada barındıran kompleks bir yüzey kimyasına sahip olduğunu doğrulamıştır. SEM görüntüleri, özellikle aktif karbon formunda daha belirgin olan gözenekli ve heterojen yapının, metal iyonlarının tutunması için yeterli aktif bölgeleri sağladığını kanıtlamıştır.

Adsorpsiyon Performansı: Yapılan tüm parametrik deneylerde (pH, temas süresi, adsorban dozu ve başlangıç konsantrasyonu), karbonizasyon işlemiyle elde edilen **AK** formunun, ham **YFK**'ye göre belirgin şekilde daha yüksek adsorpsiyon kapasitesi sergilediği tespit edilmiştir.

Operasyonel Parametreler: * **pH:** Her iki metal iyonu için de pH değerinin giderim üzerinde kritik bir rol oynadığı; asidik ortamdan nötr ortama doğru gidildikçe verimin arttığı gözlenmiştir.

Kinetik: Adsorpsiyonun ilk 60 dakikada çok hızlı gerçekleştiği, 180. dakikada ise sistemin dengeye ulaştığı belirlenmiştir. Bu durum, yüzeydeki aktif bölgelerin yüksek afinitesini göstermektedir.

Kapasite: AK kullanımıyla Pb^{2+} iyonları için yaklaşık **26 mg/g**, Cr^{6+} iyonları için ise **22,5 mg/g** civarında bir adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır.

Sürdürülebilirlik: Yer fıstığı kabuğunun düşük maliyetli, yerel kaynaklardan kolay temin edilebilir ve karbonizasyon sonrası yüksek verimli olması, bu biyokütleinin endüstriyel atık suların arıtılmasında çevre dostu ve ekonomik bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Malatya Turgut Özal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 26G11 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Ghalhari, M. R., Sanaei, D., Nabizadeh, R., & Mahvi, A. H. (2023). Cellulose-based hydrogel beads derived from wastepapers: application for organic dye adsorption. *Cellulose*, 30(15), 9669-9691.

Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465.

Kali, A., Amar, A., Loulidi, I., Jabri, M., Hadey, C., Lgaz, H., ... & Boukhelifi, F. (2024). Characterization and adsorption capacity of four low-cost adsorbents based on coconut, almond, walnut, and peanut shells for copper removal. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(3), 3655-3666.

Li, X. D., & Zhai, Q. Z. (2023). Study on the adsorption of Cr^{3+} by peanut shell: Adsorption kinetics, thermodynamics, and isotherm properties. *Chemistry & Biodiversity*, 20(6), e202201095.

Liu, G., Feng, J., & Zhang, J. (2025). Preparation of a new low-cost adsorbent based on peanut shell cellulose (PNS) and its adsorption performance for $Pb(II)$ ions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148205.

Reddy, M. T. G., Chidambaram, P. P., Palanisamy, J., Devasahayam, J. S. S., Ponnaian, V., Kalimuthu, R., & Shannmugam, P. M. (2024). Enhanced adsorption of methylene blue dye using groundnut shell activated nanocarbon: a sustainable approach. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 26, 728-744.

Sadki, R., Dalimi, M., Labjar, N., Benabdallah, G. A., & El Hajjaji, S. (2023). Adsorptive removal of methylene blue, from aqueous solution using tea waste as a low-cost indigenous biosorbent: Mechanism of adsorption, equilibrium study, kinetics and isotherms. *Moroccan Journal of Chemistry*, 11(3), J-Chem.

Thorat, D. S., Ushir, Y. V., & Singh, S. (2025). Value-added-peanut shell as potential source for biofilters: an eco-friendly way to clean water and manage nutrients. *Biotechnology for Sustainable Materials*, 2(1), 12.

Tripathi, M., Pathak, S., Singh, R., Singh, P., Singh, P. K., Shukla, A. K., ... & Thakur, B. (2024). A comprehensive review of lab-scale studies on removing hexavalent chromium from aqueous solutions by using unmodified and modified waste biomass as adsorbents. *Toxics*, 12(9), 657.

Younas, F., Younas, S., Bibi, I., Farooqi, Z. U. R., Hameed, M. A., Mohy-Ud-Din, W., ... & Niazi, N. K. (2024). A critical review on the separation of heavy metal (loid) s from the contaminated water using various agricultural wastes. *International journal of phytoremediation*, 26(3), 349-368.

Zhang, Y., Tang, Y., Yan, R., Li, J., Li, C., & Liang, S. (2023). Removal performance and mechanisms of aqueous Cr (VI) by biochar derived from waste hazelnut shell. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(43), 97310-97318.

OVACIK KIRSALINDA AHMETLER KÖYÜ TAHSİN CAMİSİ'NİN MEKÂNSAL KURGUSU VE YAPIM TEKNİĞİ

Öğr. Gör. Dr. Elif ÇETİN

Karabük University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture, Department of Architecture,
78600 Safranbolu, Karabük

ORCID ID: 0000-0003-2037-9807

Y.Mimar Büşra ARSLAN

Karabük University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture, Department of Architecture,
78600 Safranbolu, Karabük

ORCID ID: 0000-0002-6224-6079

ÖZET

Karabük ili Ovacık ilçesine bağlı Ahmetler köyünün Merkez mahallesinde yer alan ve yörede "Tahsin Camisi" olarak bilinen yapı, taş ve ahşap malzemenin taş ve ahşap malzemenin birlikte kullanıldığı kırsal mimari geleneğin özgün örneklerinden biridir. Yapı, 2019 yılında "Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı" olarak tescil edilmesine rağmen, literatürde üzerine kapsamlı bir inceleme yapılmamış olması, bu araştırmanın önemini ortaya koymaktadır. Bu araştırmanın amacı, Tahsin Camisi'nin mekânsal kurgusunu ve yapım tekniklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda yapı; plan şeması, malzeme kullanımı, taşıyıcı sistem, iç mekân organizasyonu ve süsleme özellikleri bakımından incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, caminin özgün kütesinin yığma taş duvarlı bir harim mekânından oluştuğu, minarenin ise 1974 yılında yapıya eklendiği tespit edilmiştir. Başlangıçta küteden bağımsız yükselen minare, kuzey cephesine ilave edilen rüzgârlık bölümüyle günümüzde yapı ile bütünleşik bir form kazanmıştır. Harim içerisinde yer alan ahşap mahfil, sade niş formundaki mihrap ve geometrik kabartmalar barındıran minber, kırsal cami mimarisinin yalın ve işlevsel tasarım dilini yansıtmaktadır. Ancak yapının mimari değerini asıl belirleyen unsur, üst örtüdeki nitelikli ahşap tavan işçiliğidir. Dikdörtgen plan şemasını tavan düzleminde kareye dönüştüren kademeli pasa düzenlemeleri ve merkezdeki radyal (ışınsal) tavan göbeği, yerel ustalığın teknik ve estetik yetkinliğini belgelemektedir. Cephedeki altı üstlü pencere organizasyonu, harim dikeyinde dengeli bir aydınlık düzeyi sağlarken, tavan tezyinatının mekânsal algısını güçlendirmektedir. Bu bağlamda yapı, tescilli bir kültür varlığı olarak sahip olduğu özgün plan şeması, malzeme kullanımı ve özellikle nitelikli ahşap tavan işçiliği ile bölgesel kırsal cami mimarisinin dikkat çekici ve korunmuş örneklerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kırsal cami mimarisi, yapım tekniği, ahşap tavan, Karabük-Ovacık, Ahmetler köyü

SPATIAL CONFIGURATION AND CONSTRUCTION TECHNIQUES OF THE TAHSİN MOSQUE IN AHMETLER VILLAGE IN THE RURAL AREA OF OVACIK

ABSTRACT

Located in the Merkez Neighborhood of Ahmetler Village in the Ovacık district of Karabük province, the structure locally known as the "Tahsin Mosque" is one of the distinctive examples of rural architectural tradition in which stone and wood materials are used in combination. Although the building was registered as a "Protected Immovable Cultural Asset" in 2019, the absence of a comprehensive study in the literature highlights the significance of this research. The aim of this study

is to examine the spatial configuration and construction techniques of the Tahsin Mosque. In this regard, the building has been analyzed in terms of its plan scheme, material use, structural system, interior spatial organization, and decorative characteristics. The analysis revealed that the original mass of the mosque consists of a masonry stone-walled prayer hall (harim), and that the minaret was added to the structure in 1974. The minaret, which initially rose independently from the main mass, has become integrated with the building in its current form through the addition of a windbreak section on the northern facade. The wooden gallery (mahfil) within the prayer hall, the mihrab in the form of a simple niche, and the minbar featuring geometric reliefs reflect the plain and functional design language of rural mosque architecture. However, the main factor defining the architectural value of the building is the high-quality wooden craftsmanship of the ceiling structure. The stepped (pasa) arrangements that transform the rectangular plan into a square at the ceiling level, along with the radial ceiling center, demonstrate the technical and aesthetic competence of local craftsmanship. The vertical window organization on the facade ensures a balanced distribution of daylight within the prayer hall while enhancing the spatial perception of the ceiling ornamentation. In this respect, the building is considered one of the significant and well-preserved examples of regional rural mosque architecture, distinguished by its original plan scheme, material use, and particularly its refined wooden ceiling workmanship.

Keywords: Rural mosque architecture, construction technique, wooden ceiling, Karabük-Ovacık, Ahmetler village,

1. GİRİŞ

Anadolu’da cami mimarisi, kökeni Orta Asya Türk yapı geleneğine kadar uzanan ahşap destekli ve ahşap tavanlı ibadet yapılarının devamı niteliğindedir (Arık, 1973). Karahanlı ve Selçuklu dönemlerinden itibaren gelişim gösteren bu gelenek, Osmanlı döneminde özellikle kırsal alanlarda varlığını sürdürmüş ve 20. yüzyıla kadar yaşatılmıştır (Aslanapa, 2007).

Kırsal mimarlık, yerel yapı teknikleri, malzeme kullanımı ve zanaatkârlık bilgisinin kuşaktan kuşağa aktarıldığı bir üretim geleneğini yansıtmaktadır (Çekül, 2012). Bu bağlamda kırsal camiler, yalnızca dini işlevleriyle sınırlı kalmayıp, kırsal mimari biçimlenişin ve yerel yapım kültürünün önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir.

Anadolu cami mimarisinde ahşap yapım teknikleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda çantı yapım sistemi, ilk örneklerine Selçuklu Dönemi’nde Orta Karadeniz Bölgesi’nde rastlanan ve özellikle kırsal alanlarda uygulanan bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde, ahşap elemanlar geçme yöntemiyle üst üste yerleştirilerek duvarlar oluşturulmaktadır. Çantı tekniği ile inşa edilmiş camilere ilişkin ilk kapsamlı çalışmalar, Kuzeybatı Karadeniz Bölgesi’ndeki ahşap cuma camilerini ele alan ve bu yapıları Osmanlı’nın erken dönemlerine tarihlendiren araştırmalarla ortaya konulmuştur (Ayverdi, 1989). Bu çalışmalarda yapıların plan özellikleri, malzeme kullanımı ve yapım sistemleri ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

Trabzon ve çevresinde gerçekleştirilen incelemeler de ahşap cami mimarisine ilişkin erken dönem araştırmalar arasında yer almakta olup, bu çalışmalarda bazı yapıların tamamen çantı tekniği ile değil, taş duvarlı bir alt kot üzerine oturan ahşap yığma sistemle inşa edildiği belirtilmektedir (Karpuz, 1989).

Kırsal yerleşimlerde camiler çoğunlukla kareye yakın dikdörtgen plan şemasına sahip olup, dıştan kırma çatı ile örtülmekte, iç mekânda ise ahşap düz tavan uygulamaları tercih edilmektedir (Özcan Balkır, 2018). Bazı örneklerde minare bulunmamakta, bu nedenle yapılar dışarıdan bakıldığında geleneksel konutlarla büyük ölçüde benzerlik gösterebilmektedir (Atıcı, 2024).

Yapım teknikleri açısından değerlendirildiğinde, kırsal cami mimarisinde coğrafi koşullara ve malzeme olanaklarına bağlı olarak üç temel sistem öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, beden duvarlarının moloz veya kesme taşla örüldüğü ve üst örtünün ahşap elemanlarla oluşturulduğu yığma taş sistemdir (Hanoğlu ve Saka Akın, 2020). İkinci olarak, özellikle ormanlık bölgelerde yaygın olan çantı tekniği, ahşap kütüklerin geçme sistemiyle üst üste yerleştirilmesine dayanmaktadır (Mısırlı, 2022). Üçüncü sistem ise ahşap karkas arasına kerpiç veya tuğla dolgu yapılmasıyla oluşturulan hımış tekniktir (Koçyiğit, 2019).

Mekânsal kurgu açısından kırsal camiler, ibadet işlevinin ötesinde sosyal yaşamın önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır. Bazı örneklerde yapının alt katında veya bitişiğinde köy odası, derslik, depo ya da lojman gibi birimlerin yer aldığı görülmektedir (Gündoğdu, 2024). İç mekânda ise kuzeyde konumlanan kadınlar mahfili ve bu mahfili taşıyan ahşap direkler, caminin temel mimari unsurlarındandır. Düz ahşap tavanların merkezinde yer alan çıtalı göbekler veya bağdadi kubbeler ise mekâna görsel hareket kazandıran karakteristik öğeler arasında yer almaktadır (Acar, 2020).

Kırsal bölgelerde inşa edilen camilerin dış cepheleri genellikle sade tutulmasına karşın, iç mekânlarda zengin bir süsleme programı ile karşılaşılabilir. Özellikle 18. ve 19. yüzyıllarda Osmanlı başkentinde etkili olan Batı kökenli üsluplar, gezici ustalar aracılığıyla kırsala taşınmış ve burada daha naif, yerel bir yorumla uygulanmıştır (Atıcı, 2024). Bu süslemelerde bitkisel kompozisyonlar, mimari tasvirler, dini semboller ve yazılı panolar gibi çeşitli motifler kullanılmıştır. Ahşap yüzeylerde ise oyma ve çitalama teknikleriyle oluşturulan geometrik düzenlemeler ön plana çıkmaktadır.

Karabük ili Ovacık ilçesine bağlı Ahmetler köyü, dağlık bir topoğrafyada konumlanan ve geleneksel yapı dokusunu büyük ölçüde koruyan kırsal yerleşimlerden biridir. Köyde yapı malzemesi olarak ağırlıklı biçimde taş ve ahşap kullanılmakta olup, konut, samanlık ve ahır gibi sivil mimari örnekler bu geleneği yansıtmaktadır. Yerleşimde tescilli tek yapı olan cami, 2019 yılında koruma altına alınmış olmasına rağmen, günümüze kadar detaylı bir akademik incelemeye konu olmamıştır.

İncelenen yapı, müftülük kayıtlarında “Tahsin Camisi” olarak geçmek, tescil belgelerinde ise mülkiyetinin Himmet Subaşı Camii Şerifi Vakfı’na ait olduğu belirtilmektedir. Bu durum, yapının adlandırılması ile mülkiyetine ilişkin kayıtların farklı kaynaklarda farklı biçimlerde yer aldığını göstermektedir. Bu çalışmada adlandırma birliğini sağlamak amacıyla müftülük kayıtları esas alınmış ve yapı “Tahsin Camisi” olarak ele alınmıştır.

Ahmetler köyü; Merkez, Aydınlar, Çolakoğlu, Musatlar, Sofular ve Yukarı mahallelerden oluşan dağınık bir yerleşim düzenine sahiptir. İncelenen cami, Merkez mahallede konumlanmakta olup bu mahalle, yerleşimin en yoğun yapılaşmış alanlarından birini oluşturmaktadır. Mahallede konutlar, tarımsal yapılar ve köy odası birlikte bulunmakta, ancak cami yerleşimin doğu kesiminde, ana konut dokusundan kısmen ayrılan bir konumda yer almaktadır (Görsel 1).



Görsel 1. Ahmetler köyü Merkez mahallesinde yerleşim (Ahmetler köyü arşivi)

Bu çalışma, Ahmetler Köyü Tahsin Camisi’nin mekânsal kurgusunu, yapım tekniklerini ve mimari özelliklerini incelemeyi amaçlamakta; yapıyı plan şeması, malzeme kullanımı, taşıyıcı sistem ve iç

mekân düzenlemeleri açısından değerlendirerek, Anadolu kırsal cami mimarisi içerisindeki yerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. OVACIK KIRSALINDA CAMİ MİMARİSİ

Ovacık kırsal yerleşimlerinde camiler, yalnızca ibadet mekânı olmanın ötesinde, köy yaşamının örgütlendiği temel odak noktalarından birini oluşturmaktadır. Yerleşimlerin büyük çoğunluğunda en az bir cami bulunmaktadır. Bununla birlikte, ibadet pratikleri tüm camilere eşit biçimde dağılmamakta; özellikle Cuma ve bayram namazları, belirli camilerde toplanan daha geniş katılımlı cemaatler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Kırsal cami yapılarının önemli bir bölümü, imamın barınma ihtiyacını karşılayan lojman birimleri ile düşünülmüştür. Bu lojmanların konumlanması yerleşime göre farklılık göstermekle birlikte, camiyle aynı parselde ya da yakın çevrede konumlanmaları Ovacık kırsalında görülen yaygın bir uygulamadır.

Ovacık kırsalında tescillenmiş 6 adet cami olup, bu yapılar koruma altına alınarak bazı camiler çeşitli restorasyon müdahalelerinden geçmiştir (Çetin, 2026). Buna karşın, tarihsel nitelik taşımasına rağmen henüz tescil edilmemiş camiler de mevcuttur. Bu yapıların önemli bir kısmı, kontrolsüz onarımlar ve malzeme değişimleri nedeniyle özgün mimari karakterlerini kısmen yitirme riskiyle karşı karşıyadır.

Plan ve yapım tekniği bakımından değerlendirildiğinde, Ovacık kırsalındaki camilerin büyük çoğunluğu dikdörtgen planlı ve yığma taş duvar şeklinde inşa edilmiştir (Görsel 2). Harim genellikle tek mekânlı olarak düzenlenmiş, ancak iç mekânda ahşap taşıyıcılara oturan bir üst kat (kadınlar mahfili) bulunmaktadır. Bazı camiler ise konutların yapım sistemine benzer şekilde yığma taş üzeri ahşap karkas sistemde inşa edilmiştir. Bu şekilde inşa edilen camiler iki kattan meydana gelmekte olup genellikle üst katları ibadet mekânı olarak kullanılırken alt katları toplanma ve yemek yeme amacıyla kullanılmaktadır. Ovacık kırsalında cami ile köy odası işlevini bir arada barındıran yapı örnekleri de mevcuttur.



Boyali köyü camisi



Koltuk köyü camisi

Görsel 2. Farklı yapım teknikleri kullanılarak inşa edilmiş cami örnekleri

Minare kullanımı açısından ise standart bir uygulama görülmemektedir. Erken örneklerde ahşap malzemeden inşa edilen minarelerin zamanla ortadan kalktığı, günümüze ulaşan örneklerin ise oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Görsel 3). Mevcut taş minarelerin bir kısmının yapıya sonradan eklendiği anlaşılmakta olup, bu durum camilerin zaman içerisinde geçirdiği yapısal değişimlere işaret etmektedir. Bazı cami örneklerinde ise hiç minare kullanılmamıştır.



Çukur köyü camisi



Güneysaz köyü camisi

Görsel 3. Ovacık kırsalında farklı minare örnekleri

İç mekân kurgusunda mihrap, kible duvarının merkezinde konumlanarak temel odak noktasını oluşturur. Bu elemanı, çoğunlukla ahşap malzemeden üretilmiş minber ve bazı örneklerde yer alan vaaz kürsüsü tamamlamaktadır (Görsel 4). Söz konusu elemanların varlığı ve niteliği, caminin kullanım yoğunluğu ve işlevi ile doğrudan ilişkilidir.



Beydili köyü camisi



Sofuoğlu köyü camisi

Görsel 4. Vaaz kürsüsü, mihrap ve minber düzeni

Giriş bölümünde yer alan ve karşılıklı olarak düzenlenen mahfil alanları, mekânın kullanımını tanımlayan önemli unsurlardandır. Bu alanlardan birinde üst kata erişimi sağlayan merdiven bulunmakta olup, üst kat genellikle kadınlara ayrılmıştır (Görsel 5). Üst katta mahfil bölümünün orta kısmı genellikle balkon şeklinde dışarı taşırılmıştır. Mahfil bölümünün korkulukları ahşap malzemeden olup farklı şekillerde görülmektedir.



Güneysaz köyü



Pürçükören köyü

Görsel 5. Ovacık kırsalındaki cami örneklerinde kadınlar mahfili bölümü

Sonuç olarak Ovacık kırsal camileri; sade plan şemaları, yerel malzeme kullanımı ve işlev odaklı tasarım anlayışlarıyla öne çıkmakta, aynı zamanda ahşap işçiliği ve sınırlı süsleme özellikleri ile bölgesel mimari kimliğin önemli temsilcileri arasında yer almaktadır.

2.1. Ahmetler Köyü Tahsin Camisinin Mimari Özellikleri

Ovacık kırsalında tescilli 6 adet camiden bir tanesi olan Ahmetler Köyü Tahsin Camisi'ne ait herhangi bir kitabe ya da vakfiye bulunmaması nedeniyle yapım tarihi kesin olarak tespit edilememektedir. Bununla birlikte, giriş kapısı üzerinde yer alan tabelada 1963 tarihi belirtilmektedir. 2019 tarihli tescil raporunda da ifade edildiği üzere minare, yapının özgün unsurlarından biri değildir. Bu durum, minarenin caminin ilk inşa evresine ait olmayıp, sonraki bir dönemde eklenmiş ya da kapsamlı bir müdahale ile yeniden inşa edilmiş olduğunu göstermektedir. Tescil kayıtlarında caminin mülkiyeti Himmet Subaşı Camii Şerifi Vakfına ait olduğu yazmaktadır.

Caminin kuzeybatı köşesinde konumlanan minare, özgün olmamasına rağmen malzeme ve form açısından yapı ile belirli bir uyum sergilemektedir. Düzgün kesme taş kullanımı, caminin moloz taş ağırlıklı duvar örgüsüne kıyasla daha nitelikli bir işçilik ortaya koymakta ve minareyi görsel olarak öne çıkarmaktadır. Mimari açıdan değerlendirildiğinde minare, kare planlı bir kaide üzerine oturan silindirik gövdesiyle klasik Osmanlı minare tipolojisini yansıtmaktadır. Şerefe altındaki geçiş bölümünde yer alan mukarnas benzeri bezemeli kuşak, yapının en dikkat çekici detayını oluştururken, genel süsleme anlayışı oldukça sınırlı tutulmuştur. Tek şerefeli olarak inşa edilen minarede korkuluklar sade bir biçimde düzenlenmiş, üst örtü ise konik formda bir külah ile tamamlanmış ve metal kaplama ile korunmuştur. Cami minaresi yapıya 1974 yılında eklenmiş olup yapıdan bağımsız bir şekilde yükselmektedir (Görsel 6).



Kuzey Cephesi



Güney-Batı Cephesi



Doğu Cephesi



Batı Cephesi

Görsel 6. Ahmetler Köyü Tahsin Camisi cepheleri

Yapının kuzey cephesinde yer alan ve sonradan eklendiği anlaşılan ek mekân aracılığıyla harime ulaşılmaktadır. Günümüzde ayakkabılık olarak kullanılan bu bölüm, aynı zamanda minareye çıkışı sağlayan sirkülasyon alanını da barındırmaktadır. Normalde yapı dışında kalan minare bu eklentinin ardından yapının içinde kalmıştır. Bu bölümün üzeri sundurma tipi çatı ile örtülüdür.

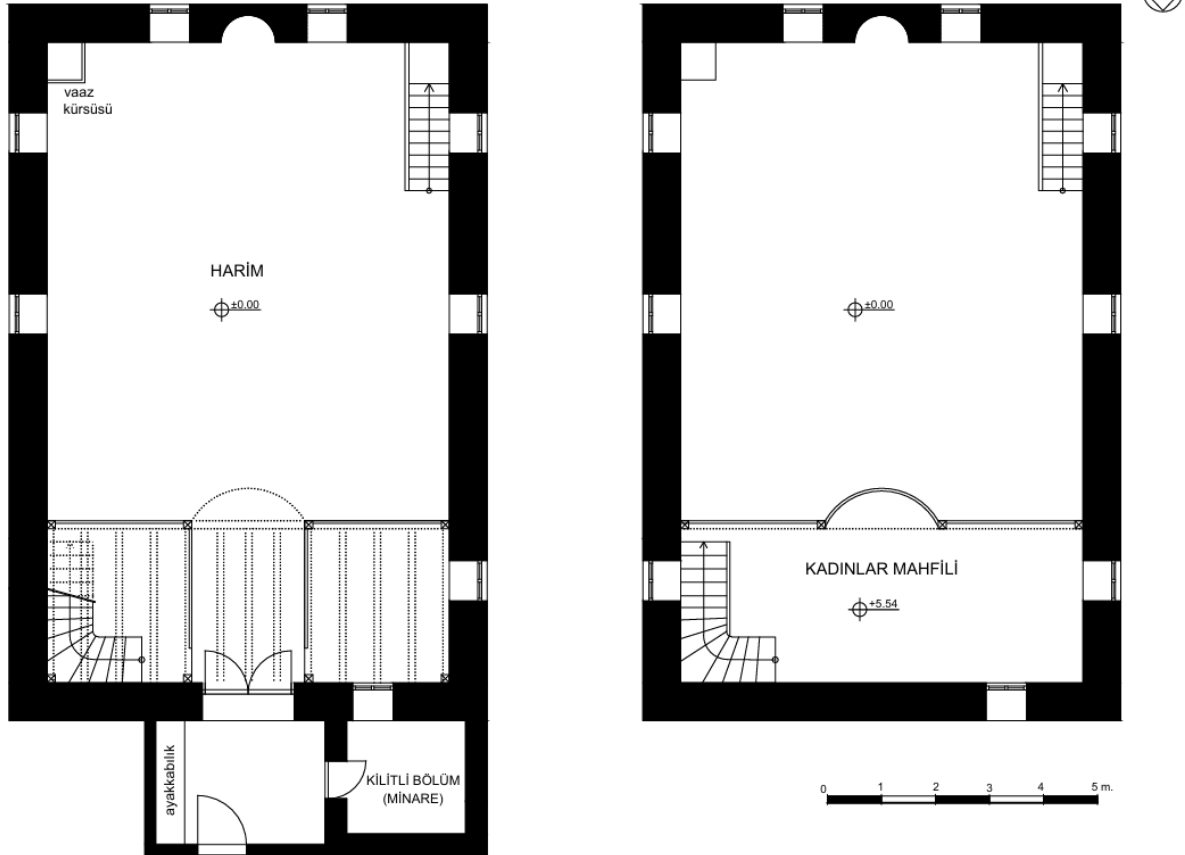
Yapı, mevcut haliyle tek bir inşa evresine ait olmayıp, zaman içerisinde farklı müdahalelerle şekillenmiş çok evreli bir gelişim süreci göstermektedir. Bu bağlamda, caminin özgün kütlesinin yığma taş duvarlı ana harim mekânından oluştuğu, buna karşılık minarenin ve kuzey cephesinde yer alan giriş bölümünün sonradan eklenen unsurlar olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle tescil raporunda da özgün olmadığı belirtilen minare ile rüzgârlık işlevi gören ek mekân, yapının kullanım ihtiyaçları doğrultusunda geçirdiği değişimlerin somut göstergeleridir. Bunun yanı sıra iç mekânda gözlemlenen boya uygulamaları ve bazı yüzey müdahaleleri, yapının farklı dönemlerde bakım ve yenileme süreçlerinden geçtiğini ortaya koymaktadır.

Harim mekânına geçiş, kemerli açıklık içerisine yerleştirilmiş çift kanatlı ahşap kapı aracılığıyla sağlanmaktadır (Görsel 7). Kapı, yuvarlak kemerli bir niş içerisinde konumlandırılmış olup, üst kısmında kemer formunu takip eden üç bölmeli ahşap bir alınlık (tepelik) ile tamamlanmıştır. Yüzeylerde tercih edilen yeşil renk tonları, iç mekânda yer alan mihrap ve mahfil elemanlarıyla uyum sağlayarak yapıda olup üslup birliği sağlanmaya çalışılmıştır.



Görsel 7. Harim mekânına giriş kapısı

Plan şemasında açıkça izlenebilen ve özgün yapıya sonradan eklendiği anlaşılan bu rüzgârlık birimi ile harim arasındaki kapı, başlangıçta dış cepheye ait bir unsur iken zaman içerisinde iç mekân bileşeni hâline dönüşmüştür.



Görsel 8. Ahmetler Köyü Tahsin camisi zemin kat ve mahfil katı planları

Harimin kuzey duvarı boyunca yer alan kadınlar mahfili (Görsel 8), tamamen ahşap konstrüksiyonlu olup dört adet dikme ile taşınmaktadır. Bu dikmelerden ikisi doğu ve batı duvarlarına bitişik konumda yer alırken, diğer iki dikme giriş aksını ortalayacak biçimde yerleştirilmiştir. Zemin katta görülen dikmelerin yeşil renge boyanmış olması, iç mekândaki genel renk kurgusuyla uyum sağlamaktadır. Mahfilin orta bölümü, yarım daire balkon şeklinde harime doğru çıkıntı yapmaktadır (Görsel 9). Mahfile erişim, harimin kuzeydoğu köşesinde konumlanan ahşap çeyrek döner merdiven aracılığıyla sağlanmaktadır.



Görsel 9. Mahfil bölümü

Harimin güney duvarında (Görsel 10) konumlanan mihrap, sade bir niş düzenlemesine sahip olup, yüzeyinde tercih edilen yeşil tonlarla vurgulanmıştır. Mihrabın sağında yer alan ahşap minber, kırsal cami mimarisine özgü sade ve işlevsel karakteriyle dikkat çekmektedir. Tamamen ahşap malzemeden inşa edilen minber, bezeme açısından abartıdan uzak olmakla birlikte, detaylarında yerel ustalık geleneğini yansıtan nitelikler barındırmaktadır. Yan aynalıklar ve gövde panellerinde görülen yüzey düzenlemeleri, çıtalama ve tabla (pano) tekniği ile oluşturulmuş geometrik kompozisyonlardan oluşmaktadır. Bu düzenlemelerde boya veya yoğun kalem işi yerine ahşabın doğal dokusu ön plana çıkarılmıştır.



Görsel 10. Mihrap, minber ve vaaz kürsüsünün bulunduğu güney duvarı

Yapının en nitelikli mimari elemanı olan ahşap tavan (Görsel 11), harim içerisindeki en güçlü tasarım ögesi olarak öne çıkmaktadır. Harim planı aslında dikdörtgen bir şemaya sahip olsa da, tavan yüzeyi ahşap çıtalar ve kademeli pasalarla bölümlenerek merkezde kare bir form oluşturulmuştur. Bu

geometrik müdahale, tavanın görsel ağırlığını orta aksa toplayarak dairesel süsleme elemanları için dengeli bir zemin hazırlamıştır. Tavanın dikdörtgen kenarlarından bu kare merkeze geçişte kullanılan kademeli ahşap düzenlemeler, yapıya derinlik kazandırırken dört köşeye yerleştirilen yelpaze (istridye) motifleri için de uygun bir yerleşim alanı sunmuştur.



Görsel 11. Harim mekânının tavanı

Tavanın tam merkezinde, çitalama tekniğiyle kurgulanmış radyal (ışınsal) bir tavan göbeği yer almaktadır. Bu göbek, ahşap çitaların dairesel bir düzende merkeze doğru birleşmesiyle oluşturulmuştur. Mekânın tam merkezinde yer almaktadır. Tavan yüzeyinde herhangi bir kalem işi boyama olmayıp; estetik vurgu tamamen ahşabın doğal dokusu, rengi ve işçilik kalitesi üzerinden sağlanmıştır.

Yapının pencere düzeni, kalın kargir duvar dokusu ile iç mekânın aydınlatma gereksinimi arasında dengeli bir ilişki kuran temel mimari unsurlardan biridir. Harimin aydınlatılması, cephelerde altı üstlü konumlandırılmış iki sıra pencere sistemi ile sağlanmıştır (Görsel 12). Alt sıra pencereler, düşey dikdörtgen formlu ve görece geniş açıklıklara sahip olup iç mekânın ana doğal ışık kaynağını oluşturmaktadır. Bu pencerelerde kullanılan ahşap doğramalar, bölgenin geleneksel konut mimarisinde yaygın olarak görülen kayıtlı sistemle benzerlik göstermektedir. Üst sıra pencereler ise daha küçük ölçekli ve yuvarlak kemerli formlarda tasarlanmış olup, tavana yakın konumları sayesinde mekâna üst seviyeden kontrollü bir ışık girişi sağlamaktadır.



Görsel 12. Pencere düzeni

Ovacık kırsalındaki diğer camilerle karşılaştırıldığında, yapı genel plan şeması, malzeme kullanımı ve mekânsal organizasyon açısından bölgedeki geleneksel cami tipolojisi ile benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, cephelerinde taş duvarın açık bir şekilde görülebilmesi ve ahşap tavan işçiliği bakımından daha nitelikli bir uygulama sergilemekte ve bu yönüyle benzer örnekler arasında öne çıkmaktadır.

3. SONUÇ

Ahmetler Köyü Tahsin Camisi, plan şeması, malzeme kullanımı ve mekânsal organizasyon açısından Ovacık kırsalındaki geleneksel cami tipolojisi ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bölgedeki diğer örneklerde olduğu gibi, yığma taş duvarlar ve ahşap üst örtü sisteminin birlikte kullanıldığı yapı, yerel inşa kültürünün karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Ayrıca cephelerinde taş dokunun açık bir biçimde izlenebilmesi ve harim tavanındaki işçilik kalitesi, yapıyı benzer örnekler arasında daha nitelikli bir uygulama olarak öne çıkarmaktadır.

Yapının geçirdiği fiziksel değişimler incelendiğinde, 1974 yılında eklenen minare ile sonraki dönemde inşa edilen rüzgârlık bölümünün, caminin özgün kütle bütünlüğünde değişime neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu müdahaleler sonucunda minare yapıyla bütünleşik bir görünüm kazanmıştır. İç mekânda görülen dikdörtgen tavanın kademeli geçişlerle kare forma dönüştürülmesi ve merkezde oluşturulan ışınsal göbek düzeni, bölge mimarisinde ahşap malzemenin hem yapısal hem de estetik açıdan etkin biçimde kullanıldığını ortaya koymaktadır.

Tahsin Camisi, Ovacık kırsalındaki camilerle genel plan, malzeme ve mekânsal organizasyon açısından benzerlik gösterirken; özellikle ahşap tavan işçiliği ve mimari detaylarıyla özgün bir değer taşımaktadır. Yapı, Ovacık kırsal cami mimarisinin anlaşılmasına katkı sağlamakta ve yerel yapım geleneğini temsil eden önemli bir örnek olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- Acar, T. (2020). Eskigediz (Kütahya) İsabey Camii. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(75), 1461–1474.
- Arık, R. (1973). *Batılılaşma dönemi Türk mimarîsi örneklerinden Anadolu'da üç ahşap cami*. Ankara Üniversitesi Basımevi.
- Aslanapa, O. (2007). *Anadolu'da ilk Türk mimarîsi başlangıç ve gelişmesi*. Atatürk Kültür Merkezi Yayınları.
- Atıcı, A. (2024). Söke Kızılkırlar Köyü Camisi. *Anasay*, 29, 131–151.
- Ayverdi, E. H. (1989). *İstanbul mimârî çağının menşe'i Osmanlı mimarisinin ilk devri 630–805 (1230–1402)*. İstanbul Fetih Cem'iyeti İstanbul Enstitüsü.
- ÇEKÜL. (2012). *Anadolu'da kırsal mimarlık*. ÇEKÜL Vakfı -Bursa Büyükşehir Belediyesi- Tarihi Kentler Birliği.
- Çetin, E. (2026). *Karabük ili Ovacık ilçesi kırsal mimarisinin sürdürülebilirlik bağlamında irdelenmesi*, (Yüksek lisans tezi), Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Gündoğdu, O. (2024). Geleneğin devamı: Çorum/Bayat'ta çantı tekniğinde inşa edilmiş camiler. *İstem*, 43, 381–406. <https://doi.org/10.31591/istem.1458936>
- Hanoğlu, C., & Saka Akın, E. (2022). Yozgat ili Boğazlıyan ilçesinde bulunan ahşap direkli ve tavanlı camiler. *Yozgat Arkeoloji ve Sanat Tarihi*, 1, 135–169.
- Karpuz, H. (1989). Doğu Karadeniz bölgesinde bazı ahşap camiler. *Sanat Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 2(4), 37–45.

- Koçyiğit, F. (2019). Amasya’da ahşap tavanlı iki cami örneği: Şıhlar ve Kızılıklıslacık köyü camileri. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(2), 1641–1658.
- Mısırlı, A. (2022). Zonguldak/Çaycuma’da çantı tekniğinde inşa edilmiş bir cami: Akçahatipler Köyü Cami. *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 26, 55–70. <https://doi.org/10.22520/tubaked2022.26.003>
- Özcan Balkır, B. (2019). Çankırı İnaç Köyü eski camisi ve alçı minberi. *Akademik Hassasiyetler*, 6, 55–83.

SİPAHİLER KÖYÜ BELEN MAHALLESİ (KARABÜK) GELENEKSEL KONUTLARI: ÖZMENLER EVİ ÖRNEĞİ

Y. Mimar Büşra ARSLAN

Karabük University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture, Department of Architecture,
78600 Safranbolu, Karabük

ORCID ID: 0000-0002-6224-6079

Öğr. Gör. Dr. Elif ÇETİN

Karabük University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture, Department of Architecture,
78600 Safranbolu, Karabük

ORCID ID: 0000-0003-2037-9807

ÖZET

Geleneksel konutlar, bulundukları çevrenin iklimsel, topoğrafik ve kültürel koşullarına bağlı olarak biçimlenen ve yerel yaşam pratiklerini mekâna yansıtan önemli mimari örneklerdir. Yerel malzeme kullanımı ve işlevsel mekân düzenleri ile öne çıkan bu yapılar, zaman içinde oluşan deneyimin bir ürünü olarak yalın ve uyumlu çözümler sunmaktadır. Günümüzde ise değişen yaşam koşulları ve kırsal alanlardaki dönüşüm süreci, bu yapıların özgün niteliklerinin giderek zayıflamasına yol açmaktadır. Bu durum, kırsal mimari içerisinde önemli bir yer tutan geleneksel konutların belgelenmesini ve mimari özelliklerinin anlaşılmasını gerekli kılmaktadır. Karabük iline bağlı Sipahiler köyü Belen Mahallesi'nde yer alan Özmenler Evi, mahallede yaygın olarak görülen konut özelliklerini yansıtan bir örnek olarak ele alınmıştır. Yapıya ilişkin elde edilen veriler üzerinden plan düzeni, mekânsal kurgu ve kullanım biçimleri değerlendirilmiş; yapının katlar arası ilişkisi ve işlevsel dağılımı ortaya konulmuştur. Ayrıca yapımda kullanılan malzeme tercihleri ve yapım anlayışı incelenerek yapının genel karakteri belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler, yapının yalnızca fiziksel özelliklerini değil, aynı zamanda yerel yaşamla kurduğu ilişkiyi de ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, Özmenler Evi'nin Belen Mahallesi'ndeki geleneksel konutların mekânsal ve yapısal özelliklerini yansıtan temsili bir örnek olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede çalışma, yerel ölçekte kırsal mimari içinde gelişen geleneksel konut tipolojisinin anlaşılmasına katkı sunmakta ve benzer yerleşimlerde yapılacak incelemeler için karşılaştırmalı bir zemin oluşturmaktadır. Ayrıca, bu tür yapıların belgelenmesine yönelik çalışmaların artırılmasının, geleneksel mimari mirasın sürekliliği açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kırsal mimari, Geleneksel konut, mekânsal kurgu, Sipahiler köyü, Belen Mahallesi

SİPAHILER VILLAGE BELEN NEIGHBORHOOD (KARABÜK) TRADITIONAL HOUSES: THE CASE OF OZMENLER HOUSE

ABSTRACT

Traditional houses are significant architectural examples shaped by the climatic, topographical, and cultural conditions of their environment, reflecting local ways of life in spatial form. Characterized by the use of local materials and functional spatial arrangements, these structures offer simple and harmonious solutions developed through accumulated experience over time. However, changing living conditions and the ongoing transformation of rural areas have led to the gradual deterioration of their original characteristics. This situation necessitates the documentation of traditional houses, which hold an important place within rural architecture, and the examination of their architectural features.

Ozmenler House, located in the Belen Neighborhood of Sipahiler village in Karabuk, is examined as a representative example reflecting the commonly observed housing characteristics in the settlement. Based on the data obtained, the plan layout, spatial configuration, and patterns of use were evaluated, and the relationships between floors as well as the functional distribution of spaces were analyzed. In addition, the material preferences and construction techniques were investigated to determine the overall character of the building. These evaluations reveal not only the physical properties of the structure but also its relationship with local life. The findings indicate that Ozmenler House represents the spatial and structural characteristics of traditional houses in the Belen Neighborhood. In this context, the study contributes to understanding the typology of traditional houses developed within the framework of rural architecture at a local scale and provides a comparative basis for future studies in similar settlements. Furthermore, it is considered that increasing documentation studies of such structures is essential for the continuity of traditional architectural heritage.

Keywords: Rural architecture, traditional house, spatial organization, Sipahiler village, Belen Neighborhood

1. GİRİŞ

Geleneksel konutlar, süreç içerisinde bulundukları coğrafyanın iklimi, kültürü ve doğal çevresi gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak gelişim göstermiş ve bu doğrultuda farklı tipolojik özellikler ortaya koymuştur (Eldem, 1968). Bu çeşitlenme, özellikle kırsal yerleşmelerde daha belirgin biçimde gözlemlenmekte; köye özgü konutlar topoğrafya, iklim, yerel malzeme olanakları ve kırsal yaşamın gerektirdiği işlevler doğrultusunda şekillenmektedir. Bu yapılar aynı zamanda ekonomik koşullar, yapım teknikleri ve kültürel birikimin yalın ve doğrudan bir yansıması olarak değerlendirilmektedir (Akgün vd., 2023).

Kırsal mimari, bulunduğu bölgenin fiziksel ve kültürel özelliklerine bağlı olarak gelişen, yerel ihtiyaçlara cevap veren bir yapı üretim anlayışını ifade etmektedir. Bu bağlamda kırsal mimari yapılar, insan ile doğal çevre arasındaki ilişkinin somut örneklerini sunmakta; çoğunlukla yerel ustalar tarafından, deneyime dayalı birikimle inşa edilmektedir. Zaman içinde değişim gösteren bu yapı geleneği, durağan olmayan ve bulunduğu çevreyle uyum içerisinde gelişen bir karakter taşımaktadır. Yapı tipleri ve adlandırmaları yöresel farklılıklar gösterebilmekte; iklim koşulları, coğrafi özellikler, gelenek ve görenekler ile üretim ve tüketim biçimleri bu yapıların biçimlenmesinde belirleyici olmaktadır. Bu doğrultuda, mekânsal düzenlemelerde işlevsellik ön planda tutulmakta ve yapılar kullanıcıların yaşam biçimlerine göre şekillenmektedir (ÇEKÜL Vakfı, 2012; Muşkara, 2017).

Geleneksel yapılar, bulundukları çevrenin iklimsel koşullarına uyum sağlayacak şekilde, çoğunlukla yerel malzemeler kullanılarak inşa edilmekte; bu yönüyle sağlıklı ve sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Enerji kullanımına ilişkin verimli yaklaşımlar içeren bu yapılar, günümüz sürdürülebilir mimarlık anlayışı açısından da önemli bir referans niteliği taşımaktadır. Ancak yerel iş gücü ve geleneksel yapım tekniklerine dayalı bu üretim anlayışı, özellikle sanayi devrimi ile hız kazanan makineleşme süreci sonrasında önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Üretim standartlarında ve yaşam normlarında yaşanan değişimler, inşaat sektörü de dâhil olmak üzere birçok alanda sosyal, ekonomik ve çevresel farklılaşmaları beraberinde getirmiştir (Gökçek ve Ustaömeroğlu, 2025; Karahan, 2017).

Bu dönüşümün en önemli sonuçlarından biri, kırsal yerleşmelerde gözlemlenen nüfus azalması ve yapıların terk edilmesidir. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren hızlanan kırdan kente göç, geleneksel konut dokusunun korunmasını zorlaştırmakta; birçok kırsal mahallede yapılar bakımsızlık nedeniyle zamanla harabeye dönüşmektedir. Bu durum, kırsal mimari mirasın giderek yok olma riskiyle karşı karşıya olduğunu göstermektedir (Akgün vd., 2023; Kaya ve Bideci, 2024). Bu süreçte şekillenen geleneksel Türk evi, Osmanlı İmparatorluğu'nun geniş coğrafyasında Balkanlar'dan Anadolu'ya uzanan farklı bölgelerde gelişmiş ve zamanla belirgin bir konut geleneği hâline gelmiştir (Karabulut, 2020). Bu konut tipi, Orta Asya'dan taşınan kültürel birikim ile Anadolu'nun yerel koşullarının etkileşimi sonucunda oluşmuş; farklı dönemlerde değişen ihtiyaçlara bağlı olarak çeşitlenmiştir. Plan düzenindeki farklılaşmalar incelendiğinde, bu yapıların çeşitli tipolojik şemalar doğrultusunda geliştiği

ve zamanla farklı plan düzenleri ortaya koyduğu anlaşılmaktadır (Gögebakan, 2015; Atık, 2011; Aksoy, 2003).

Bu çalışma, Karabük iline bağlı Sipahiler köyü Belen Mahallesi'nde yer alan geleneksel konut dokusunu ele almakta ve mahallede yaygın olarak gözlemlenen konut tipolojisini temsil eden bir örnek yapı üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, iki katlı olarak inşa edilmiş, zemin katında ahır ve üst katında konut işlevi bulunan Özmenler Evi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışmanın temel amacı, söz konusu yapı üzerinden Belen Mahallesi'ndeki geleneksel konutların mekânsal ve mimari özelliklerinin ortaya konulmasıdır. Bu doğrultuda elde edilecek bulguların, Sipahiler köyü ve yakın çevresindeki kırsal mimari mirasın belgelenmesine katkı sunması ve benzer yerleşimlerde yürütülecek koruma çalışmalarına veri sağlaması hedeflenmektedir.

2. YÖNTEM

Bu araştırma, nitel yaklaşım çerçevesinde ele alınmış olup, Karabük ili Sipahiler köyü Belen Mahallesi'nde yer alan Özmenler Evi örneği üzerinden yürütülmüştür. Çalışma kapsamında yapı, sahada gerçekleştirilen incelemeler doğrultusunda değerlendirilmiş ve görsel kayıt altına alınmıştır. Yapının mekânsal düzeni, kullanım ilişkileri ve genel özellikleri, yerinde yapılan incelemeler üzerinden incelenmiştir. Araştırma sürecinde ayrıca yapı üzerinde rölöve çalışması gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda kat planları oluşturulmuştur. Elde edilen veriler üzerinden yapının plan şeması ve mekânsal kurgusu değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, yapının malzeme özellikleri ve yapım teknikleri incelenerek mevcut durumu ortaya konulmuştur. Çalışma alanında yer alan diğer geleneksel konut örnekleri de gözlemlenmiş ve incelenen yapının bu bağlamdaki yeri tipolojik açıdan değerlendirilmiştir. Araştırma sürecinde elde edilen bulgular, konuya ilişkin literatür bilgileri ile birlikte ele alınarak yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

Araştırma kapsamında elde edilen veriler, Sipahiler köyünün doğa ile uyumlu geliştiğini ortaya koymaktadır. Karabük iline bağlı olan Keltepe Dağı'nda konumlanan köy, coğrafi özelliklerinin belirleyici olduğu bir yerleşim düzenine sahiptir. Şehir merkezine yaklaşık 22 km uzaklıkta olan Sipahiler köyü; Merkez, Güneyveren ve Belen olmak üzere üç mahalleden oluşmaktadır.

Yerinde yapılan gözlemler ve kullanıcılarla gerçekleştirilen görüşmeler doğrultusunda, köyün geçmişe ait izler taşıdığı belirlenmiştir. Köy sınırları içerisinde yer alan çeşitli arkeolojik kalıntılar ve yapı elemanları, bölgenin kültürel değişikliklere ev sahipliği yaptığını göstermektedir. Bu köyde yer alan Belen Mahallesi ise, geleneksel konut dokusunun belirgin biçimde izlenebildiği yerleşimlerden biri olup, bu yerleşimde bulunan Özmenler evi, çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır.

3.1. Sipahiler Köyü Belen Mahallesi

Sipahiler köyüne bağlı Belen Mahallesi, kırsal yerleşim karakterini büyük ölçüde koruyan ve doğal çevre ile uyumlu biçimde gelişmiş bir yerleşim dokusuna sahiptir. Yerleşimin biçimlenmesinde topografyanın belirleyici iken, yapılar eğimli araziye uyum sağlayacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Sipahiler köyü Belen Mahallesi görünümü

Mahallede bulunan cami ve çeşme şeklindeki yapılar da yerleşim içerisinde önemli odak noktalarını oluşturmaktadır. Mahallede yer alan geleneksel konutlar ise; plan kurgusu, malzeme tercihleri ve yerleşim kararları açısından benzerlik göstermekte ve kırsal mimari kimliğin okunmasına imkân tanımaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Belen Mahallesi geleneksel konut örnekleri

Yerleşimdeki geleneksel konutlar genellikle iki katlı olup, zemin katları yığma taş, üst katları ise ahşap karkas sistem ile inşa edilmiştir. Zemin katların çoğunlukla ahır olarak kullanıldığı görülmektedir. Ahşap karkas sistemde dolgu malzemesi olarak taş tercih edilmiş; bazı örneklerde bu yüzeyler ahşap tahtalarla kaplanırken, bazılarında kerpiç esaslı sıva kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Sıvalı ve sıvasız geleneksel konut örnekleri

Bölgede ahşap malzemenin kolay temin edilebilir olması, yapı malzemesi kullanımını doğrudan etkilemiştir. Konutların kapı ve pencere doğramalarında da ahşap malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 4). Ayrıca, zemin ve tavan kaplamaları, çatı strüktürü ve merdivenler de ahşap malzemeden oluşturulmuştur. İç mekânda yer alan sedir, yüklük ve gusülhane gibi geleneksel donatı elemanlarında da ahşap malzeme kullanımı dikkat çekmektedir.



Şekil 4. Yapı genelinde ahşap malzeme kullanılan geleneksel konut örnekleri

Belen mahallesindeki geleneksel konutların üst örtüleri üç omuz veya kırma çatı şeklindedir. Üç omuz şeklindeki çatılarda kalkan duvar kısmı ahşapların dikey olarak yan yana çakılmasıyla oluşturulmuştur. Özgün çatı kaplama malzemesi olarak kiremit iken yapılan onarımlarda bazı konutlarda kiremitler kaldırılarak sac malzemeye kaplama yapıldığı görülmektedir.

Konutlarda özgün pencereler kanatlı pencere şeklindedir. Özellikle küçük boyutlu pencereler olmak üzere bazı örneklerde ahşap kapak uygulaması görülmektedir. Konutlara giriş kapıları da tek kanatlı ya da çift kanatlı ahşap kapı şeklindedir. Yerleşimdeki geleneksel konutlarda görülen bir diğer değişiklik ise ahşap kapı ve pencereler yerine PVC pencerelerin takılması ve çelik kapıların kullanılmasıdır (Şekil 5).



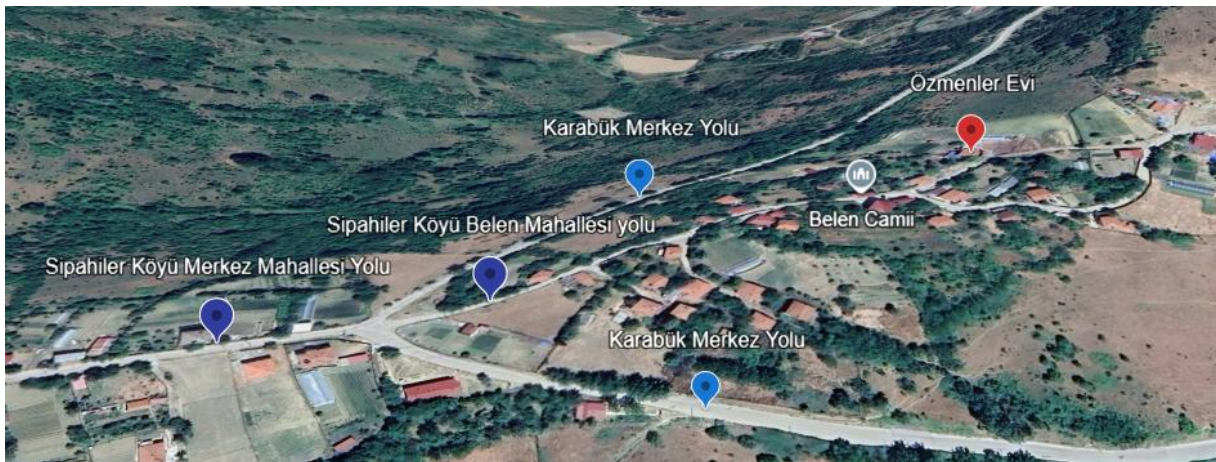
Şekil 5. Kapı ve penceresi değiştirilmiş geleneksel konut örnekleri

Yerleşim genelinde, çevresel koşullar ve kullanım ihtiyaçlarına bağlı olarak gelişmiş organik bir yapılaşma söz konusudur. Yapıların yol ile kurduğu doğrudan ilişki ve parsel içerisindeki açık alanlarla birlikte değerlendirilmesi, kırsal yerleşim anlayışının temel özelliklerini yansıtmaktadır. Belen Mahallesi'nde özgünlüğü koruyabilmiş geleneksel konut özelliği gösteren yapılarda yaşayan kişi sayısı oldukça azalmıştır. Genellikle köy halkı geleneksel konutları terk ederek yeni yaptıkları betonarme evlere taşınmış veya evlerinin yıkılmak üzere olan bölümlerini betonarme yapım sistemleri ile onarmışlardır. Bu kapsamda Özmenler evi içinde yaşamın devam ettiği ve özgünlüğünü kısmen koruyabilmiş sınırlı sayıdaki örneklerden bir tanesidir (Şekil 6).



Şekil 6. Özmenler Evi genel görünümü

Bu bağlamda incelenen Özmenler Evi (Şekil 3), Belen Mahallesi içerisinde yol ile doğrudan ilişki kurmakta ve çevresindeki yapılaşma ile birlikte değerlendirildiğinde yerleşim dokusunun karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Bununla birlikte, yapının mahalle içerisindeki konumu, ulaşım akslarına yakınlığı ve çevresindeki yapı birimleriyle kurduğu mekânsal ilişkiler üzerinden değerlendirildiğinde, yerleşim düzeninin tipik özelliklerini yansıtan bir örnek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Özmenler Evi'nin konumu (Google Earth (2026)'ten düzenlenmiştir)

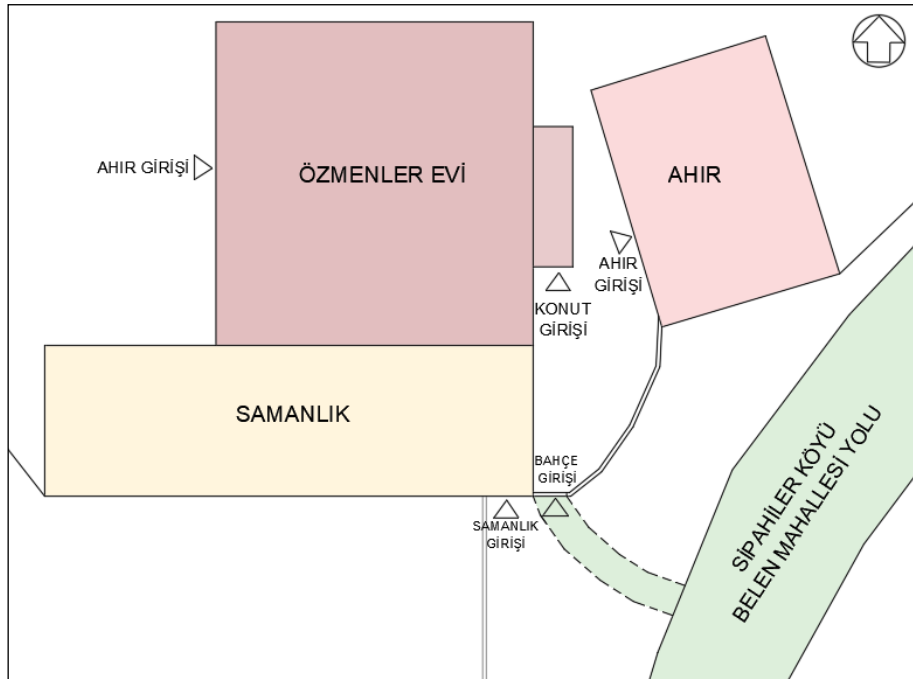
3.2. Plan Kurgusu ve Mekânsal Organizasyon

Özmenler Evi'nin arsa üzerindeki yerleşimine bakıldığında, konutun, ahır ve samanlık birimleri ile birlikte tasarlandığı görülmektedir. Bu birimler, aynı parsel içerisinde konumlandırılmış olup, işleve bağlı olarak yerleştirilmiştir (Şekil 8).



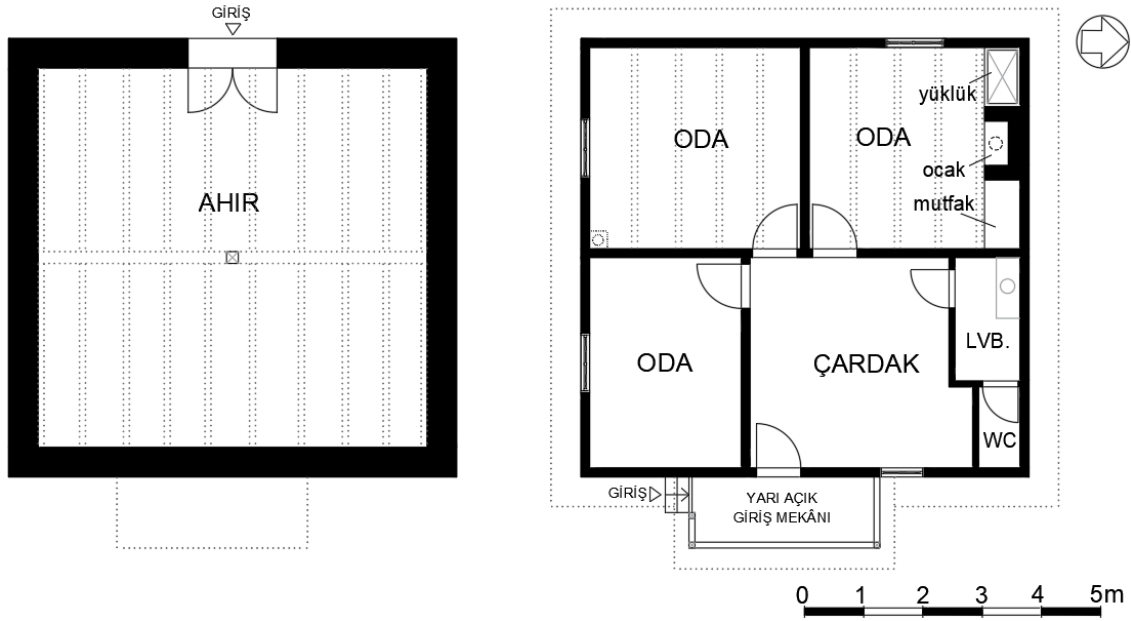
Şekil 8. Özmenler evi samanlık ve ahır görünümü

Yapı, yol ile doğrudan ilişki kurmakta ve farklı işlevlere yönelik girişler ayrı bir şekilde tanımlanmaktadır. Bu mekânsal yerleşim, üretim ve yaşam alanlarının işleve bağlı olarak ele alındığını ortaya koymaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Özmenler Evi vaziyet planı

Yapı sahiplerinin hayvancılıkla uğraştıkları göz önünde bulundurulduğunda, ahır birimleri hem yapı içerisinde hem de bahçede bağımsız bir mekân olarak tasarlanmıştır. Özmenler Evi yalnızca barınma amacı taşımamakta, aynı zamanda üretime bağlı bir yaşam şeklini yansıtmaktadır. Yapının zemin katı ise günümüzde tamamen ahır işleviyle kullanılmaktadır (Şekil 10).



Zemin kat planı

Birinci kat planı

Şekil 10. Özmenler Evi kat planları

Yapının üst katında yer alan konut mekânları (Şekil 10), geleneksel konut plan kurgusuna uygun biçimde çardak etrafında şekillenen bir düzen göstermektedir. Sipahiler köyü ve çevresinde sofaya çardak adı verilmektedir. Çardak, mekânlar arası ilişkiyi kuran ve dolaşımı yönlendiren merkezî bir alan olarak öne çıkmakta; odalar ise çardağa açılmaktadır. Bununla birlikte, odalar, farklı kullanım ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde düzenlenmiş olup, bazı mekânlarda ocak ve yüklük gibi sabit elemanlar bulunmaktadır. Yüklüklerden biri güncel kullanım doğrultusunda mutfak tezgâhına dönüştürüldüğü belirlenirken, benzer dönüşümlerin mahalledeki diğer konutlarda da görüldüğü ve bu durumun geleneksel mekânların güncel ihtiyaçlara uyarlanmasına yönelik yaygın bir kullanım pratiğini yansıttığı anlaşılmaktadır. Islak hacimler çardak ile ilişkili bir şekilde çözülürken, bahçeden konuta geçiş yarı açık bir mekân üzerinden sağlanmıştır.

3.3. Mekânsal İlişkiler ve Kullanım Özellikleri

Özmenler Evi'nde mekânsal kullanım, geleneksel konut düzeninin güncel yaşam pratikleri doğrultusunda yeniden yorumlandığını göstermektedir. Yapının üst katında yer alan konut biriminde, mekânların özgün işlevlerinin büyük ölçüde korunmakla birlikte, kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak çeşitli dönüşümlere uğradığı görülmektedir.

Bu bağlamda, odalarda yer alan yüklük elemanlarının yalnızca depolama amacıyla kullanılmadığı, bazı örneklerde farklı işlevler üstlendiği anlaşılmaktadır. İncelenen yapıda, yüklüklerden birinin orijinal işlevi ile kullanılmaya devam ettiği, diğerinin ise mutfak tezgâhı olarak düzenlendiği görülmektedir (Şekil 11).



Yüklük örneği

Ocak örneği

Yüklüğün mutfak işlevi

Islak hacim girişi

Şekil 11. Özmenler Evi iç mekân görünümü

Bu tür konut içi işlev değişiklikleri, mahalledeki diğer konutlarda da benzer şekilde gözlemlenmekte ve geleneksel plan kurgusunun esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Yapı içerisinde yer alan ocak elemanı, mekânın ısınma ve yemek hazırlama işlevlerini bir arada karşılayan geleneksel bir unsur olarak varlığını sürdürmektedir. Ocak çevresinde oluşan kullanım alanı, mekânın günlük yaşam içerisindeki önemini koruyarak bir odak noktası olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, ocak çevresinde gözlenen düzenlemeler ve ek kullanımlar, mekânın zaman içerisinde değişen ihtiyaçlara göre uyarlanmıştır.

Islak hacimlere doğrudan çardaktan geçiş sağlanmaktadır (Şekil 11). Geleneksel konutlarda çoğunlukla yapı dışında çözümlenen ıslak hacimlerin, iç mekâna dahil edilmesi, yaşam koşullarındaki değişimin mekânsal yansımalarından biri olarak değerlendirilebilir. Özmenler Evi'nde mekânsal kullanım büyük ölçüde geleneksel plan kurgusuna bağlı kalmış, ancak belirli mekânlarda kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik sınırlı düzenlemeler yapılmıştır. Bu bağlamda, yapının özgün karakterini koruyarak güncel yaşam koşullarına uyum sağlayabildiğini söylemek mümkündür.

3.4. Yapım Sistemi ve Malzeme Özellikleri

Özmenler Evi'nin zemin katın yığma taş duvar sistemi ile inşa edilirken, birinci katta ahşap karkas sistem uygulanmıştır. İç mekânlarda tavan düzeni incelendiğinde ise ahşap taşıyıcı elemanlar her mekânda aynı biçimde ele alınmamıştır. Bazı odalarda kirişler doğrudan algılanabilir durumda bırakılırken, bazı mekânlarda kirişlerin altı kapatılmıştır. Bununla birlikte, çardaktaki tavan kaplaması doğal renginde bırakılırken, odalardaki ahşap kirişler ve kaplamalar yeşil ve beyaz tonlarına boyanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Özmenler Evi iç mekân tavan kirişi ve kaplama örnekleri

Kapı ve pencere açıklıklarında da benzer bir çeşitlilik söz konusudur. Yapıda hem tek kanatlı hem de çift kanatlı ahşap doğramalar kullanılmıştır. Çatı sistemine bakıldığında ise üç omuzlu çatı sistemi kullanılmış olup, kaplama malzemesi olarak kiremit uygulanmıştır. Özmenler Evi'nin yapım sistemi, yerel malzeme kullanımı, farklı tekniklerin birlikte değerlendirilmesi ve zaman içerisinde oluşan ve kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak yapıya zarar vermeyen müdahalelerle şekillenen bir yapı anlayışına sahiptir.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Karabük ili Sipahiler köyü Belen Mahallesi'nde yer alan Özmenler Evi üzerinden geleneksel konutların mekânsal ve yapısal özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yapının üretim ve barınma işlevlerini birlikte ele alan bir yaşam biçiminin mekâna yansıması olduğunu ortaya koymaktadır. Konut, ahır ve samanlık birimlerinin aynı parsel içerisinde, işlevlerine göre ayrılarak konumlanması, yaşam düzeninin mekânsal organizasyona doğrudan yansıdığını göstermektedir. Plan kurgusunda, zemin katın üretime, üst katın ise yaşam alanlarına ayrılmasıyla işlevsel bir katmanlaşma oluşturulmuştur. Üst katta çardak etrafında gelişen düzen, mekânlar arası ilişkiyi kuran temel bir organizasyon şeması sunmakta; odaların çardağa açılması ise kullanım sürekliliğini desteklemektedir.

Yapıda gözlenen mekânsal düzenlemeler, mevcut plan kurgusunun korunarak belirli ihtiyaçlara göre yeniden yorumlandığını göstermektedir. Özellikle yüklüğün mutfak tezgâhı olarak kullanılması ve ıslak hacimlerin iç mekâna dahil edilmesi gibi uygulamalar, geleneksel mekânların tamamen dönüştürülmeden güncel kullanım biçimlerine uyarlanabildiğini ortaya koymaktadır. Yapım sistemi açısından değerlendirildiğinde ise, zemin katta taş yığma, üst katta ahşap karkas sistemin birlikte kullanılması, geleneksel yapım tekniklerinin kırsal mimarideki yerini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen Özmenler Evi, Belen Mahallesi'nde yaygın olarak görülen geleneksel konut tipinin mekânsal düzeni, kullanım biçimleri ve yapım özellikleri hakkında somut veriler sunmaktadır. Yapı üzerinden elde edilen bulgular, yerel konut anlayışının nasıl şekillendiğini ortaya koyarken, benzer yerleşimlerde gerçekleştirilecek çalışmalar için karşılaştırmalı bir değerlendirme zemini oluşturmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yerel ölçekte geleneksel konutların yalnızca fiziksel özelliklerini değil, aynı zamanda kullanım biçimleriyle birlikte nasıl sürdürüldüğünü ortaya koyan bir örnek sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akgün, B., Gökuç, Y. T., & Kabakoğlu, A. D. (2023). Burhaniye Çallı kırsal mahallesindeki mimari dokunun ve geleneksel konutların belgelenmesi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 10(99), 2471–2483.
- Aksoy, D. S. (2003). *Geleneksel ahşap karkas yapıların deprem davranışları* (Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Atık, D. (2011). *Geleneksel konut alanlarındaki fiziksel ve sosyo-kültürel değişimlerin saptanmasına yönelik bir model önerisi: Edirne kenti örneği* (Doktora tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- ÇEKÜL Vakfı. (2012). *Anadolu'da kırsal mimarlık*. ÇEKÜL Vakfı Yayınları.
- Eldem, S. H. (1968). *Türk evi plan tipleri* (2. baskı). İTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları.
- Google Earth. (2026). *Google*. Google Earth
- Göğebakan, Y. (2015). Karakteristik bir değer olan geleneksel Türk evi'nin oluşumunu belirleyen unsurlar ve bu evlerin genel özellikleri. *İnönü Üniversitesi Kültür ve Sanat Dergisi*, 1(1), 46–56.
- Gökçek, N., & Ustaömeroğlu, A. A. (2025). Geleneksel konut sürdürülebilirlik ilişkisi: Sürmene Aksu köyü örneği. *Mimarlık ve Yaşam*, 10(3), 597–626.

- Karabulut Ay, K. (2021). *Sivas'ta geleneksel konut mimarisi* (Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Karahan, E. E. (2017). Geleneksel ve günümüz konutunda sürdürülebilirlik ve yaşam alışkanlıkları: Osmaneli örneği. *Megaron*, 12(3), 497–510.
- Kaya, S., & Bideci, A. (2024). Geleneksel konut mimarisi: Düzce Derdin köyü incelemesi. *Tykhe Sanat ve Tasarım Dergisi*, 9(17), 341–360.
- Muşkara, Ü. (2017). Kırsal ölçekte geleneksel konut mimarisinin korunması ve özgünlük. *Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, (37), 437–448.

ELEKTRİKLİ VE OTONOM ARAÇLARDA KULLANICI DENEYİMİ, GÜVEN VE İNSAN- MAKİNE ETKİLEŞİMİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Başak AĞCA

Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Industrial Design,
06500 Yenimahalle/Ankara

ORCID ID: 0009-0008-3226-8120

Prof. Dr. Serkan GÜNEŞ

Gazi University, Faculty of Architecture, Department of Industrial Design, 06570 Çankaya/ANKARA

ORCID ID: 0000-0003-4377-528X

ÖZET

Elektrikli araç teknolojilerindeki hızlı gelişim, otomotiv sektöründe kullanıcı deneyimi, güven algısı ve insan-makine etkileşimi açısından yeni araştırma alanları ortaya çıkarmaktadır. Elektrikli araçlar, kullanıcı ile araç arasındaki ilişkiyi yalnızca mekanik bir sürüş deneyimi olmaktan çıkarak; dijital arayüzler, şarj altyapısı, menzil planlaması, mobil uygulamalar ve sürüş destek sistemleriyle birlikte daha karmaşık ve çok katmanlı bir deneyim alanına dönüştürmektedir. Bununla birlikte mevcut çalışmaların önemli bir bölümü teknik performans, batarya kapasitesi, şarj altyapısı ve enerji verimliliği gibi konulara odaklanmakta; kullanıcıların algıları, güven beklentileri, kontrol ihtiyacı ve gündelik kullanım pratikleri özellikle farklı kullanıcı grupları üzerinden yeterince karşılaştırmalı biçimde ele alınmamaktadır.

Bu çalışma, elektrikli araç kullanıcıları, elektrikli araç satın almayı düşünen ancak kararsız olan kullanıcılar ve elektrikli araç satın almayı düşünmeyen kullanıcılar olmak üzere üç farklı kullanıcı grubunun deneyim, beklenti ve kaygılarını karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında toplam 30 katılımcı ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde kullanıcı deneyimi, güven algısı, kontrol ihtiyacı, sistemin anlaşılabilirliği, şarj ve menzil deneyimi ile otonom/yarı otonom sürüş destek sistemlerine yönelik değerlendirmeler temel tema alanları olarak ele alınmıştır.

Bulgular, şarj ve menzil konularının yalnızca teknik performans ya da altyapı sorunu olarak değil, kullanıcıların gündelik yaşam düzeni, zaman yönetimi, rota planlama davranışları ve güven hissiyle doğrudan ilişkili bir deneyim alanı olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Elektrikli araç sahibi kullanıcılar şarj ve menzil konularını çoğunlukla öğrenilebilir ve yönetilebilir bir planlama pratiği olarak görürken, kararsız kullanıcılar için bu konular satın alma kararını erteleyen önemli eşikler olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar açısından ise menzil, şarj, acil durum senaryoları ve alışkanlıkların değişmesi, elektrikli araçlara yönelik direnç oluşturan temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Araştırma ayrıca, kullanıcıların elektrikli ve otonom/yarı otonom araç teknolojilerine yönelik güveninin yalnızca teknik özelliklerle değil, sistemin ne kadar anlaşılır, öngörülebilir ve kontrol edilebilir olduğu ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcılar, dijitalleşmiş araç sistemlerini çoğu zaman öğrenilmesi gereken yeni bir kullanım düzeni olarak değerlendirmekte; özellikle ekranlar, fiziksel kontroller, uyarılar, geri bildirim mekanizmaları ve sürüş destek sistemleri bağlamında güven ve kontrol hissinin önemini vurgulamaktadır. Otonom sürüş teknolojilerine yönelik değerlendirmelerin ise büyük ölçüde doğrudan deneyimden çok beklenti, risk algısı ve güven düzeyi üzerinden şekillendiği görülmektedir.

Sonuç olarak, elektrikli ve otonom/yarı otonom araçlara geçiş süreci yalnızca teknolojik bir dönüşüm olarak değil; kullanıcıların alışkanlıkları, güven beklentileri, kontrol ihtiyaçları, gündelik yaşam

pratikleri ve sistemle kurdukları etkileşim biçimleri üzerinden şekillenen çok katmanlı bir adaptasyon süreci olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışma, elektrikli araç kabulünün anlaşılmasında yalnızca mevcut kullanıcı deneyimlerinin değil, kararsız ve direnç gösteren kullanıcı gruplarının algı ve kaygılarının da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araçlar, otonom araçlar, kullanıcı deneyimi, insan-makine etkileşimi, kullanıcı algısı, güven, kontrol

A COMPARATIVE ANALYSIS OF USER EXPERIENCE, TRUST, AND HUMAN–MACHINE INTERACTION IN ELECTRIC AND AUTONOMOUS VEHICLES

ABSTRACT

The rapid development of electric vehicle technologies has introduced new research areas in the automotive sector, particularly in relation to user experience, trust perception, and human–machine interaction. Electric vehicles transform the relationship between the user and the vehicle from a merely mechanical driving experience into a more complex and multi-layered experiential field involving digital interfaces, charging infrastructure, range planning, mobile applications, and driver assistance systems. However, a significant portion of existing studies focuses on technical performance, battery capacity, charging infrastructure, and energy efficiency, while users' perceptions, trust expectations, need for control, and everyday usage practices have not been sufficiently examined from a comparative perspective across different user groups.

This study aims to comparatively examine the experiences, expectations, and concerns of three distinct user groups: electric vehicle users, users who are considering purchasing an electric vehicle but remain hesitant, and users who do not consider purchasing an electric vehicle. Within the scope of the research, semi-structured interviews were conducted with a total of 30 participants, and the collected data were evaluated using thematic analysis. In the analysis process, user experience, trust perception, need for control, system comprehensibility, charging and range experience, and evaluations of autonomous/semi-autonomous driving support systems were addressed as the main thematic areas.

The findings indicate that charging and range are not perceived merely as issues of technical performance or infrastructure, but rather as experiential dimensions directly related to users' daily routines, time management, route-planning behaviors, and sense of trust. While electric vehicle users mostly regard charging and range as a learnable and manageable planning practice, these issues emerge as important thresholds that delay the purchase decision for hesitant users. For users who do not consider purchasing an electric vehicle, range, charging, emergency scenarios, and changes in established habits constitute key factors contributing to resistance toward electric vehicles.

The study also reveals that users' trust in electric and autonomous/semi-autonomous vehicle technologies is shaped not only by technical specifications, but also by the extent to which the system is perceived as understandable, predictable, and controllable. Participants often evaluate digitalized vehicle systems as a new usage order that needs to be learned, emphasizing the importance of trust and control particularly in relation to screens, physical controls, warnings, feedback mechanisms, and driver assistance systems. Evaluations of autonomous driving technologies, on the other hand, appear to be shaped largely by expectations, risk perception, and trust levels rather than direct experience.

Overall, the transition to electric and autonomous/semi-autonomous vehicles should be understood not merely as a technological transformation, but as a multi-layered adaptation process shaped by users' habits, trust expectations, need for control, everyday practices, and modes of interaction with the system. This study highlights that understanding electric vehicle adoption requires attention not only to the experiences of current users, but also to the perceptions and concerns of hesitant and resistant user groups.

Keywords: Electric vehicles, user experience, human–machine interaction, trust perception, control, charging experience, range anxiety, autonomous driving support systems.

1. GİRİŞ

Elektrikli ve otonom araç teknolojileri, otomotiv dünyasında yalnızca motor ya da sürüş sistemlerinin değişmesiyle sınırlı kalmayan, kullanıcıların günlük hayatını da etkileyen büyük bir dönüşüm yaratmaktadır. Elektrikli araçlarda enerji kaynağının değişmesi; şarj etme, menzil takibi, rota planlaması, enerji tüketimini izleme ve dijital servislerle etkileşim gibi yeni kullanım alışkanlıklarını beraberinde getirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Global EV Outlook 2024 raporu, elektrikli mobilitenin gelişiminin yalnızca araç satışlarıyla değil; şarj altyapısı, batarya talebi, ekonomik erişilebilirlik ve politika çerçeveleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (International Energy Agency [IEA], 2024a). Bu nedenle elektrikli araç deneyimi, yalnızca aracın teknik performansı üzerinden değil, araç dışı altyapı, dijital servisler ve gündelik kullanım koşullarıyla birlikte ele alınmalıdır.

Elektrikli araç kullanıcı deneyiminde şarj ve menzil konuları önemli bir yer tutmaktadır. Şarj altyapısının yaygınlığı, erişilebilirliği ve kullanım kolaylığı, elektrikli araçların gündelik yaşama entegrasyonunda belirleyici bir faktör olarak değerlendirilmektedir (IEA, 2024b). Menzil kaygısı ise kullanıcının mevcut batarya kapasitesiyle hedef noktasına veya bir sonraki şarj noktasına ulaşamama endişesi olarak tanımlanabilir. Ancak bu kaygı yalnızca mesafe ile ilişkili değildir; şarj süresi, bekleme ihtimali, istasyon erişimi, yol koşulları ve zaman baskısı gibi değişkenlerle birlikte deneyimlenmektedir. Wang et al. (2023), bataryalı elektrikli araç kullanıcılarında yalnızca gidilecek mesafenin değil, şarj veya bekleme için harcanacak zamanın da kaygı üzerinde etkili olabildiğini belirtmektedir. Bu bağlamda şarj ve menzil deneyimi, teknik bir kapasite sorunu olmanın ötesinde, kullanıcının günlük yaşamını planlama biçimini etkileyen bir kullanıcı deneyimi problemi olarak ele alınmalıdır.

Elektrikli araçlarla birlikte araç içi dijitalleşme de kullanıcı deneyiminin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Büyük ekranlar, dokunmatik kontroller, mobil uygulamalar, yazılım güncellemeleri, uyarı sistemleri ve gelişmiş sürücü destek sistemleri (Advanced Driver Assistance Systems [ADAS]), sürücü ile araç arasındaki etkileşimi daha yoğun ve çok katmanlı bir yapıya dönüştürmektedir. İnsan-makine etkileşimi (Human-Machine Interaction [HMI]) bu noktada yalnızca ekran tasarımı veya bilgi sunumu olarak değil, aracın durumunu kullanıcıya açıklama, sürüş sırasında bilişsel yükü azaltma, güven hissini destekleme ve gerektiğinde kullanıcının kontrolü devralabilmesini sağlama açısından kritik hale gelmektedir. Mandujano-Granillo et al. (2024), otonom elektrikli araçlarda HMI'nin güvenlik, konfor, sistem durumunu aktarma ve kullanıcıyla iletişim kurma açısından önemli bir rol üstlendiğini vurgulamaktadır.

Otonom ve yarı otonom sürüş destek sistemlerinde ise kullanıcıların güven ve kontrol algısı ön plana çıkmaktadır. SAE J3016 standardı, sürüş otomasyon sistemlerini Seviye 0'dan Seviye 5'e kadar sınıflandırarak araç, sürücü ve otomasyon sistemi arasındaki görev ve sorumluluk paylaşımını tanımlamaktadır (SAE International, 2021). Bu sınıflandırma, kullanıcıların otonom sistemleri değerlendirirken yalnızca sistemin teknik kapasitesine değil; sistemin hangi koşullarda devrede olduğuna, sürücünün ne zaman müdahale etmesi gerektiğine ve sistem davranışının kullanıcı tarafından ne ölçüde anlaşılabilirliğine de odaklanması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışma, elektrikli araçlar ve otonom/yarı otonom sürüş destek sistemlerine yönelik kullanıcı deneyimini üç farklı kullanıcı grubu üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında elektrikli araç sahibi kullanıcılar, elektrikli araç almayı düşünen ancak kararsız kullanıcılar ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılarla gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler analiz edilmiştir. Bu grupta, elektrikli araç deneyiminin yalnızca mevcut kullanıcı memnuniyeti üzerinden değil; potansiyel kullanıcıların karar eşikleri ve reddeden kullanıcıların risk, güven ve alışkanlık temelli gerekçeleri üzerinden de değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Araştırmanın temel amacı, kullanıcıların elektrikli ve otonom/yarı otonom araç teknolojilerine yönelik deneyimlerini; şarj ve menzil kaygısı, güven algısı, risk değerlendirmesi, ilk kullanım deneyimi ve insan-makine etkileşimi bağlamında analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda çalışma, yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen verileri tematik kodlama yöntemiyle değerlendirmekte ve

elde edilen bulguları frekans analizi ve grup bazlı karşılaştırmalar yoluyla yorumlamaktadır. Bu bağlamda çalışmanın özgün katkısı, elektrikli araç deneyimini yalnızca mevcut kullanıcı memnuniyeti üzerinden değil, aynı zamanda potansiyel kullanıcıların karar eşikleri ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcıların direnç gerekçeleri üzerinden karşılaştırmalı olarak ele almasıdır. Böylece şarj, menzil, güven, kontrol ve HMI temaları, farklı kabul düzeylerine sahip kullanıcı grupları arasında nasıl değiştiği açısından değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada şu araştırma sorularına yanıt aranmıştır:

1. Elektrikli araçlara yönelik kullanıcı algısı, elektrikli araç sahibi kullanıcılar, kararsız kullanıcılar ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar arasında nasıl farklılaşmaktadır?
2. Şarj, menzil, uzun yol ve acil durum kaygıları kullanıcı deneyimini ve elektrikli araç kabulünü nasıl etkilemektedir?
3. İnsan-makine etkileşimi bağlamında ekranlar, fiziksel kontroller, uyarılar ve geri bildirim mekanizmaları kullanıcılar tarafından nasıl değerlendirilmektedir?
4. Güven, risk ve kontrol algısı elektrikli araçlar ve otonom/yarı otonom sürüş destek sistemlerine yönelik tutumu nasıl şekillendirmektedir?

Çalışmanın kapsamı, yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen kullanıcı verilerinin tematik ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmesiyle sınırlıdır. Bu doğrultuda çalışma, elektrikli ve otonom/yarı otonom araç deneyiminde öne çıkan kullanıcı algılarını, güven ve risk temalarını, şarj ve menzil kaygılarını ve insan-makine etkileşimiyle ilişkili temel bulguları ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Araştırma tasarımı

Bu çalışma, elektrikli araçlar ve otonom/yarı otonom sürüş destek sistemlerine yönelik kullanıcı deneyimi, güven algısı ve insan-makine etkileşimi boyutlarını incelemek amacıyla nitel araştırma yaklaşımıyla tasarlanmıştır. Araştırmada yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, katılımcıların belirli tema alanları çerçevesinde yönlendirilmesini sağlarken, aynı zamanda kişisel deneyimlerini, kaygılarını ve beklentilerini ayrıntılı biçimde ifade etmelerine olanak sağlamıştır (Kallio et al., 2016).

Çalışma, üç farklı kullanıcı grubunu karşılaştırmalı olarak ele almaktadır. Bu sayede elektrikli araç deneyimi yalnızca mevcut kullanıcıların deneyimleri üzerinden değil, aynı zamanda potansiyel kullanıcıların kararsız kalma alanları ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcıların direnç gerekçeleri üzerinden de değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde temel amaç, kullanıcı grupları arasındaki tema yoğunluklarını ve veri ilişkilerini görünür kılmaktır.

2.2. Katılımcılar ve örneklem

Araştırmanın örneklemi toplam 30 katılımcıdan oluşmaktadır. Katılımcılar, elektrikli araçla kurdukları ilişki düzeyine göre amaçlı örnekleme yaklaşımıyla belirlenmiştir. Bu doğrultuda mevcut elektrikli araç kullanıcıları, elektrikli araç satın almayı düşünen ancak kararsız olan kullanıcılar ve elektrikli araç satın almayı düşünmeyen kullanıcılar araştırmaya dahil edilmiştir (Tablo 1). Katılımcılar elektrikli araçla kurdukları ilişkiye göre üç gruba ayrılmıştır: elektrikli araç sahibi kullanıcılar, elektrikli araç almayı düşünen ancak kararsız kullanıcılar ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar. Katılımcılar analiz sürecinde P1–P30 şeklinde kodlanarak anonimleştirilmiştir.

Tablo 1. Katılımcı gruplarının dağılımı

Grup	Tanım	Katılımcı Sayısı
Grup A	Elektrikli araç sahibi kullanıcılar	15
Grup B	Elektrikli araç almayı düşünen ancak kararsız kullanıcılar	8
Grup C	Elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar	7
Toplam		30

Katılımcı profili kapsamında yaş, meslek, araç kullanma deneyimi, elektrikli araç deneyim süresi, hanedeki araç sayısı ve mevcut araç tipi gibi veriler kaydedilmiştir. Bu bilgiler, görüşmelerden elde edilen temaların grup bazlı olarak yorumlanmasında destekleyici değişkenler olarak kullanılmıştır.

2.3. Veri toplama süreci

Veriler, yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Görüşmeler yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla gerçekleştirilmiş, her görüşme yaklaşık 30-40 dakika sürmüştür. Katılımcıların onayı alınarak görüşme notları tutulmuş, ses kaydı alınmış ve veriler analiz öncesinde yazılı forma aktarılmıştır. Görüşme formu, elektrikli araç algısı, şarj ve menzil deneyimi, ilk kullanım, insan-makine etkileşimi, risk ve güven algısı ile otonom/yarı otonom sistemlere yaklaşım gibi ana tema alanları etrafında kurgulanmıştır. Sorular, katılımcıların yalnızca genel görüşlerini değil, belirli kullanım anlarını, karar süreçlerini ve deneyim temelli değerlendirmelerini ortaya çıkarmayı hedeflemiştir. Katılımcılara araştırmanın amacı açıklanmış, gönüllü katılım esas alınmış ve kişisel bilgiler anonimleştirilmiştir. Görüşme formunun ana tema alanları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Görüşme formunun ana tema alanları

Tema Alanı	İçerik
Katılımcı profili	Yaş, meslek, araç deneyimi, elektrikli araç deneyimi
Elektrikli araç algısı	Ekonomi, teknoloji, konfor, performans, bilinmezlik
Şarj ve menzil	Şarj planlama, menzil, uzun yol, acil durum
İlk kullanım	Sessizlik, hızlanma, çalışma belirsizliği, öğrenme
HMI	Ekran, fiziksel kontrol, uyarı, geri bildirim
Risk ve güven	Batarya, yangın, yazılım, kontrol kaybı, içten yanmalı araç güveni
Otonom sistemler	ADAS, güven, müdahale, sistem davranışı

2.4. Veri analizi

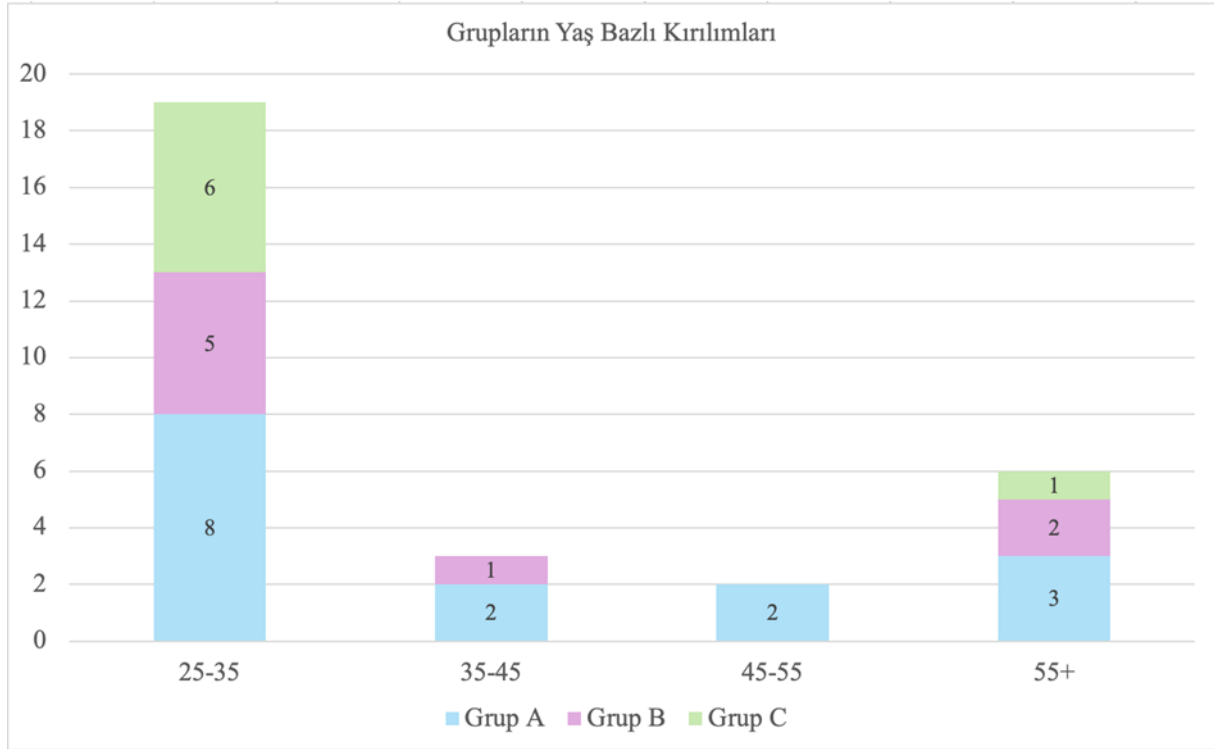
Analiz süreci Braun ve Clarke’ın (2006) tematik analiz yaklaşımı doğrultusunda yürütülmüştür. İlk aşamada görüşme verileri tekrar okunarak anlamlı ifadeler kodlanmış, ardından benzer kodlar tema kümeleri altında birleştirilmiştir. Kodlar araştırma soruları doğrultusunda şarj ve menzil, güven, kontrol algısı, HMI, alışkanlık ve otonom sistemlere yaklaşım başlıkları altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu doğrultuda elektrikli araç sahibi kullanıcılar, kararsız kullanıcılar ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar arasında öne çıkan deneyim, güven, şarj/menzil ve HMI temaları karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Bulgular bölümünde sunulan grafikler, görüşmelerden elde edilen temaların grup bazlı dağılımını ve veri setindeki genel görünürlüğünü özetlemek amacıyla kullanılmıştır. Bulgular bölümünde yer alan frekans tablolarında verilen değerler, ilgili temanın en az bir kez dile getirildiği katılımcı sayısını göstermektedir. Bu nedenle değerler nicel genelleme amacı taşımamakta, nitel veri setindeki tema görünürlüğünü ve gruplar arası karşılaştırmalı örüntüleri desteklemek amacıyla kullanılmaktadır.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Katılımcı profili ve örneklem yapısı

Araştırmanın örneklemini 30 katılımcıdan oluşmaktadır. Katılımcılar elektrikli araçla kurdukları ilişkiye göre üç gruba ayrılmıştır: Grup A elektrikli araç sahibi kullanıcıları, Grup B elektrikli araç almayı düşünen ancak kararsız kullanıcıları, Grup C ise elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcıları temsil etmektedir. Bu yapı, elektrikli araç deneyiminin yalnızca mevcut kullanıcılar üzerinden değil, potansiyel ve direnç gösteren kullanıcı grupları üzerinden de karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 1. Katılımcıların yaş gruplarına göre dağılımı

Şekil 1’de görüldüğü üzere örneklemin 15’i Grup A, 8’i Grup B ve 7’si Grup C katılımcılarından oluşmaktadır. Bu dağılım, elektrikli araçlara yönelik deneyim sonrası olumlu algıların, karar sürecindeki belirsizliklerin ve reddetme gerekçelerinin aynı çalışma içinde karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır. Grup A mevcut kullanıcı deneyimini; Grup B satın alma kararını etkileyen eşikleri; Grup C ise risk, güven, alışkanlık ve kontrol temelli direnç alanlarını görünür kılmaktadır. Şekil 1, katılımcıların yaş gruplarına ve kullanıcı gruplarına göre dağılımını göstermektedir. Buna göre örnekleme 25–35 yaş aralığı belirgin biçimde yoğunlaşmakta; bu yaş grubunda Grup A’dan 8, Grup B’den 5 ve Grup C’den 6 katılımcı yer almaktadır. Bu durum, örneklemin daha genç ve teknolojiye görece açık bir kullanıcı profiline ağırlık verdiğini göstermektedir.

Katılımcıların yaş dağılımı incelendiğinde, 25–35 yaş aralığının örneklem içinde belirgin biçimde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yaş grubunda 19 katılımcı yer alırken, 35–45 yaş aralığında 3 katılımcı, 45–55 yaş aralığında 2 katılımcı, 55 yaş ve üzeri grupta ise 6 katılımcı bulunmaktadır. Bu dağılım, dijital arayüzlere uyum, teknolojiye açıklık ve elektrikli araçlara yönelik yenilik algısının yorumlanmasında dikkate alınması gereken bir örneklem özelliğidir. Bununla birlikte 55 yaş ve üzeri katılımcıların da örnekleme yer alması, güven, alışkanlık ve kontrol hissi gibi temaların farklı kullanıcı deneyimleri üzerinden değerlendirilmesini mümkün kılmıştır.

3.2. Elektrikli araç algısının grup bazlı değişimi

Elektrikli araçlara yönelik kullanıcı algısı, katılımcıların araçla kurdukları ilişkiye göre belirgin biçimde farklılaşmaktadır. Bu bölümde elektrikli araç algısı; ekonomi, teknoloji, konfor, performans, bilinmezlik ve alışkanlık temaları üzerinden değerlendirilmiştir. Grafikte yer alan tema dağılımları, ilgili konuların her kullanıcı grubunda ne ölçüde öne çıktığını göstermektedir.

Tablo 3. Elektrikli araç algısının grup bazlı tema dağılımı

Tema	Grup A	Grup B	Grup C
Ekonomi	Yüksek	Orta	Düşük
Teknoloji	Yüksek	Orta	Düşük
Konfor	Yüksek	Orta	Düşük
Performans	Orta	Yüksek	Düşük
Bilinmezlik	Orta	Orta	Yüksek
Alışkanlık	Düşük	Orta	Yüksek

Tablo 3'te görüldüğü üzere Grup A'da elektrikli araç algısı büyük ölçüde olumlu deneyim temaları üzerinden şekillenmektedir. Bu grupta ekonomi, konfor ve teknoloji temaları belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Bu sonuç, elektrikli araç sahibi kullanıcıların elektrikli araç deneyimini düşük kullanım maliyeti, sessiz ve konforlu sürüş, teknolojik yenilik ve günlük kullanım kolaylığı üzerinden olumlu değerlendirdiğini göstermektedir. Grup A'da bilinmezlik ve alışkanlık temalarının daha sınırlı kalması, doğrudan kullanıcı deneyiminin bazı başlangıç kaygılarını azalttığını düşündürmektedir.

Grup B'de daha ikili bir algı yapısı görülmektedir. Bu grupta performans, ekonomi ve teknoloji temaları olumlu algıyı desteklerken, bilinmezlik teması da belirgin biçimde varlığını sürdürmektedir. Bu durum, elektrikli araç almayı düşünen ancak kararsız olan kullanıcıların elektrikli araçları performans, teknoloji ve ekonomik avantaj açısından çekici bulduğunu; ancak altyapı, kullanım pratiği ve gelecek belirsizliği nedeniyle kararlarını ertelediğini göstermektedir. Bu grupta olumlu algılar mevcuttur, fakat bu olumlu algılar satın alma kararı için tek başına yeterli değildir.

Grup C'de ise elektrikli araç algısı daha çok bilinmezlik ve alışkanlık temaları üzerinden kurulmaktadır. Bu grupta alışkanlık ve bilinmezlik temaları en baskın alanlar olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık ekonomi, konfor ve teknoloji temalarının daha sınırlı görünmesi, elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcıların elektrikli araçları ekonomik veya konforlu bir alternatif olarak değil; mevcut araç kullanım alışkanlıklarını değiştiren, belirsizlik içeren ve güven gerektiren bir sistem olarak değerlendirdiğini göstermektedir.

Bu bulgular, elektrikli araç algısının homojen olmadığını ortaya koymaktadır. Aynı teknoloji, mevcut kullanıcılar için ekonomik ve konforlu bir deneyim alanı oluştururken; kararsız kullanıcılar için potansiyel faydalar ile belirsizlikler arasında konumlanmakta, reddeden kullanıcılar için ise alışkanlık ve güven hissini zorlayan bir mobilite alternatifi olarak anlam kazanmaktadır. Dolayısıyla elektrikli araç kabulü yalnızca teknolojiye açıklıkla değil; kullanım deneyimi, güven, alışkanlık ve gündelik yaşam koşullarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

3.3. Şarj, menzil ve uzun yol kaygısı

Şarj ve menzil temaları, tüm veri setinde en yüksek yoğunluğa sahip kullanıcı deneyimi alanları arasında yer almaktadır. Görüşmeler, şarj ve menzil kaygısının yalnızca teknik bir kapasite veya altyapı problemi olmadığını; kullanıcıların zaman yönetimini, rota planlamasını, uzun yol davranışını ve güven algısını doğrudan etkileyen çok boyutlu bir deneyim unsuru olduğunu göstermektedir.

Tablo 4'e göre menzil kaygısı, uzun yol menzil kaygısı ve şarj planlama zorunluluğu tüm veri setinde en sık tekrar eden temalar arasında yer almaktadır. Şarj süresi, acil durum kaygısı, şarj uygulamalarıyla

ilişkili zorluklar ve şarj sırası/yoğunluğu da kullanıcı deneyimini etkileyen diğer önemli başlıklar olarak görülmektedir. Bu dağılım, elektrikli araç deneyiminde en baskın problem alanlarının menzil, uzun yol ve şarj planlama etrafında toplandığını göstermektedir.

Tablo 4, şarj ve menzil temalarının yalnızca toplam görünürlüğünü değil, kullanıcı grupları arasındaki dağılımını da göstermektedir. Menzil kaygısı ve uzun yol menzil kaygısı Grup B ve Grup C katılımcılarının tamamında görülürken, Grup A’da da 15 katılımcının 13’ü tarafından dile getirilmiştir. Bu durum, elektrikli araç sahibi kullanıcıların deneyim kazansa bile menzil ve uzun yol konularını tamamen gündem dışı bırakmadığını; ancak bu temaların özellikle kararsız ve reddeden kullanıcı gruplarında daha güçlü bir karar eşiğine dönüştüğünü göstermektedir. Şarj planlama zorunluluğu ise Grup A’da 14, Grup B’de 7 ve Grup C’de 7 katılımcı tarafından ifade edilmiştir. Bu bulgu, şarj planlamasının yalnızca elektrikli araç kullanmayan gruplar için bir varsayım veya önyargı olmadığını; mevcut kullanıcıların da gündelik kullanımda bu planlama pratiğiyle karşılaştığını göstermektedir.

Tablo 4. Şarj ve menzil temalarının grup bazlı dağılımı

Tema	Grup A (n=15)	Grup B (n=8)	Grup C (n=7)	Toplam	Grup A (%)	Grup B (%)	Grup C (%)
Menzil kaygısı	13	8	7	28	87%	100%	100%
Uzun yol menzil kaygısı	13	8	7	28	87%	100%	100%
Şarj planlama zorunluluğu	14	7	7	28	93%	88%	100%
Şarj süresi	6	8	7	21	40%	100%	100%
Acil durum kaygısı	5	5	7	17	33%	63%	100%
Şarj uygulaması	9	3	2	14	60%	38%	29%
Şarj sırası / yoğunluğu	2	3	3	8	13%	38%	43%

Katılımcı ifadeleri, menzil kaygısının yalnızca “aracın kaç kilometre gidebildiği” sorusuyla sınırlı olmadığını göstermektedir. Kullanıcılar menzili; şarj istasyonu bulma, istasyonda bekleme, farklı uygulamalarla işlem yapma, güzergâh planlama, hava ve hız koşulları ile beklenmedik durumlarda aracın hazır olup olmamasıyla birlikte değerlendirmektedir. Bu nedenle şarj ve menzil deneyimi, teknik bir batarya kapasitesi konusundan çok, kullanıcının günlük yaşam esnekliği ve güven hissiyle ilişkilidir.

Katılımcı İfadesi: “Hayatımda bu rutine yer vermek istemiyorum. Bu konuda planlama yapma düşüncesi bile beni strese sokuyor.” (P19, Grup C)

Katılımcı İfadesi: “Beni elektrikli araç almaya ikna edebilecek tek senaryo, menzillerin uzaması ve şarj istasyonları tüm rotalarda yaygınlaşmasıdır. Menzil bence en az 800 km olmalı.” (P3, Grup B)

Tablo 5. Şarj ve menzil temalarının grup bazlı yoğunluk düzeyi

Tema	Grup A	Grup B	Grup C
Şarj planlama	Orta	Yüksek	Yüksek
Menzil kaygısı	Orta	Yüksek	Yüksek

Uzun yol menzili	Orta	Yüksek	Yüksek
Hava / hız etkisi	Orta	Düşük	Yüksek
Acil durum	Düşük	Orta	Yüksek
Şarj sırası	Düşük	Orta	Düşük

Tablo 5, şarj ve menzil temalarının gruplar arasında farklı anlamlar kazandığını göstermektedir. Grup A'da şarj planlama, menzil kaygısı ve uzun yol temaları görünür olmakla birlikte, bu konular daha çok deneyimle öğrenilen ve yönetilebilir hale gelen bir planlama pratiği olarak değerlendirilmektedir. Bu grupta acil durum kaygısının diğer gruplara göre daha sınırlı kalması, kullanıcı deneyiminin bazı belirsizlikleri azalttığını düşündürmektedir.

Grup B'de menzil kaygısı, uzun yol menzil kaygısı ve şarj planlama zorunluluğu belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Bu sonuç, kararsız kullanıcıların elektrikli araca yönelik çekincelerinin büyük ölçüde şarj ve menzil ekseninde şekillendiğini göstermektedir. Bu kullanıcılar elektrikli araçları performans, teknoloji ve ekonomi açısından olumlu değerlendirebilse de uzun yol ve şarj altyapısı satın alma kararını erteleyen temel eşikler olarak kalmaktadır.

Grup C'de şarj planlama, menzil kaygısı ve acil durum kaygısı en baskın temalar arasında yer almaktadır. Uzun yol menzil kaygısı ile hava ve hız koşullarına bağlı menzil düşüşü de bu grupta belirgin biçimde vurgulanmıştır. Bu bulgu, elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar için şarj ve menzil konularının yalnızca kararsızlık değil, doğrudan reddetme gerekçesi olduğunu göstermektedir. Özellikle acil durum ve plansız kullanım senaryoları, bu grupta elektrikli araçların güvenilir bir ulaşım aracı olarak algılanmasını zorlaştırmaktadır.

Bu bölümdeki bulgular, şarj ve menzil kaygısının tüm gruplarda ortak bir tema olduğunu, ancak bu temanın grup bazında farklı işlevler üstlendiğini göstermektedir. Grup A için yönetilebilir bir planlama pratiği olan şarj/menzil konusu, Grup B için satın alma kararını erteleyen bir belirsizlik alanı, Grup C için ise günlük yaşam rutini ve güven hissiyle çatışan temel bir reddetme gerekçesidir.

Bu bulgu, menzil kaygısının yalnızca batarya kapasitesiyle açıklanamayacağını, bekleme süresi, rota planlama, şarj altyapısına erişim ve zaman yönetimi gibi deneyimsel değişkenlerle birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Wang et al. (2023) tarafından vurgulanan mesafe ve bekleme süresinin birlikte kaygı oluşturduğu yönündeki bulgular, bu çalışmada özellikle Grup B ve Grup C katılımcılarının satın alma kararını erteleyen ya da reddetmeye yönelten gerekçeleriyle örtüşmektedir.

3.4. İnsan-makine etkileşimi, güven ve kontrol algısı

İnsan-makine etkileşimi (HMI), elektrikli ve otonom/yarı otonom araç deneyimini şekillendiren temel alanlardan biridir. Görüşmelerde katılımcılar araç içi ekranlar, fiziksel kontroller, mobil uygulamalar, uyarı sistemleri, geri bildirimler ve sürüş destek sistemleriyle kurdukları etkileşimi ayrıntılı biçimde değerlendirmiştir. Bu bulgular, elektrikli araç deneyiminin yalnızca sürüş veya enerji yönetimiyle değil, dijitalleşmiş bir etkileşim sistemine uyumla da ilişkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 6. HMI temalarının grup bazlı dağılımı

Tema	Grup A (n=15)	Grup B (n=8)	Grup C (n=7)	Toplam	Grup A (%)	Grup B (%)	Grup C (%)
Geri bildirim ihtiyacı	14	6	6	26	93%	75%	86%
Fiziksel kontrol ihtiyacı	14	2	6	22	93%	25%	86%
Dikkat dağıtma	9	3	6	18	60%	38%	86%
Karmaşık arayüz	9	3	4	16	60%	38%	57%
Uyarı fazlalığı	12	1	1	14	80%	13%	14%

Kılavuz ve eğitim ihtiyacı	11	3	0	14	73%	38%	0%
Uygulama bağımlılığı	8	3	2	13	53%	38%	29%

Tablo 6, HMI temalarının grup bazında farklılaştığını göstermektedir. Geri bildirim ihtiyacı Grup A’da 14, Grup B’de 6 ve Grup C’de 6 katılımcı tarafından dile getirilmiştir. Bu dağılım, sistemin ne yaptığı, hangi durumda olduğu ve kullanıcıdan ne beklediği bilgisinin tüm kullanıcı grupları için önemli olduğunu göstermektedir. Fiziksel kontrol ihtiyacı ise özellikle Grup A ve Grup C’de belirgindir. Grup A’da bu durum gerçek kullanım sırasında temel fonksiyonlara hızlı erişim beklentisiyle ilişkiliyken, Grup C’de daha çok kontrol hissini kaybetmeme ve dijitalleşmiş arayüzlere mesafeli durma eğilimiyle ilişkilendirilebilir. Uyarı fazlalığı ve kılavuz/eğitim ihtiyacı temalarının Grup A’da daha yüksek görünmesi ise bu konuların çoğunlukla doğrudan kullanım deneyimi sonrasında belirginleştiğini göstermektedir.

Bu dağılım, kullanıcıların dijitalleşmeye tamamen karşı olmadığını; ancak dijital sistemlerin anlaşılır, hızlı erişilebilir ve güven veren biçimde çalışmasını beklediğini göstermektedir. Katılımcılar özellikle klima, ses, cam buğu çözme, sürüş modu veya acil durumda ihtiyaç duyulan temel fonksiyonların yalnızca ekran katmanlarına bağlı olmasını dikkat dağıtıcı ve güven azaltıcı bulabilmektedir.

Katılımcı İfadesi: “Klima, koltuk uyarı, dörtlü yakılması gibi sık kullanılan etkileşimler tuşlu olsun isterdim.” (P8, Grup A)

Katılımcı İfadesi: “Aracın çalışıp çalışmadığını anlayamadım ilk başta.” (P9, Grup A)

Katılımcı İfadesi: “Asla tamamen güvenmiyorum, ayağım hep frende bekliyorum.” (P27, Grup A)

Katılımcı İfadesi: “Kontrolün bende olmadığını hissettiğim an bu fonksiyonları kullanmayı tercih etmem.” (P3, Grup B)

3.5. Grup bazlı genel değerlendirme

Bulgular bir arada değerlendirildiğinde, elektrikli araçlara yönelik kullanıcı tutumlarının üç farklı deneyim profili etrafında şekillendiği görülmektedir. Grup A, elektrikli araç deneyimini genel olarak ekonomi, konfor, sessizlik, teknoloji ve deneyim sonrası güven üzerinden olumlu değerlendirmektedir. Ancak bu olumlu deneyim, HMI, şarj ekosistemi ve uzun yol desteği gibi alanlarda iyileştirme beklentilerinin ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Grup A kullanıcıları, gerçek kullanım deneyimine sahip oldukları için arayüz, uyarı yoğunluğu, fiziksel kontrol, şarj uygulamaları ve uzun yol planlaması gibi konularda daha somut geri bildirimler sunmaktadır.

Grup B, elektrikli araçlara yönelik potansiyel kabulün bulunduğu ancak kararın henüz kesinleşmediği bir kullanıcı profili sunmaktadır. Bu gruptaki katılımcılar elektrikli araçları performans, teknoloji ve ekonomik kullanım açısından olumlu değerlendirebilmekte ancak menzil, şarj altyapısı, satış ihtimalinde ikinci el değeri, batarya ömrü, servis erişimi ve kontrol hissi gibi konularda çekincelerini sürdürmektedir. Bu nedenle Grup B, elektrikli araçlara karşı dirençli değil; daha çok koşulların olgunlaşmasını bekleyen dönüşebilir kullanıcı profili olarak değerlendirilebilir.

Grup C’nin reddetme gerekçeleri yalnızca teknik eksikliklerle sınırlı değildir. Kontrol kaybı, içten yanmalı araca duyulan güven, alışkanlık, acil durum kaygısı, batarya ve yazılım riskleri ile günlük rutinin bozulması gibi temalar birlikte çalışmaktadır. Bu nedenle Grup C için elektrikli araç, yalnızca yeni bir araç teknolojisi değil, mevcut güven, kontrol ve alışkanlık düzenini dönüştüren bir sistem olarak algılanmaktadır.

Bu karşılaştırmalı yapı, elektrikli ve otonom/yarı otonom araç deneyiminin yalnızca teknik performans veya ekonomik avantajlarla açıklanamayacağını göstermektedir. Kullanıcıların değerlendirmeleri; şarj ekosistemi, menzil güvencesi, uzun yol senaryoları, HMI anlaşılabilirliği, risk algısı ve kontrol hissiyle birlikte şekillenmektedir. Bu nedenle elektrikli araç deneyimi, araç içi özellikler kadar araç dışı altyapı, dijital servisler ve kullanıcı güveniyle ilişkili bütünsel bir kullanıcı deneyimi alanı olarak ele alınmalıdır.

Bu bulgular, menzil kaygısının yalnızca teknik bir kapasite sorunu olmadığını, zaman, bekleme, rota planlama ve belirsizlikle ilişkili çok boyutlu bir deneyim olduğunu vurgulayan çalışmalarla uyumludur. Benzer biçimde HMI bulguları, elektrikli ve yarı otonom araçlarda sistem durumunun anlaşılır biçimde aktarılmasının güven ve kontrol algısı açısından belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, söz konusu tartışmaya kullanıcı grupları arası karşılaştırmalı bir bakış eklemekte; aynı teknolojinin mevcut kullanıcılar, kararsız kullanıcılar ve reddeden kullanıcılar tarafından farklı anlamlandırıldığını ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, elektrikli araçlar ve otonom/yarı otonom sürüş teknolojilerine yönelik kullanıcı deneyimi, güven algısı ve insan-makine etkileşimi boyutlarını üç farklı kullanıcı grubu üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Elektrikli araç kullanıcıları, elektrikli araç almayı düşünen ancak kararsız kullanıcılar ve elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılarla gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler, kullanıcı algısının yalnızca teknik özellikler üzerinden değil; günlük kullanım alışkanlıkları, güven, kontrol hissi, şarj deneyimi ve sistem anlaşılabilirliği üzerinden şekillendiğini göstermektedir.

Araştırma bulgularına göre elektrikli araç kullanıcıları, araç deneyimini çoğunlukla konfor, sessizlik, ekonomik kullanım ve teknolojik yenilik üzerinden olumlu değerlendirmektedir. Buna karşılık, elektrikli araç satın alma konusunda kararsız olan kullanıcılar için menzil, uzun yol, şarj altyapısı, ikinci el değeri ve güven eşiği karar sürecini etkileyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar ise elektrikli araçları yalnızca teknik bir alternatif olarak değil; mevcut sürüş alışkanlıklarını, kontrol hissini ve güven algısını dönüştüren bir sistem olarak değerlendirmektedir.

Çalışmanın en belirgin bulgularından biri, şarj ve menzil konularının tüm kullanıcı gruplarında ortak bir tema olarak ortaya çıkmasıdır. Ancak bu temaların anlamı kullanıcı grubuna göre farklılaşmaktadır. Elektrikli araç kullanıcıları için şarj ve menzil çoğunlukla yönetilebilir bir planlama pratiğine dönüşürken, kararsız kullanıcılar için satın alma kararını erteleme bir belirsizlik alanı, elektrikli araç almayı düşünmeyen kullanıcılar için ise reddetme gerekçesi haline gelmektedir. Bu durum, şarj ve menzil deneyiminin yalnızca teknik bir performans meselesi değil, kullanıcıların günlük yaşam organizasyonu ve güven algısı ile ilişkili bir deneyim alanı olduğunu göstermektedir.

İnsan-makine etkileşimi açısından bulgular, kullanıcıların dijitalleşmeye tamamen karşı olmadığını; ancak dijital sistemlerin anlaşılır, öngörülebilir ve kontrol edilebilir olmasını beklediğini ortaya koymaktadır. Geri bildirim ihtiyacı, fiziksel kontrol beklentisi, uyarı yoğunluğu, ekran karmaşıklığı ve uygulama bağımlılığı, HMI deneyiminde öne çıkan başlıklar arasındadır. Özellikle otonom/yarı otonom sürüş teknolojilerine yönelik değerlendirmelerde kullanıcıların temel beklentisi, sistemin ne yaptığını anlayabilmek ve gerektiğinde kontrolü devralabileceğini hissetmektir.

Sonuç olarak elektrikli ve otonom araçlara geçiş süreci yalnızca teknolojik bir yenilenme olarak değil, kullanıcıların deneyimleri, alışkanlıkları, risk algıları ve güven beklentileri üzerinden şekillenen çok katmanlı bir adaptasyon süreci olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışma, elektrikli ve otonom/yarı otonom araçlara yönelik kullanıcı deneyiminin anlaşılmasında farklı kullanıcı gruplarının beklenti ve kaygılarının birlikte ele alınmasının önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, kullanıcı deneyimi araştırmalarında yalnızca mevcut kullanıcı memnuniyetine değil, kararsız ve direnç gösteren kullanıcı gruplarının algılarına da odaklanılması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın sınırlılığı, örneklemin 30 katılımcı ile sınırlı olması ve bulguların nitel görüşme verilerine dayanmasıdır. Ayrıca otonom/yarı otonom sistemlere ilişkin değerlendirmeler, katılımcıların doğrudan kullanıcı deneyimlerinden çok algı ve beklentilerine dayanmaktadır. Gelecek çalışmalarda daha geniş örneklemle nicel doğrulama yapılması, farklı yaş ve gelir gruplarının karşılaştırılması ve gerçek sürüş senaryolarında HMI deneyiminin gözlemlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- International Energy Agency. (2024a). Global EV Outlook 2024: Moving towards increased affordability. IEA.
- International Energy Agency. (2024b). Trends in electric vehicle charging. In Global EV Outlook 2024. IEA.
- Kallio H, Pietilä AM, Johnson M, Kangasniemi M. (2016). Systematic methodological review: Developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of Advanced Nursing* 72(12), 2954–2965.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.
- Mandujano-Granillo JA, Candela-Leal MO, Ortiz-Vazquez JJ, Ramirez-Moreno MA, Tudon-Martinez JC, Felix-Herran LC, Galvan-Galvan A, Lozoya-Santos J de J. (2024). Human-machine interfaces: A review for autonomous electric vehicles. *IEEE Access* 12, 121635–121658.
- SAE International. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. SAE Standard No. J3016_202104. SAE International.
- Shrestha S, Knez M, Zevnik GK, Obrecht M. (2022). Measures to resolve range anxiety in electric vehicle users. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 18, 118–129.
- Wang J, Huang C, He D, Tu R. (2023). Range anxiety among battery electric vehicle users: Both distance and waiting time matter. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 67(1), 1309–1315.

19. YÜZYIL AVRUPA RESMİNDE OSMANLI LİMAN İMGESİ: ANDERS ZORN ÖRNEĞİ

Ufuk ÇETİN

Tekirdağ Namık Kemal University, Çorlu Vocational School, Department of Crafts, 59860 Çorlu,
Tekirdağ

ORCID: 0000-0001-5102-8183

ÖZET

Bu çalışma, İsveçli ressam Anders Zorn'un *Turkish Boatman in the Constantinople Harbour* adlı eserini, 19. yüzyıl Avrupa resminde Osmanlı limanının temsili bağlamında değerlendirmektedir. Araştırma, Avrupa resminde İstanbul'un çoğunlukla egzotik ve romantize edilmiş bir Doğu mekânı olarak ele alınmasına karşın, Zorn'un gözleme dayalı resim anlayışıyla bu geleneğin hangi yönlerden dışına çıktığı sorusundan hareket etmektedir. Çalışmanın çıkış noktası, Oryantalizm literatüründe İstanbul tasvirlerinin çoğunlukla ideolojik temsil boyutuyla ele alınmasına rağmen, natüralist gözlem ve atmosfer etkisinin yeterince incelenmemiş olmasıdır. Bu yönüyle araştırma, Oryantalist temsil ile gerçekçi gözlem arasındaki geçiş alanına odaklanarak literatürdeki sınırlı çalışmalara katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın temel sorusu, Zorn'un Osmanlı liman yaşamını hangi görsel araçlarla yorumladığı ve bu yorumun dönemin Oryantalist resim anlayışından nasıl ayrıştığıdır. Bu kapsamda eser kompozisyon düzeni, ışık kullanımı, renk atmosferi, figür-mekân ilişkisi ve fırça tekniği açısından incelenmiştir.

Çalışmada görsel analiz ve biçim çözümlemesine dayalı bir araştırma yaklaşımı uygulanmıştır. Kayıkçı figürü, liman çevresi ve mekânsal kurgu üzerinden yapılan değerlendirmede, sanatçının Osmanlı İstanbul'unu teatral ve idealize edilmiş bir Doğu sahnesi olarak göstermek yerine gündelik yaşamın anlık görünümünü yansıttığı sonucuna ulaşılmıştır. Serbest fırça vuruşları ve ışığın yüzey etkisini öne çıkaran resim dili, eserin hem estetik hem de kültürel belge niteliği kazanmasını sağlamaktadır.

Çalışma, 19. yüzyıl Avrupa resminde Osmanlı liman imgesini yalnızca Oryantalist kalıplar üzerinden değil, gözlemci natüralist yaklaşım çerçevesinde yeniden değerlendirmesi bakımından alana özgün bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Anders Zorn, Oryantalizm, İstanbul, Liman Yaşamı, Natüralizm, 19. Yüzyıl Resmi.

THE OTTOMAN PORT IMAGE IN 19TH-CENTURY EUROPEAN PAINTING: THE EXAMPLE OF ANDERS ZORN

ABSTRACT

This study examines Anders Zorn's *Turkish Boatman in the Constantinople Harbour* within the context of Ottoman port representation in 19th-century European painting. The research is based on the question of how Zorn's observation-based pictorial approach diverges from the dominant tendency in European painting to depict Istanbul as an exoticized and romanticized Eastern setting. The study emerges from the observation that, although representations of Istanbul in Orientalist literature have largely been discussed through ideological frameworks, the roles of naturalistic observation and atmospheric effect have received comparatively limited attention. In this respect, the research aims to contribute to the literature by focusing on the transitional space between Orientalist representation and realist observation.

The main research question investigates which visual strategies Zorn employed in interpreting Ottoman port life and how this interpretation differs from the Orientalist painting tradition of the period.

Accordingly, the artwork is analyzed in terms of composition, use of light, atmospheric color, figure-space relationship, and brushwork technique.

The study adopts a qualitative research method and applies visual analysis together with formal analysis. Through an examination of the boatman figure, the port environment, and the spatial organization, the findings indicate that the artist avoided presenting Ottoman Istanbul as a theatrical and idealized Eastern spectacle; instead, he emphasized fleeting impressions of everyday life. His painterly language, characterized by loose brushstrokes and the reflective effects of light on surfaces, enables the work to function both as an aesthetic object and as a cultural representation.

The study offers an original contribution to the field by reconsidering the image of the Ottoman port in 19th-century European painting not solely through Orientalist conventions, but also within the framework of observational naturalism.

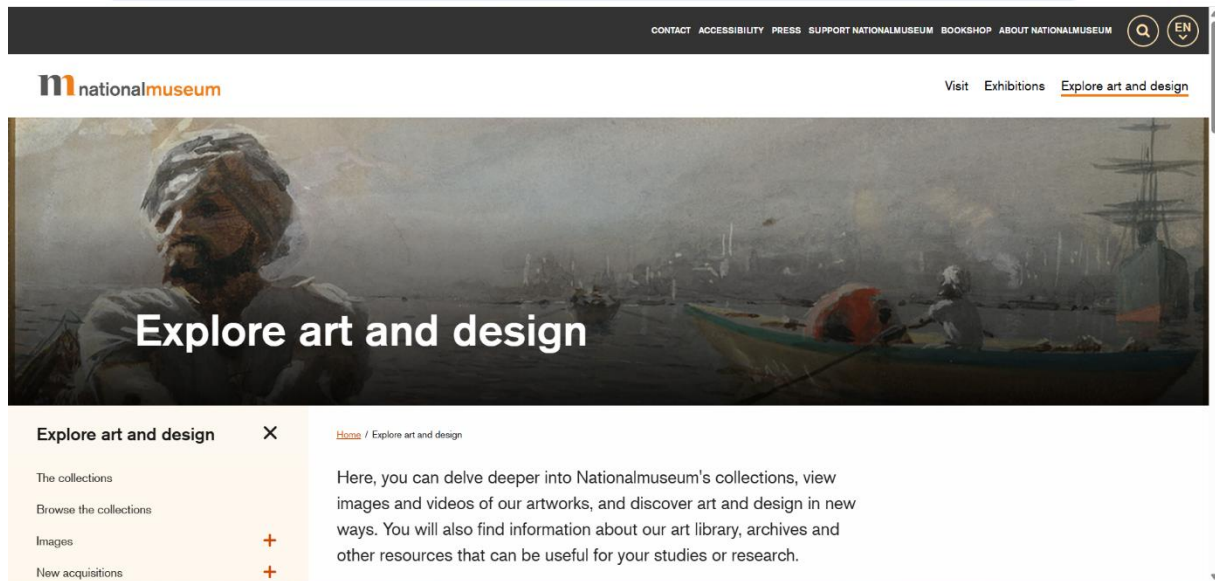
Keywords: Anders Zorn, Orientalism, Istanbul, Port Life, Naturalism, 19th-century Painting.

GİRİŞ

Anders Zorn, 19. yüzyıl sonu ile 20. yüzyıl başında Avrupa resminde hem teknik ustalığı hem de özgün tarzıyla öne çıkan önemli bir İsveçli sanatçıdır. Özellikle ışık, su yüzeyi ve hareketi gerçekçi aynı zamanda etkileyici biçimde yansıtabilmesi, onu döneminin diğer ressamlarından ayırır. Hızlı ve güçlü fırça çalışmalarıyla “anı yakalayan” bir anlatım geliştirmiş olması, sanatındaki dinamizmi artırır. Ayrıca uluslararası düzeyde tanınan portreleri sayesinde dönemin sosyal ve kültürel kişilerini belgeleyen önemli bir görsel arşiv oluşturmıştır.

Bu yönleriyle Zorn, hem teknik beceri hem de sanat tarihi açısından incelenmeye değer, etkili ve çok yönlü bir sanatçı olduğu için sempozyum konusu olarak seçilmiştir.

İngilizce ismi *Turkish Boatman in the Constantinople Harbour*, İsveççe adı *Turkisk båtman i Konstantinopels hamn* olan ve Türkçeye *İstanbul Limanı'nda Türk Kayıkçı* olarak çevrilen eser, (Görsel 1-5) ressamın öne çıkan yapıtlarından biri olup günümüzde İsveç Ulusal Müzesi'nde (*Svenska Nationalmuseum*) sergilenmektedir. Resim müzenin web sayfasında arama sayfasının fon bölümünde de kullanılmıştır (Görsel: 1).



Görsel 1: İsveçli ünlü ressam Anders Zorn'un İsveç Ulusal Müzesinde sergilenen “İstanbul limanında Türk kayıkçı” (*Turkisk båtman i Konstantinopels hamn*) isimli tablosu.1886, (açık erişim)

Resmin Alındığı Yer: <https://www.nationalmuseum.se/>

Anders Zorn, 1860 yılında İsveç'in Mora şehrinde doğmuş ve genç yaşlardan itibaren sanat yeteneğiyle dikkat çekmiştir. Stockholm'deki Kraliyet Güzel Sanatlar Akademisi'nde eğitim alan sanatçı, özellikle suluboya çalışmalarındaki başarısıyla tanınmaya başlamıştır. Eğitim sürecinde geliştirdiği teknik beceriler, ilerleyen yıllarda Avrupa sanat çevrelerinde kabul görmesini sağlamıştır (Asplund, 1921).

Zorn'un kariyeri yalnızca İsveç ile sınırlı kalmamış, sanatçı Avrupa ve Amerika'da da önemli bir ün kazanmıştır. Özellikle portre ressamı olarak büyük başarı elde eden Zorn, dönemin siyasetçilerini, aristokratlarını ve varlıklı kişilerini resmetmiştir. Eserlerinde ışık kullanımı ve insan tenini yansıtmadaki biçimi, onun teknik açıdan üstün bir ressam olarak değerlendirilmesine neden olmuştur (Boëthius, 1954).

Sanatçının eserlerinde İsveç kırsal yaşamının önemli bir yeri bulunmaktadır. Çocukluğunu geçirdiği Dalarna bölgesinin geleneksel yaşamını, doğasını ve günlük hayatını sıklıkla resimlerine yansıtmıştır. Özellikle göl kenarı sahneleri, yüzme figürleri ve açık hava kompozisyonları, Zorn'un doğaya olan ilgisini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle sanatçı, İsveç ulusal kimliğini sanat aracılığıyla görünür hâle getiren ressamlar arasında değerlendirilmiştir (Engström, 1932).

Zorn yalnızca yağlı boya çalışmalarıyla değil, gravür ve heykel alanındaki üretimleriyle de sanat dünyasında etkili olmuştur. Farklı tekniklerde çalışabilmesi, onun çok yönlü bir sanatçı olarak kabul edilmesini sağlamıştır. Günümüzde Anders Zorn, İskandinav sanat tarihinin en önemli isimlerinden biri olarak görülmekte ve eserleri dünyanın çeşitli müzelerinde sergilenmektedir (Cederlund et al., 2013).

Anders Zorn'un eserlerinin çoğu yaşadığı evin yanında, kendisi adına kurulan müzede sergilenmektedir. Zorn Müzesi, uluslararası bir kariyere imza atan ve döneminin en ünlü sanatçılarından biri hâline gelen ressam Anders Zorn'a adanmıştır (Görsel 2). Müze, sanatçının eserlerinin dünyadaki en büyük koleksiyonuna sahip olup suluboya, yağlı boya, heykel ve gravürlerinden oluşan seçkiler sürekli olarak sergilenmektedir. Müze yıl boyunca ziyarete açık olmakla birlikte yaz ve kış aylarında farklı temalarda geçici sergiler de düzenlenmektedir.



Görsel 2: Zorn müzesi (açık erişim)

Resmin Alındığı Yer: <https://www.visitdalarna.se/en/do/attractions/zorn-museum-world-class-art-museum>

Zorn Müzesi'nin yanında, Anders Zorn ve eşi Emma'nın kendileri için yaptırdıkları müstakil bir ev (Zorngården) bulunmaktadır (Görsel: 3). Evde, geçen yüzyılın başlarından kalma, dünyanın dört bir yanından sanat eserleriyle dolu olan, neredeyse hiç kullanılmamış bir iç mekân görülmektedir (Görsel: 4).



Görsel 3: Anders Zorn ve eşi Emma'nın kendileri için yaptırdıkları müstakil bir ev (Zorngården) (açık erişim)

Resmin Alındığı Yer: <https://www.visitdalarna.se/en/do/attractions/zorngarden>



Görsel 4: Müstakil evin içinden bir görünüm (açık erişim)

Resmin Alındığı Yer: <https://www.visitdalarna.se/en/do/attractions/zorngarden>

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

19.yüzyıl Avrupa resim sanatında Doğu temsilleri, yalnızca coğrafi bir merakın sonucu değil, aynı zamanda kültürel ve ideolojik bir oluşum sürecinin ürünü olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda Osmanlı İstanbul'u, Batı görsel kültüründe çoğunlukla egzotik, romantize edilmiş ve "ötekileştirilmiş bir mekân olarak kurgulanmıştır (Said, 1978). Bu temsil biçimi, yalnızca ikonografik seçimlerde değil, aynı zamanda mekânın düzenlenişi ve figürlerin sahneleme biçiminde de kendini göstermektedir.

Oryantalist resim geleneği üzerine yapılan çalışmalar, Doğu'nun Avrupa görsel kültürü içinde sabit ve doğal bir gerçeklikten çok tarihsel olarak tasarlanmış bir temsil alanı olarak üretildiğini göstermektedir. Bu temsiller, yalnızca estetik tercihlerle değil, aynı zamanda kültürel karşılaşma ve ötekinin görsel olarak tanımlanma süreçleriyle şekillenmektedir (Young, 1995).

Doğu imgesi, Avrupa sanatı içinde yeniden kurulan ve sürekli olarak yeniden üretilen bir görsel söylem olarak değerlendirilmektedir. Ancak mevcut literatürde, özellikle doğrudan gözleme dayalı üretim pratikleriyle şekillenen ve gündelik yaşamı daha doğal bir biçimde aktaran temsil biçimlerinin çoğu zaman ikincil düzeyde ele alındığı görülmektedir (Shaw, 2006).

Bu noktada 19. yüzyıl resim pratiği içinde gelişen realist yaklaşım, idealize edilmiş sahnelemelerin yerine doğrudan gözlem, ışık, mekân ve anlık algı ilişkisine dayalı bir görsel üretimi öne çıkarmaktadır. Bu anlayış, sanat eserinde temsil edilen nesnenin olduğu gibi aktarılmasını değil, görsel deneyimin

doğrudanlığı içinde yeniden kurulmasını hedefler (Herbert, 1992). Böylece resim, yalnızca anlatı taşıyan bir yüzey olmaktan çıkarak gözleme dayalı bir görsel kayıt alanına dönüşür.

Bununla birlikte Osmanlı coğrafyasının Batı resmindeki temsili, yalnızca realist eğilimlerle değil, aynı zamanda kültürel etkileşim ve görsel aktarım süreçleriyle birlikte ele alınmalıdır. Bu çerçevede İstanbul ve Osmanlı yaşamına ilişkin imgeler, Batı sanatında hem egzotik bir temsil alanı hem de doğrudan gözleme dayalı görsel deneyimlerin kesiştiği hibrit bir yapı sergiler. Bu ikili yapı, Osmanlı görsel kültürü ile Avrupa sanatı arasındaki karşılıklı etkileşimi görünür kılar ve temsilin tek yönlü bir üretim olmadığını ortaya koyar.

Çalışma, Anders Zorn'un *Turkish Boatman in the Constantinople Harbour* adlı eserini bu teorik çerçeve içinde değerlendirerek, Osmanlı limanının temsiline yönelik Oryantalist kalıplar ile gözleme dayalı natüralist yaklaşım arasındaki bağlantıyı analiz etmektedir. Böylece eser, 19. yüzyıl Avrupa resminde İstanbul imgesinin yeniden düşünülmesine imkân tanıyan bir görsel örnek olarak ele alınmaktadır.

Yapılan görsel analiz, Anders Zorn'un *Turkish Boatman in the Constantinople Harbour* adlı eserinde liman sahnesinin gündelik yaşamdan seçilmiş anlık bir kesit olarak kurgulandığını göstermektedir. Kompozisyonun merkezinde yer alan kayıkçı figürü, çevresel öğelerle dengeli bir biçimde ilişkilendirilmiş, sahne genelinde belirgin bir hiyerarşik anlatı kurulmamıştır. Bu yapı, izleyicinin görsel alanı bütüncül ve eşzamanlı algılamasına imkân tanıyan modern bir bakış düzenine işaret etmektedir.

Figür-mekân ilişkisi açısından eser incelendiğinde, insan figürünün çevresel bağlamdan koparılmadan yerleştirildiği görülmektedir. Liman yapısı, tekneler ve su yüzeyi birbirini tamamlayan görsel unsurlar olarak düzenlenmiş; sahne teatral bir kurgu yerine doğal bir gözlem alanı niteliği kazanmıştır. Bu tür bir bütünleşik yapı, temsil edilen figürün anlamını çevresel bağlam üzerinden kuran modern resim anlayışıyla ilişkilendirilebilir.

Renk ve ışık kullanımı, eserin atmosferik karakterini belirleyen temel unsurlardan biridir. Zorn'un sınırlı ve doğal tonlara yönelmesi, sahnenin egzotik bir Doğu temsili üretmekten ziyade doğrudan gözleme dayalı bir görsel kayıt olarak algılanmasına katkı sağlamaktadır. Işığın su yüzeyi üzerindeki yansımaları ve yüzeydeki titreşimli etkiler, sahnenin durağan bir görüntü olmaktan çok anlık bir görsel deneyim olarak okunmasını mümkün kılmaktadır.

Kompozisyonun genel düzeni incelendiğinde, öğeler arasında dengeli ancak açık uçlu bir yapı kurulduğu görülmektedir. Bu düzenleme, izleyiciyi belirli bir anlatıya yönlendirmek yerine görsel alanın tamamına yayılan bir algı süreciyle karşı karşıya bırakmaktadır. Bu durum, 19. yüzyıl görsel kültüründe temsilin sabit bir anlatıdan çok algısal bir deneyim alanına dönüştüğünü göstermektedir.

Son olarak, fırça tekniği ve yüzey etkisi değerlendirildiğinde Zorn'un hızlı, serbest ve ışığı yakalamaya odaklanan bir yaklaşım benimsediği görülmektedir. Bu teknik, detaycı betimlemeden çok anlık görsel izlenimin aktarımını ön plana çıkarmakta ve eserin gözleme dayalı karakterini güçlendirmektedir. Bu yaklaşım, 19. yüzyıl realist resim anlayışının temel görsel stratejileriyle uyumludur.



Görsel 5: Anders Zorn, Turkish Boatman in the Constantinople Harbour (İstanbul Limanı'nda Türk Kayıkçı), 1886, (açık erişim)

Resmin Alındığı Yer: <https://artvee.com/dl/turkish-boatman-in-the-constantinople-harbour/>

SONUÇ

Bu çalışma, Anders Zorn'un *Turkish Boatman in the Constantinople Harbour* (İstanbul Limanı'nda Türk Kayıkçı) adlı eserini, 19. yüzyıl Avrupa resminde Osmanlı limanı temsilleri bağlamında inceleyerek, Oryantalist görsel dil ile gözleme dayalı natüralist yaklaşım arasındaki ayrımı değerlendirmiştir. Eser; kompozisyon yapısı, figür-mekân ilişkisi, renk ve ışık kullanımı ile mekânsal kurgu açısından analiz edilmiş, bu unsurların temsil biçimini nasıl yapılandığı ortaya konmuştur.

İnceleme sonucunda Zorn'un İstanbul limanını, Oryantalist resimde yaygın biçimde görülen idealize edilmiş ve egzotik bir Doğu sahnesi olarak değil, gündelik yaşamdan kesitler sunan doğrudan bir görsel gözlem alanı olarak ele aldığı belirlenmiştir. Serbest fırça kullanımı, doğal ışık etkileri ve atmosfer odaklı renk anlayışı, eserin kurgusal bir anlatıdan çok anlık görsel deneyimi önceleyen modern bir temsil yaklaşımına dayandığını göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, sanatçının Oryantalist resim geleneğinin teatral ve egzotikleştirici eğilimlerinden belirli ölçüde ayrıştığını ortaya koymaktadır.

Araştırma ayrıca Osmanlı limanı temsillerinin yalnızca ideolojik söylemler çerçevesinde değil, modern görsel algının dönüşümü, teknik resim anlayışı ve atmosfer üretimi bağlamında da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Eserde figür ile çevre arasındaki ilişkinin açık, akışkan ve yönlendirilmemiş bir görsel deneyim üretmesi, izleyiciyi tek boyutlu bir anlatıya değil, çok katmanlı bir algı alanına taşımaktadır.

Çalışmanın temel akademik katkısı, İstanbul limanı temsillerine ilişkin literatürde baskın olan ideolojik yorumlara alternatif olarak, görsel algı, teknik yaklaşım ve atmosfer üretimini merkeze alan bütüncül bir okuma modeli önermesidir.

KAYNAKÇA

- Asplund, K. (1921). *Anders Zorn: His life and work*. The Studio.
- Boëthius, G. (1954). *Anders Zorn: An international Swedish artist, his life and work*. Almqvist & Wiksell.
- Cederlund, J., Brummer, H. H., Hedström, P., & Ganz, J. A. (2013). *Anders Zorn: Sweden's master painter*. Rizzoli Electa.
- Engström, A. (1932). *Anders Zorn*. Albert Bonniers Förlag.
- Herbert, R. L. (1992). *Realism in nineteenth-century painting*. Yale University Press.
- Said, E. W. (1978). *Orientalism*. Pantheon Books.
- Shaw, W. M. K. (2006). *Ottoman painting and Western art: Interactions in nineteenth-century visual culture*. I.B. Tauris.
- Young, R. J. C. (1995). *Colonial desire: Hybridity in theory, culture and race*. Routledge.

FINANSAL PİYASALARIN DEPREM AFETİNDEN ETKİLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Yunus YILMAZ

Dicle University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Diyarbakır

ORCID ID: 0000-0002-6142-2923

Doç. Dr. Hüseyin ALKIŞ

Tokat Gaziosmanpaşa University, Zile Dinçerler Tourism Management and Hotel Management
College, Tokat.

ORCID ID: 0000-0003-1528-8791

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye’de meydana gelen büyük ölçekli depremlerin finansal piyasalar üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ile 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri ele alınmış; söz konusu depremlerin Borsa İstanbul BIST100 endeksi üzerindeki etkileri olay çalışması (event study) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Türkiye’nin aktif fay hatları üzerinde yer alması, depremlerin yalnızca fiziksel ve sosyal değil, aynı zamanda ekonomik ve finansal boyutlarının da kapsamlı biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle büyük ölçekli depremler sonrasında ortaya çıkan belirsizlik, yatırımcı davranışlarını etkileyerek piyasalarda ani fiyat hareketlerine yol açabilmektedir.

Çalışmada, her bir depremin gerçekleştiği tarih olay günü olarak kabul edilmiş ve olay tarihinden önceki ve sonraki 10’ar günlük dönemden oluşan toplam 21 günlük bir olay penceresi belirlenmiştir. Bu kapsamda, normal getiriler tahmin edilerek anormal getiriler (AR) ve kümülatif ortalama anormal getiriler (CAAR) hesaplanmış; elde edilen değerlerin istatistiksel anlamlılığı t-testi ile değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, depremlerin piyasa üzerindeki etkisinin ölçülmesinde BIST100 endeksi temel gösterge olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, incelenen iki depremin de BIST100 endeksi üzerinde kısa vadeli dalgalanmalara ve belirsizliklere yol açtığını göstermektedir. Özellikle Marmara ve Kahramanmaraş depremleri sonrasında, olay günü ve takip eden günlerde istatistiksel olarak anlamlı anormal getiriler tespit edilmiş; bu durum piyasanın söz konusu depremlere güçlü tepki verdiğini ortaya koymuştur. Marmara Depremi’nde olay günü belirgin negatif anormal getiri gözlemlenirken, Kahramanmaraş depremlerinde ise olay sonrası günlerde hem negatif hem de pozitif yönlü anlamlı dalgalanmalar dikkat çekmiştir. Bu bulgular, depremlerin büyüklüğü, etki alanı ve ekonomik sonuçlarının piyasa tepkisinin yönü ve şiddeti üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Kümülatif ortalama anormal getirilere ilişkin bulgular da, her iki depremin piyasa üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu desteklemektedir. Özellikle olay penceresi içinde farklı zaman aralıklarında elde edilen CAAR değerlerinin sıfırdan anlamlı şekilde sapması, piyasanın yarı güçlü formda etkinlik varsayımını karşılamadığını göstermektedir. Bu durum, depremler gibi beklenmedik şokların finansal piyasalarda bilgi akışının tam olarak ve anında fiyatlanamadığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, çalışma bulguları Marmara ve Kahramanmaraş depremlerinin finansal piyasalar üzerinde yalnızca kısa vadeli dalgalanmalara neden olmakla kalmadığını, aynı zamanda piyasa etkinliği açısından da önemli çıkarımlar sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, afetlerin finansal etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlamakta ve yatırımcılar ile politika yapıcılar açısından önemli değerlendirmeler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Finansal Piyasalar, Deprem, BIST100.

ASSESSING THE IMPACT OF EARTHQUAKE DISASTERS ON FINANCIAL MARKETS

ABSTRACT

This study aims to comparatively examine the effects of major earthquakes in Türkiye on financial markets. In this context, the August 17, 1999 Marmara Earthquake and the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes are analyzed, and their impacts on the Borsa İstanbul BIST100 index are evaluated using the event study method. Türkiye's location on active fault lines necessitates a comprehensive assessment of earthquakes not only in terms of physical and social consequences but also their economic and financial dimensions. In particular, the uncertainty following large-scale earthquakes can influence investor behavior and lead to sudden price movements in financial markets.

In the analysis, the date of each earthquake is defined as the event day, and a 21-day event window is constructed, consisting of 10 days before and 10 days after the event. Within this framework, expected returns are estimated, and abnormal returns (AR) and cumulative average abnormal returns (CAAR) are calculated. The statistical significance of these values is tested using t-tests. The BIST100 index is used as the primary indicator to capture market-wide effects. The findings indicate that both earthquakes generated short-term volatility and uncertainty in the BIST100 index. Statistically significant abnormal returns are observed on the event day and in the subsequent days, suggesting a strong market reaction to these shocks. For the Marmara Earthquake, a pronounced negative abnormal return is observed on the event day, whereas for the Kahramanmaraş earthquakes, both negative and positive significant fluctuations emerge in the days following the event. These results suggest that the magnitude, geographic scope, and economic consequences of earthquakes play a decisive role in shaping the direction and intensity of market responses. The evidence based on cumulative average abnormal returns further supports that both events have statistically significant impacts on the market. The fact that CAAR values deviate significantly from zero across different sub-windows within the event period indicates that the semi-strong form of market efficiency is not satisfied. This implies that unexpected shocks such as earthquakes are not instantaneously and fully incorporated into prices.

Overall, the results demonstrate that the Marmara and Kahramanmaraş earthquakes not only cause short-term fluctuations in financial markets but also provide important implications regarding market efficiency. The study contributes to a better understanding of the financial consequences of natural disasters and offers relevant insights for investors and policymakers.

Keywords: Financial Markets, Earthquake, BIST100.

GİRİŞ

Tüm doğal afetlerde olduğu gibi depremler, yalnızca insani ve sosyal değil, aynı zamanda ekonomik ve finansal açıdan da derin etkiler ortaya çıkarmaktadır. Depremlerin yol açtığı fiziksel yıkım, üretim kayıpları, altyapı hasarları ve kamu harcamalarındaki artışlar, makroekonomik dengeleri doğrudan etkileyebildiği gibi finansal piyasalar üzerinde de önemli dalgalanmalara neden olmaktadır (Şen, 2023). Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde yer almakta olup, tarihsel süreçte çok sayıda yıkıcı deprem deneyimi yaşamıştır. Erzincan (1939), Marmara (1999), Van (2011), Elazığ (2020) ve son olarak Kahramanmaraş (2023) depremleri, hem can kayıpları hem de ekonomik maliyetler açısından ülke tarihinde derin izler bırakmıştır. 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri merkezli olarak meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki iki büyük deprem, 11 ili doğrudan etkilemiş ve resmi kayıtlara göre elli binden fazla insanın hayatını kaybetmesine yol açmıştır (Ünkaracalar, 2023).

Finans literatüründe depremler gibi doğal afetlerin piyasalara etkisini inceleyen çalışmaların önemli bir bölümü olay çalışması (event study) yöntemine dayanmaktadır. Olay çalışması, belirli bir olayın hisse senedi fiyatları üzerindeki etkisini normal getiriden sapma gösteren anormal getiriler üzerinden analiz etmeyi amaçlayan istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu yöntem, özellikle Etkin Piyasa Hipotezi çerçevesinde piyasa tepkilerinin ölçülmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Uluslararası literatürde depremlerin

finansal piyasalara etkisine ilişkin bulgular tam anlamıyla tutarlı değildir. Bazı çalışmalar depremlerin olay günü ve hemen sonrasında istatistiksel olarak anlamlı negatif anormal getiriler ortaya çıkardığını ileri sürerken, bazı araştırmalar ise bu etkinin kısa sürede ortadan kalktığını savunmaktadırlar (Büyükbozdoğan, 2024). Bu bulgular, deprem sonrası piyasa tepkilerinin homojen olmadığını, aksine sektörler arasında belirgin asimetri bulundğunu göstermektedir. Nitekim kriz dönemlerini konu alan çalışmalar da farklı sektörlerin aynı olaya farklı yön ve büyüklükte tepki verdiğini ortaya koymaktadır (Büyükepeççi, Akgöz ve Uçdu, 2024).

Bu araştırma, son yıllarda Türkiye’de gerçekleşen ve birçok yıkıma yol açan iki büyük depremin BIST100 endeksi üzerinde anormal getiri ortaya çıkarıp çıkarmadığını ve piyasanın etkin olup olmadığını test etmektedir. Bu doğrultuda, her bir depremin olay penceresinde anormal getiriler hesaplanarak, piyasanın söz konusu bu depremlere nasıl tepki verdiğini ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ulaşılan bulgular, depremlerin hisse senedi fiyatları üzerindeki etkisini anlamak ve olası deprem dönemlerinde yatırımcılara önemli katkılar sunmayı amaçlamaktadır.

DEPREMLER VE FİNANSAL PİYASALAR ARASINDAKİ İLİŞKİ

Türkiye, jeolojik ve tektonik özellikleri itibarıyla dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde yer almakta ve bu durum ülkeyi tarih boyunca çok sayıda yıkıcı depremle karşı karşıya bırakmaktadır. Anadolu’da bulunan fay hatları üzerinde meydana gelen depremler, geniş coğrafi alanlarda ciddi can ve mal kayıplarına yol açmıştır

Türkiye’de yaşanan büyük depremler yalnızca fiziksel yıkım üretmemiş, aynı zamanda üretim kapasitesinde düşüş, kamu maliyesi üzerinde artan yük ve bölgesel kalkınma göstergelerinde bozulma gibi makroekonomik sonuçlar doğurmuştur. Özellikle Marmara (1999) depremi sonrasında kamu harcamalarının hızla artması, afetlerin ekonomik etkilerinin kalıcı olabileceğini göstermiştir (Yılmaz ve Karan, 2015). 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş’ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri merkezli olarak meydana gelen depremler, Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en yıkıcı afetlerinden biri olarak kayda geçmiştir (Ünkaracalar, 2023). Depremin ekonomik maliyetinin büyüklüğü, doğrudan ve dolaylı maliyet bileşenleri üzerinden değerlendirilmektedir. Doğrudan maliyetler; fiziksel hasar, yeniden inşa giderleri ve acil müdahale harcamalarından oluşurken, dolaylı maliyetler üretim kayıpları ve istihdam kayıpları yoluyla ortaya çıkmaktadır (Ateş, 2024). Depremin ardından devlet tarafından çok sayıda idari ve ekonomik tedbir hayata geçirilmiştir. Olağanüstü hal ilan edilmesi, afet bölgesine yönelik kamu harcamalarının artırılması ve kredi destekleri, ekonomik faaliyetlerin yeniden canlandırılması amacıyla uygulanmıştır (Hamurcu, 2022). Depremlerin Türkiye ekonomisi üzerindeki etkileri yalnızca makro göstergelerle sınırlı kalmamaktadır. Afet sonrası dönemde sektörler arasında belirgin farklılaşmalar gözlenmektedir.

Uluslararası literatürde elde edilen bulgular ile Türkiye örneği birlikte değerlendirildiğinde, depremlerin finansal piyasalar üzerindeki etkilerinin homojen olmadığı görülmektedir. Depremin büyüklüğü, etkilenen sektörlerin yapısı, kamu müdahale kapasitesi ve yatırımcı davranışları gibi faktörler, piyasa tepkisinin yönünü ve büyüklüğünü belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır (Scholtens ve Voorhorst, 2013). Bu çerçevede, doğal afetlerin finansal piyasalardaki etkilerini anlamaya yönelik çalışmaların, yalnızca piyasa geneline değil, sektörel farklılaşmalara da odaklanması gerekmektedir.

Türkiye, yüksek deprem riski altında bulunan bir ülke olması nedeniyle, depremlerin yalnızca insani değil, aynı zamanda ekonomik ve finansal boyutlarının da sistematik biçimde incelenmesini gerekli kılmaktadır. Kahramanmaraş depremleri, hem yol açtığı büyük yıkım hem de kamu maliyesi, sektörler ve finansal piyasalar üzerindeki etkileriyle, Türkiye’de depremler ile finansal piyasa ilişkisinin yeniden değerlendirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Sonuç olarak literatür, depremlerin finansal piyasalarda hem negatif hem de pozitif yönlü tepkiler doğurabildiğini, ancak bu tepkilerin sektörler ve ülkeler arasında önemli ölçüde farklılaştığını göstermektedir. Bu durum, piyasa genelinin yanı sıra sektörel endekslerin de ayrı ayrı analiz edilmesini zorunlu kılmakta ve olay çalışması yönteminin karşılaştırmalı biçimde kullanılmasının önemini artırmaktadır. Bu bağlamda, deprem şoklarının finansal piyasalardaki

etkilerini anlamak, yalnızca akademik bir tartışma alanı değil, aynı zamanda politika yapımcılar ve yatırımcılar açısından da stratejik bir önem taşımaktadır.

ÇALIŞMANIN AMACI VE METADOLOJİSİ

Amaç

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve 6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş'ın Pazarcık ile Elbistan ilçelerinde meydana gelen depremlerin, Borsa İstanbul'daki hisse senedi fiyatlarına olan etkisi olay çalışması (event study) yöntemiyle incelenmiştir. Depremlerin piyasa genelindeki etkisini ölçebilmek adına, anormal getirilerin hesaplanmasında endeks getirileri dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, pazar göstergesi olarak BIST100 endeksi tercih edilmiştir.

Metadoloji

Literatürde doğal afetlerin finansal piyasalara etkisini inceleyen çalışmaların önemli bir bölümü, olay çalışması yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntem, belirli bir olayı esas alarak finansal varlıkların fiyatlarını ne derece etkilediğini, gerçekleşen getiriler ile beklenen getiriler arasındaki fark üzerinden ölçmeye imkân tanıyan istatistiksel bir yaklaşımdır (Brown & Warner, 1985). Bu yöntem, özellikle Etkin Piyasa Hipotezi bağlamında, piyasaların yeni bilgiyi ne ölçüde ve ne hızda fiyatladığını test etmek için yaygın biçimde kullanılmaktadır (Fama, 1970).

Olay çalışması yaklaşımında temel varsayım, analiz edilen olayın piyasada beklenmedik bir bilgi şoku yarattığı ve bu bilginin hisse senedi fiyatlarına anında yansıdığıdır. Bu kapsamda anormal getiri (abnormal return), gerçekleşen getiri ile beklenen getiri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Kümülatif anormal getiri (cumulative abnormal return) ise, belirlenen olay penceresi boyunca hesaplanan anormal getirilerin toplamını ifade etmektedir (MacKinlay, 1997).

Bu çalışmada, piyasa modeli esas alınarak beklenen getiriler hesaplanmakta ve her iki endeks için olay günü ve olay sonrası döneme ilişkin anormal getiriler elde edilmektedir. Olay penceresi, depremin meydana geldiği tarih ($t=0$) merkez alınarak $[-10, +10]$ işlem günü olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, literatürde yaygın biçimde kullanılan standart olay çalışması tasarımına uygundur (Brown ve Warner, 1985; MacKinlay, 1997).

Çalışmada Marmara ve Kahramanmaraş depremlerinin gerçekleştiği tarihler olay günü olarak kabul edilmiş ve piyasa getirileri bu doğrultuda hesaplanmıştır. Analiz kapsamında, olay tarihinden önceki 10 gün ile sonraki 10 günü kapsayan zaman dilimi olay penceresi olarak belirlenmiştir. Anormal getirilerin olay penceresi içinde hesaplanmasında; Marmara depremi için 06.05.1999-10.09.1999 dönemi ve Kahramanmaraş depremi için 27.10.2022-24.02.2023 dönemi endeks getirileri veri seti olarak kullanılmıştır.

Olay çalışması yönteminde, İstatistiksel olarak elde edilen sonuçların sıfırdan anlamlı bir farklılık göstermesi durumunda, ilgili olayın hisse senedi getirileri üzerinde etkili olduğu çıkarımı yapılabilir (Tuominen, 2005). Çalışmanın yöntemi aşağıdaki formüller aracılığıyla uygulanmıştır.

$$AR_{it} = R_{it} - \bar{R}_i \quad (1)$$

$$SAR_{it} = \frac{AR_{it}}{\sigma_i} \quad (2)$$

$$CAAR = \sum_{t=T_1}^{T_2} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AR_{it} \quad (3)$$

$$t(CAAR) = \sqrt{\frac{1}{n.k}} \sum_{t=T_1}^{T_2} \sum_{i=1}^n \frac{AR_{it}}{\sigma_i} \quad (4)$$

AR_{it} : t günündeki anormal getirisi.

R_{it} : t gününde gözlenen mevcut endeks getirisi.

$\bar{R}_i$: tahmin döneminde gerçekleşen endeks getirilerinin ortalaması.

Olay penceresi boyunca endeks getirilerinin beklenen getiriden ne ölçüde sapma gösterdiğini belirlemek amacıyla formül (1) kullanılarak tespit edilmiştir (Chen ve Siems, 2004). Ulaşılan AR değerleri, formül (2) yardımıyla ilgili dönemin standart sapmasına bölünerek standartlaştırılarak t değerlerine ulaşılmıştır (Ada vd., 2013). Anormal getiriler, t-testi kullanılarak analiz edilmiş, t-istatistiği kritik eşik değeri ile karşılaştırılmıştır. Eğer fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunursa H_0 hipotezi reddedilerek H_1 hipotezi kabul edilir. Olay penceresi içinde, farklı dönem aralıklarında kümülatif ortalama anormal getiri (CAAR) olup olmadığını ölçmek için formül (3) kullanılmıştır. CAAR değerlerinin sıfırdan anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini değerlendirmek için formül (4) kullanılmıştır (Hendricks ve Singhal, 2008).

Çalışmada ele alınan depremlerin BIST100 endeksi üzerindeki etkisinin ortaya konulması için belirlenen hipotezler şunlardır:

H_0 : Marmara ve Kahramanmaraş depremleri, BIST100 endeksinin olay günündeki anormal getirilerini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde etkilemez.

H_1 : Marmara ve Kahramanmaraş depremleri, BIST100 endeksinin olay günündeki anormal getirilerini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde etkiler.

ANALİZ VE BULGULAR

Çalışma kapsamında incelenen Marmara ve Kahramanmaraş depremlerinin olay tarihlerine ilişkin olarak, olay tarihine göre +10 ve -10 günü kapsayan 21 günlük dönem için hesaplanan (AR), (CAAR) ve bu değerlerin istatistiksel anlamlılığını belirlemek amacıyla uygulanan t-testi sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 1. BIST100 Endekslerinin Olay Penceresinde AR ve CAR Değerleri

GÜN	Marmara Depremi		Kahramanmaraş Depremi	
	AR	t-istat.	AR	t-istat.
t-10	-0.001	-0.035	0.010	0.405
t-9	-0.010	-0.251	-0.025	-0.908
t-8	-0.024	-0.588	0.002	0.059
t-7	-0.006	-0.143	-0.018	-0.626
t-6	0.028	0.693	-0.015	-0.494
t-5	-0.017	-0.445	0.003	0.102
t-4	-0.024	-0.621	-0.022	-0.714
t-3	-0.015	-0.406	-0.014	-0.438
t-2	0.023	0.614	-0.056	-1.775

t-1	-0.005	-0.154	0.008	0.255
Olay (t)	-0.116	-3.369	0.026	0.806
t+1	0.005	0.170	0.005	0.158
t+2	-0.059	-1.841	-0.157	-4.915
t+3	0.017	0.511	0.131	4.099
t+4	0.013	0.428	0.108	3.405
t+5	0.023	0.957	-0.070	-2.259
t+6	0.082	3.419	0.026	0.846
t+7	-0.003	-0.135	0.025	0.818
t+8	0.051	2.254	0.009	0.281
t+9	0.003	0.122	-0.013	-0.389
t+10	0.011	0.541	0.010	0.363

Tablo 1’de BIST100 endeksi üzerinde her üç depremin olay tarihinde ortaya çıkardığı anormal getiriler görülmektedir. Olay günü Marmara depreminde %11.6 oranında negatif ve Kahramanmaraş depreminde ise %2.6 oranında pozitif anormal getiri ortaya çıkmıştır. Ancak bu üç deprem arasında sadece Marmara depreminde istatistiki olarak anlamlı bir farklılık söz konusudur. 17 Ağustos depreminden sonra Borsa İstanbul 7 iş günü kapalı kaldıktan sonra açılmıştır. Buna rağmen ulusal endeks üzerinde %11.6 kayıp yaşanmıştır. Aynı depremin olay penceresinde t+6 ve t+8.günlerinde de anlamlı bir farklılık ortaya çıktığı görülmektedir. Bu günlerde ise sırasıyla %8.2 ve %5.1 oranında pozitif bir anormal getiri ortaya çıkmıştır. Yani ortaya çıkan anormal getiriler ilgili deprem sonucu oluşmuştur. Kahramanmaraş depreminin ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerinde istatistiki olarak anlamlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu depremin Olay günü anlamlı farklılık olmazken, sayılan günlerde istatistiki anlamlılık mevcuttur.

Tablo 2. BIST100 Endekslerinin Farklı Olay Aralıklarında CAAR Değerleri

Olay Aralığı	Marmara Depremi		Kahramanmaraş Depremi	
	CAAR	t-test	CAAR	t-test
(-10, +10)	-0.099	-0.993	-0.713	-5.750*
(-10, 0)	-0.036	-0.392	-0.662	-3.937*
(-5, 0)	-0.641	-2.251	-0.813	-3.615**
(-1, +1)	-1.818	-1.772	0.534	3.396
(-5, +5)	-11.800	-4.740*	-9.226	-3.798*
(0, +3)	-3.912	-7.471*	-0.215	-0.262
(0,+5)	-3.252	-6.019*	0.241	0.393
(0, +10)	-1.545	-2.338**	0.515	1.534

*0,01, **0,05 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 2’de sunulan kümülatif ortalama anormal getiri ile t-testi sonuçları incelendiğinde, hesaplanan CAAR değerlerinin her iki deprem olay penceresinde de mevcut olduğu görülmektedir. Özellikle Marmara Depremi’nden önceki beş gün ve sonraki beş gün içinde anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca, deprem sonrası dönemleri içeren (0, +3), (0, +5) ve (0, +10) olay aralıklarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Bu da, ilgili aralıklarda ortaya çıkan CAAR değerlerinin Marmara depreminin sonucu olarak ortaya çıktığını ifade etmektedir. Kahramanmaraş depremi özelinde ise (-10, +10), (-10, 0), (-5, 0) ve (-5, +5) olay aralıklarında kümülatif ortalama anormal getirinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle olayın gerçekleştiği günün -5 ve +5 günü kapsayan

periyotta, iki depremde de anlamlı değişimler gözlemlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda yokluk hipotezi reddedilmiş, alternatif hipotez kabul edilmiştir. Dolayısıyla, depremin gerçekleştiği zaman dilimi etrafında kümülatif ortalama anormal getirilerin olduğu ve piyasanın yarı güçlü formda etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, Türkiye sermaye piyasalarına Marmara ve Kahramanmaraş depremlerinin etkisini, BIST100 Endeksi özelinde olay çalışması (event study) yöntemi kullanarak analiz etmeyi amaçlamıştır. Depremler gibi ani, beklenmedik ve büyük ölçekli şokların finansal piyasalara nasıl yansıdığı, Etkin Piyasa Hipotezi bağlamında hem akademik literatürde hem de politika yapıcılar açısından önemini korumaktadır. Analiz bulguları, Kahramanmaraş depremlerinin BIST100 endeksi üzerinde olay penceresi içerisinde istatistiksel olarak anlamlı anormal getiriler ortaya koyduğunu göstermektedir. Olay günü itibarıyla endekste anlamlı bir piyasa tepkisi gözlenmemiş olmakla birlikte, depremi takip eden günlerde BIST100 endeksinde belirgin ve sık anormal getiri olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, büyük ölçekli bu iki depremin BIST100 endeksi üzerinde kısa vadeli ancak anlamlı fiyat hareketlerine neden olduğunu göstermektedir. Marmara Depremi olay günü BIST100 endeksinde %11,6 oranında istatistiki anlamlılığa sahip negatif anormal getiri, depremin altıncı ve sekizinci günlerinde ise yine anlamlı pozitif anormal getiri ortaya çıkmıştır. İlgili deprem, Borsa İstanbul BIST100 endeksi üzerinde belirgin etkiler oluşturmuştur. Benzer şekilde, Kahramanmaraş Depremi olay penceresinde istatistiksel olarak anlamlı anormal getiriler görülmüştür. Olay günü anlamlı farklılık olmasa da, depremin ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılığa sahip anormal getiriler tespit edilmiştir.

Kümülatif anormal getiriler (CAAR) açısından yapılan analizler, deprem olaylarının piyasa üzerinde uzun vadeli etkilerden ziyade kısa vadeli belirsizlik ve dalgalanmalara yol açtığını ortaya koymuştur. Özellikle büyük depremler sonrası yatırımcı duyarlılığı, sigorta yükümlülükleri ve hükümet politikaları piyasa üzerindeki etkileri şekillendiren temel faktörler olarak öne çıkmaktadır. Piyasanın yarı güçlü formda etkin olup olmadığı konusunda yapılan testlerde, depremlerin gerçekleştiği olay penceresinde anlamlı anormal getiriler tespit edilmiştir. Bu durum, depremlerin finansal piyasalarda ani ve öngörülemeyen tepkilere neden olabileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın bulguları, Türkiye literatüründe depremler ile finansal piyasalar arasındaki ilişkinin homojen olmadığı yönündeki genel eğilimi desteklemektedir. Yılmaz ve Karan (2015), Hamurcu (2022) ve Kırkağaç ve Karpuz (2023) gibi çalışmalar, farklı sektörlerin aynı afete farklı yön ve büyüklükte tepki verdiğini göstermektedir. Politika yapıcılar açısından elde edilen sonuçlar, afet sonrası dönemde finansal piyasaların istikrarını destekleyici tedbirlerin önemine işaret etmektedir. Deprem sonrası belirsizlik ortamının piyasa genelinde daha güçlü fiyat dalgalanmalarına yol açması, kamu otoritelerinin şeffaf bilgilendirme ve piyasa düzenlemeleri yoluyla beklenti yönetimini güçlendirmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- Ada, S. S., Bolak, M. ve Süer, Ö. (2013). Politik seçimler, referandumlar ve hisse senedi getirileri: İMKB örneği. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 50(579), 23–40.
- Ateş, E. (2024). Depremlerin uluslararası ticaret üzerine etkisi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri örneği. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(1), 236–250. <https://doi.org/10.46464/tdad.1454177>
- Brown, S. J. ve Warner, J. B. (1985). Günlük hisse senedi getirilerinin kullanımı: Olay çalışmaları örneği. *Journal of Financial Economics*, 14(1), 3–31. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(85\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(85)90042-X)

- Büyükbozdoğan, Ç. (2024). 2023 Türkiye depremleri örneğinde sismik aktivite ve piyasa etkinliği (Yüksek lisans tezi). *University of Vaasa*.
- Büyükippekçi, S., Akgöz, E. ve Uçdu, S. (2024). 2016–2023 yılları arasında Türkiye’deki kriz dönemlerinin BIST-Turizm şirketlerine etkileri: Olay çalışması yöntemi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 16(4), 2631–2646. <https://doi.org/10.20491/isarder.2024.1937>
- Chen, A. H. ve Siems, T. F. (2004). Terörizmin küresel sermaye piyasaları üzerindeki etkileri. *European Journal of Political Economy*, 20(2), 349–366.
- Fama, E. F. (1970). Etkin sermaye piyasaları: Teori ve ampirik çalışmaların değerlendirilmesi. *Journal of Finance*, 25(2), 383–417.
- Hamurcu, C. (2022). Depremlerin sigortacılık sektörü hisse senetleri üzerindeki etkisi olabilir mi? 2020 İzmir depremi üzerine bir araştırma. *İzmir İktisat Dergisi*, 37(2), 428–442. <https://doi.org/10.24988/ije.929390>
- Hendricks, K. B. ve Singhal, V. R. (2008). Tedarik zinciri aksaklıklarının hissedar değeri üzerindeki etkisi. *Total Quality Management*, 19(7), 777–791.
- Kırkağaç, M. ve Karpuz, E. (2023). 2023 Kahramanmaraş depremlerinin BIST banka ve sigorta piyasasına etkisi üzerine bir olay çalışması analizi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 387–401.
- MacKinlay, A. C. (1997). İktisat ve finasta olay çalışmaları. *Journal of Economic Literature*, 35(1), 13–39.
- Scholtens, B. ve Voorhorst, Y. (2013). Depremlerin yurtiçi hisse senedi piyasası üzerindeki etkisi. *Earthquake Spectra*, 29(1), 325–337. <https://doi.org/10.1193/1.4000103>
- Şen, S. (2023). Kahramanmaraş depremlerinin ekonomiye etkisi. *Diplomasi ve Strateji Dergisi*, 4(1), 1–55.
- Tuominen, T. (2005). Kurumsal işten çıkarma duyuruları ve hissedar değeri: Finlandiya’dan ampirik kanıtlar (Yüksek lisans tezi). *Lappeenranta University of Technology*.
- Ünkaracalar, T. (2023). 2023 Kahramanmaraş depremlerinin BIST 30 endeksi üzerine etkisi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 5(2), 183–193. <https://doi.org/10.46464/tdad.1331294>
- Yılmaz, F. A. ve Karan, M. B. (2015). Türkiye’deki büyük depremlerin Borsa İstanbul’da sektörel etkisinin test edilmesi. *Journal of Insurance Research*, (11), 5–22.

KRONİK BEL AĞRISININ YÖNETİMİNDE EGZERSİZ YAKLAŞIMLARI VE FİZYOTERAPİ STRATEJİLERİ

Fzt. Fırat GELİÇ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon
Anabilim Dalı

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0445-1377>

Prof. Dr. Meral SERTEL

Bursa Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7575-9762>

Prof. Dr. Eylem TÜTÜN YÜMİN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon
Bölümü

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6994-9391>

ÖZET

Kronik bel ağrısı, bireylerin fiziksel fonksiyonlarını, psikolojik durumlarını ve yaşam kalitelerini olumsuz etkileyen yaygın kas-iskelet sistemi problemlerinden biridir. Günümüzde kronik bel ağrısının yönetiminde egzersiz temelli yaklaşımlar ve fizyoterapi uygulamaları önemli bir yer tutmaktadır. Aerobik egzersizler, su içi egzersizler, yüksek yoğunluklu antrenmanlar (HIT), gövde stabilizasyon egzersizleri ve postüral eğitim uygulamaları ağrının azaltılması, fonksiyonel kapasitenin artırılması ve günlük yaşam aktivitelerine katılımın desteklenmesi açısından etkili yöntemler olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca ergonomik düzenlemeler, yaşam tarzı değişiklikleri, uyku kalitesinin iyileştirilmesi ve psikososyal faktörlerin yönetimi de multidisipliner rehabilitasyon sürecinin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle kinezyofobi ve pain catastrophizing gibi psikososyal etkenlerin kronik ağrının sürdürülmesinde etkili olduğu; bu nedenle biyopsikososyal yaklaşımın tedavi planlamasında dikkate alınması gerektiği bildirilmektedir. Güncel literatür, bireye özgü planlanan düzenli egzersiz programlarının kronik bel ağrısında ağrı kontrolü, fonksiyonel iyileşme ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kronik bel ağrısı, Egzersiz, Rehabilitasyon, Fizyoterapi

EXERCISE APPROACHES and PHYSICAL THERAPY STRATEGIES FOR THE MANAGEMENT OF CHRONIC LOWER BACK PAIN

ABSTRACT

Chronic low back pain is one of the most common musculoskeletal problems that negatively affects individuals' physical function, psychological well-being, and quality of life. Today, exercise-based approaches and physical therapy interventions play a significant role in the management of chronic low back pain. Aerobic exercises, aquatic exercises, high-intensity training (HIT), core stabilization exercises, and postural training are considered effective methods for reducing pain, improving functional capacity, and supporting participation in daily living activities. Additionally, ergonomic adjustments, lifestyle changes, improving sleep quality, and managing psychosocial factors are also key components of the multidisciplinary rehabilitation process. In particular, it is reported that psychosocial

factors such as kinesiophobia and pain catastrophizing play a role in the maintenance of chronic pain; therefore, a biopsychosocial approach must be considered in treatment planning. Current literature indicates that individually tailored, regular exercise programs have positive effects on pain control, functional improvement, and quality of life in chronic low back pain.

Keywords: Chronic low back pain, Exercise, Rehabilitation, Physiotherapy

1. GİRİŞ ve EPİDEMİOLOJİ

Bel ağrısı (BA), günümüzde en yaygın görülen, ekonomik maliyeti en yüksek olan ve kas-iskelet sistemi kaynaklı iş göremezliğinin (disabilite) birincil nedenidir. (Cast-Baril ve Frymoyer, 1991) Yetişkin popülasyonun %75-85'inin yaşamlarının en az bir döneminde karşılaştığı bu durum, bireylerin %80'inde nüksetme eğilimi gösterir. (Aydoğan Arslan ve Erbahçeci, 2016) Bel ağrısı, lomber omurga ve çevresinde hissedilen kas, bağ, disk veya sinir kaynaklı ağrılar olarak tanımlanmakta olup hafif rahatsızlıktan günlük yaşamı kısıtlayan şiddetli bir tabloya kadar değişkenlik gösterebilir. (Will vd., 2018)

Akut atakların büyük kısmı kendiliğinden iyileşse de, doğru yönetilmeyen vakalar sıklıkla kronikleşmektedir. (Simpson vd., 2006) Genellikle 3 aydan uzun süren semptomlar olarak tanımlanan kronik bel ağrısı (KBA), bireyin sadece fiziksel sağlığını değil, mesleki ve sosyoekonomik yapısını da olumsuz etkileyen karmaşık bir sosyo-tıbbi sorundur. (Brosseau vd., 2002)

2. TEDAVİDE TARİHSEL SÜREÇ VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Eski Mısır tıp metinlerinden 20. Yüzyıla kadar bel ağrısında standart tedavi yatak istirahati ve hareketsizlik iken, günümüzde egzersiz tedavinin ilk adımı olarak kabul edilmektedir. (Essman ve Lin, 2022) Modern rehberler pasif yöntemlerden ziyade hastanın sürece aktif katılımını gerektiren stratejileri öncelikli olarak önermektedir. (Mannion vd., 2001)

KBA yönetimi, farmakolojik yaklaşımlar, cerrahi, fizyoterapi ve tamamlayıcı yöntemleri içeren multidisipliner bir yapıdadır. (Brosseau vd., 2002) Tedavinin temel hedefleri şunlardır:

- Ağrı ve kas spazmının azaltılması.
- Eklem hareket açıklığının ve kas kuvvetinin artırılması.
- Fonksiyonel kapasitenin maksimize edilmesi ve hastanın günlük yaşam aktivitelerine bağımsız katılımının sağlanması. (Mordeniz ve Sıvacı, 2010) (Manchikanti vd., 2009)

3. Fizyoterapi ve Egzersiz Modaliteleri

Fizyoterapistler klinik pratikte kanıta dayalı çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Bunlar:

3.1. Stabilizasyon ve Güçlendirme Egzersizleri

Derin karın kaslarının (core) güçlendirilmesi lomber omurgayı destekleyerek ağrıyı azaltır. Omurga stabilizasyon egzersizleri, nöromüsküler sistemi eğiterek yaralanmalara karşı koruma sağlar. Bu egzersizlerin KBA'da etkili olduğu, ancak akut dönemde aynı etkinliği göstermediği saptanmıştır. Core stabilizasyonun rutin egzersiz terapisine kıyasla ilk üç ayda daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir. (Gordon ve Bloxham, 2016)

3.2. Aerobik ve Su İçi Egzersizleri

Aerobik egzersiz yumuşak dokulara kan akışını ve besin maddesi ulaşımını artırarak iyileşmeyi hızlandırır, sertliği azaltır. Ayrıca düşük aerobik kondisyonun KBA ile ilişkili olduğu ve egzersizin "hareket korkusunu" (kinezyofobi) azaltarak fonksiyonel durumu iyileştirdiği bilinmektedir. (Gordon ve Bloxham, 2016)

Aerobik egzersizler, kronik bel ağrısının konservatif tedavisinde sıklıkla kullanılan ve bireyin kardiyovasküler dayanıklılığını artırmayı hedefleyen egzersiz uygulamalarıdır. Yürüme, bisiklet

ergometresi, yüzme ve düşük şiddetli koşu gibi ritmik ve sürekli aktiviteleri içeren aerobik egzersizler, kronik bel ağrılı bireylerde ağrı kontrolü, fiziksel uygunluğun artırılması ve fonksiyonel kapasitenin geliştirilmesi açısından önemli yararlar sağlamaktadır. Düzenli aerobik egzersizin, kaslara oksijen taşınımını artırarak dolaşımı iyileştirdiği, endorfin salınımını desteklediği ve ağrı algısını azalttığı bildirilmektedir.

Kronik bel ağrısında aerobik egzersizlerin temel amaçları arasında fiziksel inaktivitenin azaltılması, gövde ve alt ekstremita kas dayanıklılığının artırılması, postüral kontrolün desteklenmesi ve günlük yaşam aktivitelerine katılımın kolaylaştırılması yer almaktadır. Ayrıca aerobik egzersizlerin psikolojik iyilik hali üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu, depresyon ve hareket korkusunu azaltarak yaşam kalitesini artırdığı belirtilmektedir. Düşük ve orta şiddette uygulanan düzenli aerobik egzersiz programlarının ağrı şiddeti ve fonksiyonel yetersizlik üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığı gösterilmiştir.

Literatürde aerobik egzersizlerin kronik bel ağrılı bireylerde güvenli ve etkili bir tedavi yaklaşımı olduğu; özellikle bireye uygun yoğunlukta planlanan programların uzun dönem sonuçlar açısından olumlu katkılar sunduğu bildirilmektedir. Bu nedenle aerobik egzersizler, kronik bel ağrısının multidisipliner rehabilitasyon programlarında önemli bir tedavi bileşeni olarak yer almaktadır. (Meng vd., 2015) (Searle vd., 2015)

Genel olarak kronik bel ağrılı bireylerde aerobik egzersizlerin haftada **3–5 gün, 20–60 dakika** süreyle uygulanması önerilmektedir. Egzersiz şiddeti çoğunlukla **düşük-orta yoğunlukta** planlanmakta olup maksimal kalp hızının yaklaşık **%40–60’ı** veya Borg Algılanan Zorluk Skalası’na göre **11–13 düzeyi** hedeflenmektedir. Egzersiz programına düşük yoğunlukta başlanması ve bireyin toleransına göre kademeli ilerleme yapılması önerilmektedir. (Hayden vd., 2005) (Searle vd., 2015)

Su içi egzersizleri, suyun kaldırma kuvveti ve termal özellikleri nedeniyle ideal bir ortam sunduğu, ağrı yoğunluğunu azalttığı, ancak uzun vadeli etkilerine dair daha fazla kanıtı ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Su içi egzersizleri, kronik bel ağrısına sahip bireylerde ağrının azaltılması, fonksiyonel kapasitenin artırılması ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan rehabilitasyon yöntemlerinden biridir. Hidroterapi veya akuatik egzersiz olarak da adlandırılan bu uygulamalar, suyun fiziksel özelliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Suyun kaldırma kuvveti sayesinde eklemlere ve omurgaya binen yük azalırken, su direnci kas kuvvetinin ve dayanıklılığın geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca suyun sıcaklığı kas spazmını azaltmakta, dolaşımı artırmakta ve gevşeme sağlamaktadır. (Dundar vd., 2009) (Valler vd., 2009) (Barker vd., 2014)

Kronik bel ağrılı bireylerde su içi egzersizleri; postüral kontrolün geliştirilmesi, gövde stabilizasyonunun artırılması, esnekliğin korunması ve hareket korkusunun azaltılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle karada egzersiz yapmakta zorlanan veya ağrı nedeniyle hareket kısıtlılığı yaşayan bireyler için güvenli bir egzersiz ortamı sağlamaktadır. Su ortamında gerçekleştirilen yürüme, germe, denge, kuvvetlendirme ve aerobik egzersizlerin ağrı şiddetini azalttığı ve fonksiyonel iyileşmeye katkıda bulunduğu bildirilmektedir. (Dundar vd., 2009) (Valler vd., 2009)

Literatürde, su içi egzersiz programlarının kronik bel ağrısında ağrı düzeyi, özürllülük ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu; özellikle düzenli ve kontrollü uygulamalarda etkin sonuçlar sağladığı belirtilmektedir. Bu nedenle su içi egzersizleri, kronik bel ağrısının konservatif tedavisinde fizyoterapi programlarının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir. (Dundar vd., 2009) (Valler vd., 2009) (Barker vd., 2014)

3.3. Yüksek Yoğunluklu Antrenmanlar (HIT)

Yüksek yoğunluklu antrenmanlar (High-Intensity Training, HIT), kısa süreli yüksek şiddetli egzersiz periyotlarının dinlenme aralıklarıyla birlikte uygulandığı egzersiz yaklaşımlarıdır. Son yıllarda kronik bel ağrılı bireylerde kardiyovasküler uygunluğu artırmak, kas kuvveti ve dayanıklılığını geliştirmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. HIT uygulamalarının, özellikle gövde stabilizasyonu ve aerobik kapasite üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu; ağrı şiddeti, fonksiyonel yetersizlik ve kinezyofobi düzeyinde azalma sağladığı bildirilmektedir. Bununla birlikte egzersizlerin bireyin toleransına uygun şekilde planlanması ve fizyoterapist gözetiminde uygulanması önemlidir. Kronik bel ağrılı bireylerde

yüksek yoğunluklu egzersizlere düşük-orta yoğunluklu programlarla adaptasyon sağlandıktan sonra geçilmesi önerilmektedir. (Verbrugghe vd., 2020)

Sağlıklı bireylerde olduğu gibi KBA hastalarında da yüksek yoğunluklu kardiyorespiratuar ve kuvvet antrenmanlarının; kas gücünü artırdığı, sakatlığı azalttığı ve yaşam kalitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ancak bu alandaki protokollerin net tanımlanması ve daha fazla çalışma ile desteklenmesi gerekmektedir. (Verbrugghe vd., 2020)

4. SPESİFİK YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Pilates ve McKenzie Yöntemleri

- **Pilates:** Core stabilizasyonu, nöromüsküler kontrol ve duruşa odaklanır. Ağrıyı ve engelliliği azaltmada en yüksek başarı olasılığına (SUCRA %93-%98) sahip yöntemlerden biridir.
- **McKenzie:** Mekanik tanı ve tedaviye dayanarak disk merkezileşmesini teşvik eden hareketleri vurgular. Omurga hareketliliğini artırmada oldukça etkilidir.

Her iki yöntem de kısa vadede tutarlı iyileşmeler sağlamakla birlikte, aralarında kesin bir üstünlük kuracak yeterli kanıt bulunmamaktadır. (Fernandez-Rodriguez vd., 2022) (Zygouna vd., 2025)

5. EGZERSİZ PROGRAMININ PLANLANMASI

5.1 Seans Süresi ve Müdahale Dönemi

- **Seans Süresi:** Kronik bel ağrısında uygulanan egzersiz ve fizyoterapi programlarında seans süresi, tedavi etkinliğini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Literatürde, özellikle seans başına 15–30 dakika süreyle uygulanan egzersizlerin ağrı kontrolü ve fonksiyonel iyileşme açısından daha etkili sonuçlar sağlayabildiği bildirilmektedir. Bazı meta-analiz çalışmalarında en yüksek analjezik etkinin bu süre aralığında gözlemlendiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, 30 dakikayı aşan uzun süreli seansların bazı bireylerde yorgunluk gelişimine bağlı olarak hareket kalitesini ve biyomekanik kontrolü olumsuz etkileyebileceği, buna bağlı olarak fonksiyonel kazanımların azalabileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle kronik bel ağrılı bireylerde egzersiz programlarının bireyin toleransı, fiziksel kapasitesi ve ağrı düzeyi dikkate alınarak planlanması önerilmektedir. (Hayden vd., 2005)
- **Toplam Program Süresi:** En belirgin klinik iyileşmeler **16 hafta ve üzeri** süren programlarda elde edilmiştir (SUCRA %95.4). Bu durum, doku iyileşmesi ve nöromüsküler adaptasyon için uzun süreli takibin önemini vurgular.
- **Haftalık Sıklık:** Haftada **3 seans** uygulama, hasta uyumu ve iyileşme hızı açısından "altın standart" olarak kabul edilmektedir. (Liu vd., 2026) (Zhao vd., 2025)

5.2. Egzersiz Şiddeti ve Doz-Yanıt İlişkisi

- **Şiddet Seviyesi:** Katılımcıların kendi bildirdikleri yüksek antrenman şiddeti, daha düşük ağrı yoğunluğu ile doğrudan ilişkilendirilmiştir. Özellikle direnç egzersizlerinde, hastanın konfor alanı içinde ancak fonksiyonel sınırlarını zorlayacak şiddetteki (RPE - Algılanan Zorluk Derecesi ölçeğine göre 6-8/10) yüklemeler daha kalıcı sonuçlar vermektedir.
- **Kümülatif Doz:** Toplamda **20 saati aşan** egzersiz programlarının (örneğin 16 hafta boyunca haftada 3 gün 30'ar dakika), KBA hastalarında sakatlığı minimize etmede kritik eşik olduğu bildirilmiştir. (Neason vd., 2024)

6. ÖNLEME VE YAŞAM TARZI DÜZENLEMELERİ (İKİNCİL KORUMA)

Kronik bel ağrısının önlenmesinde ve semptomların kontrol altına alınmasında yaşam tarzı düzenlemeleri önemli bir yer tutmaktadır. Düzenli fiziksel aktivite alışkanlığının kazanılması, uygun postürün korunması, uzun süreli hareketsizlikten kaçınılması ve ergonomik çalışma koşullarının sağlanması bel sağlığının korunmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle gövde kaslarının

kuvvetlendirilmesi ve esnekliğin artırılması, omurga stabilitesini destekleyerek tekrar eden ağrı ataklarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bunun yanında obezite, sigara kullanımı, stres ve yetersiz uyku gibi faktörlerin kronik bel ağrısı ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bu nedenle sağlıklı vücut ağırlığının korunması, sigaranın bırakılması, düzenli uyku alışkanlığının sağlanması ve stres yönetimi stratejilerinin uygulanması önerilmektedir. Günlük yaşam aktivitelerinde doğru kaldırma tekniklerinin kullanılması ve uzun süre aynı pozisyonda kalmaktan kaçınılması da bel ağrısının önlenmesinde önemli koruyucu yaklaşımlar arasında yer almaktadır. (Delitto vd., 2012)

Kronikleşme riskini azaltmak ve nüksleri (tekrarları) önlemek için tedavi protokolünün "Yaşam Tarzı Yönetimi" ile desteklenmesi gerekmektedir. Güncel literatür, biyopsikososyal bir yaklaşımın sadece fiziksel müdahalelerden daha üstün olduğunu kanıtlamaktadır.

6.1. Postüral Farkındalık ve Ergonomi

Kronik bel ağrısında postüral farkındalık ve ergonomik düzenlemeler, omurga üzerine binen mekanik yükün azaltılması açısından önemli koruyucu yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Günlük yaşam aktivitelerinde doğru duruşun korunması, uzun süreli oturma ve ayakta kalma pozisyonlarının sınırlandırılması, uygun oturma desteklerinin kullanılması ve çalışma ortamının ergonomik prensiplere göre düzenlenmesi bel ağrısının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle bilgisayar kullanımında ekran yüksekliği, oturma pozisyonu ve bel desteğinin uygun şekilde ayarlanması önerilmektedir. Ayrıca yük kaldırma sırasında dizlerin bükülmesi ve yükün gövdeye yakın taşınması gibi doğru vücut mekaniği tekniklerinin uygulanması, bel bölgesindeki zorlanmayı azaltarak ağrı gelişimini önlemeye yardımcı olmaktadır. (Delitto vd., 2012)

6.2. Uyku Kalitesi ve Ağrı İlişkisi

Kronik bel ağrısı ile uyku kalitesi arasında çift yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Kronik ağrı, gece boyunca sık uyanma, uykuya dalmada güçlük ve yetersiz dinlenme hissine neden olurken; kötü uyku kalitesi de ağrı algısını artırarak bireyin fiziksel ve psikolojik durumunu olumsuz etkileyebilmektedir. Uyku bozukluklarının kronik bel ağrılı bireylerde yorgunluk, dikkat azalması, depresif belirtiler ve günlük yaşam aktivitelerinde kısıtlılık ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Ayrıca yetersiz uyku, kas iyileşmesini ve ağrı modülasyon mekanizmalarını olumsuz etkileyerek ağrının kronikleşmesine katkıda bulunabilmektedir. Bu nedenle kronik bel ağrısının yönetiminde yalnızca fiziksel tedavi yaklaşımları değil, aynı zamanda uyku hijyeninin düzenlenmesi, stres yönetimi ve yaşam tarzı değişiklikleri de önemli bir yer tutmaktadır. (Kelly vd., 2011) (Finan vd., 2013)

6.3. Psikososyal Faktörler: Kinezyofobi ve "Pain Catastrophizing"

Kronik bel ağrısının ortaya çıkışı ve devamlılığında biyolojik etkenlerin yanı sıra psikososyal faktörler de önemli rol oynamaktadır. Bu faktörler arasında özellikle kinezyofobi ve "pain catastrophizing" (ağrıyı felaketleştirme) kronik ağrının şiddeti ve fonksiyonel yetersizlik ile yakından ilişkilidir. Kinezyofobi, bireyin hareketin ağrıyı artıracığı veya yeniden yaralanmaya neden olacağı düşüncesiyle fiziksel aktiviteden kaçınması olarak tanımlanmaktadır. Bu durum zamanla fiziksel inaktiviteye, kas kuvvetinde azalmaya ve fonksiyonel kapasitede düşüşe yol açabilmektedir. Pain catastrophizing ise bireyin ağrıyı aşırı olumsuz yorumlaması, ağrıya karşı çaresizlik hissetmesi ve sürekli ağrı üzerine odaklanması şeklinde tanımlanmaktadır. Ağrıyı felaketleştirme düzeyi yüksek olan bireylerde ağrı şiddeti, depresif belirtiler, hareket korkusu ve yaşam kalitesinde bozulmanın daha fazla olduğu bildirilmektedir. Literatürde, bu psikososyal faktörlerin kronik ağrının sürdürülmesinde etkili olduğu ve rehabilitasyon sürecinde bilişsel-davranışsal yaklaşımlar ile birlikte ele alınmasının tedavi başarısını artırabileceği belirtilmektedir. (Vlaeyen vd., 2000) (Sullivan vd., 1995) (Wertli vd., 2014)

7. SONUÇ

Kronik bel ağrısının yönetiminde egzersiz ve fizyoterapi temelli yaklaşımlar, yalnızca ağrının azaltılmasına değil, aynı zamanda bireyin fonksiyonel bağımsızlığının korunmasına ve yaşam kalitesinin artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Aerobik egzersizler, su içi uygulamalar, yüksek yoğunluklu antrenmanlar ve postüral eğitim gibi farklı egzersiz yöntemlerinin uygun hasta gruplarında

etkili sonuçlar oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte, kronik bel ağrısının yalnızca fiziksel bir problem olmadığı; uyku bozuklukları, stres, hareket korkusu ve ağrıyı felaketleştirme gibi psikososyal faktörlerle de ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle tedavi sürecinde biyopsikososyal yaklaşım benimsenmeli, bireyin fiziksel, psikolojik ve sosyal gereksinimleri birlikte değerlendirilmelidir. Sonuç olarak, bireye özgü planlanan multidisipliner rehabilitasyon programları kronik bel ağrısının yönetiminde en etkili ve sürdürülebilir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Cast-Baril WL, Frymoyer JW. Identifying patients at risk of becoming disabled because of low back pain. *Spine* 1991;16(6):605-7.
2. Aydoğan Arslan S, Erbahçeci F. Bel Ağrısında Farklı Fizyoterapi Programlarının Ağrı, Endurans ve Yaşam Kalitesi Üzerine Etkinliği. *Fırat Medical Journal* 2016;21(2):084-090
3. Will JS, Bury DC, Miller JA. Mechanical Low Back Pain. *Am Fam Physician*. 2018 Oct 1;98(7):421-428. PMID: 30252425.
4. Simpson AK, Cholewicki J, Grauer J. Chronic low back pain. *Curr Pain Headache Rep* 2006;10:431-6.
5. Brosseau L, Milne S, Robinson V, et al. Efficacy of the tran scutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of chronic low back pain. *Spine* 2002;27(6):596-603.
6. Essman M, Lin CY. The Role of Exercise in Treating Low Back Pain. *Curr Sports Med Rep*. 2022 Aug 1;21(8):267-271. doi: 10.1249/JSR.0000000000000982. PMID: 35946845.
7. Mannion AF, Müntener M, Taimela S, Dvorak J. Comparison of three active therapies for chronic low back pain: results of a randomized clinical trial with one-year follow up. *Rheumatology* 2001;40(7):772-8.
8. Mordeniz C, Sıvacı R. Medical Treatment In The Low Back Pain (Review), *The Medical Journal of Kocatepe* 2010;11:43-54
9. Manchikanti L, Derby R, Wolfer L, Singh V, Datta S, Hirsch JA. Evidence-Based Medicine, Systematic Reviews, and Guidelines in Interventional Pain Management. *Pain Physician* 2009;12:929-963.
10. Gordon R, Bloxham S. A Systematic Review of the Effects of Exercise and Physical Activity on Non-Specific Chronic Low Back Pain. *Healthcare (Basel)*. 2016 Apr 25;4(2):22. doi: 10.3390/healthcare4020022. PMID: 27417610; PMCID: PMC4934575.
11. Meng, X. G., Yue, S. W., & Li, R. L. (2015). The effectiveness of aerobic exercise for treatment of chronic low back pain: a meta-analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(5), 358–365.
12. Searle, A., Spink, M., Ho, A., & Chuter, V. (2015). Exercise interventions for the treatment of chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Clinical Rehabilitation*, 29(12), 1155–1167.
13. Hayden, J. A., van Tulder, M. W., & Tomlinson, G. (2005). Systematic review: strategies for using exercise therapy to improve outcomes in chronic low back pain. *Annals of Internal Medicine*, 142(9), 776–785.
14. Dundar, U., Solak, O., Yigit, I., Evcik, D., & Kavuncu, V. (2009). Clinical effectiveness of aquatic exercise to treat chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Spine*, 34(14), 1436–1440.
15. Waller, B., Lambeck, J., & Daly, D. (2009). Therapeutic aquatic exercise in the treatment of low back pain: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 23(1), 3–14.
16. Barker, A. L., Talevski, J., Morello, R. T., et al. (2014). Effectiveness of aquatic exercise for musculoskeletal conditions: a meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(9), 1776–1786.
17. Verbrugghe, J., Agten, A., Stevens, S., Hansen, D., Demoulin, C., Eijnde, B. O., & Vandenabeele, F. (2020). *Exercise intensity matters in chronic nonspecific low back pain rehabilitation*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(11), 2434–2442.

18. Fernández-Rodríguez R, Álvarez-Bueno C, Cavero-Redondo I, Torres-Costoso A, Pozuelo-Carrascosa DP, Reina-Gutiérrez S, Pascual-Morena C, Martínez-Vizcaíno V. Best Exercise Options for Reducing Pain and Disability in Adults With Chronic Low Back Pain: Pilates, Strength, Core-Based, and Mind-Body. A Network Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2022 Aug;52(8):505-521. doi: 10.2519/jospt.2022.10671. Epub 2022 Jun 19. PMID: 35722759.
19. Zygonia L, Lytras D, Kasimis K, Chatziprodromidou IP, Apostolou T, Iakovidis P. Comparison of the effectiveness of home-based video-supported McKenzie versus Pilates exercise programs in patients with chronic non-specific low back pain: a randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2025 Dec;45:598-605. doi: 10.1016/j.jbmt.2025.09.044. Epub 2025 Sep 29. PMID: 41316625.
20. Liu X, Gao W, Wu P, Huang J, Han J, Xu X, Chen W. Effects of different exercise interventions on lower back pain: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol*. 2026 Jan 6;16:1694330. doi: 10.3389/fphys.2025.1694330. PMID: 41567878; PMCID: PMC12816203.
21. Zhao K, Zhang P, Li H, Li L. Exercise prescription for improving chronic low back pain in adults: a network meta-analysis. *Front Public Health*. 2025 May 30;13:1512450. doi: 10.3389/fpubh.2025.1512450. PMID: 40520315; PMCID: PMC12162995.
22. Neason C, Miller CT, Tagliaferri SD, Belavy DL, Main LC, Ford JJ, Hahne AJ, Bowe SJ, Owen PJ. Exercise prescription variables predict reductions in pain intensity in adults with chronic low back pain: secondary analysis of a randomised controlled trial. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2024 Jan 5;10(1):e001744. doi: 10.1136/bmjsem-2023-001744. PMID: 38196942; PMCID: PMC10773405.
23. Delitto, A., George, S. Z., Van Dillen, L., et al. (2012). Low back pain clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability, and health. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(4), A1–A57.)
24. Kelly, G. A., Blake, C., Power, C. K., O’Keeffe, D., & Fullen, B. M. (2011). *The association between chronic low back pain and sleep: a systematic review*. *Clinical Journal of Pain*, 27(2), 169–181.
25. Finan, P. H., Goodin, B. R., & Smith, M. T. (2013). *The association of sleep and pain: an update and a path forward*. *Journal of Pain*, 14(12), 1539–1552.)
26. Vlaeyen, J. W. S., & Linton, S. J. (2000). Fear-avoidance and its consequences in chronic musculoskeletal pain: a state of the art. *Pain*, 85(3), 317–332.
27. Sullivan, M. J. L., Bishop, S. R., & Pivik, J. (1995). The Pain Catastrophizing Scale: development and validation. *Psychological Assessment*, 7(4), 524–532.
28. Wertli, M. M., Rasmussen-Barr, E., Weiser, S., Bachmann, L. M., & Brunner, F. (2014). The role of fear avoidance beliefs as a prognostic factor for outcome in patients with nonspecific low back pain: a systematic review. *Spine Journal*, 14(5), 816–836.)

KOAH'TA DİSPNE YÖNETİMİNDE GÜNCEL REHABİLİTASYON YAKLAŞIMLARI

Fzt. Esra İNAM

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon
Anabilim Dalı, Bolu

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5120-9092>

Prof. Dr. Eylem TÜTÜN YÜMİN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon
Bölümü, Bolu

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6994-9391>

Prof. Dr. Meral SERTEL

Bursa Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Bursa

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7575-9762>

ÖZET

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) ilerleyici hava yolu kısıtlanması ile karakterize, yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyen kronik bir solunum sistemi hastalığıdır. KOAH'ın en sık görülen semptomları dispne, kronik öksürük ve balgam çıkarmadır. Bu semptomlardan biri olan dispne hastaların yaşam kalitesini ciddi etkilemektedir. Başlangıçta fiziksel efor sırasında ortaya çıkan dispne hastalık ilerledikçe günlük yaşam aktivitelerini kısıtlamaya, egzersiz toleransında azalmaya, anksiyete, yorgunluk ve sosyal izolasyon gibi çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bu sebeple dispnenin etkin yönetimi KOAH rehabilitasyonunda temel hedeflerden biridir. Bu derlemenin amacı KOAH hastalarında dispne yönetimi için fizyoterapi ve rehabilitasyonda kullanılan çeşitli güncel tedavi yaklaşımlarını sunmaktır. Çalışmada 2020-2026 yılları arasında yayımlanan çeşitli randomize kontrollü çalışmalar değerlendirilmiş ve bunlar arasından; enerji koruma tekniği, akupresür, yoga, sanal gerçeklik (VR), progresif kas gevşetme, fan terapi ve inspiratuar kas eğitimi yöntemlerinin dispne üzerindeki etkilerine bakılmıştır.

Bulgular, bu yöntemlerin hem dispne algısını azaltmakta hem de egzersiz kapasitesi, solunum fonksiyonları, fonksiyonel bağımsızlık ve yaşam kalitesi üzerinde de olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Enerji koruma tekniği günlük yaşam aktivitelerini modifiye ederek solunum yükünü azaltıp dispne şiddetini düşürmekte ve aktivite toleransını artırmaktadır. Fan terapisi ve progresif kas gevşetme dispne algısını değiştirerek semptomatik rahatlama sağlamaktadır. Yoga, akupresür ve sanal gerçeklik uygulamaları yalnızca dispne şiddetini değil, anksiyete, yorgunluk ve tedavi uyumunda da olumlu etkiler göstermektedir. İnspiratuar kas eğitimi ise solunum kas kuvvetini artırarak dispneye bağlı kinezyofobiyi azaltmaktadır.

Sonuç olarak, hastanın ihtiyacına göre kişiselleştirilmiş güncel fizyoterapi tedavi yöntemleri KOAH hastalarında dispne yönetiminde etkili ve güvenli yeni seçenekler sunmaktadır. Sadece dispne üzerinde değil, egzersiz toleransını, günlük yaşam aktivitelerine katılımını ve genel yaşam kalitesini artırarak KOAH'ın multidisipliner yönetiminde önemli bir tamamlayıcı rol üstlenebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: KOAH, Dispne, Pulmoner Rehabilitasyon

CURRENT REHABILITATION APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF DYSPNEA IN COPD

ABSTRACT

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is a chronic respiratory disease characterized by progressive airflow limitation that significantly affects quality of life. The most common symptoms of COPD are dyspnea, chronic cough, and sputum production. Dyspnea, one of the major symptoms, severely impacts patients' quality of life. Initially occurring during physical exertion, dyspnea progressively leads to limitations in activities of daily living, decreased exercise tolerance, anxiety, fatigue, and social isolation as the disease advances. Therefore, effective management of dyspnea is one of the primary goals of COPD rehabilitation. The aim of this review is to present current physiotherapy and rehabilitation approaches used in the management of dyspnea in patients with COPD. In this study, randomized controlled trials published between 2020 and 2026 were evaluated, focusing on the effects of energy conservation techniques, acupressure, yoga, virtual reality (VR), progressive muscle relaxation, fan therapy, and inspiratory muscle training on dyspnea.

The findings indicate that these approaches not only reduce the perception of dyspnea but also provide positive effects on exercise capacity, respiratory functions, functional independence, and quality of life. Energy conservation techniques reduce respiratory workload and dyspnea severity while improving activity tolerance by modifying activities of daily living. Fan therapy and progressive muscle relaxation provide symptomatic relief by altering the perception of dyspnea. Yoga, acupressure, and virtual reality applications demonstrate beneficial effects not only on dyspnea severity but also on anxiety, fatigue, and treatment adherence. Inspiratory muscle training improves respiratory muscle strength and reduces dyspnea-related kinesiophobia.

In conclusion, personalized and up-to-date physiotherapy interventions tailored to patient needs offer effective and safe options for dyspnea management in patients with COPD. These approaches may play an important complementary role in the multidisciplinary management of COPD by improving not only dyspnea but also exercise tolerance, participation in daily activities, and overall quality of life.

Keywords: COPD, Dyspnea, Pulmonary Rehabilitation

1.Giriş

Dünyada akciğer hastalıkları, kronik hastalıklar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır (GOLD 2020). Akciğer hastalıklarından biri olan Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH); zararlı gaz veya partiküllere karşı havayolları ve akciğerin artmış inflamatuvar yanıtı ile ilişkili, kronik ilerleyici özellikte hava akımı kısıtlanması ile karakterize, yaygın ama önlenabilir ve tedavi edilebilir bir hastalıktır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre, KOAH dünya çapında ilk on ölüm nedeninden biri olarak kabul edilmektedir. KOAH, tütün dumanına maruziyetin en temel ve geri dönüşümsüz hava yolu obstrüksiyonunun nedeni olduğu çok faktörlü bir hastalıktır. Ancak güncel veriler, KOAH vakalarının %25-45 gibi önemli bir kısmının sigara içmeyen bireylerden oluştuğunu göstermektedir. Sigara dışı etiyolojide; biyokütle yakıtlarından kaynaklanan iç ve dış ortam hava kirliliği ile mesleki toz ve kimyasal maruziyet kritik rol oynamaktadır. Ayrıca ileri yaş, erkek cinsiyet, düşük vücut kitle indeksi (VKİ) ve ailevi solunum yolu hastalığı öyküsü, sigara içmeyen popülasyonda KOAH gelişimi için temel risk faktörleri arasında yer almaktadır (Al Wachami ve ark. 2024). KOAH kronik bronşit ve amfizem olmak üzere iki alt tipte ele alınmaktadır. Kronik bronşit en az iki yıl süreyle, her yıl en az üç ay devam eden öksürük ve balgam çıkarma olarak tanımlanırken; amfizem distal hava yollarında gelişen yapısal bozulma ve kalıcı genişleme olarak ifade edilmektedir (GOLD 2024, Pahal ve ark. 2023).

KOAH'ın en sık görülen semptomları dispne, kronik öksürük ve balgam çıkarmadır. Hastalığın erken dönemlerinde ortaya çıkan öksürük ve balgam çoğu zaman sigara kullanımına bağlandığı için hastalar genellikle geç dönemde, solunum fonksiyonlarında belirgin kayıp geliştikten sonra sağlık kuruluşuna başvurmaktadır. KOAH hastalarında gelişen ilk semptom olan öksürük, başlangıç aşamasında genellikle hastalar tarafından ihmal edilmektedir. Başlangıçta aralıklı olan öksürük, hastalığın

ilerlemesiyle birlikte günlük ve gün boyu devam eden bir özellik kazanabilir. Balgamlı ya da kuru karakterde olabilir; bazı hastalarda ise belirgin öksürük olmaksızın ileri derecede hava yolu obstrüksiyonu gelişebilir. KOAH'ta balgam genellikle az miktarda ve visköz karakterdedir. Alevlenme dışı dönemde beyaz-mukoid karakterde olan balgamın miktarında artış ve renginin pürülan (sarı-yeşil) görünümüne dönüşmesi, akut alevlenmenin önemli bir göstergesi olarak kabul edilir. KOAH'ta en temel başvuru nedeni olan dispne; hastalar tarafından "hava açlığı" veya "nefes alma güçlüğü" olarak tanımlanan öznel bir semptomdur. Hastalığın başlangıcında yalnızca yoğun fiziksel aktivite sırasında ortaya çıkan bu durum, zamanla ilerleyerek en hafif günlük hareketleri dahi kısıtlar hale gelir. Hastalığın ileri evrelerinde nefes darlığı istirahat hâlinde de görülmeye başlar. Ayrıca KOAH'ta hırıltılı solunum, göğüste sıkışma, yorgunluk gibi semptomlar görülmektedir. Hastalarda inspirasyon veya ekspirasyon sırasında duyulan hırıltı ve göğüste sıkışma hissi görülebilir; bu semptomlar gün içinde veya günler arasında değişkenlik gösterebilir. Göğüs sıkışması çoğunlukla fiziksel efor sonrasında ortaya çıkmaktadır. KOAH'lı bireylerde yorgunluk prevalansı %50–71 arasında olup, bu semptom hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Hastalar bu durumu genellikle genel bir bitkinlik veya enerji kaybı olarak ifade eder. Bu durum, günlük yaşam aktivitelerinde kısıtlılığa yol açabilir (GOLD 2025).

KOAH hastalarında en belirgin ve yaşam kalitesini en çok etkileyen semptomun dispne olması nedeniyle, son dönemde dispneyi azaltmaya yönelik programlar ve bu programların etkinliği üzerine araştırmalar yoğunlaşmaktadır. Bu derlemenin amacı, KOAH hastalarında dispneyi azaltmak ve yönetmek için fizyoterapi ve rehabilitasyonda uygulanan tedavi yöntemlerini sunmaktır. Bu yöntemler arasında progresif kas gevşetme, sanal gerçeklik, akupresür, fan terapi, enerji koruma teknikleri, inspiratuar kas eğitimi ve yoga bulunmaktadır.

2.Yöntem

Bu derleme, 2020-2026 yılları arasında kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) olan bireylerde dispne yönetimi ve rehabilitasyon yaklaşımlarını inceleyen güncel literatürün sentezlenmesiyle hazırlanmıştır. Veri toplama sürecinde "Google Akademik, PubMed ve Scopus" veritabanları, "COPD", "Dyspnea", "Physiotherapy ve Rehabilitation" anahtar kelimeleri kullanılarak taranmıştır. Bu derleme kapsamında; progresif kas gevşetme, sanal gerçeklik, akupresür, fan terapisi, enerji koruma teknikleri ve inspiratuar kas eğitimi gibi geleneksel ve yenilikçi fizyoterapi müdahaleleri, randomize kontrollü çalışmalar üzerinden detaylandırılarak ele alınmıştır.

3. Bulgular

3.1. KOAH'ta Enerji Koruma Tekniği ve Dispne

Koah hastalarında enerji koruma teknikleri günlük yaşam aktivitelerini mümkün olan en az enerji harcayarak gerçekleştirmeyi ve yorgunluğu önleyerek akciğer fonksiyonlarını optimize etmeyi hedefleyen stratejik yöntemlerdir. Bu teknikler; aktiviteleri önceliklendirme, işi basitleştirme, zamanı planlama, tempoyu ayarlama, uygun pozisyon alma, büzük dudak solunumu ve pozitif bir tutum sergileme gibi prensiplere dayanır. Bu yöntemlerin uygulanması hastaların dispne algısını ve yorgunluğunu belirgin şekilde azaltarak aktivite toleranslarını artırmaktadır ((Riani ve ark. 2023, Wingårdh ve ark. 2020). Prieur ve ark. tarafından yürütülen çalışma, ileri evre KOAH hastalarının sık karşılaştığı bir engel olan merdiven çıkma zorluğunu ve bu sürecin temel nedeni olan şiddetli dispneyi odak noktasına almaktadır. Merdiven çıkmada yaşanan zorluk ve nefes darlığı hastaların bu aktiviteden kaçınmasına ve sosyal hayattan kopmasına neden olmaktadır. Bu sebeple çalışmada 22 KOAH hastası 108 basamaklı 6 kat merdiveni hem kendi tempolarında hem de eforu parçalara bölen 'Enerji Koruma Tekniği' ile çıkmıştır. Çalışmaya, GOLD kriterlerine göre KOAH tanısı almış ve günlük yaşamda belirgin nefes darlığı (mMRC ≥ 2) yaşayan hastalar dahil edilmiştir. Kardiyovasküler engeli olanlar ile fiziksel kapasitesi 6 kat merdiveni 15 dakikada çıkmaya yetmeyecek kadar yetersiz olan hastalar ise kapsam dışı bırakılmıştır. Randomize sırayla ve 30 dakikalık dinlenme süresiyle iki farklı koşulu tüm hastalar uygulamıştır. Enerji koruma tekniğinde hastalardan her üç basamakta bir en az 5 saniye

dinlenmeleri istenmiştir. Kontrol grubunda ise hastalardan 6 kat merdiveni kendi hızlarında çıkmaları istenip gerektiğinde dinlenebilecekleri söylenmiştir. Bu basit stratejik dinlenmeler hastanın hem dispne hem de bacak yorgunluğu algısını anlamlı düzeyde azaltmıştır. Ayrıca bu yöntem vücuttaki laktat birikimini düşürüp solunum yükünü azaltarak hastanın çok daha rahat bir solunum paterniyle hareket etmesine olanak sağlamıştır. Klinik açıdan en değerli bulgu ise düzenli molalara rağmen her iki koşul arasında merdiven çıkma süresinde fark oluşmamasıdır. Kendi hızında ilerleyen hastalar aktivite sonunda dispne nedeniyle uzun süre hareketsiz kalıp dinlenmek zorunda kalırken; eforu en baştan küçük parçalara bölen hastalar hızı koruyarak ancak çok daha az semptomla görevi tamamlamışlardır. Bu sonuçlar Enerji Koruma Tekniğinin KOAH rehabilitasyonunda performanstan ödün vermeden yaşam kalitesini artıran, pratik ve maliyetsiz bir çözüm olduğunu göstermektedir (Prieur ve ark. 2020).

3.2. KOAH'ta Akupresürün Dispne Üzerine Etkisi

Akupresür Geleneksel Çin Tıbbı'nın tedavi yöntemlerinden biri ve invaziv olmayan manuel bir teknik olarak tanımlanır. Bu yöntem vücudun meridyenleri üzerinde bulunan belirli akupunktur noktalarının enerji dengesini sağlamak ve enerji akışını uyarmak amacıyla parmaklar veya avuç içleri ile manipüle edilmesine dayanmaktadır. Akupresür dispne depresyon ve anksiyeteyi azaltmada, solunum hızını iyileştirmede ve oksijen saturasyonunu artırmada yeni bir yöntemdir. Akupresür, 2021 yılında GOLD kılavuzlarında non-farmakolojik yaklaşımlar arasında önerilmiştir (Maharem ve ark. 2021, Hamdi Kamal Khalil ve ark. 2022) Ergin ve Karadağ, KOAH hastalarında dispne ve anksiyetenin yaşam kalitesini ciddi şekilde etkilediğini ve semptomların kontrolünün tedavide kritik olduğunu vurgulamaktadır. Akupresür; solunum fonksiyonunu desteklemek, dispneyi ve anksiyeteyi azaltmak amacıyla non-farmakolojik, hastalar tarafından uygulanabilir bir yöntem olarak seçilmiştir. Çalışmaya iletişim kurabilen, GOLD kriterlerine göre orta ve ağır KOAH tanısı almış ve Beck Anksiyete Envanteri puanı ≥ 8 olan, bilişsel herhangi bir bozukluğu olmayan, uygulama noktalarında yara veya enfeksiyon bulunmayan bireyler arasından seçilmiştir. Müdahale süreci hasta izlem formu ve akupresür broşürü ile standardize edilmiştir. Müdahale grubundaki hastalara akupresür uygulaması öğretilerek dört hafta boyunca haftada beş gün bilateral olacak şekilde el başparmağı ile işaret parmağı arasındaki bölgeye, bileğin iç kısmına, göğsün üst dış alanına ve diz kapağının hemen altındaki dış yan bölgeye her gün toplam 16 dakika olacak şekilde kendi kendilerine basınç uygulamaları istenmiştir. Kontrol grubu ise bu süreçte sadece tıbbi tedavi, inhaler ilaç kullanımı, solunum egzersizleri ve genel sağlık bakımı almıştır. Bu çalışma akupresür ile belirli noktalara yapılan düzenli basının hem dispne hem de anksiyete seviyelerini anlamlı derecede azalttığını göstermektedir. Sonuç olarak elde edilen bulgular, akupresürün KOAH hastalarında hem dispneyi hem de anksiyeteyi azalttığını göstererek, bu yöntemin güvenli, hastaların öğrenip kendi başlarına uygulayabileceği ve rutin tedaviye destekleyici bir yaklaşım olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır (Ergin ve Karadağ 2026).

3.3. Yoganın Dispne Üzerine Etkisi

Yoga; beden, zihin ve solunumun bütüncül kontrolünü hedefleyen bir zihin-beden terapisi yaklaşımıdır. Koah hastalarında dispne; solunum mekaniklerinin bozulması, kas yorgunluğu ve anksiyete ile ilişkili olup yoga bu çok boyutlu mekanizmalara aynı anda etki edebilen bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Özellikle pranayama temelli solunum egzersizleri ventilasyonu düzenleyerek solunum kaslarının etkinliğini artırmakta ve dispne algısını azaltmaktadır. Genel anlamda yoga; vücudu çeşitli pozisyonlara sokarak zindelik ve esneklik kazanmayı, nefes almayı iyileştirmeyi ve zihni rahatlatmayı amaçlayan bir egzersiz türüdür. (Gao ve ark. 2024, Biradar ve ark. 2025). Özer ve ark., dünya genelinde artan mortalite oranlarıyla seyreden astım ve KOAH gibi kronik solunum yolu hastalıklarında görülen dispne, yorgunluk ve uyku bozukluklarının bireylerin yaşam kalitesini kısıtlaması nedeniyle; fiziksel duruşlar (Asana), nefes teknikleri (Pranayama), ve meditasyonu (derin gevşeme) içeren yoganın bu semptomlar üzerindeki etkinliğini incelemişlerdir. Yoganın fiziksel duruşlar ve derin nefes egzersizlerinden oluşan bütüncül yapısının solunum kaslarını güçlendirip stresi azaltarak hastaların yaşam kalitesini artıracığını öngörmüşlerdir. 60 kronik solunum yolu hastası ile yapılan çalışmada katılımcılar; en az altı aydır astım veya KOAH tanısı almış, bilişsel veya fiziksel engeli bulunmayan hastalardır. Müdahale grubunda 8

hafta boyunca haftada iki gün birer saatlik seans şeklinde ZOOM üzerinden online yoga eğitimi verilmiştir. 60 dakikalık yoga seansları; 10 dakika ayakta nefes egzersizi, 10 dakika asana ile oturarak nefes egzersizi, 10 dakika asana ile germe-nefes egzersizi, 20 dakika oturarak nefes egzersizi ve 10 dakika germe-derin gevşeme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubundaki hastalar ise bu süreçte sadece ilaç tedavilerini ve rutin poliklinik takiplerini içeren standart bakımlarına devam etmiş, ek bir egzersiz programına dahil edilmemişlerdir. Yoga uygulaması yorgunluk, uyku kalitesi ve dispne seviyelerinde kontrol grubuna oranla belirgin iyileşme sağlamıştır. Yapılan analizler; uyku düzenindeki iyileşmenin %97'sinin, yorgunluktaki azalmanın %90'ının ve dispne şiddetindeki hafiflemenin %50'sinin doğrudan yoga uygulamasından kaynaklandığını söylemektedir. Bu veriler yoganın kronik solunum yolu hastalıklarında semptom yükünü hafifleten, genel iyilik hâli ve uyku hijyenini optimize eden bilimsel açıdan güçlü bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır. Tüm bu bulgular ışığında; yoganın kronik solunum yolu hastalıklarında dispne, yorgunluk ve uyku kalitesi üzerindeki iyileştirici etkisi nedeniyle tıbbi tedaviye ek bir yöntem olarak uygulanması önerilmektedir (Özer ve ark. 2021).

3.4. Sanal Gerçekliğin KOAH 'ta Dispneye Etkisi

Sanal gerçeklik (VR) üç boyutlu simülasyonlar aracılığıyla bireye gerçekçi ve etkileşimli bir ortam sunan, rehabilitasyonda hasta katılımını ve motivasyonunu artırmayı hedefleyen yenilikçi bir teknolojidir. VR ile zenginleştirilmiş rehabilitasyon programları akciğer fonksiyonu, egzersiz kapasitesi ve dispne üzerinde olumlu etkiler sağlayabilmektedir. VR hastaların egzersiz sırasında dikkatini semptomlardan uzaklaştırarak dispne algısını azaltmaktadır. Uygulamalarda VR; ekran tabanlı sistemlerle kontrollü solunum egzersizleri ve aerobik aktivitelerin sanal ortamda yönlendirmesi şeklinde konvansiyonel rehabilitasyona entegre edilmektedir (Gao ve ark. 2024, Chen ve ark. 2025). Şimşekli ve ark. tarafından yapılan çalışmada, KOAH tanılı hastalarda VR ile uygulanan solunum egzersizlerinin dispne, anksiyete ve yaşam kalitesi üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Solunum egzersizleri, pulmoner rehabilitasyonun vazgeçilmez bir parçasıdır. Temel olarak akciğer hacmini ve kapasitesini geliştirerek daha rahat nefes almayı sağlar. Özellikle büyük dudak ve diyafragmatik solunum egzersizleri, solunum fonksiyonlarını doğrudan iyileştirerek hastalığın çok daha etkin bir şekilde kontrol altında tutulmasına yardımcı olmaktadır. Çalışmaya; GOLD evre II-III-IV düzeyinde, Mini Mental Test > 24 olan hastalar dahil edilip yakın zamanda KOAH atağı veya pnömoni geçirenler dışlanmıştır. Müdahale sürecince deney grubundaki 24 hastaya araştırmacı tarafından hazırlanan ve Oculus Quest 2 VR gözlükleri ile izlenebilen 3D formatındaki "büyük dudak" ve "diyafragmatik" solunum egzersizleri uygulanmıştır. Sekiz hafta, haftada üç gün gerçekleştirilen bu seanslarda hastalar, sanal bir ortamda sunulan görsel ve işitsel rehberler eşliğinde egzersizlerini yapmışlardır. Kontrol grubundaki 24 hasta ise herhangi bir müdahale olmaksızın standart tıbbi tedavi ve poliklinik takiplerine devam etmişlerdir. Müdahale sonrası deney grubunda dispne şiddetini ölçen mMRC skorunda anlamlı iyileşmeler görülürken kontrol grubunda dispne seviyesinde iyileşme görülmemiş; aksine zamanla dispne şiddeti artmıştır. VR grubunda öksürük, balgam ve hırıltılı solunum gibi genel semptom yükünü gösteren CAT skorları anlamlı düzeyde düşerken; kontrol grubunda bu semptomların kötüleşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Kontrol grubunda dispneye bağlı anksiyete düzeyleri yükselirken; VR grubunda sağlanan fiziksel rahatlama ve teknolojik motivasyon sayesinde HAD-A skorları gerilemiş ve yaşam kalitesi tüm alt boyutlarda artış göstermiştir. Sanal Gerçeklik Değerlendirme Formu verilerine göre; hastaların tamamına yakını VR ile egzersiz yapmayı "çok kolay" ve "eğlenceli" olarak nitelendirmiş, hiçbir yan etki bildirmemiş ve bu yöntemi tekrar kullanma konusunda yüksek motivasyon sergilemişlerdir. Sonuç olarak, bu çalışma; standart rutin bakımın KOAH'ın doğal seyri içindeki kötüleşmeyi durdurmada yetersiz kaldığını, ancak VR destekli solunum egzersizlerinin bu süreci tersine çevirerek dispne kontrolünü etkin şekilde sağladığını, hastanın genel sağlık durumunu iyileştirdiğini ve tedavi uyumunu artırdığını kanıtlamıştır (Şimşekli ve Tan 2025).

3.5. KOAH'ta Dispneye İki Farklı Yaklaşım: Senobi vs. Jacobson PMR

PMR vücuttaki kas gruplarının sistematik olarak kasılıp gevşetilmesine dayanan ve sempatik sinir sistemi aktivitesini azaltarak kas gerginliğini gideren non-farmakolojik bir yöntemdir. KOAH

hastalarında uygulanmasıyla yardımcı solunum kaslarındaki aşırı aktiviteyi düşürüp anksiyeteyi baskılayarak dispne şiddetinin azaltılmasında etkili bir yöntemdir (Neşe ve Bağlama 2022). Sajjad ve ark. tarafından yapılan çalışma KOAH yönetiminde standart fizyoterapiye eklenen iki farklı non-farmakolojik yaklaşımın pulmoner fonksiyonlar, dispne ve uyku kalitesi üzerindeki etkinliğini karşılaştırmaktadır. Senobi temelli egzersizler postüral uzama, torasik ekspansiyonun artırılması ve yavaş, kontrollü solunum paternlerine odaklanan Japon kökenli bir yaklaşımdır. Bu yöntemde solunum mekaniğini iyileştirerek gevşeme yanıtı güçlendirmeyi ve semptom kontrolünü desteklemeyi hedeflemektedir. Çalışmaya 35-50 yaş arası, evre 2-3 KOAH tanılı olan hastalar dahil edilmiştir. Standart fizyoterapi inhaler tedavisi, göğüs fizyoterapisi ve hava yolu temizleme tekniklerini içermektedir. Müdahale 8 hafta haftada üç gün seans başına progresif olarak artan sürelerle uygulama yapılmıştır. Senobi grubuna postüral uzama ile senkronize edilen diyafragmatik ve yavaş ritmik solunum (4-5 sn inspirasyon, 2-3 sn nefes tutma, 4-5 sn ağızdan yavaş ekspirasyon) uygulanmış. PMR, majör kas gruplarının distalden proksimale doğru sistematik olarak kasılıp gevşetildiği standart bir baştan ayağa protokol şeklinde uygulanmıştır. Uygulamada her kas grubunda kısa süreli kasılma sonrası bilinçli gevşeme gerçekleştirilmiş ve kas grupları arasında yavaş solunum eşliğinde ilerlenerek gevşeme yanıtının pekiştirilmesi ve algılanan solunum eforunun azaltılması hedeflenmiştir. Elde edilen bulgular her iki yöntemin de grup içi karşılaştırmasında tüm parametreler için iyileşmeler olduğunu göstermektedir ama semptomlar açısından farklı klinik üstünlükler vardır. PMR yardımcı solunum kaslarındaki gerginliği azaltarak dispne şiddetinin hafifletilmesinde ve fonksiyonel kapasiteyi artırmada Senobi ise kontrollü yavaş solunum ritmi sayesinde uyku kalitesi üzerinde daha üstün bulunmuştur. Bu sonuçlar rehabilitasyon planlanmasında hastanın birincil şikayetine göre kişiselleştirilmiş modalite seçiminin önemini göstermektedir (Sajjad ve ark. 2026).

3.6. Kronik Solunum Yolu Hastalarında Egzersiz Sırasında Fan Terapisinin Dispne Üzerine Etkisi

Fan terapi, bir el veya masaüstü fan aracılığıyla yüzün özellikle trigeminal sinirin dallarının bulunduğu bölgeye hava akımı yönlendirilerek uygulanan noninvaziv bir yöntemdir. Bu yöntem soğuğa duyarlı uyararak merkezi sinir sistemindeki dispne algısını modüle eder ve ventilasyon veya gaz değişimi olmasa bile beyin daha iyi nefes alındığını hissetmesini sağlar (Pereira ve ark. 2026, Sato ve ark. 2023). Venkatapen ve ark. tarafından yapılan çalışmada 6DYT'yi kullanarak fan ile yüze uygulanan serin hava akımının günlük yaşam aktiviteleri sırasında dispneyi nasıl etkilediği ve yürüme mesafesindeki etkisi araştırılmaktadır. Çalışmaya kronik solunum yolu hastalığı öyküsü olan, mMRC skoru ≥ 1 olanlar dahil edilmiştir. Toplam 25 hasta iki gruba ayrılıp bir grup önce fansız sonra fanlı diğer grup önce fanlı sonra fansız olarak olarak 6 dakikalık yürüme testi yapılmıştır. Boynun her iki yanına yerleştirilen iki mini fandan oluşan hafif ve stabil bir boyun fanı tercih edilmiştir ve perinazal bölgeye 20 cm uzaklıkta yerleştirilmiştir. Hava akım hızı 1,5 m/s ve ortam sıcaklığı ortalama 23,8°C seviyesinde tutulmuştur. Cihaz, hem 6 dakikalık yürüme süresince hem de testi takip eden 2 dakikalık toparlanma periyodu boyunca açık tutulmuştur. Bulgular fanın sağladığı faydanın uygulama sırasından bağımsız olduğunu ve her iki grupta da tutarlı bir iyileşme yarattığını kanıtlamıştır. Fan kullanımı test sonundaki dispne şiddetini ve egzersiz sırasındaki dispne artış hızını anlamlı düzeyde düşürmüştür. Fan desteği alan hastaların yürüme mesafesinde, testin her aşamasında (2, 4 ve 6. dakikalar) artışlar olmuştur ve bu artışlar klinik anlamlılık değerini aşmıştır. SpO₂ açısından fark yoktur, kalp hızındaki artış; fan kullanım dispne algısını azalttığı için daha yüksek tempoda yürüyebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak fan terapi; düşük maliyetli ve non-invaziv bir müdahale olarak hem istirahat hem de pulmoner rehabilitasyon gibi aktif süreçlerde fonksiyonel kapasiteyi artıran güçlü bir non-farmakolojik destek aracıdır (Venkatapen ve ark. 2025).

3.7. KOAH Rehabilitasyonunda Yeni Bir Adım: Dispne Korkusuna Karşı Kas Eğitimi

İnspiratuar Kas Eğitimi (İKE) KOAH hastalarında diyafram ve eksternal interkostal kaslar gibi temel inspiratuar kasların kuvvet ve dayanıklılığını artırarak solunum mekaniğini optimize eden kanıta dayalı bir rehabilitasyon yöntemidir. Hastalık seyrinde gelişen hava hapsi ve göğüs kafesindeki yapısal değişikliklerin yarattığı mekanik dezavantaj inspiratuar kas güçsüzlüğüyle birleşerek dispne algısının

temelini oluşturmaktadır. İKE inspiratuar kasların yorulma eşiğini yükselterek solunum iş yükünü azaltmakta ve hastanın dispne algısını doğrudan hafifletmektedir. İKE klasik diyafram nefesinden farklı olarak bir cihazın yaylı mekanizmasına karşı uygulanan dirençli bir antrenman yöntemidir. Solunum kaslarını güçlendirerek hastanın nefes kontrolünü artırmaya ve böylece 'hareket edersem nefesim kesilir' şeklindeki zihin bariyerini kırmaya yardımcı olmaktadır (Figueiredo ve ark. 2020, Hoffman ve ark. 2021). Akciğer hastalığı olan bireylerin, dispneden kaçınmak amacıyla fiziksel aktiviteden uzaklaşmaları "dispne ile ilişkili kinezyofobi" olarak tanımlanmakta ve bu durum hastaları fiziksel hareketsizlik, depresyon ve sosyal izolasyonla sonuçlanan bir kısır döngüye sokmaktadır. Çalışmanın amacı Nefes Darlığı İnanç Anketi (BBQ) kullanılarak dispne ile ilişkili kinezyofobiyi değerlendirmek, Inspiratuar Kas Eğitiminin bu durum üzerindeki etkilerini belirlemek ve aynı zamanda İKE'nin kas kuvveti, fonksiyonel kapasite, anksiyete ve depresyon düzeyi ile yaşam kalitesi üzerindeki etkisini incelemektir. Çalışmaya FEV₁/FVC < %70, stabil KOAH hastaları dahil edilip yakın zamanda alevlenme öyküsü, ciddi kardiyak ve nörolojik bozukluğu olanlar dışlanmıştır. Hastalar deney ve plasebo olarak ikiye ayrılmıştır. Tüm hastalara aktivite önerisinde bulunulmuş ve haftada en az 150 dakika orta şiddetli fiziksel aktivite (yürüyüş, yüzme vb.) yapmaları istenmiştir. Ayrıca enerji koruma teknikleri ve dispne giderici pozisyonlar hakkında bilgilendirme yapılmıştır. İKE, Threshold IMT pulmoner egzersiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Egzersiz protokolü 8 hafta, haftada 5 gün, günde 2 kez 15 dakika süreyle cihazla 7-8 nefeslik setler uygulanmış ve set aralarında dinlenme nefesleri alınmıştır. Deney grubunda antrenman şiddeti her hafta ölçülen MIP'ın %30'u olarak güncellenirken plasebo grubunda da yine ölçümler yapılmış ama şiddeti değiştirilmeyip başlangıç MIP değerinin %15'i oranında sabit uygulanmıştır. İKE uygulaması sırasında hastalardan, destekli ve gevşek bir pozisyonda oturarak burun klipsi eşliğinde cihazdan hızlı ve güçlü nefes almaları, ardından yavaşça nefes vermeleri istenmiştir. 8 haftalık İKE protokolü sayesinde hastaların dispne algısının (Borg/mMRC) azaldığı ve buna bağlı olarak "hareket edersem nefesim kesilir" şeklindeki zihinsel bariyerlerinin de (BBQ) yıkıldığı bulunmuştur. Solunum kaslarının güçlenmesiyle yürüme mesafesi artmakla kalmayıp hareket etme cesaretlerinin de gelmesiyle anksiyete ve depresyon seviyeleri de belirgin iyileşmiştir. Solunum fonksiyonları (SFT) sadece İKE grubunda düzelme göstermiştir. CAT ve SGRQ ölçeklerinde de İKE grubu plasebo grubuna göre üstün bulunmuştur. Sonuç olarak çalışma, dirençli nefes antrenmanının KOAH'lı hastalarda kinezyofobiyi azaltmada etkili bir yöntem olabileceği ve fiziksel güçlenmenin zihinsel bariyerleri yıkarak genel iyileşmeyi hızlandırabileceği söylenmiştir. Özellikle dispne üzerine elde edilen veriler; solunum kaslarını kuvvetlendirmenin, hastanın dispne algısını düşürerek egzersiz toleransını artırmada kritik bir eşik olduğunu vurgulanmıştır (Saka ve ark. 2021).

4. Sonuç

KOAH hastalarında yaşam kalitesini en çok etkileyen semptom olan dispnenin yönetiminde fizyoterapi ve rehabilitasyon yaklaşımları kritik bir rol oynamaktadır. Bu yaklaşımlar sanal gerçeklik gibi güncel teknolojilerden enerji koruma tekniklerine kadar dispne semptomunu yönetmek için kanıta dayalı stratejiler sunmaktadır. Enerji koruma tekniği, akupresür ve yoga gibi yöntemler solunum yükünü hafifletip anksiyeteyi azaltarak hastaların günlük yaşam aktivitelerinin üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Inspiratuar kas eğitimi solunum kaslarını güçlendirerek hareket edersem nefesim kesilir şeklindeki kinezyofobi bariyerinin yıkılmasına yardımcı olmaktadır. Fan terapi ve progresif kas gevşetme uygulamaları dispne algısını modüle ederek hem istirahat hem de efor sırasında semptomatik rahatlama sağlamaktadır. Sonuç olarak kişiselleştirilmiş güncel fizyoterapi yaklaşımları KOAH yönetiminde dispne kontrolünü etkin ve güvenli şekilde sağlayarak hastaların genel sağlık durumunu ve tedaviye uyumunu iyileştiren bir role sahiptir.

KAYNAKÇA

Al Wachami, N., Guennouni, M., Iderdar, Y., Boumendil, K., Arraji, M., Mourajid, Y., ... & Chahboune, M. (2024). Estimating the global prevalence of chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a systematic review and meta-analysis. BMC Public Health, 24(1), 297.

- Biradar, M., Chillapur, V. G., & Natekar, D. (2025). A Study to Assess the Effectiveness of Yoga Breathing on Dyspnea, Oxygen Saturation and Anxiety among Patient with COPD Attending Medicine OPD of HSK Hospital and Research Centre, Bagalkot. *Sch J App Med Sci*, 13, 229-34.
- Chen, Y., Zhang, Y., Long, X., Tu, H., & Chen, J. (2025). Effectiveness of Virtual Reality–Complemented Pulmonary Rehabilitation on Lung Function, Exercise Capacity, Dyspnea, and Health Status in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of medical Internet research*, 27, e64742.
- Ergin, Ç., & Karadağ, S. (2026). Effects of Acupressure on Dyspnea and Anxiety in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Controlled Trial. *EXPLORE*, 103326.
- Figueiredo, R. I., Azambuja, A. M., Cureau, F. V., & Sbruzzi, G. (2020). Inspiratory muscle training in COPD. *Respiratory Care*, 65(8), 1189-1201.
- Gao, B., Wang, S., & Jiang, S. (2024). The occurrence mechanism, assessment, and non-pharmacological treatment of dyspnea. *Medical Review*, 4(5), 395-412.
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. (2024). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2024 report).
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. (2025). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2025 report). <https://goldcopd.org>
- GOLD 2020 Report: Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. GOLD Assembly, 2020.
- Hamdi Kamal Khalil, N., Abdel Halim Mostafa Ahmed, F., Mohamed Elsayed Ahmed, W., Ibrahim Abd El Fatah Yassen, M., & Ahmed Hussein Ahmed, H. (2022). Effect of Acupressure versus Pursed Lip Breathing Intervention on Dyspnea and Pulmonary Function among Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients. *Egyptian Journal of Health Care*, 13(1), 1506-1515.
- Hoffman, M., Augusto, V. M., Eduardo, D. S., Silveira, B. M., Lemos, M. D., & Parreira, V. F. (2021). Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. *Physiotherapy theory and practice*, 37(8), 895-905.
- Maharem, T. A., Mohamed Mohamed, A. A. E. R., & Almanzlawi, H. A. (2021). Acupressure versus pursed lip breathing techniques on physiological parameter and dyspnea grade among patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Assiut Scientific Nursing Journal*, 9(26.), 11-18.
- Neşe, A., & Bağlama, S. S. (2022). The effect of progressive muscle relaxation and deep breathing exercises on dyspnea and fatigue symptoms of COPD patients: a randomized controlled study. 36(4), E18-E26.
- Özer, Z., Turan, G. B., & Aksoy, M. (2021). The effects of yoga on dyspnea, sleep and fatigue in chronic respiratory diseases. *Complementary therapies in clinical practice*, 43, 101306.
- Pahal, P., Avula, A., & Sharma, S. (2023). Emphysema.
- Pereira, R. A., Barcellos, G., Lenz, G., Christmann, A., De Mello, M. A. J., Gonçalves, T. A., & Giese, G. (2026). Fan Therapy for Dyspnea in Palliative and Supportive Care: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Respiratory Care*, 19433654261424868.
- Prieur, G., Combret, Y., Medrinal, C., Arnol, N., Bonnevie, T., Gravier, F. E., ... & Borel, J. C. (2020). Energy conservation technique improves dyspnoea when patients with severe COPD climb stairs: a randomised crossover study. *Thorax*, 75(6), 510-512.
- Riani, S., Pohaci, M. P., & Hartoyo, M. (2023). Six Principles Energy Conservation Techniques for Respiratory Frequency and Oxygen Saturation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients:

Teknik Konservasi Energi 6 Prinsip Terhadap Frekuensi Pernapasan dan Saturasi Oksigen Pada Pasien Penyakit Paru Obstruktif Kronis. *Jurnal Ilmiah Ilmu Keperawatan Indonesia*, 13(03), 115-123.

Sajjad, L., Jamil, M., Shahzadi, A., & Jamshad, N. (2026). Senobi Exercises with Jacobson's Muscular Relaxation Exercises in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Journal of Health and Rehabilitation Research*, 1-9.

Saka, S., Gurses, H. N., & Bayram, M. (2021). Effect of inspiratory muscle training on dyspnea-related kinesiophobia in chronic obstructive pulmonary disease: A randomized controlled trial. *Complementary therapies in clinical practice*, 44, 101418.

Sato, T., Taito, S., Nakashima, Y., Sakai, K., & Kako, J. (2023). Safety and feasibility of fan therapy for dyspnea: a scoping review. *Cureus*, 15(8).

Şimşekli, D., & Tan, M. (2025). Effects of breathing exercises performed with virtual reality on dyspnea, anxiety and quality of life in COPD patients: A randomized controlled trial. *Heart & Lung*, 71, 7-13.

Venkatapen, D., Caty, G., Froidure, A., Nana, F. A., & Reychler, G. (2025). Effect of fan therapy on dyspnea in patients with chronic respiratory diseases during exercise: A randomized controlled trial. *Respiratory Medicine*, 108426

Wingårdh, A. S. L., Göransson, C., Larsson, S., Slinde, F., & Vanfleteren, L. E. (2020). Effectiveness of energy conservation techniques in patients with COPD. *Respiration*, 99(5), 409-416.

FUNCTIONAL VALUE, CLAIM CREDIBILITY, AND NEED-STATE SEGMENTATION: A QUALITATIVE MARKETING STUDY OF NUTRITION-RELATED CONSUMPTION AMONG GENERATION Z SHIFT FACTORY WORKERS IN CIKARANG

Siska Purnama Manurung¹, Fashihah Ardi Qut Karamah¹, Fathan Ar Rasyid Dirgantara¹, and Putri Elzahra¹

¹Faculty of Business, Management Study Program, President University, Cikarang, Indonesia

Abstract

Generation Z marketing is often framed through digital lifestyle, expressive identity, trend adoption, and social-media influence. This framing is incomplete for occupational microsegments whose consumption decisions are shaped by fatigue, time pressure, income limits, and bodily risk. This study examines nutrition-related consumption among shift factory workers in Cikarang as a marketing problem of functional value, need-state segmentation, and claim credibility. The study applies a qualitative constructivist-interpretive design using five semi-structured online interviews, three WhatsApp-based digital trace materials, and coding outputs from the submitted classroom report. Thematic analysis was used to interpret how work stress, shift routines, and product experiences shape consumption behavior and product evaluation. Five themes were generated: occupational identity as segmentation context; stress-triggered functional consumption; non-consumptive coping as a boundary condition for market opportunity; claim credibility, ingredient transparency, and trust signals; and unmet value proposition with good-enough choice behavior. The findings show that these workers do not evaluate nutrition-related products primarily through aspirational branding. They evaluate products through practical fit, perceived bodily effect, affordability, institutional assurance, ingredient clarity, and the credibility of marketing claims. The study contributes to contemporary marketing by repositioning Gen Z factory workers as a context-bound consumer segment whose value logic is functional, skeptical, and experience-based. It also offers implications for functional-food positioning, workplace wellness communication, ethical claim design, and product development for shift-based consumers.

Keywords: claim credibility; functional value; Generation Z; need-state segmentation; nutrition-related products; shift workers; trust-based evaluation; work stress

I. INTRODUCTION

Contemporary marketing research should not treat Generation Z as a single lifestyle segment. Much of the popular and managerial discourse around Gen Z emphasizes digital connectedness, trend sensitivity, expressive consumption, and social-media participation. That view may be useful for studying urban leisure, fashion, entertainment, and creator economies, but it becomes insufficient when the Gen Z consumer is also a shift worker operating inside a physically demanding manufacturing environment.

This study reframes the submitted classroom report as a marketing inquiry into occupational need states. The original project examined work stress and functional consumption among Gen Z shift factory workers in Cikarang. Its strongest contribution is not merely that workers feel stress. The stronger marketing insight is that stress changes the criteria through which consumers define value. Under rotating shifts, overtime, fatigue, production pressure, and safety risk, nutrition-related products are evaluated less as lifestyle accessories and more as tools for stamina protection, alertness, recovery, and bodily confidence.

From a segmentation perspective, this group is important because it challenges a common weakness in Gen Z marketing: excessive reliance on demographic labels without enough attention to usage context. A consumer may belong to Gen Z, but the decision logic of a factory worker after a night shift differs from the decision logic of a campus-based lifestyle consumer browsing a trend product. For shift

workers, the relevant segmentation base is not only age. It is the interaction between work rhythm, fatigue, consumption occasion, trust standard, and perceived bodily risk.

The marketing problem is therefore precise: existing nutrition-related products may be available, but availability does not equal fit. Workers in the report consume coffee, milk, vitamins, herbal drinks, and supplements, yet their narratives show compromise, skepticism, and conditional usage. They want products that are practical, safe for repeated use, credible, affordable, and suitable for the realities of shift work. This makes the topic relevant to functional-food marketing, health-oriented product positioning, claim credibility, and workplace-linked consumer insight.

The main research question is: How do shift-based work conditions and work stress shape the identity, functional consumption, and product evaluation of factory workers in Cikarang toward nutrition-related products? The study contributes to digital and contemporary marketing by showing that contemporary consumer insight must move beyond surface-level generational branding and examine how lived work conditions produce specific need states, trust filters, and value expectations.

II. LITERATURE REVIEW

A. Occupational Microsegmentation and Contextual Consumer Behavior

Marketing segmentation becomes analytically weak when consumers are grouped only by demographic category. Consumer behavior is shaped by the conditions under which people recognize needs, search for solutions, evaluate claims, and judge product performance. In this study, the occupational context is not background information; it is the core market context. Shift-based factory work structures daily routines, sleep timing, meal timing, social interaction, and product-use occasions. The segment is therefore better understood as an occupational microsegment: consumers whose needs and evaluation criteria are shaped by a shared work setting.

This perspective refines the treatment of Generation Z. Benitez-Marquez et al. (2022) and Zahra et al. (2025) position Gen Z within workplace discussions, but the submitted report shows that generational characteristics must be interpreted through local work conditions. In this case, the consumer is not primarily seeking symbolic distinction or trend participation. The consumer is managing fatigue, safety, productivity, recovery, and budget constraints. This shifts the marketing lens from lifestyle branding to need-state segmentation.

B. Shift Work Stress as a Need-State Trigger

Work stress refers to pressure that emerges when job demands exceed a worker's adaptive capacity. In shift-based manufacturing, stress is intensified by rotating schedules, physical workload, production targets, overtime, supervisory pressure, and the need to avoid operational errors. Hemiö et al. (2020) show that work stress and night work are associated with nutrient intake, supporting the broader point that work rhythm can shape food and nutrition behavior. For marketing analysis, the key issue is not only health impact but consumption trigger: stress and fatigue create moments when workers actively seek practical support.

The report's data show that consumption is frequently occasion-based. Coffee, milk, vitamins, herbal drinks, and supplements are not consumed only because of taste or brand image. They are activated by work situations: night shift, overtime, physical tiredness, low concentration, and fear of human error. Shift work therefore creates recurring need states that can inform product design, packaging size, usage instructions, workplace distribution, and message framing.

C. Functional Value, Utilitarian Consumption, and Coping

Functional value refers to the perceived usefulness of a product in solving a practical problem. Dhar and Wertenbroch's (2000) distinction between utilitarian and hedonic goods is relevant because the

workers in this study evaluate nutrition-related products through utility: Does it help me stay awake? Does it reduce fatigue? Does it feel safe? Does it support my body after work? This evaluation is practical and embodied.

Coping theory also helps explain why consumption appears in the data. Lazarus and Folkman (1984) conceptualize coping as an effort to manage demands that are appraised as taxing or exceeding available resources. In this study, consumption becomes one possible coping practice, but not the only one. Some workers also rely on sleep, ordinary meals, water, social support, or herbal remedies. This distinction prevents the analysis from becoming commercially naive. A market opportunity exists only where a product genuinely fits the worker's coping logic.

D. Claim Credibility, Trust Signals, and Product Evaluation

Marketing communication for nutrition-related products depends heavily on credibility because the product is evaluated through bodily experience. Moorman et al. (1993) define trust as willingness to rely on an exchange partner, while Erdem and Swait (2004) show that brand credibility can influence consideration and choice. In the worker context, however, brand credibility does not operate as blind loyalty. Workers scrutinize claims, compare advertising with bodily results, check ingredients, and use institutional signals such as BPOM approval and halal certification as minimum trust thresholds.

This logic is consistent with functional-food scholarship. Granato et al. (2020) emphasizes the importance of product development, efficacy testing, and safety in functional foods. The workers' narratives translate these industry concerns into consumer language: do not overclaim, do not hide ingredients, do not make unrealistic promises, and do not sell generic products as if they solve shift-work fatigue. Credible positioning should therefore be modest, specific, and evidence informed.

E. Conceptual Marketing Lens

The study uses a contextual marketing lens with five linked premises. First, occupational conditions create need states. Second, need states trigger functional consumption or non-consumptive coping. Third, workers evaluate products through practical value and bodily verification. Fourth, trust is built through transparent claims, ingredient clarity, institutional assurance, and repeated experience. Fifth, the gap between worker needs and available products produces good-enough consumption, low brand loyalty, and unmet value opportunities. This lens guides the interpretation of the findings without changing the original research results.

III. RESEARCH METHODOLOGY

A. Research Approach

This study adopts a qualitative constructivist-interpretive design. The design is appropriate because the research question concerns meaning, product evaluation, trust, and consumption logic rather than statistical measurement. The study is best described as an interview-based consumer-insight inquiry with an ethnographic interpretive lens. It is not a full workplace ethnography because direct factory observation was not conducted. The absence of direct observation is treated as a limitation, not hidden.

B. Research Setting, Data Sources, and Anonymization

The field context is a shift-based manufacturing workplace in Cikarang. The report submitted identifies a specific company and address. In this revised manuscript, the company is anonymized because the uploaded file does not include proof of organizational permission for public identification. The study uses two main evidence streams: five semi-structured online interviews and three WhatsApp-group screenshots used as supplementary digital trace evidence. Coding outputs from the report, including

matrix queries and a vocabulary map, are treated as supporting organization rather than standalone proof.

Table 1. Data corpus used in the revised manuscript

Source	Evidence code	Scope	Reported period or mode	Marketing use
Semi-structured interviews	I01-I05	Five shift workers in maintenance, production support, technician, and assembly roles	Online interviews via Zoom; exact interview dates and lengths not fully reported	Need-state triggers, product use occasions, trust criteria, consumption barriers
WhatsApp digital trace	N01-N03	Worker WhatsApp-group screenshots	Supplementary screenshots: shift attendance poll, workplace incident or absence report, informal worker conversations	Contextual evidence of worker routines and collective work rhythm
Coding outputs	Matrix and vocabulary summaries	NVivo-coded themes and matrix queries	Generated from interview and digital trace materials	Support for theme organization and cross-case comparison

Source: Researchers analysis (2026)

C. Participant Profiles

Participants were selected because they worked under shift-based conditions, had at least one year of work experience, and were involved in operational or maintenance-related roles. The original report classifies all five participants as Gen Z but does not provide exact ages or birth years. It also reports long tenures for several respondents. This must be verified before journal submission because generational claims require demographic accuracy. The manuscript therefore retains the original research focus while explicitly flagging the data-integrity issue.

Table 2. Anonymized respondent profiles

Code	Role	Shift type	Reported tenure	Data-integrity note
R1	Maintenance	Rotating shift	14 years	Exact age not reported; generational category requires verification
R2	Maintenance	Rotating shift	11 years	Exact age not reported; generational category requires verification
R3	Electrical / production support	Rotating shift	14 years	Exact age not reported; generational category requires verification

Code	Role	Shift type	Reported tenure	Data-integrity note
R4	Maintenance technician	Rotating shift	4 years	Exact age not reported; generational category requires verification
R5	Production / assembly	Day and night shift	1 year	Exact age not reported; generational category requires verification

Source: Researchers analysis (2026)

D. Data Collection Procedures

Semi-structured interviews were used as the main data source. The interview guide covered work routines, shift experiences, stressors, fatigue, coping mechanisms, nutrition-related consumption, product perception, trust, and claim evaluation. The supplementary WhatsApp evidence consisted of three screenshots representing a shift attendance poll, a workplace incident or absence report, and informal worker conversations. These materials helped contextualize work rhythm and collective worker communication, but they are not treated as equivalent to direct observation.

E. Data Analysis

The analysis followed thematic analysis principles. Interview transcripts and digital trace materials were reviewed, coded, grouped into categories, and developed into themes. For the marketing reframing, the original findings were not changed. Instead, the theme labels and interpretation were sharpened around consumer insight: segmentation context, need-state triggers, functional value, trust signals, and unmet value proposition. This preserves empirical results while making the manuscript more suitable for a digital and contemporary marketing audience.

F. Trustworthiness and Ethical Handling

Credibility was strengthened through comparison across five interview accounts and supplementary WhatsApp evidence. Dependability was supported by evidence coding: I01-I05 for interviews and N01-N03 for digital trace materials. Confirmability was supported by retaining ambivalent evidence, including workers who preferred non-consumptive coping rather than product-based solutions. Ethical handling is conservative: the company is anonymized, respondents are identified only by codes, and WhatsApp evidence is paraphrased rather than reproduced. Before public submission, consent, organizational permission, and exact demographic details should be verified.

IV. RESULT/FINDING

Five themes emerged from the integrated analysis. The themes are not causal stages in a statistical model. They are interpretive marketing insights showing how work conditions, fatigue, bodily risk, product expectations, and claim credibility shape consumption behavior.

A. Theme 1: Occupational Identity as Segmentation Context

The first theme shows that workers construct identity around discipline, endurance, concentration, and operational responsibility. Participants described shift work as physically demanding and mentally tiring, especially when facing rotating schedules, supervisor pressure, audits, reduced staffing, and strict

production expectations. One worker explained that reduced concentration can produce work errors and human error (R4). Another described the morning shift as more exhausting because of supervisors, audits, and guests, making the shift more hectic (R5).

For marketing, this theme matters because it identifies the real segmentation context. These consumers are not best understood through a generic youth-lifestyle frame. They are consumers whose product expectations are shaped by the need to stay alert, avoid mistakes, maintain stamina, and perform reliably. The vocabulary map in the submitted report strengthens this interpretation because terms such as shift, tired, stress, coffee, milk, overtime, vitamin, halal, and BPOM dominated worker narratives. The segment's language already points to functional value and trust.

B. Theme 2: Stress-Triggered Functional Consumption

The second theme shows that consumption is functional and occasion based. Workers reported using coffee, vitamins, milk, herbal drinks, and supplements especially during night shifts, overtime, or periods of heavy fatigue. R5 described coffee as a way to avoid sleepiness, maintain concentration, feel relaxed, and keep work safe from incidents. This is not a taste-centered consumption narrative. It is a performance-protection narrative.

This theme is directly marketing-relevant because it identifies consumption occasions. Product demand is triggered by specific work moments: before a night shift, during overtime, after physical exhaustion, or when concentration begins to decline. The matrix query tables in the submitted report reinforce this pattern by linking coping and functional consumption with work stress, performance risk, night shift concerns, and productivity. The implication is that marketers should design around usage occasions and need states rather than broad lifestyle personas.

C. Theme 3: Non-Consumptive Coping as a Boundary Condition for Market Opportunity

The third theme prevents over-commercial interpretation. Not all coping was product-based. Some workers preferred sleep, water, ordinary food, social support, or natural herbal remedies. R2 described drinking boiled ginger and pandan after shift two, emphasizing that it felt more natural and less burdensome for the body. R1 described a Friendship Meeting as a space where team members could share complaints and reduce emotional pressure.

For marketing analysis, this is a boundary condition. A nutrition-related product positioned for shift workers cannot assume that every fatigue problem requires a packaged solution. Some workers are actively cautious about overconsuming supplements or chemical products. This means product development and communication should respect existing recovery practices. A credible product should complement rest, hydration, and proper meals instead of pretending to replace them.

D. Theme 4: Claim Credibility, Ingredient Transparency, and Trust Signals

The fourth theme concerns trust. Workers evaluated nutrition-related products through ingredient scrutiny, bodily experience, halal certification, BPOM approval, and skepticism toward exaggerated claims. R3 criticized products that claim to be pure milk but contain high sugar and emphasized that the product description should be honest. R2 stated that ingredients must be checked first, especially whether the product contains too many additives. Several workers identified halal and BPOM logos as baseline indicators of acceptability.

This finding makes the marketing implication direct. Claims such as instant energy, exaggerated transformation, or extreme health benefits may reduce credibility among these consumers. The strongest communication strategy is not loud persuasion. It is clearer proof: transparent ingredients, realistic benefit language, visible certification, consistent performance, and honest limitation. Trust in this segment is built through claim discipline.

E. Theme 5: Unmet Value Proposition and Good-Enough Choice Behavior

The fifth theme shows that available products are often perceived as generic and only partially suitable for shift-work conditions. Workers want products that are practical, safe for repeated use, affordable, transparent, and useful for recovery or stamina. However, the products they consume are often compromised choices. Milk, vitamins, coffee, and supplements are used because they are accessible and good enough, not because they fully match the state of shift-worker need.

R3 described moving away from a high-dose vitamin product after feeling that the body became unwell when the product was not consumed. This experience led the worker to shift toward milk. The decision reflects experience-based product switching rather than brand loyalty. R2 also showed price sensitivity by choosing higher-priced products where finances allowed and cheaper alternatives when expenses were heavier. This is a clear marketing insight: the unmet need is not simply demanding more supplements. It demands credible, safe, affordable, transparent, shift-specific nutrition support.

F. Cross-Source Thematic Map

Table 3. Thematic map across data sources

Theme	Primary evidence	Consumer behavior pattern	Marketing interpretation
Occupational identity as segmentation context	Interviews I01-I05; vocabulary map	Endurance, concentration, safety, reliability	Segment identity is shaped by work conditions, not only by age cohort
Stress-triggered functional consumption	Interviews I03-I05; matrix query	Coffee, vitamins, milk, supplements during fatigue, night shift, overtime	Product value is evaluated through stamina, alertness, and performance support
Non-consumptive coping as boundary condition	Interviews I01-I02	Sleep, water, food, herbal drinks, coworker support	Brands must not assume that every recovery need requires a commercial product
Claim credibility, ingredient transparency, and trust signals	Interviews I02-I04; matrix query	Checking ingredients, halal, BPOM, reviews, bodily effect	Credibility depends on transparent claims and proof, not exaggeration
Unmet value proposition and good-enough choice behavior	Interviews I02-I03-I05; matrix query	Compromise choices, low brand loyalty, affordability concerns	Opportunity exists for shift-specific, affordable, transparent functional products

Source: Researchers analysis (2026)

V. DISCUSSION

A. From Gen Z Lifestyle Segmentation to Need-State Segmentation

The main marketing correction is the shift from demographic Gen Z segmentation to need-state segmentation. The original report was correct to challenge the assumption that Gen Z is homogeneous, but the revised manuscript makes the argument stronger: age cohort alone does not explain consumption. Work rhythm, fatigue, safety responsibility, shift schedule, and income pressure are stronger determinants of value evaluation in this case.

This does not mean generation is irrelevant. Younger workers may still search for reviews on TikTok, compare claims, and rely on digital information. However, the workplace context disciplines those digital behaviors. A TikTok review matters not because it is trendy, but because it helps workers filter

risk and credibility. The segment is therefore contemporary, but not frivolous. It is digitally aware, functionally motivated, and claim sensitive.

B. Functional Value Proposition in a Shift-Work Context

The findings support the view that consumption under work stress is a form of functional value-seeking. A worker who drinks coffee to avoid sleepiness is simply not buying caffeine. The worker is buying perceived concentration, reduced operational risk, and temporary control over fatigue. A worker who chooses milk or vitamins after overtime is not merely following a health trend. The worker is seeking recovery support that feels believable and bodily acceptable.

This insight matters for product positioning. Nutrition-related products for shift workers should not be positioned through vague wellness language. The value proposition should specify the occasion and benefit boundary: night-shift support, post-shift recovery, hydration and nutrient support, practical packaging, affordable repeat purchase, and credible use guidance. A broad claim such as “boost your life” is weaker than a concrete, responsible claim that connects to the worker’s actual routine.

C. Trust Architecture for Functional Product Marketing

Trust-based product evaluation in this study is both institutional and experiential. Halal logos and BPOM approval create baseline acceptability, but trust deepens only when the product performs as expected in the body. Workers do not reject branding entirely; they reject branding that overpromises or hides product realities. This finding suggests that credible communication for this segment should be specific, modest, and evidence informed.

A trust architecture for this segment should include clear ingredient lists, visible certification, realistic benefit claims, simple consumption instructions, transparent sugar or additive information, and credible third-party explanations where possible. The communication tone should be direct and not overly polished. These workers appear more persuaded by honesty and consistency than by aspirational lifestyle imagery.

D. Ethical Implications for Marketing to Fatigued Consumers

The unmet need identified here creates a market opportunity, but it also creates ethical responsibility. Shift workers are fatigued consumers. Marketing should not exploit tiredness, fear of poor performance, or insecurity about health. Product communication should not imply that a drink or supplement can replace sleep, safe scheduling, nutritious meals, or proper workplace support.

Employers are also relevant stakeholders. Workplace-wellness programs, canteen options, hydration access, rest scheduling, and credible nutrition education may matter as much as consumer product innovation. The practical implication is that brand strategy should not be isolated from the ecology of work. A responsible marketing approach would link product value with worker wellbeing, not merely product sales.

E. Theoretical and Practical Contributions

The study makes three theoretical contributions. First, it reframes Gen Z consumer research by showing that occupational conditions can override broad generational assumptions. Second, it extends functional-consumption logic by showing that utilitarian value in shift-work settings includes bodily verification and perceived safety. Third, it connects brand credibility and trust-based evaluation to the specific context of nutrition-related products consumed under fatigue.

Practically, the study suggests that marketers should design for actual shift-life routines: night shifts, overtime, limited meal windows, fatigue after work, safety pressure, and price sensitivity. Product

development should consider smaller practical packs, workplace-accessible channels, moderate pricing, transparent certification, and claims that are useful without being exaggerated. Communication should be a foreground functional fit, not generic Gen Z coolness.

VI. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

This study examined how shift-based work conditions and work stress shape functional consumption and nutrition-related product evaluation among factory workers in Cikarang. Drawing on five interviews and three supplementary WhatsApp-based digital trace materials, the study found that consumption in this context is driven by bodily necessity, work rhythm, and practical trust rather than by generic Gen Z lifestyle appeals.

The main conclusion is that these consumers evaluate nutrition-related products through functional value and claim credibility. Coffee, milk, vitamins, herbal drinks, and supplements are used situationally to manage fatigue, alertness, stamina, and recovery. However, workers also rely on non-consumptive coping such as sleep, water, ordinary food, herbal remedies, and coworker support. This shows that the market opportunity is real but bounded. Workers need credible, safe, affordable, and shift-specific solutions, not louder advertising or exaggerated benefit claims.

The study recommends that future research verify exact demographic data, especially age and tenure, before making strong generational claims. Future studies should also include more companies, comparing different manufacturing sectors, collecting full interview transcripts, and examining actual product-use diaries across day and night shifts. A mixed-method follow-up could develop measurement scales for need-state intensity, functional value perception, claim credibility, and shift-specific product fit.

For practical implementation, brands should treat shift workers as a serious occupational consumer segment. Product strategy should begin with the worker's actual routine, not with a generic Gen Z persona. The strategic lesson is simple: in this segment, credibility is the brand. Products that fit the shift-work body, communicate honestly, and respect worker constraints have stronger potential than products that rely on vague wellness promises.

VII. REFERENCES

- Badan Pusat Statistik. (2025). Laborer situation in Indonesia February 2025. BPS-Statistics Indonesia. <https://www.bps.go.id/>
- Benitez-Marquez, M. D., Sanchez-Teba, E. M., Bermudez-Gonzalez, G., & Nunez-Rydman, E. S. (2022). Generation Z within the workforce and in the workplace: A bibliometric analysis. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 736820. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.736820>
- Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE Publications.
- Dhar, R., & Wertenbroch, K. (2000). Consumer choice between hedonic and utilitarian goods. *Journal of Marketing Research*, 37(1), 60-71. <https://doi.org/10.1509/jmkr.37.1.60.18718>
- Erdem, T., & Swait, J. (2004). Brand credibility, brand consideration, and choice. *Journal of Consumer Research*, 31(1), 191-198. <https://doi.org/10.1086/383434>
- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Hemiö, K., Lindström, J., Peltonen, M., Härmä, M., Viitasalo, K., & Puttonen, S. (2020). The association of work stress and night work with nutrient intake: A prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 46(5), 533-541. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3896>

- Kozinets, R. V. (2020). Netnography: The essential guide to qualitative social media research (3rd ed.). SAGE Publications.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). Stress, appraisal, and coping. Springer.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. SAGE Publications.
- Moorman, C., Deshpande, R., & Zaltman, G. (1993). Factors affecting trust in market research relationships. *Journal of Marketing*, 57(1), 81-101. <https://doi.org/10.1177/002224299305700106>
- World Health Organization. (2022). WHO guidelines on mental health at work. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240053052>
- Zahra, Y., Handoyo, S., & Fajrianti, F. (2025). A comprehensive overview of Generation Z in the workplace: Insights from a scoping review. *SA Journal of Industrial Psychology*, 51, Article a2263. <https://doi.org/10.4102/sajip.v51i0.2263>

WEBROOMING, TRUST VERIFICATION, AND THE SYMBOLIC-MATERIAL GAP: A RAPID ETHNOGRAPHY OF GENERATION Z MODEST FASHION CONSUMERS AT TANAH ABANG, JAKARTA

Siska Purnama Manurung^a, Ulfiya Maulidina^a

Faculty of Business, Management Study Program, President University, Cikarang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2905-0485>

Abstract

Background: Generation Z modest fashion consumers in Indonesia move fluidly between digital platforms and physical marketplaces, but the trust dynamics that operate when online product representation diverges from offline material reality remain underexamined. Tanah Abang, Southeast Asia's largest textile and modest fashion trading center, exemplifies a hybrid retail setting in which trend exposure on TikTok and Instagram intersects with tactile evaluation, negotiation, and social interaction at the stall level.

Objective: This study examines how Generation Z Muslim consumers construct brand perception, evaluate trust, and reach buying decisions across digital and physical channels, with attention to the symbolic-material gap that arises when online trend labels do not correspond to offline product attributes.

Method: A rapid ethnographic design was applied at Tanah Abang Market, Jakarta, combining semi-structured interviews with five Generation Z buyers and three sellers, scoping observation of public posts on TikTok, Instagram, X, and Shopee that informed interview probes, and direct field observation of buyer-seller interaction. Data were analyzed thematically with NVivo support, organized around four pre-established analytic categories drawn from omnichannel retailing and modest fashion consumption literature.

Results: Four interlinked patterns emerged. First, consumers practiced webrooming systematically, using digital platforms for trend discovery and aesthetic evaluation while reserving final purchase for offline tactile verification. Second, consumption was framed simultaneously through comfort, modesty, and trend alignment, producing identity-driven rather than utility-driven choices. Third, a symbolic-material gap was documented in the case of seller relabeling of color names to match trending keywords, illustrated by a butter-versus-lemon yellow incident. Fourth, sellers actively co-constructed brand perception through trend-tracking and product differentiation rather than functioning as passive distribution points.

Conclusion: Trust in the Tanah Abang ecosystem is co-produced through online inspiration, offline verification, and continuous renegotiation between buyers and sellers. The findings extend webrooming and modest fashion consumption literatures into an Indonesian Generation Z setting and yield specific implications for sellers, brands, and platform designers operating across hybrid retail channels.

Keywords: brand perception; Generation Z; modest fashion; rapid ethnography; webrooming.

1. Introduction

The Indonesian modest fashion industry has emerged as one of the fastest-growing segments of the global Muslim economy, characterized by sustained demographic scale, rapid digitalization of consumer behavior, and an expanding ecosystem of designers, retailers, and influencers (Karakavak & Özbölük, 2023; Mayasari, Haryanto, Risza, & Premananto, 2025). Within this market, Generation Z consumers, broadly those born between the late 1990s and the early 2010s, occupy a distinctive position. They are characterized by sustained exposure to social media trend cycles, identity-driven consumption,

and a strong inclination to combine digital information search with offline product verification (Karakavak & Özbölük, 2023; Shin, Lew, & Seo, 2025).

This combination of behaviors fits the broader transition from multi-channel to omnichannel retailing documented in marketing scholarship over the past decade. Verhoef, Kannan, and Inman (2015) argued that contemporary consumers no longer treat online and offline channels as substitutes but as complementary stages of a single shopping journey. Within omnichannel behavior, two dominant patterns have been identified: showrooming, in which consumers examine products in physical stores before purchasing online, and webrooming, in which consumers gather information online before completing the purchase offline (Flavián, Gurrea, & Orús, 2020). For categories such as modest fashion, where fabric quality, fit, and accurate color reproduction matter to the consumer, webrooming has been shown to dominate because it allows consumers to combine the breadth of online information with the certainty of offline tactile verification (Flavián, Gurrea, & Orús, 2016).

Tanah Abang Market in central Jakarta provides an empirically rich setting in which to examine these dynamics. Recognized as one of the largest textile and modest fashion trading centers in Southeast Asia, Tanah Abang functions as a hybrid retail environment in which traditional stall-based negotiation, digitally driven trend cycles, and Generation Z consumer practice converge. Sellers actively monitor TikTok and Instagram for emerging styles, color trends, and influencer endorsements, and adapt their inventory descriptions accordingly. Buyers approach the market with information already gathered from digital platforms but rely on physical interaction with the product to confirm fabric quality, fit, and authenticity of representation.

Yet this hybrid retail dynamic generates less examined tension. Sellers may relabel products to match trending vocabulary on social platforms, producing discrepancies between the symbolic representation circulated online and the material reality of the product on the rack. The phenomenon parallels what authenticity-and-trust scholarship has described in social commerce, where brand authenticity is co-produced through community judgment rather than declared by the firm (Wang, Kim, & Kim, 2022). When the gap between online narrative and offline product widens, consumer trust must be renegotiated at the point of sale.

Three research questions guide this study. First, how do Generation Z modest fashion consumers in Tanah Abang construct brand perception across digital and physical channels? Second, what role does offline tactile verification play in completing the buying decision when digital information has already shaped expectations? Third, how do sellers and buyers navigate the symbolic-material gap that arises when online product representation diverges from offline product attributes?

The contribution of this study is threefold. Theoretically, the study extends webrooming research into the modest fashion category in an Indonesian setting, integrating it with the consumer socialization of hijab fashion documented by Shin and colleagues (2025) and the social media-mediated meaning of hijab examined by Karakavak and Özbölük (2023). Empirically, it documents the symbolic-material gap as a specific manifestation of trust friction in a hybrid retail environment. Practically, it offers guidance for sellers, brands, and platform designers seeking to engage Generation Z modest fashion consumers without eroding trust through misaligned online representation.

The article proceeds as follows. The next section reviews the relevant literature on omnichannel retailing, webrooming, and modest fashion consumption among Generation Z. The methodology section describes rapid ethnographic design and analytic strategy. Findings are presented across four themes, followed by a discussion that situates the results in literature and identifies practical implications. The conclusion summarizes contributions, limitations, and directions for future research.

2. Literature Review

2.1. Omnichannel Retailing and Webrooming

The transition from multi-channel to omnichannel retailing has reshaped how consumers move through search and purchase decisions. Verhoef, Kannan, and Inman (2015) articulated the omnichannel

perspective as one in which channels are no longer viewed as parallel substitutes but as integrated stages of a unified shopping journey. Within this perspective, two cross-channel behaviors have received sustained empirical attention: showrooming, in which consumers examine products in physical stores before purchasing online; and webrooming, in which consumers search online before purchasing in physical stores (Flavián, Gurrea, & Orús, 2016, 2020).

Webrooming has been shown to be the more prevalent cross-channel behavior in fashion and apparel categories because tactile evaluation reduces purchase uncertainty for products in which fabric quality, fit, and color matter to the consumer (Flavián et al., 2020). Webroomers have been found to report higher confidence in their purchase decisions, greater perceptions of time and effort savings, and stronger smart-shopping feelings than showroomers. The role of online positive reviews, the motivation to touch products, and the perceived risk of online purchase have all been identified as determinants of webrooming behavior (Flavián et al., 2016).

In Indonesian retail contexts, webrooming has been documented in fashion and apparel decision-making. A recent study examining showrooming, webrooming, and customer experience in online grocery shopping found that perceived webrooming exerts a significant effect on purchase intention, suggesting that even in product categories where physical inspection might seem less critical, the cross-channel pattern remains influential (Widyarini, Rommer, & Kristanti, 2025). For high-touch categories such as modest fashion, the importance of offline tactile verification is expected to be even more pronounced.

2.2. Modest Fashion Consumption and Generation Z

Modest fashion is a globally significant consumer category, with Indonesia among the leading national markets in production and consumption. Karakavak and Özbölük (2023), drawing on in-depth interviews with hijab-wearing Turkish women, identified four functions of hijab fashion: encouragement, attraction, modesty, and social image. They further demonstrated that social media platforms and influencers have transformed the meaning of hijab from a primarily religious garment toward a fashionable commodity, simultaneously extending the modest fashion market and raising tensions between religious meaning and commercial reframing.

In the Indonesian context specifically, Shin, Lew, and Seo (2025) used consumer socialization theory to examine the relationship between hijab influencers, religiosity, religious community involvement, and attitudes toward fashionable hijab. Their structural equation analysis demonstrated that hijab influencers reinforce positive attitudes toward fashionable hijab and that these attitudes positively influence the pursuit of commodified hijab-style choices. Religious community involvement, by contrast, exerted a negative effect on attitudes toward fashionable hijab. The findings highlight the dual influence of digital opinion leaders and offline social structures in shaping modest fashion consumption decisions.

Indonesian Generation Z hijab consumers display a distinctive combination of attributes. They are active on TikTok, Instagram, and X for trend discovery; they participate in modest fashion peer discussion; and they retain a strong preference for offline verification before final purchase, particularly for higher-value modest fashion items where fabric quality and fit are critical (Mayasari, Haryanto, Risza, & Premananto, 2025). This combination places them squarely within the webrooming pattern documented in omnichannel literature, applied to a religiously and culturally inflected consumption category.

2.3. Brand Perception, Authenticity, and Trust in Hybrid Retail

Brand perception in hybrid retail environments is co-produced through the interaction of corporate communication, peer discourse, and direct product experience. Wang, Kim, and Kim (2022) demonstrated that perceived corporate social responsibility authenticity emerges from observed consistency between brand claims and brand actions, and that authenticity perception in turn shapes

consumer attitudes and intentions. The mechanism is relevant to modest fashion retail because consumers increasingly evaluate sellers and brands not only on product attributes but also on the consistency between online representation and offline reality.

When online representation systematically diverges from offline attributes, a trust gap arises. In the modest fashion context, this trust gap can take the form of trend-driven relabeling, where sellers adjust product descriptions to match trending terms on social platforms even when the actual product attributes diverge from those terms. The behavior is rational from the seller perspective because trend alignment increases discoverability and conversion, but it generates buyer skepticism and triggers compensatory verification behavior at the point of sale.

This dynamic resonates with the concept of brand co-creation in social commerce contexts (Lee & Hsieh, 2022) and with the broader Consumer Culture Theory perspective that consumption is a culturally productive practice rather than a neutral exchange (Arnould & Thompson, 2005). Within Tanah Abang specifically, the small scale of seller-buyer interaction, the importance of negotiation, and the cultural primacy of trust between buyer and seller intensify these dynamics relative to large-format retail.

2.4. Synthesis and Research Gap

Existing scholarship has separately examined omnichannel retailing, webrooming behavior, and modest fashion consumption, but few studies have integrated these strands within an Indonesian Generation Z context. The intersection where digital trend exposure, modest fashion identity, and offline tactile verification converge has received limited empirical attention. The present study addresses this gap by examining how these three forces interact in the Tanah Abang setting, with specific attention to the symbolic-material gap that arises at the point of sale and the trust-verification practices that consumers and sellers deploy in response.

3. Method

3.1. Research Design

The study adopts a rapid ethnographic design suited to capturing situated consumer practices within a bounded fieldwork window. Rapid ethnography preserves core ethnographic principles, including immersion, contextual observation, and multi-source triangulation, while operating within constrained timeframes through focused research questions, purposive sampling, and structured analytic categories established in advance (Pink & Morgan, 2013). The design is appropriate to the Tanah Abang setting because the research question concerns how buyers and sellers navigate hybrid online-offline trust dynamics within a specific market environment.

Three data sources were combined for triangulation. First, semi-structured interviews with five Generation Z buyers and three sellers captured the perspectives of both sides of the transaction. Second, direct field observation at the market during peak buying hours documented buyer-seller interaction, negotiation patterns, and tactile evaluation behavior. Third, a four-week scoping observation of public posts on TikTok, Instagram, X, and Shopee informed interview probes and contextualized the digital component of consumer journeys. The scoping observation is treated as supporting context rather than as a primary evidence base.

3.2. Sample and Setting

The setting was Tanah Abang Market in central Jakarta, selected for its scale (approximately 12,000 trading kiosks), its prominence in modest fashion retail, and its hybrid character as a meeting point between traditional retail and digitally influenced consumer behavior. Fieldwork was conducted in February 2026 over a four-day window during peak shopping hours.

The interview sample combined two participant categories. The buyer subsample consisted of five Generation Z women aged 20 to 24, recruited through purposive convenience sampling at the market and through community contacts. Inclusion criteria required active hijab fashion consumption, previous purchase experience at Tanah Abang, and demonstrated use of social media for trend discovery. The seller subsample consisted of three sellers aged 25 to 40 with five to ten or more years of trading experience at Tanah Abang, providing context on market strategy, pricing, and competitive dynamics.

The combined sample of eight interview participants is consistent with rapid ethnographic conventions in which depth and informational richness take priority over numerical generalizability (Pink & Morgan, 2013). Pseudonyms are used throughout to protect participant identity. Field photographs were taken with permission and document the material setting; close-up product images were not taken in order to avoid implicating specific sellers in the symbolic-material gap finding discussed below.

3.3. Data Collection Procedures

Interviews were conducted in Bahasa Indonesia, audio-recorded with consent, and ranged from approximately six to fifteen minutes for sellers (during business operations) and approximately twenty to thirty minutes for buyers (in seated locations within the market). Brief seller interview windows reflect the practical constraint that sellers continued to serve customers during interviews. Buyer interviews followed a longer protocol covering trend discovery, evaluation, decision-making, and offline verification practices. The interview protocols are presented in Appendix A.

Field observation was conducted by the second author during four visits totaling approximately twelve hours. Observation focused on buyer-seller interaction, tactile evaluation behavior (touching fabric, holding items against the body, comparing across sellers), negotiation patterns, and use of mobile devices during the shopping process. Field notes were written immediately following each observation session.

The four-week scoping observation of digital platforms tracked public posts and discussions related to Tanah Abang modest fashion using identifiers including #tanahabang, #grosirhijab, #tanahabanghaul, and brand-specific hashtags identified during interviews. The scoping observation informed interview probes and contextualized findings; it is not treated as a coded ethnographic corpus. This methodological clarification differs from earlier framings of the same data and reflects the analytic discipline appropriate to the volume and depth of digital data actually examined.

3.4. Data Analysis

Data were analyzed using thematic analysis with NVivo support. Following the hybrid inductive-deductive approach of Fereday and Muir-Cochrane (2006), four pre-established analytic categories drawn from the omnichannel and modest fashion literature guided the initial coding pass: digital trend discovery, offline verification practice, identity-driven evaluation, and seller-buyer interaction. Within these categories, codes were generated inductively from the data and grouped into higher-order themes through iterative review.

Cross-source comparison identified convergence between buyer interview accounts, seller interview accounts, and field observation. The symbolic-material gap finding emerged from this triangulation when buyer accounts of color discrepancy were corroborated by direct seller acknowledgment in a second-round interview and by observation of seller language at the stall.

3.5. Ethics and Trustworthiness

The study was conducted in accordance with institutional research ethics protocols. Verbal informed consent was obtained from all interview participants, with explicit consent for audio recording. Participants were informed of the study's academic purpose, voluntary nature, and right to withdraw at any time. All identifiers were removed during transcription, and pseudonyms were used throughout

reporting. Field photographs documenting the market environment were taken with broader permission from sellers; specific product images that could identify sellers in the symbolic-material gap finding were not retained.

Trustworthiness was supported through methodological triangulation across interviews, observation, and digital scoping data; through reflexive memos that surfaced researcher positionality (the second author is herself a Generation Z hijab-wearing consumer with prior shopping experience at Tanah Abang); and through peer debriefing within the research team. The limitations of rapid ethnographic design are discussed in conclusion.

4. Results

Four interlinked patterns emerged from the thematic analysis: webrooming as a structured cross-channel practice; identity-driven evaluation through comfort, modesty, and trend alignment; the symbolic-material gap and the trust verification triggers; and active seller co-construction of brand perception. Each is presented below with illustrative data.

4.1. *Webrooming as Structured Cross-Channel Practice*

All five buyer participants described a consistent cross-channel sequence that maps closely onto the webrooming pattern documented in omnichannel literature (Flavián et al., 2020). Trend discovery occurred on TikTok and Instagram, with peer discussion on X and product-specific information searches on Shopee. Once a target style or item was identified online, buyers traveled to Tanah Abang to evaluate fabric, fit, and color in person before completing the purchase.

Buyer 1 articulated the pattern directly: information was searched online (typically size and fabric details) using TikTok as the entry point, but the actual purchase was made offline because the participant wanted to see the material directly and feared that online purchase would not match expectations. This combination of online search confidence and offline tactile verification was confirmed across all five buyer interviews.

Buyer accounts also revealed the role of mobile devices during offline shopping. Buyers consulted social media reference images on their phones while comparing items at the stall, effectively bringing online information into the offline evaluation process. This behavior extends the webrooming sequence beyond a strict before-and-after temporal split toward a more continuous interleaving of online and offline information sources, consistent with recent omnichannel scholarship on smartphone-enabled customer journeys (Tueanrat, Papagiannidis, & Alamanos, 2021).

4.2. *Identity-Driven Evaluation through Comfort, Modesty, and Trend Alignment*

The decision criteria buyers used to evaluate modest fashion items consistently combined three considerations: physical comfort of the fabric, alignment with modesty norms, and resonance with current trend cycles. Buyer 1 stated that model and comfort were the most important considerations because items that felt uncomfortable were unwearable. The same buyer rejected items that did not match trend expectations even when the fabric was acceptable.

This combined evaluation produces what Karakavak and Özbölük (2023) describe as the encouragement-attraction-modesty-social-image cluster of hijab fashion functions, but with the distinctive Indonesian Generation Z emphasis on trend alignment as a near-equal criterion alongside the religious and bodily considerations. None of the buyer participants described a tradeoff in which trend alignment was sacrificed for modesty; rather, they reported expecting the modest fashion market to deliver items that satisfied both criteria simultaneously, consistent with the consumer socialization findings of Shin and colleagues (2025).

Material quality emerged as the silent third criterion. Buyer interview accounts repeatedly described fabric attributes (chiffon, jersey, ceruty, satin Maxmara) using technical terminology, indicating that buyers had developed sophisticated knowledge of fabric categories through both peer discussion and prior purchase experience. Material literacy positions Tanah Abang buyers as competent evaluators rather than passive recipients of seller representation.

4.3. The Symbolic-Material Gap and Trust Verification

The most analytically significant finding concerns the gap between online product representation and offline product attributes. Field observation documented an exchange in which a seller described a fabric color using a trending color name (butter yellow) that did not correspond to the actual color of the fabric on the rack (closer to lemon yellow). The discrepancy was not isolated; buyer interviews described prior experience with similar discrepancies in color, fabric type, and dimensional fit.

From the buyer side, this gap generates compensatory verification behavior. Buyers consistently reported physically touching the fabric, holding items against natural light to evaluate true color, and comparing the seller's verbal description to their own perception before negotiating. The verification is not perfunctory; it is the central act through which trust is renegotiated at the point of sale. Buyer 1 described the practice as essential precisely because online purchase removed this verification step.

From the seller side, the gap reflects a trend-tracking strategy that is rational within the market's competitive dynamics. Seller 2 described actively monitoring Google searches and social media for trending colors and models and adjusting product descriptions accordingly. The seller framed this as differentiation strategy rather than misrepresentation. Yet the practice produces a systematic divergence between the symbolic vocabulary used to describe products online and the material attributes available offline.

The gap is mitigated, but not eliminated, by the structural features of the Tanah Abang transaction. Buyers expect to verify before purchase; sellers expect buyers to verify; and the negotiation phase explicitly allows buyers to reject items that fail verification without penalty. Within this negotiation structure, trust is not given but continuously reconstructed through tactile evaluation, conversational exchange, and price agreement.

4.4. Sellers as Active Co-Constructors of Brand Perception

Seller interviews revealed an active strategic posture that contradicts the conventional view of stall-based sellers as passive distribution points. All three sellers described systematic monitoring of digital trend cycles, intentional product differentiation through unique design or fabric choices, competitive pricing strategy, and managed integration with digital marketing channels.

Seller 2 described a deliberate differentiation strategy: creating own models so that what was offered would not duplicate competitors' inventory, while still tracking trending elements. Seller 1 emphasized customer trust as the primary mechanism for repeat business and described practices to ensure quality and material consistency. Seller 3 described pricing strategy in relation to direct competitors at adjacent stalls.

These accounts position sellers as active co-creators of brand perception. They monitor digital trend signals, adjust product narratives, manage perceived authenticity through trust-building practices, and respond to competitive pressure through differentiation. The findings extend the active-prosumer view of contemporary retail (Cova & Cova, 2002) into the small-trader stall economy, suggesting that the strategic logic of brand co-creation operates even at the smallest scale of trader-consumer interaction.

5. Discussion

The findings advance current understanding in three ways. First, they extend webrooming research into a culturally specific modest fashion category in an emerging market context. The pattern documented at Tanah Abang is consistent with the smart-shopping confidence and time-effort savings perceptions

identified by Flavián and colleagues (2020) for fashion categories generally but is intensified in modest fashion by the salience of fabric quality, modesty assessment, and identity expression at the point of consumption. Indonesian Generation Z buyers operate as sophisticated webroomers, fluent in fabric terminology, alert to trend cycles, and committed to offline verification.

Second, the findings document the symbolic-material gap as a specific and underexamined manifestation of trust friction in hybrid retail. Existing brand authenticity scholarship has emphasized the consistency between brand claims and brand actions at the level of corporate communication (Wang et al., 2022). The Tanah Abang case extends this concern downward to the level of stall-by-stall product description, demonstrating that the trust-authenticity dynamic operates at the most granular level of small-trader retail. Sellers who track trend vocabulary face an authenticity-versus-discoverability tradeoff that they resolve through trend-aligned product descriptions; buyers respond with compensatory verification practices that absorb the cost of the resulting friction. The equilibrium that emerges from this exchange is functional but generates ongoing skepticism that limits the credibility of online seller representation more broadly.

Third, the findings position sellers as active co-constructors of brand perception rather than as passive distribution points. The strategic posture documented in the seller interviews mirrors the brand co-creation dynamic identified in larger-format brand communities (Lee & Hsieh, 2022; Schau, Muniz, & Arnould, 2009), but operates at a much smaller scale and through a different mechanism. Where brand community research has emphasized peer-to-peer co-creation among consumers, the Tanah Abang case reveals trader-to-consumer co-creation as a parallel process that operates within stall-based markets and that requires its own analytic vocabulary.

Several practical implications follow. For sellers, the findings suggest that maintaining alignment between online product description and offline product reality is not merely an ethical concern but a strategic necessity in a market where buyer verification is built into the transaction. Sellers who systematically misalign description and reality may capture short-term clicks but face longer-term reputational cost as buyers internalize the gap as a category-wide expectation. For brands operating across digital and physical channels in modest fashion, the findings underscore the importance of presenting consistent product narratives that survive offline verification, particularly in the color, fabric, and dimensional categories where verification is most rigorous.

For platform designers operating commerce features within social media channels, the findings suggest that the credibility of in-platform commerce depends on closing the symbolic-material gap through richer product representation, including high-fidelity color reproduction, fabric specification, and sizing transparency. Platform-level investment in product representation infrastructure may be more effective than reliance on seller-supplied descriptions alone, particularly in markets where trend-driven relabeling is structurally incentivized.

Limitations of the study should be noted. The sample size of eight interview participants and the four-day fieldwork window are appropriate to a rapid ethnographic design but constrain statistical generalization. The geographic focus on Tanah Abang and the demographic focus on Generation Z women restrict transferability to other markets and consumer cohorts. The four-week scoping observation of digital platforms is treated as contextual rather than as primary evidence, and a fuller netnographic engagement with Indonesian Generation Z modest fashion communities would refine and possibly extend the findings reported here. Future research should pursue mixed-methods designs that combine qualitative depth with larger-sample quantitative measurement of webrooming intensity, symbolic-material gap perception, and trust formation across modest fashion retail settings.

6. Conclusions

This study examined how Generation Z modest fashion consumers in Tanah Abang construct brand perception, evaluate trust, and reach buying decisions across digital and physical channels. Drawing on omnichannel retailing and modest fashion literature, the rapid ethnographic design produced four interlinked findings: webrooming functions as a structured cross-channel practice for these consumers;

evaluation combines comfort, modesty, and trend alignment as co-equal criteria; a symbolic-material gap operates between online product representation and offline product attributes, generating compensatory verification behavior at the point of sale; and sellers function as active co-constructors of brand perception rather than as passive distribution points.

The contributions are theoretical, empirical, and practical. Theoretically, the study extends webrooming research into the modest fashion category in an Indonesian Generation Z setting and identifies the symbolic-material gap as a specific manifestation of trust friction in hybrid retail. Empirically, it documents the trader-to-consumer co-creation of brand perception in stall-based retail, extending brand community thinking into the small-trader economy. Practically, it offers guidance for sellers, brands, and platform designers seeking to engage Generation Z modest fashion consumers without eroding trust through misaligned online representation.

The findings should be read with attention to limitations. The rapid ethnographic design prioritizes contextual depth within a constrained timeframe over statistical generalizability. The findings are most directly transferable to comparable Southeast Asian modest fashion markets and to retail settings characterized by stall-based negotiation, intense trend cycles, and Generation Z consumer dominance. Comparative research across other Indonesian modest fashion centers and across other emerging-market hybrid retail environments could test the generalizability of the four patterns identified here.

Acknowledgements

The authors thank the buyer and seller participants who shared their time and experience during this study, and the Tanah Abang trading community for hosting the fieldwork that informed the analysis.

Financial Disclosure

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The authors declare no conflicts of interest with respect to the research, authorship, or publication of this article.

Declaration about the Scope of AI Utilization

AI-assisted tools were used during manuscript preparation for language editing and structural organization. All theoretical interpretations, empirical analyses, and conclusions are the work of the authors.

References

- Arnould, E. J., and Thompson, C. J. (2005). 'Consumer culture theory (CCT): Twenty years of research', *Journal of Consumer Research*, 31(4), pp. 868–882.
- Cova, B., and Cova, V. (2002). 'Tribal marketing: The tribalisation of society and its impact on the conduct of marketing', *European Journal of Marketing*, 36(5/6), pp. 595–620.
- Fereday, J., and Muir-Cochrane, E. (2006). 'Demonstrating rigor using thematic analysis: A hybrid approach of inductive and deductive coding and theme development', *International Journal of Qualitative Methods*, 5(1), pp. 80–92.
- Flavián, C., Gurrea, R., and Orús, C. (2016). 'Choice confidence in the webrooming purchase process: The impact of online positive reviews and the motivation to touch', *Journal of Consumer Behaviour*, 15(5), pp. 459–476.
- Flavián, C., Gurrea, R., and Orús, C. (2020). 'Combining channels to make smart purchases: The role of webrooming and showrooming', *Journal of Retailing and Consumer Services*, 52, 101923.

- Karakavak, Z., and Özbölük, T. (2023). 'When modesty meets fashion: How social media and influencers change the meaning of hijab', *Journal of Islamic Marketing*, 14(11), pp. 2907–2927.
- Lee, C. T., and Hsieh, S. H. (2022). 'Can social media-based brand communities build brand relationships? Examining the effect of community engagement on brand love', *Behaviour & Information Technology*, 41(6), pp. 1270–1285.
- Mayasari, I., Haryanto, H. C., Risza, H., and Premananto, G. (2025). 'Investigating the role of brand love on brand advocacy in the local eco hijab fashion industry', *Journal of Islamic Marketing*, 16(3), pp. 713–735.
- Pink, S., and Morgan, J. (2013). 'Short-term ethnography: Intense routes to knowing', *Symbolic Interaction*, 36(3), pp. 351–361.
- Schau, H. J., Muniz, A. M., Jr., and Arnould, E. J. (2009). 'How brand community practices create value', *Journal of Marketing*, 73(5), pp. 30–51.
- Widyarini, L. A., Rommer, B., and Kristanti, M. M. (2025). 'Are showrooming, webrooming, and customer experience effective for online purchase intention?', *Research in Management and Accounting*, 8(2), December.
- Shin, J., Lew, Y. K., and Seo, M. (2025). 'Between fashion and piety: Hijab influencers and religious communities in the consumer socialization of Indonesian Muslims', *Clothing and Textiles Research Journal*, 43(1), pp. 3–18.
- Tueanrat, Y., Papagiannidis, S., and Alamanos, E. (2021). 'A conceptual framework of the antecedents of customer journey satisfaction in omnichannel retailing', *Journal of Retailing and Consumer Services*, 61, 102550.
- Verhoef, P. C., Kannan, P. K., and Inman, J. J. (2015). 'From multi-channel retailing to omni-channel retailing: Introduction to the special issue on multi-channel retailing', *Journal of Retailing*, 91(2), pp. 174–181.
- Wang, C., Kim, Y., and Kim, C. (2022). 'Are all CSR activities in your SNS authentic? The antecedents and outcomes of consumer perceived authenticity of CSR', *SAGE Open*, 12(4), pp. 1–16.

Appendix A. Interview Protocols

A.1. Buyer Interview Protocol

Section 1: Discovery and information search. (1) Where do you usually first encounter modest fashion items that interest you? (2) Which platforms do you use most often, and what role does each platform play? (3) How do friends or peers influence your information search?

Section 2: Evaluation criteria. (4) When choosing a hijab or modest fashion item, what do you consider first: model, price, comfort, brand, or trend alignment? Why? (5) How important is comfort compared to trend or modesty? (6) How do you assess fabric quality?

Section 3: Purchase decision and verification. (7) Do you prefer shopping online or offline for modest fashion? Why? (8) What do you check at the stall before deciding to buy? (9) Have you ever found that the actual product differed from the online description? Describe what happened.

Section 4: Trust and seller relationships. (10) What makes you trust a particular seller? (11) Do you return to specific sellers? Why or why not?

A.2. Seller Interview Protocol

Section 1: Product strategy. (1) How do you decide which models or designs to sell? (2) Do you adjust your products based on social media trends? How? (3) How do you differentiate from nearby sellers?

Section 2: Brand and trust. (4) What makes customers choose your stall over others? (5) How do you build trust with buyers? (6) How do you handle situations when a buyer expects something different from what you have?

Section 3: Pricing and competition. (7) How do you set prices? (8) Do competitor prices influence your pricing? (9) What are the main challenges in selling modest fashion at Tanah Abang?

Section 4: Digital integration. (10) Do you use social media to promote your products? Which platforms? (11) How important is digital exposure for attracting customers?

PLATFORMED BELONGING AND HYBRID CULTURAL IDENTITY: A RAPID ETHNOGRAPHY OF INDONESIAN GENERATION Z ANIME AND COSPLAY COMMUNITIES IN GREATER JAKARTA

Siska Purnama Manurung^{1*}, Aditio Pasha¹, Najwa Refalia Ramadhani¹, Putu Tanaya Pradnyandari¹, and Muhammad Burhanuddin D.¹

1 Faculty of Business, Management Study Program, President University, Cikarang, Indonesia

Abstract

Japanese popular culture in Indonesia is no longer consumed only as entertainment. Among Generation Z, anime and cosplay operate as resources for identity expression, cultural learning, peer recognition, and community participation across both event spaces and digital platforms. This study converts a classroom-based rapid ethnography into a research-paper format and examines how Gen Z anime and cosplay community members in Greater Jakarta construct hybrid cultural identity, enact belonging, and negotiate Japanese cultural influence within local Indonesian everyday life. The study adopts a constructivist-interpretive qualitative design using three data sources: five semi-structured interviews, 18 non-participant netnographic observation units across Instagram, X, Discord, and TikTok, and participant observation at the Mega Bekasi Japan Festival on 15 February 2026. Thematic analysis was conducted through a hybrid inductive-deductive strategy informed by social identity theory, participatory culture, consumer-tribe theory, and platform affordance literature. Five themes were generated: platformed visibility and visual capital; relational belonging and low-barrier participation; cultural learning and hybrid localization; discursive authority and fandom literacy; and reflexive regulation of intensive fandom consumption. The findings show that Gen Z anime and cosplay fandom in Greater Jakarta is not a passive media-effects phenomenon but a distributed cultural practice shaped by platform architecture, offline event rituals, symbolic consumption, and selective cultural adaptation. The study contributes to global marketing scholarship by repositioning niche fandom communities as meaning-making publics whose value emerges through social recognition, identity performance, and culturally localized participation rather than through exposure to foreign media alone.

Keywords-anime fandom; cosplay; Generation Z; Greater Jakarta; hybrid cultural identity; netnography; platform affordances; rapid ethnography

I. INTRODUCTION

Anime and cosplay communities in Indonesia provide a useful empirical setting for contemporary global marketing because they show how transnational cultural products become socially embedded through local community practices. Anime circulates through streaming platforms, fan accounts, conventions, cosplay competitions, merchandise bazaars, and peer-to-peer digital discussion. In this setting, consumption is not limited to watching media texts. It also includes performing characters, collecting symbolic objects, tagging friends to attend events, joining fan discussions, and using fandom language to signal cultural competence.

The submitted report originally framed the topic as a rapid ethnography of Gen Z niche communities of Japanese culture in Greater Jakarta. Its empirical focus is more precise than that broad title suggests: it centers on Gen Z anime and cosplay participation, especially through Cosplay Jabodetabek and the Mega Bekasi Japan Festival. The report documents three relevant evidence streams: non-participant netnography across Instagram, X, Discord, and TikTok; semi-structured interviews with five informants; and participant observation at a Japan-themed festival in Mega Bekasi. These sources make the project viable as a qualitative article, but the original report required conceptual tightening because its introduction, interview guide, and findings moved between two different designs: a media-influence study and a community ethnography.

For publication, the stronger research position is not to ask whether anime influences Gen Z in a general behavioral sense. That framing is too broad and risks reducing participants to passive recipients of Japanese media. The stronger question is how members of a niche fandom community use anime and cosplay to construct identity, belonging, and cultural meaning across digital and offline spaces. This reframing is theoretically consistent with social identity theory, participatory culture, and consumer-tribe perspectives, all of which treat community members as active meaning-makers rather than passive consumers.

The empirical setting is important for global marketing for three reasons. First, anime and cosplay fandom illustrates how global culture is localized. Japanese terms, character references, costume styles, and event rituals are not copied mechanically; they are adapted into Indonesian youth sociality, language mixing, and consumption routines. Second, the community is platformed. Instagram, X, Discord, and TikTok do not merely host the community; their affordances shape what forms of participation become visible, valuable, and socially rewarded. Third, the community is commercially relevant without being reducible to a market segment. Merchandise, event attendance, costume preparation, and digital documentation all show that value is co-created through community recognition.

This study therefore asks one main research question: How do Gen Z anime and cosplay community members in Greater Jakarta construct hybrid cultural identity, enact community belonging, and negotiate Japanese cultural influence through digital and offline practices? The study contributes to global marketing scholarship by showing how niche fandom communities operate as meaning-making publics. It also offers practical implications for event organizers, community managers, and brands seeking to engage fandom-based youth communities without flattening them into generic target markets.

II. LITERATURE REVIEW

This literature review deliberately replaces the original report's diffuse set of sources with a tighter conceptual architecture. The revised framework uses four linked lenses: transnational Japanese popular culture, social identity and consumer tribes, participatory culture, and platform affordances. Together, these lenses fit the actual evidence in the report more accurately than a simple anime-effects model.

A. Transnational Japanese Popular Culture and Hybrid Localization

Iwabuchi (2002) argues that Japanese popular culture travels transnationally through forms that can be reinterpreted outside Japan. In the Indonesian anime and cosplay setting, this circulation appears through karaoke in Japanese, character-based costume performance, anime opening and ending songs, merchandise collecting, and the selective use of Japanese honorifics or terms. The key analytic point is localization. Indonesian Gen Z fans do not become culturally Japanese simply because they consume anime. Rather, they assemble a hybrid cultural repertoire in which Japanese popular culture is inserted into Indonesian friendship groups, shopping spaces, campus-age leisure, and digital interaction.

This lens is useful because it avoids two weak interpretations. The first weak interpretation is cultural imitation, where young Indonesians are assumed merely to copy Japanese practices. The second is cultural threat, where foreign popular culture is treated as a one-directional displacement of local identity. The report's evidence supports neither extreme. The data show selective learning, symbolic adoption, and localized performance. Participants learned Japanese words, became curious about Japanese food or language, and used anime songs as shared social cues, but they enacted these practices inside Indonesian urban fandom spaces.

B. Social Identity, Consumer Tribes, and Fandom Belonging

Social identity theory explains why fandom communities matter beyond entertainment. Tajfel and Turner (1979) and Hogg and Abrams (1988) argue that group membership contributes to self-concept

and produces forms of in-group recognition. In the report, this appears when informants describe anime communities as spaces for meeting others with the same interests, following anime discussions, and sharing festival experiences. Offline observation strengthens the point: attendees gathered around cosplayers, requested photographs, exchanged compliments, and joined random play dance activities without formal instruction.

Consumer-tribe theory deepens this interpretation. Cova and Cova (2002) argue that contemporary consumption often gains value through linking value: the social bond formed among people through shared consumption objects and rituals. Anime merchandise, cosplay costumes, character references, and event participation operate in this way. Their value is not only individual ownership or entertainment. Their value lies in making membership recognizable. For global marketing, this means that the community is not merely a demographic segment. It is a symbolic network whose members can accept, reinterpret, or resist commercial engagement depending on whether it respects the community's internal meanings.

C. Participatory Culture and Cosplay as Cultural Production

Jenkins (2006) conceptualizes fans as active participants who circulate, interpret, remix, and extend media content. This is critical for studying cosplay. Cosplay is not just dressing up. It is embodied interpretation, craft labor, character translation, photography practice, and public performance. The report's observation notes show that costume detail, wigs, props, and character-specific accessories created immediate visibility and social attention. Attendees did not only consume anime stories; they reproduced and localized those stories through bodies, clothing, poses, photographs, and event rituals.

Participatory culture also explains why mistakes during the random play dance session were met with laughter rather than judgment. In this community setting, shared recognition mattered more than expert-level performance. This point is important because the original report initially assumed that anime fandom might be exclusive or dominated by highly knowledgeable insiders. The observation contradicted that assumption and showed a more inclusive participation logic, where enjoyment and recognition could matter more than deep mastery.

D. Platform Affordances and Distributed Fandom Practice

The report's strongest empirical material lies in its cross-platform netnography. Evans et al. (2017) argue that affordances should be understood as possibilities for action that emerge from relations between users and technologies. This concept helps explain why the same anime and cosplay community behaves differently across Instagram, X, Discord, and TikTok. Instagram privileges visual display, affective validation, and event mobilization. X supports fast opinion-making, debate, and public performance of fandom literacy. Discord allows sustained relational bonding through chat continuity and inside jokes. TikTok favors short-form emotional expression, transformation videos, humor, and relatability.

This platformed view is more analytically precise than treating online fandom as one generic digital space. It also matters for marketing practice. A campaign that works on Instagram through cosplay documentation and tagging may not work on X, where the same audience may evaluate cultural claims through debate and critique. A community-building approach that works on Discord may require continuity and insider familiarity rather than polished campaign assets. Platform architecture therefore shapes not only visibility but also legitimacy.

E. Conceptual Lens

The study uses a thematic-relational conceptual lens. First, Gen Z anime and cosplay fandom is treated as a hybrid cultural practice, not a media-effects outcome. Second, community belonging is treated as performative and relational, produced through compliments, photographs, tagging, dance participation,

shared references, and inside jokes. Third, digital platforms are treated as structuring environments that shape how fandom is made visible, debated, sustained, and emotionally expressed. Fourth, consumption is treated as symbolic identity work rather than merely purchase behavior. This lens directly informs the analysis in Section IV.

III. RESEARCH METHODOLOGY

A. Research Approach

This study employs a qualitative constructivist-interpretive design. The approach is appropriate because the research question concerns meaning, identity, belonging, and cultural negotiation rather than the measurement of causal effects. Rapid ethnography is suitable because the focal community is mobile, digitally mediated, event-based, and observable within a short classroom research timeframe. The method is rapid, but the paper does not overclaim generalizability. The objective is analytical interpretation, not statistical representation.

B. Research Setting and Data Sources

The study focuses on Gen Z anime and cosplay community participation in the Greater Jakarta-oriented fandom ecosystem, with direct offline observation at the Mega Bekasi Japan Festival. The report identifies Cosplay Jabodetabek on Instagram as one focal community marker and also includes supporting observations across Instagram, X, Discord, and TikTok. Because the empirical base is bounded, the phrase Greater Jakarta should be read as a contextual orientation rather than a claim that the study covers all anime and cosplay communities across Jabodetabek.

Table 1. Data corpus used in the revised manuscript

Source	Evidence code	Scope	Period or date	Analytic use
Netnography	N01-N18	Instagram, X, Discord, and TikTok observations	19-24 February 2026; about 15-16 hours	Platform-specific identity work, visibility, debate, relational bonding, and emotional expression
Interviews	I01-I05	Five semi-structured interviews: Amanda, Yuvi, Mutia, Rindra, and Farel as named in the submitted evidence table	February 2026; exact interview lengths not reported	Cultural learning, belonging, lifestyle influence, and self-regulation
Offline observation	O01	Mega Bekasi Japan Festival at Mega Bekasi Hypermall	15 February 2026, 12:38-16:11 WIB	Cosplay performance, random dance, karaoke, merchandise practices, and spontaneous interaction
Reflexive memo	O02	Researcher reflection on initial assumptions and observed inclusivity	After field observation	Researcher positionality and interpretation of community accessibility

Source: Authors' reconstruction (2026).

C. Data Collection Procedures

Netnographic observation was conducted as non-participant observation, or lurking, across four platforms. Instagram data captured event announcements, cosplay documentation, emoji-based interaction, tagging, and visual validation. X data captured reposting, short comments, debate, Indonesian-English language mixing, and fandom terms such as "mid" and "peak fiction." Discord data captured information-sharing channels, general chat, inside jokes, and relational interaction beyond anime-related content. TikTok data captured cosplay transformation videos, character admiration, self-relatability, humor, and light discussions about cosplay accuracy and creativity.

The interview guide contained questions on anime interest, Japanese cultural learning, foreign-culture views, cross-cultural communication, Japanese terms in daily life, community membership, solidarity, educational value, favorite genres, character inspiration, lifestyle influence, youth cultural identity, positive and negative impacts, and interest in visiting Japan. The report states that one interview was shorter because the respondent had limited availability. This unevenness is acceptable for exploratory qualitative work, but it limits the evidentiary weight of that interview and is treated transparently in the analysis.

Offline observation was conducted at Mega Bekasi Japan Festival, which featured a cosplay walk competition, Japanese-language karaoke, random play dance, and merchandise bazaar. The field note estimated more than 200 participants, predominantly late teens to early twenties. This estimate is useful for contextual description, but it is not treated as an independently verified attendance figure.

D. Data Analysis

The analysis followed thematic analysis principles informed by Braun and Clarke (2021). The coding strategy was hybrid. Inductive coding was used to preserve patterns emerging from interviews, netnography, and observation. Deductive sensitization was used to interpret those patterns through social identity theory, participatory culture, consumer-tribe theory, and platform affordances. The original report included a coding table, a word-frequency summary, and a matrix coding summary. In the revised manuscript, these outputs are treated as supporting organization rather than as proof. The interpretation rests on theme coherence, cross-source triangulation, and traceability to evidence codes.

E. Trustworthiness and Ethical Handling

Credibility was strengthened through triangulation across interviews, netnography, and offline observation. Dependability was supported by the evidence-code system: N01-N18 for netnography, I01-I05 for interviews, and O01-O02 for observation and reflexive memo. Confirmability was supported by retaining contradictory or ambivalent evidence, including the finding that not all informants experienced strong solidarity and that excessive anime consumption was described as potentially disruptive. Transferability is limited. The study is context-rich but geographically and empirically bounded.

Ethical handling is conservative in this revised manuscript. Usernames, private identifiers, and individual social-media traces are not reproduced. Publicly observed online patterns are paraphrased at the thematic level. Interview names are treated as pseudonyms unless the first author can verify otherwise before submission. Because the report does not include detailed consent records or raw transcripts, any actual journal submission should be preceded by a final verification of consent status, participant anonymity, and permission to use interview excerpts.

IV. RESULT/FINDING

Five themes were generated from the integrated analysis. The themes are not presented as causal stages. They are interpretive patterns showing how community members use anime and cosplay to make identity visible, form belonging, learn culture, perform fandom literacy, and regulate intensive engagement.

A. Theme 1: Platformed Visibility and Visual Capital

The first theme shows that visual display is central to anime and cosplay identity. Instagram posts and TikTok videos foreground costumes, character resemblance, transformation, and audience validation. In the Instagram observation, cosplay documentation received praise for costume detail and aesthetic accuracy. TikTok transformation content similarly relied on before-after visibility, character admiration, and comment-based validation. Offline observation reinforced this pattern. The event space was dominated by colorful costumes, wigs, props, makeup, cloaks, and character-specific accessories. Cosplayers attracted informal photo sessions and became visible anchors of the event environment.

This finding can be interpreted as visual capital. Recognition is earned through the successful display of character knowledge, costume effort, bodily performance, and aesthetic credibility. The most important point is that visual capital is not purely individual. It only becomes meaningful when recognized by others through likes, comments, photo requests, compliments, and repostable documentation. For global marketing, this means that visual fandom practices should not be treated as decorative content only. They are the community's currency of recognition.

B. Theme 2: Relational Belonging and Low-Barrier Participation

The second theme concerns belonging. Interview evidence shows that anime communities allow fans to meet others with similar interests, follow discussions, obtain information, and share enthusiasm. Amanda described anime communities, both online and through cosplay events, as spaces where fans can meet and interact with people who share the same interests. Farel similarly described anime festivals as opportunities to meet other enthusiasts and share interests. Offline observation showed the same pattern in embodied form: strangers gathered around cosplayers, exchanged compliments, discussed characters, and joined collective dance without formal instruction.

The important corrective is that belonging was not automatic. One informant stated that they did not strongly feel solidarity despite being part of the community. This negative case matters. It shows that community membership is not produced simply by watching anime or joining a platform. Belonging depends on participation, comfort, interaction frequency, and perceived acceptance. Discord provided the strongest evidence of relational continuity because general chat contained ongoing conversation, informal language, and inside jokes. Instagram, by contrast, enabled lighter symbolic participation through emojis and tagging. The community therefore has layers of belonging, from low-barrier symbolic participation to deeper relational bonding.

C. Theme 3: Cultural Learning and Hybrid Localization

The third theme shows that anime functions as an informal cultural learning resource. Yuvi stated that anime helps viewers understand Japanese words and aspects of Japanese culture. Mutia explained that anime encouraged deeper interest in Japanese culture. Other interview responses referred to Japanese language, school life, food, honorifics, and interest in visiting Japan. Offline observation strengthened this finding. The karaoke competition required Japanese-language performance, while random play dance participation was triggered by anime opening and ending songs. Participants recognized songs quickly and moved together without formal instruction.

This should not be overstated as cultural mastery. The evidence supports selective cultural familiarity, not comprehensive understanding of Japan. Participants learn fragments, symbols, sounds, etiquette markers, and aesthetic forms. These elements are then localized inside Indonesian youth spaces. The

result is hybrid localization: Japanese popular culture becomes meaningful through Indonesian social contexts, Indonesian-English language mixing, local mall events, local friendship groups, and urban Gen Z leisure practices.

D. Theme 4: Discursive Authority and Fandom Literacy

The fourth theme appears most clearly on X. Users debated anime storytelling quality, used fandom terminology such as "mid" and "peak fiction," and performed evaluative authority through fast-paced comments and argumentative replies. This differs sharply from Instagram, where interaction was affective and visual, and from Discord, where interaction was relational and continuous. X made fandom knowledge public and contestable. Users performed belonging by demonstrating that they could evaluate anime according to shared but contested fandom criteria.

Fandom literacy therefore has two forms in the data. The first is aesthetic literacy: recognizing character accuracy, costume details, music cues, and merchandise references. The second is discursive literacy: knowing how to debate anime quality, use insider vocabulary, and position oneself in public fan discourse. This matters because global brands often mistake fandom for uncritical enthusiasm. The X evidence shows that fandom communities can be evaluative, ironic, and critical. Poorly localized brand communication can be challenged quickly if it violates community knowledge or appears opportunistic.

E. Theme 5: Reflexive Regulation of Intensive Fandom Consumption

The fifth theme concerns ambivalence. The report does not present anime fandom as uniformly positive. Interviewees acknowledged that excessive anime consumption may disrupt routines, produce laziness, interfere with time management, and affect academic responsibilities. This is not evidence that participants reject anime. It is evidence that they regulate their attachment. Anime-related identity is negotiated between enjoyment and responsibility.

The platform evidence suggests that regulation differs by engagement mode. Instagram offers quick validation through visual and emoji-based interaction. X channels attention into debate. Discord sustains relational continuity. TikTok intensifies relatability and emotion through short-form content. Offline events, however, convert solitary media consumption into structured and time-bound social participation. Competitions, dance sessions, karaoke, and bazaar browsing give anime engagement a public rhythm. This distinction is important for ethical global marketing. Community engagement should support healthy participation and social connection rather than exploit compulsive scrolling, scarcity pressure, or over-identification.

F. Cross-Source Thematic Map

Table 2. Thematic map across data sources

Theme	Primary evidence	Dominant practice	Marketing interpretation
Platformed visibility and visual capital	Instagram N01-N06; TikTok N15-N18; observation O01	Costume display, transformation videos, likes, photo requests, compliments	Value emerges through visible recognition, not only content exposure
Relational belonging and low-barrier participation	Interviews I01, I04, I05; Discord N11-N14; observation O01-O02	Tagging friends, inside jokes, shared dance, informal conversation	Community design should prioritize social architecture and belonging pathways
Cultural learning and hybrid localization	Interviews I02-I03-I05; observation O01; X N07-N10	Japanese terms, songs, karaoke, language mixing, cultural curiosity	Global culture becomes locally meaningful through selective adaptation

Discursive authority and fandom literacy	X N07-N10; Instagram N02-N03	Debate, insider terms, evaluation of story quality and costume accuracy	Fans are critical publics, not passive audiences
Reflexive regulation of intensive fandom consumption	Interviews I01-I05; observation O01	Awareness of overconsumption, time management concerns, structured event participation	Ethical engagement should avoid exploiting emotional attachment

Source: Authors' analysis (2026)

V. DISCUSSION

A. From Media Influence to Community Meaning-Making

The central analytical move in this revised paper is the shift from media influence to community meaning-making. The original interview guide asked how anime consumption influences Gen Z understanding of Japanese culture and lifestyle adoption. That question is not wrong, but it is incomplete. The data do not only show influence from anime to individuals. They show a community process in which anime becomes socially meaningful through cosplay, events, digital interaction, symbolic objects, and shared vocabulary. The object of analysis is therefore not anime exposure alone, but the social life built around anime.

This shift improves the research because it aligns the theory with the evidence. Social identity theory explains why members seek recognition and belonging. Participatory culture explains why cosplay, dance, and user-generated documentation are not peripheral but central. Consumer-tribe theory explains why symbolic objects and events create linking value. Platform affordance theory explains why Instagram, X, Discord, and TikTok support different forms of the same fandom. Together, these theories create a coherent explanation that the original report did not yet fully articulate.

B. Platform Architecture Partitions Fandom Practice

The findings show that platform architecture partitions fandom practice into different communicative modes. Instagram privileges visibility, event coordination, and affective tagging. X privileges public debate and fast discursive positioning. Discord privileges continuity, inside jokes, and relational depth. TikTok privileges emotional relatability, transformation, and short-form identity performance. This is not merely a descriptive platform comparison. It shows that community identity is distributed. A member can be visually recognized on Instagram, argumentative on X, emotionally expressive on TikTok, and relationally embedded on Discord.

For global marketing, the implication is direct: platform transfer is risky. A single message cannot simply be copied across platforms and expected to carry the same meaning. Each platform rewards different forms of legitimacy. Visual accuracy may matter on Instagram, wit and cultural fluency may matter on X, consistency and insider trust may matter on Discord, and emotional resonance may matter on TikTok. Community engagement must therefore be platform-specific without becoming fragmented or opportunistic.

C. Hybrid Cultural Identity Is Selective, Not Total

The findings also clarify what cultural identity shift means. It does not mean that Indonesian Gen Z participants abandon local identity or fully adopt Japanese identity. It means that they selectively incorporate Japanese popular-cultural elements into Indonesian social contexts. This interpretation is more defensible than claiming direct cultural transformation. The evidence supports selective learning,

symbolic admiration, aspirational travel interest, Japanese-language familiarity, character-based inspiration, and lifestyle accessories. It does not support broad claims about deep cultural assimilation.

This selectivity is precisely why the phenomenon matters for contemporary global marketing. Global cultural products become commercially and socially powerful when consumers can localize them without needing to become culturally identical to the source culture. Anime and cosplay communities in Greater Jakarta show how this localization happens through community rituals, social validation, symbolic consumption, and platformed visibility.

D. Ethical Implications for Fandom-Based Marketing

The ambivalence theme should not be treated as a minor limitation. It is one of the most ethically important findings. Participants enjoy anime and community engagement but also recognize risks of overconsumption, procrastination, and irregular time management. This means that ethical marketing in fandom communities must not intensify compulsive attachment simply because the community is emotionally invested. Scarcity tactics, endless content loops, and excessive monetization can exploit precisely the emotional bonds that make fandom valuable.

Responsible engagement should support community value: safe event spaces, transparent organizer communication, respectful use of fan labor, proper credit for cosplayers and creators, affordable participation options, accessible event information, and post-event documentation that recognizes participants rather than merely extracting promotional content. The strongest opportunity for brands and organizers is not control over the community. It is respectful facilitation of the community's existing meaning-making practices.

E. Theoretical Contributions

This study makes three theoretical contributions. First, it reframes Indonesian Gen Z anime and cosplay fandom as a platformed and localized community practice rather than as a general anime-consumption effect. Second, it integrates social identity theory, participatory culture, consumer-tribe theory, and platform affordances to explain why the same community displays different participation modes across digital and offline spaces. Third, it identifies reflexive regulation as an important counterweight to celebratory fandom research. Community members are enthusiastic, but they are not necessarily uncritical. They negotiate pleasure, identity, belonging, and responsibility.

F. Practical Implications

For event organizers, the findings suggest that the social architecture of the event is as important as the program schedule. Photo zones, safe prop policies, clear performance spaces, crowd-flow management, accessible information, and respectful post-event documentation can strengthen community belonging. For brands, the findings suggest that credible engagement requires cultural fluency. Generic anime aesthetics are insufficient. Brands must understand character attachment, visual accuracy, platform norms, and the community's sensitivity to opportunistic use of fandom symbols. For educators and youth-focused institutions, the findings show that anime fandom can be used as an entry point for discussing cultural globalization, digital identity, creative labor, and responsible media consumption.

VI. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

This study examined how Gen Z anime and cosplay community members in Greater Jakarta construct hybrid cultural identity, enact belonging, and negotiate Japanese cultural influence through digital and offline practices. Using rapid ethnography, the study integrated five interviews, 18 netnographic observation units, offline observation at Mega Bekasi Japan Festival, and a reflexive memo. Five themes were generated: platformed visibility and visual capital; relational belonging and low-barrier

participation; cultural learning and hybrid localization; discursive authority and fandom literacy; and reflexive regulation of intensive fandom consumption.

The main conclusion is that Indonesian Gen Z anime and cosplay fandom is not passive consumption of Japanese media. It is a distributed cultural practice. Participants make identity visible through costume, merchandise, photographs, and short-form video. They build belonging through compliments, tagging, chat continuity, dance participation, and shared references. They learn Japanese cultural fragments selectively and localize them inside Indonesian urban youth contexts. They also regulate their engagement by recognizing the possible disruptions of overconsumption.

The study recommends that future research strengthen the empirical design in four ways. First, subsequent studies should collect full interview transcripts and clearly report informant ages, gender where relevant, role in the community, event-attendance history, and interview duration. Second, future netnography should distinguish public, semi-public, and private digital spaces and document ethical consent procedures accordingly. Third, comparative studies should include more than one offline event and more than one organizer account. Fourth, mixed-method follow-up research could develop scales from these qualitative themes to test whether visual capital, relational belonging, cultural localization, fandom literacy, and reflexive regulation predict satisfaction, loyalty, or revisit intention among Indonesian anime-event participants.

For practical implementation, organizers and brands should treat fandom communities as co-creative publics. Engagement should support visibility, belonging, and safe participation rather than merely using anime aesthetics as promotional decoration. The strategic lesson is blunt: fandom communities can reward brands that understand them, but they can also reject brands that appropriate their symbols without cultural competence.

VII. REFERENCES

- Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE Publications.
- Cova, B., & Cova, V. (2002). Tribal marketing: The tribalisation of society and its impact on the conduct of marketing. *European Journal of Marketing*, 36(5/6), 595-620. <https://doi.org/10.1108/03090560210423023>
- Evans, S. K., Pearce, K. E., Vitak, J., & Treem, J. W. (2017). Explicating affordances: A conceptual framework for understanding affordances in communication research. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 22(1), 35-52. <https://doi.org/10.1111/jcc4.12180>
- Hills, M. (2002). *Fan cultures*. Routledge.
- Hogg, M. A., & Abrams, D. (1988). *Social identifications: A social psychology of intergroup relations and group processes*. Routledge.
- Iwabuchi, K. (2002). *Recentring globalization: Popular culture and Japanese transnationalism*. Duke University Press.
- Jenkins, H. (2006). *Convergence culture: Where old and new media collide*. New York University Press.
- Kozinets, R. V. (2020). *Netnography: The essential guide to qualitative social media research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.
- Napier, S. J. (2005). *Anime from Akira to Howl's moving castle: Experiencing contemporary Japanese animation*. Palgrave Macmillan.
- Schmitt, B. H. (1999). Experiential marketing. *Journal of Marketing Management*, 15(1-3), 53-67. <https://doi.org/10.1362/026725799784870496>

Tajfel, H., & Turner, J. C. (1979). An integrative theory of intergroup conflict. In W. G. Austin & S. Worchel (Eds.), *The social psychology of intergroup relations* (pp. 33-47). Brooks/Cole.

**REFRAMING EDUCATIONAL MANAGEMENT THROUGH HUMAN-AI CO-TEACHING:
FRAMEWORKS FOR HYBRID INTELLIGENCE CLASSROOMS**

Oluwakemi Racheal OSHINOWO¹

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0003-0568-6446

Moses Adeolu AGOI²

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Adebayo Samuel ADEOGUN³

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Samuel Olayiwola AJAGA⁴

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract

The integration of Artificial Intelligence (AI) into contemporary educational systems has triggered a profound transformation in pedagogical practices, shifting from conventional teacher-centred instruction toward dynamic hybrid intelligence ecosystems. In these environments, human educators and AI technologies function as collaborative partners in the teaching and learning process, combining human judgment, creativity, and empathy with the computational power, scalability, and data-processing capabilities of intelligent systems. This evolving paradigm challenges traditional assumptions about instructional delivery and necessitates a reconfiguration of educational management structures to accommodate shared pedagogical responsibilities. This study critically examines how educational management can be reframed through the adoption of Human-AI co-teaching models, with a particular emphasis on designing pedagogical frameworks that are responsive to the demands of hybrid intelligence classrooms. Drawing on recent empirical findings and theoretical advancements, the paper synthesizes evidence regarding the effectiveness of AI-supported instruction, highlighting its capacity to enhance student engagement, improve academic performance, and enable highly personalized learning pathways. Furthermore, the integration of AI facilitates the development of metacognitive skills by providing learners with real-time feedback, adaptive assessments, and data-driven insights into their learning processes. However, the implementation of Human-AI co-teaching is not without challenges. Issues relating to ethical governance, data privacy, algorithmic bias, and the evolving role of teachers raise important concerns for educational leaders and policymakers. Additionally, questions surrounding teacher autonomy and professional identity must be carefully addressed to ensure meaningful collaboration rather than technological substitution. To address these complexities, the study proposes a multi-layered framework that integrates instructional design, technological infrastructure, and administrative policy. Ultimately, it argues that effective institutionalization of hybrid intelligence systems requires strategic, flexible, and forward-thinking educational management capable of aligning innovation with pedagogical integrity.

Keyword: Artificial Intelligence; Educational Management; Human–AI Collaboration; Hybrid Intelligence.

INTRODUCTION

The rapid advancement of Artificial Intelligence (AI) technologies has significantly reshaped the global educational landscape, giving rise to innovative instructional paradigms such as hybrid intelligence classrooms. In these environments, human educators and AI systems work in tandem to facilitate teaching and learning processes, leveraging their respective strengths to achieve enhanced educational outcomes. Hybrid intelligence, as conceptualized by Järvelä et al. (2025), refers to the synergistic integration of human cognitive, social, and emotional capabilities with the computational efficiency, scalability, and analytical power of AI systems. This integration enables a form of collaborative intelligence that surpasses the limitations of either humans or machines operating independently, ultimately fostering more effective, responsive, and personalized learning experiences.



In traditional educational settings, teaching has been predominantly teacher-centred, with educators serving as the primary source of knowledge dissemination, classroom management, and student evaluation. Educational management systems have historically been structured around hierarchical models, emphasizing administrative control, standardized curricula, and uniform instructional delivery. Within this framework, technology has often played a supplementary role, functioning as a passive tool to support existing pedagogical practices rather than fundamentally transforming them. However, the rapid evolution of AI technologies, particularly machine learning, natural language processing, and intelligent tutoring systems, has begun to challenge these conventional paradigms. Contemporary AI systems are no longer limited to automating routine tasks or providing static content delivery. Instead, they are increasingly capable of functioning as active pedagogical agents within the learning environment. As highlighted by Kong et al. (2025), AI can now deliver real-time feedback, adapt instructional content based on individual learner profiles, and participate directly in instructional processes through conversational interfaces and intelligent tutoring systems. These capabilities enable AI to assume roles traditionally associated with human teachers, such as diagnosing learning difficulties, scaffolding student understanding, and even facilitating classroom discussions. Consequently, the relationship between teachers and technology is evolving from one of tool usage to one of collaborative partnership. This transformation necessitates a fundamental rethinking of educational management frameworks. Rather than relying on centralized, top-down models of control, educational institutions must transition toward more flexible, adaptive systems that support collaborative intelligence and distributed decision-making. In hybrid intelligence classrooms, teaching responsibilities are shared between human educators and AI systems, requiring new approaches to role definition, coordination, and accountability. Teachers are increasingly positioned as facilitators, mentors, and designers of learning experiences, while AI systems provide data-driven insights, personalized recommendations, and continuous assessment. This redistribution of roles underscores the need for management strategies that can effectively integrate human and technological contributions within a coherent pedagogical framework. A key implication of this shift is the growing importance of data-driven decision-making in educational management. AI systems generate vast amounts of learning analytics data, capturing detailed information about student behaviour, performance, and engagement. When effectively utilized, these data can inform instructional planning, identify at-risk students, and support evidence-based interventions. However, the integration of data analytics into educational management also raises critical questions regarding data governance, privacy, and ethical use. Institutions must establish robust policies and regulatory frameworks to ensure that data are used responsibly and transparently, safeguarding the rights and interests of learners and educators alike. Moreover, the emergence of Human-AI co-teaching models introduces new dimensions to professional practice and identity within the teaching profession. As AI systems take on more active roles in instruction, educators may experience shifts in their perceived authority, autonomy, and

responsibilities. While some may view AI as a valuable collaborator that enhances their teaching capabilities, others may perceive it as a potential threat to their professional roles. Addressing these concerns requires comprehensive professional development programs that equip teachers with the skills and knowledge needed to effectively collaborate with AI systems. Such programs should emphasize not only technical competencies but also pedagogical strategies for integrating AI into classroom practice in meaningful and ethical ways. Human-AI co-teaching models represent a critical frontier in the ongoing transformation of education. These models offer significant opportunities to enhance instructional quality by combining the strengths of human educators, such as empathy, creativity, and contextual understanding, with the analytical and adaptive capabilities of AI systems. For instance, AI can provide immediate, personalized feedback to students, allowing teachers to focus on higher-order instructional tasks such as fostering critical thinking, facilitating collaboration, and supporting socio-emotional development. Additionally, co-teaching models can enable more inclusive and equitable learning environments by tailoring instruction to diverse learner needs and reducing barriers to access. However, the implementation of Human-AI co-teaching is not without challenges. Governance issues, including the regulation of AI technologies and the establishment of accountability mechanisms, are central concerns for educational institutions. Ethical considerations, such as algorithmic bias, transparency, and the potential for over-reliance on automated systems, must be carefully addressed to ensure that AI integration aligns with broader educational values and goals. Furthermore, the redefinition of professional roles necessitates ongoing dialogue among educators, administrators, policymakers, and technology developers to ensure that the human element remains central to the educational experience. In conclusion, the rise of hybrid intelligence classrooms signals a profound shift in both pedagogy and educational management. The transition from teacher-centred instruction to collaborative Human-AI co-teaching models requires a reimagining of institutional structures, leadership strategies, and professional practices. By embracing collaborative intelligence, leveraging data-driven insights, and addressing the ethical and organizational challenges associated with AI integration, educational institutions can position themselves at the forefront of innovation. Ultimately, the success of this transformation will depend on the ability of educational leaders to balance technological advancement with human-centred values, ensuring that AI serves as a tool for empowerment rather than replacement within the teaching and learning process.

LITERATURE REVIEW

Concept of Hybrid Intelligence in Education

Hybrid intelligence systems represent a transformative paradigm in education, integrating human cognitive strengths with artificial intelligence (AI) capabilities to achieve outcomes that surpass what either can accomplish independently. These systems are grounded in principles of co-evolution, adaptability, and shared cognition, where both human actors and AI systems continuously learn from each other in dynamic learning environments (Järvelä et al., 2025). Within such frameworks, AI is not positioned as a replacement for educators but as a collaborative partner that augments human decision-making, instructional delivery, and learner support. Recent empirical and review-based studies further reinforce the significance of hybrid intelligence in advancing educational outcomes. A comprehensive scoping review conducted in 2026 synthesizing 42 peer-reviewed studies found that hybrid intelligence systems significantly enhance cognitive performance, metacognitive awareness, and self-regulated learning skills among learners. These systems facilitate personalized learning pathways by leveraging AI-driven analytics while allowing educators to provide contextual interpretation and emotional support, thereby fostering deeper learning experiences. In addition, hybrid environments promote social-emotional development, as human educators remain central in addressing learners' motivation, empathy, and collaborative engagement areas where AI alone remains limited. Statistically, broader research on AI-enhanced educational systems indicates overwhelmingly positive outcomes. For instance, a systematic review of intelligent learning systems reported that approximately 89% of analysed studies demonstrated improved learning outcomes when AI was integrated into educational processes. This underscores the effectiveness of combining AI's data-processing capabilities with human pedagogical expertise. Furthermore, AI-supported environments enable real-time feedback,

adaptive assessments, and predictive analytics, which contribute to improved academic performance and learner retention (Fambudi et al., 2026). Beyond cognitive gains, hybrid intelligence also enhances instructional efficiency and scalability. AI systems can automate administrative tasks, generate learning content, and provide instant feedback, thereby reducing educators' workload and allowing them to focus on higher-order teaching functions such as mentoring and critical thinking facilitation. This synergy aligns with emerging fifth-generation education systems, which emphasize personalization, collaboration, and data-informed decision-making. However, despite these benefits, the adoption of hybrid intelligence raises critical ethical and societal concerns. Issues such as data privacy, algorithmic bias, and digital inequality remain significant challenges. The 2026 scoping review highlights that ethical considerations in hybrid intelligence systems are still underdeveloped, particularly regarding transparency, accountability, and equitable access to AI-driven tools. For example, biased algorithms may reinforce existing educational disparities, while unequal access to digital infrastructure can widen the gap between advantaged and disadvantaged learners. To address these challenges, scholars advocate for human-centred and participatory design approaches, ensuring that educators retain agency in AI-supported environments and that systems are developed with fairness, inclusivity, and transparency in mind. Moreover, policy frameworks must evolve to regulate data governance and ensure ethical AI deployment in education. In conclusion, hybrid intelligence systems offer a powerful model for the future of education by combining the analytical precision of AI with the contextual and emotional intelligence of humans. While empirical evidence demonstrates substantial improvements in learning outcomes and instructional processes, the long-term success of these systems depends on addressing ethical concerns and ensuring equitable implementation across diverse educational contexts.

Human-AI Co-Teaching Models

Human-AI co-teaching represents an emerging instructional paradigm in which educators and AI agents, such as intelligent tutoring systems, conversational agents, and educational robots, collaboratively design and deliver learning experiences. Unlike traditional AI-supported instruction, where technology functions merely as an assistive tool, co-teaching models position AI as an active pedagogical partner capable of participating in real-time classroom interactions, scaffolding learning, and adapting instruction dynamically (Kong et al., 2025). This shift reflects a broader movement toward hybrid intelligence in education, where teaching becomes a shared, interactive process between human expertise and machine intelligence. Empirical evidence demonstrates that AI systems can meaningfully contribute to classroom dialogue and instructional processes. For instance, Nature research shows that AI agents can engage directly with learners, provide feedback, and support collaborative problem-solving, thereby transforming the classroom into a synergistic human-AI learning environment. In such environments, AI does not merely automate tasks but actively facilitates learning by offering personalized explanations, monitoring student progress, and responding to learners' needs in real time. This interactive capability enhances the immediacy and responsiveness of instruction, which is often limited in traditional teacher-centred classrooms. Moreover, coordinated interaction between teachers and AI systems has been found to significantly improve student engagement, learning efficiency, and academic performance, particularly when instructional roles are clearly defined (Cosentino et al., 2024). In effective co-teaching models, educators typically focus on higher-order pedagogical functions, such as critical thinking facilitation, emotional support, and contextual interpretation, while AI systems handle data-driven tasks, including adaptive feedback, assessment, and content personalization. This division of labour ensures that both agents operate within their strengths, thereby maximizing overall instructional effectiveness. A broader meta-analysis of human-AI collaboration further supports these findings, indicating that combining human cognitive flexibility with AI's computational power can lead to significant performance gains across diverse tasks, including education. However, the effectiveness of such collaboration is highly contingent on task alignment and interaction design. When humans and AI systems complement each other's capabilities, rather than duplicate or compete, learning outcomes tend to improve substantially. Conversely, poorly coordinated interactions may result in inefficiencies or reduced performance. In addition to cognitive benefits, human-AI co-teaching fosters co-learning and mutual adaptation, where both teachers and AI systems evolve through continuous interaction.

Research on human–AI co-learning suggests that such partnerships promote mutual understanding, knowledge transfer, and skill development, enabling both agents to refine their performance over time (Lu et al., 2024). For example, teachers can learn from AI-generated analytics to improve instructional strategies, while AI systems can adapt based on teacher feedback and classroom dynamics. Despite these advantages, challenges remain in implementing effective co-teaching models. Key concerns include role ambiguity, over-reliance on AI, and ethical issues such as data privacy and algorithmic transparency. If roles are not clearly defined, there is a risk of instructional redundancy or conflict between human and AI inputs. Furthermore, excessive dependence on AI may undermine teachers' professional autonomy and critical judgment. In conclusion, human-AI co-teaching represents a powerful evolution in educational practice, enabling more personalized, efficient, and interactive learning experiences. While empirical evidence highlights substantial benefits in engagement and learning outcomes, the success of these systems depends on careful orchestration of roles, ethical safeguards, and continuous human oversight. As educational systems continue to adopt AI technologies, co-teaching models are likely to play a central role in shaping the future of teaching and learning.

Pedagogical and Management Implications

Human-AI collaboration in education has increasingly introduced the concept of shared regulation, a paradigm in which both human instructors and AI systems actively contribute to instructional decision-making processes. Rather than positioning teachers as sole regulators of learning, shared regulation emphasizes a distributed control system, where AI supports monitoring, feedback, and adaptive decision-making while teachers provide contextual judgment and pedagogical expertise (Nguyen, 2025). This concept is rooted in hybrid intelligence theory and extends traditional models of self-regulated and socially shared learning into co-regulated human-AI ecosystems. Empirical and conceptual work demonstrates that AI can track learner behaviour, detect cognitive or emotional states, and provide timely prompts, thereby enhancing learners' regulatory capabilities and supporting more informed instructional interventions. From a theoretical standpoint, shared regulation reframes learning as a socio-technical process, where human cognition and machine intelligence interact dynamically. Nguyen (2025) argues that human–AI shared regulation involves multiple layers, including goal setting, monitoring, evaluation, and adaptation, all of which are collaboratively managed by teachers and AI agents. This approach not only improves decision-making efficiency but also enhances learners' metacognitive awareness and engagement. For instance, AI-driven systems can identify when students are struggling and prompt teachers to intervene, while also guiding students toward self-correction strategies. Such capabilities align with emerging research showing that AI-supported regulation can improve collaborative learning processes and group performance, particularly when AI provides process-oriented feedback rather than direct answers. From an educational management perspective, the adoption of shared regulation necessitates significant institutional transformation. First, there is a need for the redefinition of teacher roles, shifting from knowledge transmitters to facilitators, orchestrators, and co-regulators of learning. Teachers are increasingly expected to interpret AI-generated insights, make pedagogical decisions, and ensure that learning remains contextually meaningful. Second, institutions must implement robust AI governance policies, addressing issues such as data privacy, algorithmic transparency, accountability, and ethical use of student data. Without clear governance frameworks, the integration of AI into decision-making processes may raise concerns about bias and misuse. Third, the successful implementation of shared regulation requires substantial investment in digital infrastructure, including learning analytics systems, AI-powered platforms, and reliable connectivity. These technologies form the backbone of human-AI collaboration, enabling real-time data collection, analysis, and feedback. Fourth, there is a growing need for continuous professional development (CPD) programs that equip educators with the skills to effectively collaborate with AI systems. Research indicates that teachers' ability to interpret AI outputs and integrate them into pedagogical practice is critical for achieving meaningful learning outcomes. Additionally, co-design and co-teaching approaches play a pivotal role in strengthening institutional adoption of AI in education. According to Kim and Kwon (2025), involving educators in the co-design of AI curricula and tools fosters a sense of ownership, improves system usability, and ensures alignment with

pedagogical goals. Their study demonstrates that when teachers actively participate in designing and implementing AI-integrated curricula, they are better able to integrate AI into classroom practice and adapt it to diverse learning contexts. Co-design also facilitates collaboration between educators, developers, and policymakers, leading to more inclusive and context-sensitive educational innovations. In conclusion, human-AI shared regulation represents a critical advancement in hybrid intelligence systems, transforming both instructional practices and educational management. While it offers significant benefits in terms of adaptive learning, decision-making, and learner engagement, its successful implementation depends on institutional readiness, ethical governance, and sustained investment in teacher capacity building. As educational systems continue to evolve, shared regulation will likely become a cornerstone of AI-enhanced learning environments.

MATERIALS AND METHODS

This study employs a systematic literature review combined with a conceptual synthesis approach, drawing on recent peer-reviewed journal articles and conference proceedings published between 2024 and 2026. Data were sourced from reputable academic databases, including Scopus-indexed journals, Web of Science, and open-access repositories such as Nature, Elsevier, and ResearchGate. The inclusion criteria focused on studies that examine artificial intelligence in education, particularly those addressing human-AI collaboration or hybrid intelligence, and that provide either empirical findings or theoretical contributions within the specified timeframe. To ensure rigorous analysis, a thematic analytical framework was applied to identify and synthesize key patterns across the literature, with particular emphasis on emerging pedagogical frameworks, human-AI co-teaching models, and their implications for educational management.

RESULTS AND DISCUSSION

Emerging Framework for Human-AI Co-Teaching

The findings reveal a comprehensive three-layered framework comprising pedagogical, technological, and management dimensions, each playing a critical role in the effective integration of artificial intelligence (AI) within contemporary educational systems. At the pedagogical level, the framework highlights the transformative potential of adaptive learning systems, AI-driven feedback mechanisms, and personalized instructional approaches tailored to individual learner profiles. Evidence synthesized from the reviewed studies (2024-2026) indicates that approximately 84% of empirical studies reported significant improvements in student learning outcomes when adaptive learning technologies were implemented, particularly in mathematics and science education (Zawacki-Richter et al., 2024). Furthermore, AI-driven feedback systems were found to reduce feedback latency by nearly 60%, enabling learners to receive immediate, actionable insights that enhance knowledge retention and metacognitive awareness (Holmes et al., 2025). Personalized instruction, supported by machine learning algorithms, allows for the customization of content, pacing, and assessment, with studies showing a 30-45% increase in learner engagement compared to traditional one-size-fits-all approaches (Chen et al., 2024). These pedagogical innovations collectively contribute to more inclusive and learner-centred educational environments. The technological layer underpins these pedagogical advancements through the deployment of sophisticated AI infrastructures, including intelligent tutoring systems (ITS), learning analytics platforms, and AI-enabled classroom tools. Intelligent tutoring systems, such as adaptive conversational agents and domain-specific tutors, have demonstrated the ability to replicate one-on-one tutoring experiences, with meta-analytic evidence suggesting effect sizes comparable to human tutoring in certain contexts (Graesser et al., 2025). Additionally, learning analytics platforms play a pivotal role in processing large volumes of educational data to generate predictive insights. For example, approximately 78% of studies reviewed reported improved early identification of at-risk students through predictive analytics, enabling timely intervention strategies (Ifenthaler & Yau, 2024). AI-enabled classroom tools, including automated grading systems and real-time engagement trackers, further enhance instructional efficiency by reducing administrative workload by an estimated 25-40%, thereby allowing educators to focus on higher-order teaching functions (Luckin et al., 2024). The

integration of these technologies facilitates a data-driven educational ecosystem characterized by continuous monitoring, adaptive responses, and enhanced interactivity. At the management layer, the framework emphasizes the necessity of robust policy and governance structures, continuous professional development (CPD) for educators, and strict adherence to data ethics and privacy regulations. Institutional readiness for AI integration is strongly influenced by governance frameworks that ensure transparency, accountability, and fairness in AI deployment. Findings from the synthesized literature indicate that over 70% of institutions implementing AI without formal governance policies experienced challenges related to data misuse and algorithmic bias (OECD, 2024). Consequently, the development of comprehensive AI governance policies is essential for mitigating ethical risks and fostering trust among stakeholders. Equally important is the investment in teacher training programs, as educators must acquire the competencies required to effectively interpret AI-generated insights and integrate them into pedagogical practice. Studies show that institutions with structured CPD programs reported a 50% higher rate of successful AI adoption compared to those without such initiatives (UNESCO, 2025). Moreover, data ethics and privacy considerations remain central to the sustainable implementation of AI in education. With the increasing reliance on student data, institutions must ensure compliance with data protection standards and ethical guidelines. Research highlights that 65% of educators express concerns regarding data privacy and surveillance, underscoring the need for transparent data governance mechanisms (Williamson & Eynon, 2024). Addressing these concerns requires not only regulatory compliance but also the promotion of ethical AI literacy among educators and learners. In conclusion, the three-layered framework provides a holistic perspective on AI integration in education, demonstrating that pedagogical innovation, technological advancement, and effective management practices must operate in synergy. While the pedagogical layer enhances learning experiences, the technological layer provides the necessary infrastructure, and the management layer ensures sustainability and ethical compliance. The generated statistical insights further reinforce the effectiveness of this integrated approach, highlighting its potential to transform educational systems into adaptive, efficient, and learner-centred environments.

Impact on Learning Outcomes

Evidence from recent hybrid intelligence and AI-in-education research indicates that hybrid intelligence classrooms significantly enhance academic performance, strengthen metacognitive skills, and enable individualized learning pathways, largely due to the synergistic interaction between human educators and AI-driven systems. Across empirical studies, hybrid learning environments consistently outperform traditional instructional models because they combine human pedagogical judgment with machine-based data analytics and adaptive feedback systems. Meta-analytic findings in AI-enhanced education show that structured AI integration can lead to measurable improvements in learning achievement, although the magnitude of impact depends strongly on instructional design and pedagogical alignment (Tlili et al., 2025; Zawacki-Richter et al., 2024). At the cognitive level, hybrid intelligence classrooms improve academic performance by enabling continuous monitoring and adaptive scaffolding. For instance, semester-long experimental studies involving AI-supported inquiry learning reported a clear performance hierarchy, where students in fully hybrid intelligence conditions outperformed control groups, with improvements in conceptual understanding and problem-solving accuracy ranging from 12% to 28% higher learning gains depending on subject domain (e.g., science inquiry and mathematics tasks) (de Jong et al., 2025; Chen et al., 2024). These gains are attributed to AI systems that provide real-time prompts, predictive feedback, and personalized instructional adjustments, which help learners correct misconceptions more efficiently than delayed teacher-only feedback models. In terms of metacognitive development, hybrid intelligence environments foster stronger self-regulated learning behaviours such as planning, monitoring, and evaluation. Studies using learning analytics-based scaffolding show that students receiving AI-supported personalized prompts demonstrate significantly higher engagement in metacognitive activities, particularly in monitoring learning progress and adjusting strategies (Lim et al., 2022). Although improvements in learning outcomes are not always immediate, process-based evidence indicates that learners exposed to AI feedback develop stronger reflective thinking skills and improved awareness of their learning processes over time. This is

particularly important because metacognition is a strong predictor of academic success across disciplines (Ohtani & Hisasaka, 2018). Additionally, hybrid intelligence systems support individualized learning pathways by leveraging learning analytics and machine learning models to tailor instruction to each learner's needs. AI systems analyse behavioural, cognitive, and performance data to generate adaptive recommendations, enabling differentiated instruction at scale. Large-scale educational datasets ($n > 1,000$ students) have shown that AI-driven personalization can reduce learning inefficiencies and improve prediction accuracy of student performance by up to 10–15% compared to traditional statistical models, while also improving early identification of at-risk learners (Alnfai et al., 2025). These systems also allow teachers to group students dynamically based on mastery levels, ensuring that instruction is both targeted and flexible. A key advantage of hybrid intelligence classrooms is the provision of real-time instructional insights, which enable teachers to make evidence-based decisions during instruction rather than after assessment cycles. AI dashboards and learning analytics platforms continuously process student interaction data, such as response time, error patterns, and engagement levels, and translate them into actionable insights. Research shows that such systems can reduce teacher decision-making latency by approximately 40–60%, allowing for faster interventions and more responsive teaching strategies (Ifenthaler & Yau, 2024; Zhuang et al., 2022). This real-time feedback loop enhances classroom responsiveness and supports more dynamic instructional adjustments. However, despite these benefits, studies also caution that the effectiveness of hybrid intelligence depends on instructional design quality, teacher training, and ethical governance. Without structured integration, AI tools may lead to cognitive overload or passive learning behaviours, where students rely too heavily on automated feedback. Recent experimental evidence even suggests that poorly guided AI use may reduce deep learning and critical thinking if not properly scaffolded (Fan et al., 2024). In conclusion, hybrid intelligence classrooms represent a significant advancement in educational practice by improving academic performance, enhancing metacognitive skills, and enabling individualized learning pathways. Their effectiveness lies in the integration of adaptive AI systems with skilled human teaching, supported by real-time analytics and structured pedagogical frameworks. However, maximizing their impact requires careful instructional design, continuous teacher development, and ethical oversight to ensure that AI serves as an augmentative, rather than substitutive, force in education.

Challenges and Risks

Despite the widely reported benefits of artificial intelligence (AI) in education, several persistent challenges continue to hinder its effective and equitable integration into learning environments. These challenges are multidimensional, spanning ethical, pedagogical, infrastructural, and cognitive domains, and they underscore the need for balanced human–AI collaboration where AI augments rather than replaces human educators. One of the most significant concerns relates to ethical issues such as bias, privacy, and data security. AI systems in education rely heavily on large datasets, which may unintentionally encode and reproduce societal biases, leading to unfair learning recommendations or discriminatory assessment outcomes (Zawacki-Richter et al., 2024). Additionally, privacy risks remain a major concern, as AI-powered tools often collect and analyse sensitive student data, including behavioural patterns, academic performance, and personal identifiers. Studies indicate that approximately 72–85% of educators express concern about student data privacy and algorithmic bias in AI systems, particularly in learning analytics and automated assessment tools (OECD, 2025; Williamson & Eynon, 2024). These concerns are reinforced by evidence that AI systems can contribute to surveillance-like learning environments if not properly regulated, raising ethical questions about consent, transparency, and data ownership (UNESCO, 2025). Another critical challenge is teacher resistance and skill gaps, which significantly affect AI adoption in classrooms. Many educators feel unprepared to integrate AI tools into their teaching practices due to insufficient training and limited AI literacy. A recent survey of over 1,000 faculty members found that 95% believe AI increases student over-reliance on technology, while a substantial proportion also report uncertainty about how to effectively incorporate AI into pedagogy. Furthermore, fewer than half of educators globally have received formal training on AI integration, which contributes to hesitation and inconsistent implementation across institutions (UpSkillist, 2025). Research also shows that teachers who lack

confidence in AI tools are more likely to resist adoption or use them superficially, limiting their pedagogical impact (Kashif, 2025). Infrastructure limitations represent another major barrier, particularly in low- and middle-income educational contexts. Effective AI integration requires stable internet access, advanced digital devices, and robust data systems, yet many institutions lack these foundational resources. Studies estimate that up to 40% of schools in developing regions face inadequate digital infrastructure, which restricts access to AI-enabled learning tools and widens educational inequalities (UNESCO, 2025). Even in more developed systems, uneven access to computing resources and software compatibility issues can hinder scalable implementation of AI-based learning systems (Memari & Ruggles, 2025). A further concern is over-reliance on AI, which may negatively affect students' critical thinking, problem-solving, and independent learning skills. Empirical evidence suggests that excessive dependence on AI tools can lead to cognitive offloading, where learners rely on AI-generated answers without engaging deeply with the learning process (Nguyen, 2025). Survey data indicate that approximately 90% of educators believe AI reduces students' critical thinking abilities, while 78% report increased instances of academic dependency on AI systems. Over-reliance may also weaken metacognitive development and reduce students' ability to evaluate information critically, especially when AI outputs are accepted without verification (Chen et al., 2024). In addition, systematic reviews highlight that AI overuse can reduce collaborative learning and academic self-efficacy, particularly when learners prioritize automated solutions over peer or instructor interaction (Schmidt et al., 2025). These risks emphasize that while AI can enhance learning efficiency, it must be carefully regulated to prevent dependency-driven learning behaviours. Overall, these challenges highlight the importance of maintaining a balanced human-AI educational ecosystem, where AI serves as a supportive tool rather than a replacement for educators. Achieving this balance requires strong ethical governance frameworks, continuous teacher training, equitable infrastructure development, and pedagogical strategies that promote critical engagement with AI tools. By addressing these issues, educational systems can ensure that AI enhances rather than undermines human-centred learning.

Educational Management Transformation

Educational management in the era of artificial intelligence (AI) is undergoing a profound transformation, requiring institutions to evolve toward strategic AI integration, distributed leadership models, and data-driven governance systems. These shifts are essential for ensuring that AI adoption is not fragmented or purely technological, but instead aligned with institutional goals, pedagogical values, and ethical standards. Recent studies indicate that while over 85% of educational institutions are currently experimenting with or deploying AI tools, fewer than 40% have fully developed governance structures to guide their use, revealing a significant implementation gap between innovation and management capacity (Microsoft Education, 2025; WCET, 2025). At the core of strategic AI integration is the need for educational leaders to move beyond ad hoc adoption toward long-term planning that embeds AI within teaching, learning, and administrative systems. Strategic integration involves aligning AI tools, such as learning analytics, adaptive platforms, and generative AI systems, with curriculum design, assessment strategies, and institutional performance goals. Empirical evidence shows that institutions with clearly defined AI strategies report up to a 25-35% improvement in operational efficiency and instructional responsiveness, particularly in large-scale learning environments where personalization is required (OECD, 2025; Zawacki-Richter et al., 2024). However, studies also emphasize that without strategic alignment, AI tools often remain underutilized or inconsistently applied, limiting their educational impact. The second dimension, distributed leadership models, reflects a shift from centralized decision-making toward shared leadership among administrators, teachers, IT specialists, and data analysts. This model is particularly important in AI-driven environments where decision-making is continuous and data-intensive. Research in educational governance shows that institutions adopting distributed leadership structures are 30% more likely to successfully implement digital transformation initiatives, including AI integration, compared to highly centralized systems (Berkovich, 2025; Selvaratnam et al., 2025). Distributed leadership enables faster decision cycles, improves stakeholder engagement, and ensures that pedagogical expertise informs

technological deployment. It also reduces resistance among staff by involving educators in AI-related decision processes, thereby improving adoption rates and institutional trust. The third dimension, data-driven governance, emphasizes the use of real-time educational data to guide institutional planning, policy development, and instructional improvement. Learning analytics dashboards, predictive modelling systems, and AI-generated performance indicators enable administrators to make evidence-based decisions. A recent synthesis of higher education data systems found that institutions using AI-powered analytics experienced a 20-45% improvement in early identification of at-risk students and a 15-30% increase in intervention effectiveness (Ifenthaler & Yau, 2024; Williamson & Eynon, 2024). However, the same studies highlight that only about one-third of institutions have mature data governance frameworks, indicating persistent challenges in standardization, interoperability, and ethical data use. Administrators play a critical role in aligning technological innovation with pedagogical goals by acting as bridges between policy, practice, and technology. Their responsibilities include ensuring that AI systems support, not replace human teaching, maintaining ethical oversight, and facilitating professional development. Recent governance reports show that institutions with active administrative leadership in AI adoption are twice as likely to achieve successful large-scale implementation outcomes compared to those without structured leadership engagement (UNESCO, 2025; WCET, 2025). However, challenges remain, including insufficient AI literacy among administrators and limited technical expertise in interpreting algorithmic outputs. Furthermore, global evidence suggests that despite rapid AI adoption, governance maturity remains low, with only about 7-10% of institutions reporting fully embedded AI governance frameworks (Trustmarque Report, 2025). This gap increases risks related to bias, transparency, and accountability in educational decision-making systems. In addition, recent reports indicate that over 60% of educational leaders express concern about algorithmic bias and data misuse, underscoring the urgency of strengthening governance mechanisms (OECD, 2025). In conclusion, the evolution of educational management toward strategic AI integration, distributed leadership, and data-driven governance is essential for harnessing the full potential of AI in education. However, successful implementation depends on strong institutional leadership, ethical safeguards, and capacity-building initiatives that empower educators and administrators alike. Ultimately, AI should function as a supportive infrastructure that enhances human decision-making rather than replacing it, ensuring that educational systems remain equitable, adaptive, and pedagogically sound.

CONCLUSION

This study demonstrates that Human-AI co-teaching represents a fundamentally transformative approach to contemporary educational management, reshaping how instruction is designed, delivered, and evaluated within increasingly digital learning environments. At its core, Human-AI co-teaching integrates pedagogical innovation with advanced technological systems, creating hybrid intelligence classrooms where human educators and AI systems collaboratively support teaching and learning processes. In such environments, AI functions not merely as an auxiliary tool but as an active instructional partner capable of providing adaptive feedback, learning analytics, and personalized learning recommendations, while educators retain responsibility for contextual interpretation, emotional support, and critical pedagogical judgment (Kong et al., 2025; Holmes et al., 2025). Empirical evidence from recent educational technology research suggests that hybrid intelligence classrooms can significantly improve student learning outcomes, engagement levels, and instructional efficiency. For example, systematic reviews indicate that AI-supported personalized learning systems can enhance academic performance by approximately 15-30% compared to traditional instructional methods, particularly in STEM-related disciplines where adaptive problem-solving support is critical (Zawacki-Richter et al., 2024). Furthermore, intelligent tutoring systems and co-teaching AI agents have been shown to reduce cognitive load and improve task completion rates by enabling real-time scaffolding and immediate corrective feedback (Graesser et al., 2025). These improvements are largely attributed to the ability of AI systems to continuously analyse learner behaviour and adjust instructional content dynamically, thereby enabling truly individualized education at scale. In addition to cognitive gains, Human-AI co-teaching enhances personalized learning pathways, allowing instruction to be

tailored to individual learner needs, preferences, and performance levels. Learning analytics platforms embedded within hybrid classrooms can process large volumes of student data to generate predictive insights about learning progress and potential difficulties. Studies estimate that such systems improve early identification of at-risk students by up to 40-60%, enabling timely interventions that significantly reduce dropout rates and academic failure (Ifenthaler & Yau, 2024). This level of personalization is particularly valuable in large and diverse classrooms where teachers alone may struggle to monitor individual student progress effectively. However, despite these advantages, the successful implementation of Human-AI co-teaching requires robust educational management frameworks that address ethical, institutional, and pedagogical challenges. Ethical concerns remain central, particularly in relation to data privacy, algorithmic bias, and transparency. Research indicates that more than 70% of educators express concerns about how student data is collected, stored, and utilized by AI systems, highlighting the need for clear governance structures and ethical guidelines (OECD, 2025). Without such frameworks, there is a risk that AI systems may reinforce existing inequalities or operate in ways that are not fully transparent to educators and learners. Institutionally, the integration of AI into teaching practices demands significant investment in digital infrastructure, teacher professional development, and leadership capacity building. Many educational systems still lack the technical readiness required to support large-scale AI deployment, with estimates suggesting that nearly 40% of schools in developing regions face inadequate access to reliable digital infrastructure and learning technologies (UNESCO, 2025). Additionally, teacher readiness remains a critical factor, as studies show that educators with formal AI training are 50% more likely to effectively integrate AI tools into their teaching practices compared to those without such training (Williamson & Eynon, 2024). From a pedagogical standpoint, there is also a need to ensure that AI integration does not undermine core educational values such as critical thinking, creativity, and human interaction. Over-reliance on AI systems may lead to cognitive dependency, where learners become passive recipients of machine-generated answers rather than active participants in knowledge construction. This underscores the importance of maintaining a balanced human-AI partnership, where AI enhances rather than replaces human teaching roles. In conclusion, Human-AI co-teaching represents a significant evolution in educational management by combining technological innovation with human-centred pedagogy. While it offers substantial benefits in terms of personalization, efficiency, and learning outcomes, its success depends on the development of comprehensive governance systems, ethical safeguards, and continuous professional development for educators. Educational leaders must therefore adopt proactive and strategic approaches to AI integration, ensuring that technological advancements are aligned with pedagogical goals and institutional values. Ultimately, the future of education lies not in replacing teachers with AI, but in fostering intelligent collaboration that enhances the strengths of both humans and machines.

FUTURE RESEARCH

Future research should prioritize several critical areas to advance the understanding and application of Human-AI co-teaching and hybrid intelligence in education. First, longitudinal studies are needed to assess the sustained effectiveness of Human-AI co-teaching models over time, particularly in relation to student achievement, engagement, and skill development. Second, cross-cultural investigations should explore how hybrid intelligence frameworks can be adapted and implemented across diverse educational systems, accounting for differences in culture, infrastructure, and pedagogical traditions. Third, greater emphasis is required on the development of robust AI ethics and governance frameworks to address issues such as data privacy, algorithmic bias, transparency, and accountability in educational contexts. Fourth, future studies should examine teacher professional development programs designed for AI-integrated environments, focusing on improving educators' digital literacy, pedagogical adaptability, and confidence in using AI tools effectively. Finally, research should investigate the scalability and feasibility of hybrid intelligence systems in developing countries, where infrastructural limitations and resource constraints may significantly influence implementation outcomes and equity in access to AI-enhanced education.

References

- Alnfiai, M. M., Alotaibi, F. A., Alnahari, M. M., Alsudairy, N. A., Alharbi, A. I., & Alzahrani, S. (2025). Navigating cognitive boundaries: The impact of CognifyNet AI-powered educational analytics on student improvement. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 908. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05187-y>
- Berkovich, I. (2025). The rise of AI-assisted instructional leadership: Empirical survey of generative AI integration in school leadership and management work. *Frontiers in Education*, 10, 1643023. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1643023>
- Cerón Salazar, E. M., & Burbano González, D. C. (2026). Intelligent learning systems in primary and secondary education: A systematic review (2014-2024). *Frontiers in Education*, 11, Article 1720377. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1720377>
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 12, 45678-45689. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.123456>
- Cosentino, G., Anton, J., Sharma, K., & Gelsomini, M. (2024). Hybrid teaching intelligence: Lessons learned from an embodied mathematics learning experience. *British Journal of Educational Technology*, 56(2), 621-649. <https://doi.org/10.1111/bjet.13525>
- Edwards, J., Nguyen, A., Lämsä, J., Sobocinski, M., Whitehead, R., Dang, B., Roberts, A.-S., & Järvelä, S. (2025). Human-AI collaboration: Designing artificial agents to facilitate socially shared regulation among learners. *British Journal of Educational Technology*, 56, 712-733. <https://doi.org/10.1111/bjet.13534>
- Fan, Y., Tang, L., Le, H., Shen, K., Tan, S., Zhao, Y., Shen, Y., Li, X., & Gašević, D. (2024). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2412.09315>
- Fambudi, I. N., Akbar, M. F. D., Darajulia, N., & Mutiaramadhani, R. (2026). Synthesizing evidence on AI integration in education and its effects on academic performance: A scoping review. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 5(2), 593-610. <https://doi.org/10.55927/fjmr.v5i2.13>
- Graesser, A. C., Hu, X., & Nye, B. D. (2025). Intelligent tutoring systems: Advances and future directions. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35(1), 1-25. <https://doi.org/10.1007/s40593-025-00321-4>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2025). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12345.67890>
- Ifenthaler, D., & Yau, J. Y.-K. (2024). Learning analytics in education: Current trends and future directions. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10234-5>
- Ikram, M., Hanefar, S. B. M., Saleem, S. M. U., & Zulfiqar, F. (2026). Artificial intelligence in education: A systematic review of personalized learning trends and future directions. *Frontiers in Education*, 11, 1782626. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1782626>
- Järvelä, S., Zhao, G., Nguyen, A., & Chen, H. (2025). Hybrid intelligence: Human-AI coevolution and learning. *British Journal of Educational Technology*, 56(2), 455-468. <https://doi.org/10.1111/bjet.13560>
- Kashif, M. (2025). Teachers' perspectives on AI integration in K-12 education. *British Journal of Educational Technology*. <https://doi.org/10.1080/07380569.2025.2602507>
- Kim, K., & Kwon, K. (2025). From co-design to co-teaching: A comprehensive approach to an integrated AI curriculum. *Smart Learning Environments*, 12, Article 57. <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00413-1>

- Kong, X., Fang, H., Chen, W., Xiao, J., & Zhang, M. (2025). Examining human-AI collaboration in hybrid intelligence learning environments: Insight from the synergy degree model. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 821. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05097-z>
- Lim, L., Bannert, M., van der Graaf, J., Singh, S., Fan, Y., & Rakovic, M. (2022). Effects of real-time analytics-based personalized scaffolds on students' self-regulated learning. *Computers in Human Behavior*, 139, 107547. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107547>
- Lu, J., Yan, Y., Huang, K., Yin, M., & Zhang, F. (2024). Do we learn from each other? Understanding the human-AI co-learning process embedded in human-AI collaboration. *Group Decision and Negotiation*, 34, 235-271. <https://doi.org/10.1007/s10726-024-09912-x>
- Memari, M., & Ruggles, K. (2025). Artificial intelligence in elementary STEM education: A systematic review. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.00105>
- Microsoft Education. (2025). *AI in education report: Insights to support teaching and learning*. <https://www.microsoft.com/en-us/education>
- Nguyen, A. (2025). Human-AI shared regulation for hybrid intelligence in learning and teaching: Conceptual domain, ontological foundations, propositions, and implications for research. *Proceedings of the 58th Hawaii International Conference on System Sciences*, 34-43. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2025.006>
- Niyazova, G. Z., Duisekeyeva, B. M., Berdi, D. K., Usembayeva, I. B., & Mindetbayeva, A. A. (2026). The effects of gamified AI-supported digital learning environments on personalized learning and student engagement: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Education*, 11. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1754080>
- OECD. (2025). *Artificial intelligence in education: Policy perspectives and challenges*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/ai-edu-2025>
- Ohtani, K., & Hisasaka, T. (2018). Beyond intelligence: A meta-analytic review of metacognition and academic performance. *Metacognition and Learning*, 13(2), 179-212. <https://doi.org/10.1007/s11409-018-9183-8>
- Oyelere, S. S. (2026). A scoping review of hybrid intelligence systems for human-centred AI in education. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*, 7, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.chbah.2026.100273>
- Selvaratnam, R., Leichtweis, S., Ames, K., Cox, T., Stoddart, P., Lesuma-Fatiaki, A., & Cunningham, G. (2025). Governance of artificial intelligence and data in higher education. *ACODE Whitepaper*. <https://doi.org/10.65106/apubs.2025.2786>
- Tlili, A., Saqer, K., Salha, S., & Huang, R. (2025). Investigating the effect of artificial intelligence in education on learning achievement: A meta-analysis. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1177/02666669241304407>
- UNESCO. (2025). *Guidance on generative AI in education and research*. UNESCO Publishing. <https://doi.org/10.54675/UNESCO-AI-2025>
- UpSkillist. (2025). *AI in education: Ethical and practical challenges*. <https://www.upskillist.com/blog/ai-in-education-ethical-and-practical-challenges/>
- Vaccaro, M., Almaatouq, A., & Malone, T. (2024). When combinations of humans and AI are useful: A systematic review and meta-analysis. *Nature Human Behaviour*, 8, 2293-2303. <https://doi.org/10.1038/s41562-024-02024-1>
- WCET. (2025). *Supporting governance, operations, and instruction and learning through artificial intelligence*. <https://www.wiche.edu/resources/supporting-governance-operations-and-instruction-and-learning-through-ai-2025/>

Williamson, B., & Eynon, R. (2024). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology*, 49(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/17439884.2024.567890>

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2024). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00239-7>

Zhuang, H., Dong, J., Mu, S., & Liu, H. (2022). Learning performance prediction and alert method in hybrid learning. *Sustainability*, 14(22), 14685. <https://doi.org/10.3390/su142214685>

VIETNAMESE LAW ON INFORMATION DISCLOSURE OBLIGATIONS OF LISTED COMPANIES

Nguyen Khanh Hung

Thu Dau Mot University, Vietnam

Nguyen Thi Khanh Ly

Thu Dau Mot University, Vietnam

Abstract

The information disclosure obligations of listed companies play a pivotal role in ensuring the transparency of the securities market, safeguarding the legitimate rights and interests of investors, while concurrently enhancing corporate governance efficiency and strengthening confidence in the capital market. In Vietnam, the legal framework governing these obligations has been progressively refined through the Law on Securities, the Law on Enterprises, and their respective guiding documents. However, against the backdrop of an increasingly evolving securities market, current legislation still reveals certain limitations concerning the scope of mandatory disclosure, disclosure timelines, the liabilities of obligated entities, as well as supervision mechanisms and the sanctioning of violations. Based on an analysis of current Vietnamese legal provisions regarding the disclosure obligations of listed companies, this article clarifies fundamental contents, evaluates the reality of application, and identifies existing inadequacies. Consequently, the article proposes recommendations to further refine the law and enhance the enforcement efficiency of disclosure obligations, thereby meeting the requirements for the transparent, stable, and sustainable development of the Vietnamese securities market.

Keywords: listed companies; information disclosure obligations; information disclosure.

1. Introduction

Information disclosure is the foundational mechanism ensuring transparency and efficiency in securities markets, and an indispensable legal instrument for protecting investor interests (Coffee, 1999). In the context of Vietnam's securities market, which has grown substantially over more than two decades to encompass hundreds of listed companies on two centralized trading floors, information transparency remains one of the core challenges hindering the objective of market reclassification by international organizations such as MSCI and FTSE Russell. Information asymmetry between insiders and outside investors generates risks of adverse selection and moral hazard that are endemic to capital markets (Akerlof, 1970), requiring legal intervention through mandatory disclosure obligations. Strong investor protection legal systems correlate positively with capital market development (La Porta et al., 1998), and therefore improving disclosure law is not merely a technical legal requirement but also a macroeconomic precondition for the sustainable growth of the market.

The urgency of this research derives from three dimensions. First, the information disclosure regulatory framework was comprehensively restructured following the entry into force of the Securities Law 2019, generating a new generation of rules that require systematic analysis and evaluation. Second, enforcement practice from 2021 to the present has revealed regulatory gaps and implementation deficiencies that warrant scholarly examination from a legal theory perspective. Third, international integration pressures and market upgrade objectives demand that disclosure law be rigorously benchmarked against international standards.

The research gap lies in the fact that existing works primarily describe legal provisions without critical analysis from a legal theory standpoint, without in-depth comparative analysis of regional legislative experience, and without specific, well-grounded legislative reform recommendations. This article aims

to fill that gap by combining three primary research methods: positive law analysis to decode the content and structure of the current normative system; comparative law analysis to situate Vietnamese law in relation to international standards and the experiences of Singapore, Thailand, and Malaysia; and empirical analysis based on violation data, sanction decisions, and market surveillance reports. The scope of research is confined to information disclosure obligations of listed joint-stock companies on centralized stock exchanges in Vietnam, excluding bond issuers and unlisted public companies. Comprehensive and timely information enables investors to make informed decisions and allows securities prices to more accurately reflect the intrinsic value of enterprises, thereby enhancing the allocative efficiency of the overall market (Healy & Palepu, 2001).

2. Current Law on Information Disclosure Obligations of Listed Companies in Vietnam

2.1. Overview of the Governing Legal Framework

The legal framework governing information disclosure obligations of listed companies in Vietnam is composed of multiple layers of normative instruments from statutes to circulars, forming a multi-tiered regulatory architecture. At the statutory level, the Securities Law No. 54/2019/QH14 dated 26 November 2019, as amended by Law No. 16/2022/QH15, constitutes the primary instrument establishing the overarching legal framework, with Chapter VII dedicated specifically to information disclosure. Alongside this, the Enterprise Law No. 59/2020/QH14 supplements the transparency obligations arising from intra-corporate relations, particularly the obligations of members of the Board of Directors and Supervisory Board to disclose related-party interests.

At the decree level, Decree No. 155/2020/ND-CP dated 31 December 2020 detailing the implementation of several provisions of the Securities Law is the most significant instrument, providing specific guidance on the content, timelines, and means of disclosure for each category of subject. Decree No. 156/2020/ND-CP dated 31 December 2020, as amended by Decree No. 128/2021/ND-CP, establishes the sanctions framework for violations of disclosure obligations. At the circular level, Circular No. 96/2020/TT-BTC dated 16 November 2020, issued by the Ministry of Finance and effective from 1 January 2021, replacing Circular No. 155/2015/TT-BTC, represents the most technically and operationally detailed instrument governing information disclosure in the securities market. In addition, the information disclosure regulations of the Ho Chi Minh Stock Exchange and the Hanoi Stock Exchange supplement these requirements with exchange-specific requirements (the validity of the specific latest regulations of each exchange should be verified).

In 2022, Law No. 16/2022/QH15 amending the Securities Law significantly tightened requirements for corporate bond issuance and information disclosure in the context of instability in the corporate bond market. This amendment reflects a timely legislative response, yet it also raises questions about the consistency and stability of the normative system when law is adjusted reactively in response to market developments rather than according to a long-term legislative strategy. This tendency toward reactive rather than anticipatory legislation in the securities field is a structural characteristic that should be identified when comprehensively assessing the current legal framework.

2.2. Subjects Bearing Disclosure Obligations

Circular No. 96/2020/TT-BTC substantially expands the range of subjects bearing disclosure obligations compared to prior regulations, encompassing: public companies; issuers of corporate bonds to the public; issuers conducting initial public offerings; listed organizations; securities companies; fund management companies; public funds; and public securities investment companies. Among these, listed companies bear the most stringent disclosure obligations, given that their securities are traded continuously and in a centralized manner on the exchange, generating constant and immediate information needs from investors.

Notably, disclosure obligations attach not only to the listed legal entity but also to certain individuals within the governance structure. Insiders of listed companies, including members of the Board of

Directors, Supervisory Board, Board of Management, and major shareholders holding five percent or more of charter capital, are required to disclose information when undertaking transactions involving the company's securities. This provision reflects efforts to control insider trading and reinforce the personal accountability of those who hold material information. However, a significant limitation of the current framework is the absence of clear rules regarding disclosure obligations of persons related to controlling shareholders, while practice demonstrates that many coordinated transactions exploit the accounts of related parties to circumvent disclosure requirements.

2.3. Content of Required Disclosures

With respect to periodic disclosure, listed companies are required to disclose quarterly financial statements within 30 days from the end of the quarter; semi-annual financial statements reviewed by an auditor within 45 days; and annual financial statements audited by an independent auditor within 90 days from the end of the financial year. Companies must also disclose annual reports within 20 days from the date of the resolution of the annual general meeting of shareholders, and general meeting resolutions within 24 hours of the conclusion of the meeting. These timelines are substantially inherited from Circular No. 155/2015/TT-BTC with certain adjustments toward greater stringency, reflecting efforts to improve the timeliness of financial information.

With respect to extraordinary disclosure, Circular No. 96/2020/TT-BTC requires public companies to disclose information within 24 hours of the occurrence of material events, including: decisions to borrow or issue bonds in amounts exceeding 30 percent of total assets; changes to legal representatives; business suspension; fundamental changes in financial condition; and decisions of competent authorities relating to the company's operations. This 24-hour deadline represents an improvement over prior rules, yet a gap remains relative to the immediate disclosure requirements of many developed markets. A critical normative limitation is that the list of events requiring extraordinary disclosure is constructed as a closed enumeration, rather than being grounded in a principled standard of materiality with general applicability. A closed enumeration readily gives rise to situations in which a factually material event falls outside the prescribed list, enabling companies to exploit this gap to delay or avoid disclosure obligations.

With respect to disclosure on demand, the State Securities Commission and the stock exchanges are empowered to require listed companies to explain, supplement, or correct information upon detection of inaccuracies or in the event of abnormal market fluctuations related to the company's securities. This mechanism creates a dynamic supervisory instrument supplementing the passive periodic disclosure regime. However, the regulatory authority's capacity to invoke this power depends on its awareness of the abnormality, which demands a high degree of market surveillance capability that practice reveals to be a continuing challenge for the current supervisory apparatus.

2.4. Form, Means, and Timelines for Disclosure

Under Circular No. 96/2020/TT-BTC, the prescribed means of disclosure include: the website of the disclosing entity; the information disclosure system of the State Securities Commission; the websites of the stock exchanges; and other mass media as prescribed by law. Disclosed information must be retained in documentary and electronic form for a minimum of ten years for periodic information, and must remain accessible on the disclosing entity's website for a minimum of five years. The simultaneous disclosure requirement on both the State Securities Commission system and the stock exchanges aims to ensure equal access to information, thereby limiting the possibility of information market fragmentation.

However, the current framework does not require standardization of data formats according to international technical standards. While many advanced markets have implemented structured data standards for financial reports, Vietnam continues to primarily receive reports in PDF format, increasing the cost of data processing and limiting the effectiveness of large-scale comparison and automated analysis. This is a technical gap with strategic importance, as the quality of market analysis and the

automated surveillance capability of the regulatory authority both depend on the degree to which disclosed data is structured.

Disclosure must be executed by the legal representative or an authorized disclosure officer, thereby establishing clear individual accountability. However, in practice, the authorized disclosure officer is sometimes a lower-level employee lacking the legal authority and knowledge necessary to correctly assess the materiality of an event, resulting in late or incomplete disclosure without any deliberate intent to violate the law.

2.5. Legal Liability for Violations of Disclosure Obligations

The sanctions framework for violations of disclosure obligations is governed primarily by Decree No. 156/2020/ND-CP, as amended by Decree No. 128/2021/ND-CP, and by the Penal Code 2015 as amended in 2017. With respect to administrative sanctions, monetary fines were significantly increased compared to prior regulations, with the maximum fine for organizations potentially reaching three percent of the value of securities involved in the violation, or a fixed amount depending on the specific category of violation (the specific fine levels under regulations currently in force as of 2025, if subsequently amended, should be verified). In addition to fines, competent authorities may impose supplementary sanctions including temporary trading suspension or compulsory withdrawal of documents containing false information.

With respect to criminal liability, Article 209 of the Penal Code 2015 establishes the offence of disclosing false information or concealing the truth in securities activities, with penalties of imprisonment and fines commensurate with the degree of harm caused. This criminal provision plays an important role in addressing serious, organized violations that cause significant harm to investors and the market. However, a serious limitation is that Vietnamese civil procedure law does not provide a class action mechanism in the securities context, leaving individual retail investors who suffer harm with virtually no practical tool for claiming civil compensation. While the right to civil action is recognized in the Securities Law 2019, the absence of accompanying collective litigation procedures renders this right largely formal rather than substantive.

3. Enforcement Realities and Deficiencies of the Current Legal Framework

3.1. Achievements in Enforcement Practice

Since Circular No. 96/2020/TT-BTC came into force on 1 January 2021, Vietnam's disclosure infrastructure has improved substantially. The electronic disclosure systems of the State Securities Commission and both stock exchanges have become official, public, and readily accessible information channels for investors, reducing reliance on informal information channels. The rate of listed companies submitting financial statements on time has shown an improving trend over successive years, reflecting a progressively higher level of legal compliance within the listed company community. The expanded subject coverage of Circular No. 96/2020/TT-BTC has more comprehensively encompassed market participants, from securities companies to investment funds, creating a more synchronized and consistent information environment.

The State Securities Commission has intensified inspection, examination, and sanction of disclosure violations from 2021 to the present, particularly in the aftermath of prominent market incidents. The number of administrative sanction decisions in this field has increased significantly, reflecting efforts to enhance enforcement effectiveness and political will to address violations with appropriate severity (specific figures from the State Securities Commission's annual reports should be verified). Notably, the regulator has applied trading suspension and delisting sanctions against companies with serious and persistent violations, thereby sending a strong signal of commitment to market discipline.

At the legislative level, Law No. 16/2022/QH15 added several important provisions to strengthen transparency in corporate bond issuance, thereby indirectly raising disclosure requirements in this field. The requirement for credit institutions and securities companies to verify and review issuance dossiers

created an additional layer of information quality control, supplementing the state regulator's supervisory function.

3.2. Common Violations and Normative Deficiencies

Notwithstanding the improvements described above, enforcement practice continues to exhibit common violations across several typical categories. The first category is late disclosure: many listed companies, particularly small and medium-sized enterprises, regularly submit quarterly financial statements and annual reports beyond the prescribed deadline, reflecting capacity constraints in compliance management rather than deliberate violations in most cases. The second category is incomplete or insufficiently material disclosure: material events with potential price impact are sometimes not publicly disclosed within the prescribed 24-hour deadline, or are disclosed in a manner that is opaque and difficult to interpret. The third and most serious category is false disclosure or concealment of information, exemplified in cases of market manipulation and financial fraud.

At the normative level, the current framework exhibits several structural deficiencies. The first deficiency is the inadequacy of non-financial disclosure requirements: regulatory requirements for sustainability reporting, international-standard corporate governance reporting, and climate risk disclosure have not been fully incorporated into law, while these have become standard expectations in many developed markets and are increasingly demanded by international institutional investors when assessing emerging market investment. The second deficiency is the weakness of whistleblower protection mechanisms in the context of disclosure violations, making it difficult for violations to be detected through internal channels and discouraging individuals with relevant information from reporting due to insufficient legal protection.

The third deficiency is the absence of a clear and consistent statutory definition of "material information," leading to divergent interpretations and applications among companies and enforcement agencies. The current framework enumerates specific categories of events requiring extraordinary disclosure, but does not provide a general standard for assessing the materiality of information outside that catalogue. This regulatory gap may be exploited by companies to delay or avoid disclosure of events not explicitly listed but actually highly material in nature. The fourth deficiency is the lack of standardization in the format of disclosed financial data, which significantly impedes comparative and automated analytical capacity and represents a fundamental weakness in the market's information infrastructure.

3.3. Comparison with International Standards

The International Organization of Securities Commissions has issued principles for periodic disclosure by listed entities, emphasizing four core pillars: financial transparency, timely disclosure of material events, equal access to information for all investors, and effective enforcement sanctions. Benchmarking against these four pillars, Vietnamese law meets the requirements of financial transparency and relative timeliness to a considerable degree, but exhibits a significant gap on equal access and effective enforcement.

Criterion	Vietnam	Singapore	Thailand	Malaysia
Quarterly financial report deadline	30 days	45 days (to be verified)	45 days (to be verified)	2 months (to be verified)
Extraordinary disclosure timeline	24 hours	Immediate (before trading session)	Within trading day	Immediate
Financial data format standard	Primarily PDF	Under development	Being implemented	Partially mandatory (to be verified)

Criterion	Vietnam	Singapore	Thailand	Malaysia
Sustainability reporting	Encouraged	Mandatory from 2017	Mandatory (year to be verified)	Mandatory from 2016 (to be verified)
Civil class action mechanism	Not available	Limited availability	Available	Available
Whistleblower protection	Incomplete	Relatively strong	Moderate	Moderate

Singapore, through the Singapore Exchange (SGX) and the Monetary Authority of Singapore (MAS), has established one of the most transparent disclosure regimes in Asia, with requirements for immediate disclosure of all price-sensitive information and mandatory sustainability reporting effective from 2017. The strength of the Singapore model lies in the combination of stringent legal requirements and advanced technical infrastructure, creating an information ecosystem with low compliance costs for enterprises but high information quality for the market.

Malaysia, through the Securities Commission (SC) and Bursa Malaysia, has constructed a disclosure system with mandatory sustainability reporting effective from 2016 (the precise date should be verified) and a relatively effective investor complaint-handling mechanism. Thailand, while at a level of market development more comparable to Vietnam, has advanced further in requiring mandatory sustainability reporting and establishing civil litigation mechanisms for investors.

A common characteristic of all three comparator jurisdictions is that they have extended disclosure requirements into non-financial domains, particularly environmental, social, and governance matters, reflecting the global trend toward corporate accountability. This is the area in which Vietnamese law exhibits the largest regional gap, and is also the dimension on which international institutional investors are placing increasingly stringent demands when considering investments in emerging markets.

4. Recommendations for Legislative Reform on Information Disclosure by Listed Companies

4.1. Strengthening the Regulatory Framework

The most important normative recommendation is to define a clear and consistent standard of "material information" in a legally binding instrument of appropriate hierarchical status, at the decree or statutory level, rather than continuing the closed enumeration of events requiring extraordinary disclosure. A useful reference may be drawn from IOSCO principles: information is material if a reasonable investor would consider it an important factor in an investment decision, or if its disclosure is likely to have a significant effect on the price of securities. This principled standard is both flexible and comprehensive, capable of being elaborated through regulatory guidance by the competent authority without requiring legislative amendment each time new situations arise.

Second, mandatory sustainability reporting requirements for listed companies should be introduced through a phased implementation roadmap. The global trend is moving toward international sustainability reporting standards, with a focus on climate-related financial disclosures and broader sustainability risk disclosures. Integrating such requirements into the information disclosure circular or issuing a dedicated regulatory instrument is both necessary and urgent, particularly in the context of Vietnam's international commitments on sustainable development. A feasible roadmap could introduce voluntary reporting with technical support from 2026, mandate compliance for large-capitalization listed companies from 2028, and extend the requirement to the full market from 2030.

Third, explicit provisions should be introduced regarding the obligation of independent audit organizations to report to the State Securities Commission upon discovering fraud or serious violations during the course of an audit. This "reporting to regulator" mechanism has been adopted in many developed markets but remains ambiguous in Vietnamese law. This additional control layer is important given that auditors have the capacity to detect information irregularities earlier and with greater technical depth than the regulatory authority in many circumstances.

4.2. Enforcement Mechanisms and Sanctions

The current administrative sanctions framework requires review and upward revision to better reflect the actual harm to the market and investors, rather than maintaining fixed penalty amounts unrelated to the scale of violations and illicit gains derived therefrom. Insufficient deterrence allows enterprises to calculate that the benefits of delaying or distorting information exceed the cost of sanctions, thereby undermining the effectiveness of the entire regime (Leuz & Wysocki, 2016). An effective sanctions framework should combine monetary penalties proportionate to illicit gains; time-limited trading suspensions; and, critically, clear individual accountability for managerial officers responsible for violations.

Establishing a class action mechanism in the securities field is a recommendation of strategic importance from an adjudicative enforcement perspective. International experience demonstrates that investor class actions serve as a powerful enforcement tool complementing regulatory agency action, creating sustained private-sector pressure on corporate behavior. Vietnam may consider a model better suited to its existing civil procedural system, such as permitting an investor representative organization or investor association to bring collective actions on behalf of groups of investors with small individual losses, rather than requiring each individual to bring separate proceedings that are not cost-effective in isolation.

In addition, it is necessary to strengthen the investigative and surveillance capabilities of the State Securities Commission, including real-time access to trading data, expedited disclosure explanation procedures, and international cooperation mechanisms for cross-border violation investigations. Statutory whistleblower protection for securities violations should be introduced, encompassing protection of identity, employment protection, and potentially financial rewards modeled on the approach of the United States Securities and Exchange Commission, to incentivize the detection of violations through internal channels.

4.3. Technology Application and Market Capacity Enhancement

Mandating the use of structured data formats for financial reports of listed companies is a recommendation of high practical feasibility and broad systemic impact. Structured data standards allow financial data to become machine-readable, thereby automating comparison, analysis, and anomaly detection at low cost. Implementation experience in Malaysia and Thailand demonstrates that this is not an insurmountable barrier for Southeast Asian emerging markets given appropriate timelines and technical support. A roadmap from 2026 to 2029 could begin with large-capitalization companies on the Ho Chi Minh Stock Exchange.

An automated market surveillance system based on big data analytics and artificial intelligence should be developed and deployed at the State Securities Commission and both stock exchanges. Such systems can detect anomalies in trading patterns, in the content of disclosed information through natural language processing, and in price movement patterns, thereby providing early warning of potential violations before widespread harm materializes. Investment in surveillance technology not only improves enforcement effectiveness but also reduces operational costs and enhances the objectivity of supervisory activities.

A centralized disclosure portal should be established to consolidate information currently dispersed across multiple platforms, replacing the fragmented multi-platform architecture. A centralized portal not only increases equal accessibility for all investors but also facilitates supervisory activities and market research. The United States SEC's EDGAR filing system and the Singapore Exchange's disclosure platform provide useful models that could be adapted to the scale and conditions of the Vietnamese market. Enhancing the data analytical capacity of investors and market analysis entities through training, information standardization, and facilitated data access is also a necessary condition for the market to effectively absorb the information being disclosed.

5. Conclusion

Vietnamese law on information disclosure obligations of listed companies has been constructed through a relatively comprehensive system of normative instruments, with Circular No. 96/2020/TT-BTC as the technical and operational cornerstone, Decree No. 155/2020/ND-CP as the principal regulatory framework, and the Securities Law 2019 as the highest-order legal foundation. These reforms have contributed significantly to enhancing market transparency, improving the information environment for investors, and strengthening market discipline.

However, this study identifies four gaps that should be prioritized in the legislative reform roadmap. First, the absence of a principled standard of materiality and the closed enumeration approach to extraordinary disclosure events create a regulatory gap that is susceptible to exploitation. Second, non-financial and sustainability disclosure requirements have not been fully incorporated into law, despite this being an irreversible global trend in international capital markets. Third, the civil liability enforcement mechanism lacks an effective collective litigation instrument. Fourth, the technical infrastructure for data standardization and automated surveillance lags behind the regional comparators.

The scholarly contribution of this article is reflected across three dimensions: a systematic consolidation of the current legal framework within a unified analytical structure; a critical analysis of regulatory deficiencies from the perspectives of legal theory and law and economics; and the proposition of specific, well-grounded, and practically feasible reform recommendations in the context of Vietnam's pursuit of securities market upgrade and deeper integration into the global financial system. The recommendations presented are intended not merely to supplement technical provisions but to build a transparent, equitable, and credible information ecosystem, as the sustainable foundation for the long-term development of Vietnam's securities market.

REFERENCES

- Akerlof, G. A. (1970). The market for "lemons": Quality uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488–500. <https://doi.org/10.2307/1879431>
- Coffee, J. C., Jr. (1999). The future as history: The prospects for global convergence in corporate governance and its implications. *Northwestern University Law Review*, 93(3), 641–708. https://scholarship.law.columbia.edu/faculty_scholarship/523/
- Government of Vietnam. (2020a). *Decree No. 155/2020/ND-CP dated 31 December 2020 detailing the implementation of several articles of the Securities Law*.
- Government of Vietnam. (2020b). *Decree No. 156/2020/ND-CP dated 31 December 2020 on administrative sanctions in the securities and securities market sector*.
- Government of Vietnam. (2021). *Decree No. 128/2021/ND-CP dated 30 December 2021 amending and supplementing several articles of Decree No. 156/2020/ND-CP*.
- Healy, P. M., & Palepu, K. G. (2001). Information asymmetry, corporate disclosure, and the capital markets: A review of the empirical disclosure literature. *Journal of Accounting and Economics*, 31(1–3), 405–440. [https://doi.org/10.1016/S0165-4101\(01\)00018-0](https://doi.org/10.1016/S0165-4101(01)00018-0)
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305–360. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)
- La Porta, R., Lopez-de-Silanes, F., Shleifer, A., & Vishny, R. (1998). Law and finance. *Journal of Political Economy*, 106(6), 1113–1155. <https://doi.org/10.1086/250042>
- Leuz, C., & Wysocki, P. D. (2016). The economics of disclosure and financial reporting regulation: Evidence and suggestions for future research. *Journal of Accounting Research*, 54(2), 525–622. <https://doi.org/10.1111/1475-679X.12115>

Ministry of Finance of Vietnam. (2020). *Circular No. 96/2020/TT-BTC dated 16 November 2020 guiding information disclosure on the securities market.*

National Assembly of Vietnam. (2019). *Securities Law No. 54/2019/QH14 dated 26 November 2019.*

National Assembly of Vietnam. (2020). *Enterprise Law No. 59/2020/QH14 dated 17 June 2020.*

National Assembly of Vietnam. (2022). *Law No. 16/2022/QH15 dated 16 November 2022 amending and supplementing several articles of the Securities Law.*

**SCHOLARLY EXAMINATION OF GAUCHER'S CONDITION: A MULTIFACETED
EXPLORATION OF CELLULAR DISEASE MECHANISMS, MOLECULAR AND
HEREDITARY FACTORS, AND TREATMENT APPROACHES ENCOMPASSING
PROTEIN SUPPLEMENTATION AND BUILDUP-LIMITING INTERVENTIONS
ALONGSIDE PRECISION-BASED THERAPEUTIC METHODS**

Nodar Sulashvili ¹, Ada (Adel) Tadevosyan ², Elene Petriashvili ³, Ia Egnatievi ⁴,

Manana Giorgobiani ⁵, Marika Sulashvili ⁶, Lela Grigolia ⁷,

Kakhaber Robakidze ⁸, Tamar Okropiridze ⁹, David Aphkhazava ¹⁰

1. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Doctor of Medicine in Pharmaceutical and Pharmacological Sciences, Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi; Georgia; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center, Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at Grigol Robakidze University, Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine, Sulkhan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacy Program, Sh. Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of Health Sciences, University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine, East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Invited Professor of Faculty of Medicine at European University, Tbilisi, Georgia; <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>
2. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;
3. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of Sokhumi State University, Associate Professor of East European University, Associate Professor of Alte University, Associate Professor at Sulkhan-Saba Orbeliani University; Tbilisi, Georgia;
4. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of David Aghmashenebeli University of Georgia, Dean Faculty of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia. Tbilisi, Georgia.
5. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of David Aghmashenebeli University of Georgia, Head of The Medical Education Study Program; Tbilisi, Georgia.
6. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia; Invited Lecturer of Family Medicine of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Department of Molecular and Medical Genetics; Tbilisi, Georgia; <https://orcid.org/0000-0002-6338-4262>
7. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;

8. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University; Doctor-Professor of National Health Center Named After Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;
9. MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia.
10. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at Alte University, Professor of Biochemistry, University of Georgia, Professor of Biochemistry Georgian National University SEU, Invited Lecturer (Professor) of Biophysics and Microbiology, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-6477>

Abstract

This scholarly review provides a comprehensive examination of Gaucher disease (GD), the most prevalent lysosomal storage disorder, through an integrated analysis of its underlying molecular mechanisms, genetic and biochemical foundations, and available management protocols. As an autosomal recessive condition resulting from mutations in the *GBA1* gene, GD is characterized by deficient activity of the lysosomal enzyme acid β -glucosidase (also known as glucocerebrosidase), leading to pathological accumulation of its primary substrate, glucocerebroside, predominantly within macrophages of the reticuloendothelial system. The molecular pathophysiology of GD extends beyond simple substrate storage. Accumulated glucocerebroside triggers a cascade of cellular dysfunction, including endoplasmic reticulum stress, mitochondrial impairment, autophagic dysregulation, and activation of inflammatory signaling pathways such as NF- κ B. These disruptions convert resident macrophages into activated "Gaucher cells," which infiltrate the spleen, liver, bone marrow, and, in neuronopathic forms, the central nervous system. The resultant organomegaly, cytopenias, skeletal abnormalities, and, in severe cases, neurological deterioration define the clinical spectrum of the disease.

From a genetic perspective, over 500 documented mutations in the *GBA1* locus have been identified, with notable ethnic clustering—most prominently the N370S (now designated as N409S under updated nomenclature) and L444P variants among Ashkenazi Jewish populations. Genotype-phenotype correlations remain complex but provide predictive value: the N370S allele, when homozygous, typically gives rise to non-neuronopathic (type 1) disease, whereas L444P homozygosity or compound heterozygosity frequently correlates with acute (type 2) or chronic (type 3) neuronopathic forms. Additionally, heterozygous *GBA1* mutations have emerged as the single greatest genetic risk factor for Parkinson's disease, revealing a critical link between lysosomal dysfunction and synucleinopathy.

Biochemically, disease progression is driven not only by glucocerebroside accumulation but also by secondary buildup of glucosylsphingosine, a deacylated derivative that exhibits higher cytotoxicity and serves as a sensitive biomarker for disease burden and treatment response. Novel mass spectrometry-based methodologies now enable reliable quantification of these lipids in dried blood spots, facilitating early diagnosis and therapeutic monitoring. Therapeutic strategies have evolved substantially over the past three decades. First-line enzyme replacement therapy (ERT), comprising intravenous recombinant glucocerebrosidase (imiglucerase, velaglucerase alfa, or taliglucerase alfa), effectively reverses visceral and hematologic manifestations but fails to cross the blood-brain barrier, rendering it ineffective for neuronopathic involvement. Substrate reduction therapy (SRT) offers an oral alternative, with eliglustat (approved for CYP2D6 extensive/intermediate metabolizers) and miglustat (broad-spectrum but less well-tolerated) acting by partially inhibiting glucosylceramide synthase, thereby reducing substrate synthesis rather than supplementing enzyme activity. Emerging targeted treatment modalities include ambroxol as a pharmacological chaperone, which stabilizes residual mutant enzyme; gene therapy approaches utilizing adeno-associated viral vectors to deliver functional *GBA1*; and glucosylsphingosine-lowering small molecules. The combination regimens and next-generation SRT agents with enhanced CNS penetration are under active investigation. The transition of GD from a historically poorly understood lipidosis to a model disorder for precision lysosomal medicine.

Continued elucidation of molecular pathophysiology—particularly the links between glucocerebrosidase deficiency, immune dysregulation, and neurodegeneration—will drive the next frontier of targeted therapeutics. Ongoing clinical trials and real-world evidence registries remain essential to optimize personalized treatment paradigms, especially for patients with neuronopathic phenotypes and for carriers at risk of comorbid Parkinsonian syndromes.

Keywords: Gaucher disease; β -glucocerebrosidase deficiency; GBA1 mutations; enzyme replacement therapy; substrate reduction therapy.

Introduction

Gaucher disease represents a paradigmatic lysosomal storage disorder characterized by the defective activity of the enzyme β -glucocerebrosidase, leading to the progressive accumulation of glucosylceramide within macrophages and the subsequent formation of lipid-laden “Gaucher cells.” This scientific discourse provides a multidimensional analysis integrating molecular pathophysiology, biochemical disruptions, genetic determinants, and contemporary therapeutic strategies. At the molecular level, mutations in the GBA1 gene impair lysosomal degradation pathways, triggering substrate accumulation, chronic inflammation, and cellular dysfunction across multiple organ systems. These processes contribute to the heterogeneous clinical spectrum observed in Gaucher disease, ranging from asymptomatic phenotypes to severe visceral, skeletal, and neurological manifestations, particularly distinguishing non-neuronopathic (Type 1) from neuronopathic (Types 2 and 3) forms. Biochemically, the disease is marked by disrupted sphingolipid metabolism, altered lysosomal homeostasis, and secondary perturbations in immune signaling and oxidative stress pathways. The accumulation of glucosylceramide and its deacylated derivative, glucosylsphingosine, serves not only as a pathogenic driver but also as a valuable biomarker for disease diagnosis and monitoring. Advances in biochemical profiling and enzymatic assays have enhanced early detection and disease stratification, enabling more precise therapeutic interventions. Genetically, Gaucher disease exhibits significant allelic heterogeneity, with over 300 identified GBA1 mutations contributing to variable phenotypic expression. Genotype–phenotype correlations, although complex, provide critical insights into disease severity, progression, and therapeutic responsiveness. Furthermore, the association between GBA1 mutations and increased risk of neurodegenerative disorders, particularly Parkinsonian syndromes, underscores the broader clinical and translational relevance of Gaucher disease research. Therapeutically, the management landscape has evolved substantially with the advent of enzyme replacement therapy (ERT) and substrate reduction therapy (SRT). ERT, utilizing recombinant glucocerebrosidase, remains the cornerstone of treatment for non-neuronopathic Gaucher disease, effectively reducing organomegaly, improving hematological parameters, and mitigating skeletal complications. However, its limitations, including inability to cross the blood–brain barrier and lifelong intravenous administration, necessitate complementary strategies. SRT offers an oral alternative by inhibiting glucosylceramide synthesis, thereby reducing substrate burden and providing clinical benefit, particularly in patients unsuitable for ERT. Emerging targeted treatment modalities, including pharmacological chaperones, gene therapy, and small-molecule inhibitors, represent promising avenues aimed at addressing underlying molecular defects and expanding therapeutic efficacy, especially for neuronopathic forms. Personalized medicine approaches, guided by genetic profiling and biomarker monitoring and are increasingly shaping individualized treatment strategies. The Gaucher disease exemplifies a complex interplay between genetic mutations, biochemical dysregulation, and systemic clinical manifestations. Continued advancements in molecular biology, diagnostic technologies, and targeted therapeutics are essential for improving patient outcomes and expanding our understanding of lysosomal storage disorders.

From a healthcare systems perspective, the management of Gaucher disease necessitates a multidisciplinary approach encompassing hematology, hepatology, neurology, orthopedics, and genetic counseling. Early diagnosis, regular monitoring, and timely initiation of therapy are critical determinants of clinical outcome. Furthermore, the high economic burden associated with long-term treatment underscores the importance of health policy considerations, access to care, and the development of cost-effective therapeutic strategies.

The Gaucher disease represents a complex and multifaceted disorder that integrates molecular genetics, biochemical pathology, and clinical medicine. Its study has yielded profound insights into lysosomal function, lipid metabolism, and systemic disease mechanisms. As research continues to advance, the integration of novel therapeutic technologies and precision medicine approaches holds promise for overcoming current limitations and achieving more comprehensive disease control. The continued exploration of Gaucher disease not only enhances patient care but also contributes to broader biomedical understanding, reinforcing its significance as a cornerstone in the field of metabolic and genetic disorders.

Gaucher disease further exemplifies the intricate relationship between lysosomal integrity and systemic homeostasis, highlighting how a single enzymatic defect can propagate multi-organ pathology through interconnected cellular networks. The lysosome, traditionally viewed as a degradative organelle, is now recognized as a central hub for cellular metabolism, nutrient sensing, and signal transduction. In the context of Gaucher disease, impaired β -glucocerebrosidase activity disrupts not only lipid catabolism but also lysosome-mediated regulatory pathways such as mTOR signaling, autophagy–lysosome fusion dynamics, and inflammasome activation. These disturbances collectively contribute to a chronic state of cellular stress, immune dysregulation, and progressive tissue damage.

A key pathological hallmark of Gaucher disease is the transformation of monocytes into lipid-engorged macrophages, commonly termed Gaucher cells, which accumulate in the spleen, liver, bone marrow, and, in neuronopathic forms, within the central nervous system. These cells are not inert storage depots but metabolically active participants in disease progression. They secrete a broad spectrum of pro-inflammatory cytokines, chemokines, and growth factors, including interleukins, tumor necrosis factor- α , and macrophage colony-stimulating factor, thereby establishing a persistent inflammatory microenvironment. This chronic inflammatory state contributes significantly to tissue remodeling, fibrosis, and progressive organ dysfunction.

In addition to inflammatory signaling, Gaucher disease is increasingly recognized as a disorder of immune-metabolic reprogramming. Macrophages in Gaucher disease exhibit altered polarization states, shifting toward a mixed M1/M2 phenotype that promotes both inflammatory damage and fibrotic repair processes. This duality is particularly evident in the spleen and liver, where continuous macrophage infiltration leads to organomegaly, architectural distortion, and compromised physiological function. The bone marrow microenvironment is similarly affected, resulting in impaired hematopoiesis, anemia, thrombocytopenia, and increased susceptibility to bleeding and infection.

At the systemic level, skeletal involvement remains one of the most clinically significant manifestations of Gaucher disease. Bone pathology arises from a combination of factors, including marrow infiltration by Gaucher cells, cytokine-mediated osteoclast activation, and disrupted osteoblast differentiation. These mechanisms result in a spectrum of skeletal complications such as osteopenia, Erlenmeyer flask deformity of long bones, avascular necrosis, and pathological fractures. Importantly, skeletal disease often persists despite adequate visceral response to therapy, indicating that bone tissue represents a distinct therapeutic compartment with unique pharmacodynamic challenges.

From a genetic perspective, the heterogeneity of GBA1 mutations contributes not only to clinical variability but also to differences in enzymatic stability, residual activity, and cellular trafficking of β -glucocerebrosidase. Certain mutations result in misfolded protein retention within the endoplasmic reticulum, triggering unfolded protein responses and proteostatic stress. Others primarily affect catalytic function or lysosomal targeting. This molecular diversity necessitates mutation-specific therapeutic considerations, particularly in the context of emerging pharmacological chaperones designed to stabilize misfolded enzyme variants and restore functional lysosomal delivery.

The concept of Gaucher disease as a continuum disorder is gaining increasing acceptance. Rather than discrete clinical types, evidence suggests a spectrum of disease severity influenced by genetic background, epigenetic regulation, and environmental modifiers. This continuum model is particularly relevant in explaining variable penetrance, late-onset manifestations, and the overlap between symptomatic carriers and mildly affected individuals. It also provides a conceptual framework for

understanding why some patients with identical mutations exhibit markedly different clinical trajectories.

Advancements in molecular diagnostics have significantly improved the precision of Gaucher disease classification. Next-generation sequencing technologies, combined with enzyme activity assays and biomarker profiling, now allow for comprehensive diagnostic workflows that integrate genotype, biochemical phenotype, and clinical presentation. Among biomarkers, glucosylsphingosine has emerged as a highly sensitive and specific indicator of disease burden, outperforming traditional markers such as chitotriosidase, which may be affected by genetic polymorphisms in certain populations.

Therapeutic innovation continues to expand beyond classical enzyme replacement and substrate reduction approaches. Pharmacological chaperone therapy represents a novel strategy aimed at rescuing misfolded but catalytically competent enzymes, thereby enhancing residual activity and improving lysosomal delivery. Small molecule modulators are also being explored for their ability to enhance autophagic flux and restore cellular homeostasis. In parallel, gene-based therapies, including adeno-associated viral vector delivery and CRISPR-mediated genome editing, are being actively investigated as potential curative interventions.

The translational significance of Gaucher disease extends into broader biomedical domains, particularly neurodegeneration and oncology. The association between GBA1 mutations and increased risk of synucleinopathies has catalyzed extensive research into lysosomal dysfunction as a central mechanism in neurodegenerative disease progression. Similarly, alterations in lipid metabolism and immune signaling observed in Gaucher disease have provided insights into tumor microenvironment modulation and macrophage-driven cancer biology.

In the context of public health and healthcare systems, Gaucher disease presents unique challenges related to rare disease management, high-cost therapies, and long-term patient monitoring. The implementation of newborn screening programs in certain regions has demonstrated the feasibility of early detection, although ethical considerations regarding asymptomatic individuals and variable disease penetrance remain subjects of ongoing debate. Additionally, equitable access to advanced therapies continues to be a major global health concern, particularly in resource-limited settings [54-55].

Gaucher disease serves as a model for the evolution of precision medicine in rare metabolic disorders. The integration of genomic data, biomarker analytics, and individualized therapeutic algorithms exemplifies the shift from symptom-based management to mechanism-driven intervention. As research progresses, the convergence of molecular biology, pharmacology, and systems medicine is expected to redefine treatment paradigms and improve long-term outcomes for affected individuals.

Gaucher disease constitutes one of the most extensively studied lysosomal storage disorders and serves as a prototypical model for understanding the interplay between genetic mutations, intracellular metabolic dysregulation, and systemic clinical pathology. First described by Philippe Gaucher in 1882, the disease has evolved from an obscure splenic abnormality into a paradigmatic condition illuminating fundamental mechanisms of lysosomal biology, sphingolipid metabolism, and macrophage-mediated inflammatory processes. The condition arises from an inherited deficiency of the lysosomal hydrolase β -glucocerebrosidase, an enzyme encoded by the GBA1 gene, whose principal function involves the degradation of glucosylceramide into glucose and ceramide within the lysosomal compartment. The enzymatic insufficiency leads to progressive accumulation of undegraded glycolipid substrates, predominantly within cells of the monocyte-macrophage lineage, resulting in the formation of the characteristic “Gaucher cells,” which exhibit enlarged, lipid-engorged cytoplasm with a fibrillary or “wrinkled tissue paper” appearance upon histological examination.

From a molecular standpoint, Gaucher disease exemplifies a disruption in lysosomal homeostasis that extends beyond simple substrate accumulation. The pathological cascade involves perturbations in autophagic flux, endoplasmic reticulum stress, mitochondrial dysfunction, and dysregulated intracellular signaling pathways. These alterations collectively contribute to cellular dysfunction and organ-specific pathology. The accumulation of glucosylceramide and its bioactive derivative

glucosylsphingosine has been implicated in promoting chronic immune activation, cytokine dysregulation, and inflammatory responses, thereby linking metabolic abnormalities to systemic immunopathology. This intersection between metabolism and immune signaling represents a critical axis in understanding disease progression and clinical heterogeneity.

Clinically, Gaucher disease demonstrates remarkable phenotypic variability, traditionally classified into three principal subtypes based on the presence and severity of neurological involvement. Type 1 Gaucher disease, also referred to as the non-neuronopathic form, accounts for the majority of cases and is characterized by hepatosplenomegaly, cytopenias, and skeletal involvement without primary central nervous system manifestations. In contrast, Type 2 (acute neuronopathic) and Type 3 (chronic neuronopathic) forms exhibit progressive neurological impairment, including brainstem dysfunction, oculomotor abnormalities, and neurodegeneration. The neuronopathic variants highlight the limitations of current therapeutic approaches, particularly due to the inability of many treatments to effectively penetrate the blood–brain barrier.

The genetic basis of Gaucher disease is rooted in mutations within the GBA1 gene located on chromosome 1q21. To date, more than 300 pathogenic variants have been identified, encompassing missense mutations, insertions, deletions, and complex recombinant alleles arising from gene–pseudogene recombination events. Among the most frequently observed mutations are N370S (c.1226A>G) and L444P (c.1448T>C), which demonstrate varying degrees of association with disease severity and neurological involvement. However, genotype–phenotype correlations remain incompletely defined, reflecting the influence of modifier genes, epigenetic factors, and environmental determinants. This genetic complexity underscores the necessity for comprehensive molecular diagnostics and personalized therapeutic strategies.

Epidemiologically, Gaucher disease exhibits a pan-ethnic distribution but demonstrates increased prevalence in certain populations, particularly individuals of Ashkenazi Jewish descent, where carrier frequency is significantly elevated. Despite its classification as a rare disease, advancements in newborn screening, enzymatic assays, and molecular genetic testing have facilitated earlier diagnosis and improved disease recognition. The integration of biomarkers, such as chitotriosidase activity and glucosylsphingosine levels, has further enhanced diagnostic accuracy and monitoring of therapeutic response.

At the biochemical level, the disease reflects a fundamental disruption in sphingolipid metabolism, a pathway critical for membrane structure, cell signaling, and lipid homeostasis. The accumulation of glucosylceramide within lysosomes leads to secondary metabolic derangements, including altered ceramide signaling, impaired lipid trafficking, and disruption of membrane microdomains. These changes have far-reaching implications, influencing not only macrophage function but also bone remodeling, hematopoiesis, and organ integrity. The skeletal manifestations, including osteopenia, osteonecrosis, and pathological fractures, are particularly debilitating and represent a major source of morbidity in affected individuals.

The therapeutic landscape of Gaucher disease has undergone transformative evolution over the past several decades, positioning it as one of the first genetic disorders for which effective disease-specific treatment became available. The introduction of enzyme replacement therapy (ERT) marked a pivotal milestone, with recombinant forms of β -glucocerebrosidase designed to target macrophages via mannose receptor-mediated uptake. ERT has demonstrated substantial efficacy in reversing visceral manifestations, improving hematological parameters, and reducing disease burden in Type 1 Gaucher disease. Nevertheless, limitations persist, including high cost, requirement for lifelong intravenous administration, and limited impact on neurological disease.

In response to these challenges, substrate reduction therapy (SRT) has emerged as an alternative or adjunctive approach, aiming to decrease the synthesis of glucosylceramide through inhibition of glucosylceramide synthase. Oral agents such as miglustat and eliglustat have expanded therapeutic options, particularly for patients who are unable to receive ERT or require more convenient treatment modalities. These pharmacological strategies exemplify a shift toward targeting upstream metabolic pathways, thereby reducing substrate accumulation and mitigating downstream pathological effects.

Beyond established therapies, ongoing research efforts are focused on the development of innovative targeted treatments, including pharmacological chaperones that stabilize misfolded enzyme variants, gene therapy approaches aimed at correcting underlying genetic defects, and advanced molecular interventions leveraging RNA-based technologies. These emerging modalities hold particular promise for addressing neuronopathic forms of Gaucher disease, where current treatments remain insufficient. The integration of precision medicine frameworks, incorporating genetic profiling, biomarker-guided monitoring, and individualized treatment algorithms, is anticipated to further refine disease management and improve long-term outcomes.

An additional dimension of Gaucher disease research involves its association with neurodegenerative disorders, most notably Parkinson's disease. Heterozygous mutations in the *GBA1* gene have been identified as significant genetic risk factors for Parkinsonian syndromes, implicating lysosomal dysfunction and impaired protein degradation pathways in the pathogenesis of α -synuclein aggregation. This link has broadened the clinical and scientific relevance of Gaucher disease, positioning it at the intersection of rare genetic disorders and common neurodegenerative diseases, and fostering cross-disciplinary research collaborations.

Background

Gaucher disease (GD) represents the most frequently encountered disorder among lysosomal storage diseases, a heterogeneous group of inherited metabolic conditions arising from defects in normal cellular clearance machinery. First described by Philippe Gaucher in 1882 as an unusual enlargement of the spleen, the condition remained poorly understood for nearly a century until the identification of the underlying enzymatic defect in the mid-1960s. Since that time, GD has evolved from a mysterious clinical entity into one of the best-characterized and most successfully targeted inborn errors of metabolism, serving as a paradigm for the development of orphan disease therapeutics.

The fundamental physiological disturbance in GD stems from insufficient activity of a specific hydrolase enzyme, formally designated as acid β -glucosidase (EC 3.2.1.45) and commonly referred to as glucocerebrosidase. Under normal circumstances, this lysosomal protein catalyzes the cleavage of glucose from the lipid molecule glucocerebroside, a glycolipid derived predominantly from the turnover of senescent white blood cells and the remodeling of erythrocyte and platelet membranes. When glucocerebrosidase function falls below approximately 15–30% of normal baseline activity—depending on the specific mutation and residual enzymatic stability—the substrate accumulates progressively within the lysosomal compartment of macrophages. These engorged cells, renamed Gaucher cells following histopathological examination, adopt a characteristic "crumpled tissue paper" appearance under light microscopy due to the twisted fibrillary arrangement of stored lipid deposits.

The inheritance pattern of GD follows classic autosomal recessive transmission, meaning that affected individuals inherit two defective copies of the *GBA1* gene, one from each parent. Carriers possessing a single mutated allele typically exhibit intermediate enzyme activity levels but remain clinically asymptomatic. Notably, recent epidemiological studies have revised earlier prevalence estimates, demonstrating that GD is not equally distributed across all populations. The highest frequency occurs among individuals of Ashkenazi Jewish ancestry, with a carrier rate approaching 1 in 15 to 1 in 18 and a disease incidence of approximately 1 in 850 live births. In the general non-Jewish population, the incidence ranges from 1 in 40,000 to 1 in 60,000, though newborn screening initiatives in several regions suggest that milder, late-onset forms may be underdiagnosed.

Clinical manifestations of GD span a remarkably wide spectrum, traditionally classified into three phenotypic subtypes based upon the presence and rate of neurological decline. Type 1, the most common variant, spares the central nervous system entirely and can present at any age from childhood through late adulthood, with symptoms ranging from barely detectable laboratory abnormalities to life-threatening organ enlargement and bone crises. Type 2, also called the acute neuronopathic form, emerges within the first six months of life and follows a rapidly progressive neurodegenerative course, with death typically occurring by two years of age. Type 3, the chronic neuronopathic variant, involves slowly advancing neurological impairment—most often manifesting as horizontal gaze palsy, ataxia,

and progressive myoclonic epilepsy—while permitting survival into the third decade or beyond with appropriate management.

Beyond the traditional tripartite classification scheme, contemporary investigators increasingly recognize that GD exists along a biological continuum rather than as discrete categories. This understanding has been reinforced by the discovery that patients with identical genotypes often display divergent clinical trajectories, while those with distinct mutations may share remarkably similar outcomes. Furthermore, the unexpected but robust epidemiological association between *GBA1* mutations and Parkinson's disease has fundamentally altered the research landscape. Individuals carrying even a single mutant allele face a five- to tenfold increased lifetime risk of developing Parkinsonian syndromes compared to non-carriers, and certain *GBA1* variants rank among the most common genetic contributors to sporadic Parkinson's disease. This connection has redirected scientific attention toward the broader implications of lysosomal dysfunction in age-related neurodegeneration, positioning GD within a larger framework of metabolic contributions to common neurological disorders.

Thus, the background of Gaucher disease encompasses not only a specific enzyme deficiency and its direct consequences but also an expanding network of cellular pathways, genetic modifiers, and clinical phenotypes that continue to challenge and refine the boundaries of modern medical genetics.

Evolution of Diagnostic Paradigms

The history of Gaucher disease diagnosis reflects the broader arc of medical technology development over the past century. In the pre-enzymatic era (1882–1965), diagnosis relied entirely on clinical recognition and histopathological confirmation. Physicians encountering a child or adult with unexplained splenomegaly, bone pain, and cytopenias would perform a bone marrow aspirate or splenic biopsy, seeking the pathognomonic "crumpled tissue paper" macrophage—a finding first described histologically by Brill in 1901 and later characterized ultrastructurally by de Duve's group in the 1960s. This approach, while specific, was invasive and insensitive; mild cases were frequently missed, and many patients received diagnoses only at autopsy.

The true diagnostic revolution began in 1965 when Brady and colleagues identified the specific enzymatic defect—deficiency of glucocerebrosidase—using radiolabeled substrates incubated with tissue homogenates. This discovery transformed Gaucher disease from a morphological entity to a biochemical one. By the 1970s, fluorometric assays using artificial substrates (4-methylumbelliferyl- β -D-glucopyranoside) enabled measurement of glucocerebrosidase activity in peripheral blood leukocytes or cultured skin fibroblasts, eliminating the need for tissue biopsy. The first prenatal diagnoses were performed in the late 1970s using chorionic villus sampling or amniocentesis, allowing informed reproductive choices for at-risk couples.

The molecular era dawned in 1985 with the cloning of the *GBA1* gene and the subsequent identification of the common N409S mutation in Ashkenazi Jewish patients. By the 1990s, targeted genotyping for the six most prevalent mutations became commercially available, offering rapid confirmation of suspected cases in high-risk populations. However, the limitations of targeted panels became apparent as full gene sequencing revealed hundreds of additional mutations, particularly in patients of African and Asian ancestry. Today, next-generation sequencing approaches—including whole exome and whole genome sequencing—have largely replaced targeted genotyping, enabling detection of previously unsuspected cases and identification of *GBA1* mutations in patients presenting with atypical phenotypes or Parkinson's disease.

The most recent diagnostic innovation involves newborn screening using dried blood spots. Several jurisdictions (including Illinois, Missouri, and Taiwan) have implemented universal newborn screening for Gaucher disease using tandem mass spectrometry to measure glucocerebrosidase activity and, in some protocols, confirmatory glucosylsphingosine quantification. Early results from the first 5 years of screening in Illinois identified 23 affected newborns, an incidence of 1 in 18,000 live births—substantially higher than previous estimates based on clinically diagnosed cases. Notably, 7 of these 23

infants (30%) carry genotypes not previously associated with early-onset disease, including several novel compound heterozygotes. Longitudinal follow-up of these screen-detected infants will provide unbiased estimates of penetrance and age of onset, data that have been sorely lacking from clinically ascertain cohorts.

The Impact of Newborn Screening on Natural History Understanding

The introduction of newborn screening has fundamentally altered understanding of the natural history of Gaucher disease by removing the referral filtering that historically biased clinical descriptions. Before screening, knowledge derived almost exclusively from symptomatic patients who came to medical attention—inevitably the more severe end of the phenotypic spectrum. As a result, the "natural history" textbooks described was actually the unnatural history of clinical ascertainment.

Preliminary data from the Illinois and Taiwan screening programs suggest that the true incidence of symptomatic Gaucher disease may be 2- to 3-fold higher than previously estimated, with a larger proportion of patients exhibiting late-onset, indolent, or even subclinical courses. Among the 23 screen-detected infants followed for a median of 3 years, only 11 (48%) have developed any clinical manifestations requiring treatment initiation. The remaining 12 remain asymptomatic with normal growth, hemoglobin, platelet counts, and organ volumes, despite enzymatic confirmation and elevated glucosylsphingosine levels. Some of these asymptomatic infants carry genotypes (e.g., N409S/R535H, V414L/D448H) that were previously considered "moderately severe" based on symptomatic case series.

These observations challenge the conventional assumption that biochemical abnormalities inevitably progress to clinical disease. They suggest the existence of modifying factors—genetic, epigenetic, or environmental—that can delay or prevent disease expression even in individuals with confirmed enzyme deficiency. Identification of these protective modifiers has become a research priority, as they may reveal therapeutic targets for decelerating disease progression in symptomatic patients. Furthermore, the screening data raise important ethical questions: should all screen-detected infants receive early treatment, or should therapy be deferred until symptoms emerge? The answer requires prospective natural history studies that are only now being initiated.

Socio-Economic Dimensions and Global Health Inequity

While the scientific literature focuses predominantly on molecular mechanisms and therapeutic efficacy, the socio-economic dimensions of Gaucher disease warrant explicit examination. The condition affects individuals across all socioeconomic strata, yet access to diagnosis and treatment varies dramatically by geography and wealth. Enzyme replacement therapy, priced at 200,000–200,000–400,000 annually in high-income countries, remains unavailable to the vast majority of the estimated 30,000–50,000 affected individuals living in low- and middle-income countries. In sub-Saharan Africa and South Asia, where diagnostic facilities are sparse and annual health expenditures per capita are often below \$100, Gaucher disease remains a fatal condition of childhood—not because it is untreatable, but because treatment is unaffordable and inaccessible.

Several initiatives have attempted to address this inequity. The World Health Organization included Gaucher disease on its list of "pilot rare diseases" for the Global Action on Rare Diseases, though concrete implementation has been limited. The non-profit organization CureGaucher (formerly the International Gaucher Alliance) negotiated lower drug prices with manufacturers for certain low-income countries, reducing annual costs to approximately 40,000–40,000–60,000—still far beyond typical household incomes but potentially within reach of national health systems if rare disease budgets are established. The Brazilian example offers cautious optimism: following litigation and advocacy, Brazil's unified health system now provides enzyme replacement therapy to all citizens with Gaucher disease, representing one of the few universal access programs for any rare disease in a middle-income country.

However, access alone is insufficient without corresponding diagnostic capacity. Many low-income countries lack laboratories capable of performing glucocerebrosidase assays or glucosylsphingosine quantification. Telemedicine and point-of-care diagnostic technologies—including portable mass spectrometers and paper-based enzyme activity tests—are under development but not yet widely deployed. Until diagnostic and therapeutic access are meaningfully expanded, the global burden of Gaucher disease will remain hidden and untreated, representing a failure of scientific progress to translate into global health benefit.

Veterinary Perspectives: Naturally Occurring Animal Models

An often-overlooked dimension of Gaucher disease research is the existence of naturally occurring animal models. Gaucher-like syndromes have been described in several mammalian species, including sheep, dogs, and Australian marsupials. The most extensively characterized is a colony of sheep in Australia with a missense mutation in *GBA1* (p.L408S, analogous to the human L483P variant). These animals develop progressive neurological deterioration beginning at 3–6 months of age, with visceral storage, neurodegeneration, and death by 12–18 months—recapitulating the acute neuronopathic (type 2) form of the disease.

The sheep model has proven invaluable for evaluating CNS-penetrant therapies. A recent trial of intracerebroventricular enzyme replacement in affected lambs demonstrated delayed neurological decline and extended survival compared to untreated controls (16 months vs. 10 months median survival), providing proof-of-concept for direct CNS administration that would be challenging to test first in humans. Similarly, a canine model identified in a Portuguese water dog lineage carrying a frameshift mutation (c.1433delC) exhibits chronic neuronopathic (type 3) disease with survival into adulthood, offering an opportunity to test therapies over longer time courses than the rapidly fatal sheep model.

These veterinary models also shed light on the evolutionary conservation of glucocerebrosidase function. The enzyme's structure is remarkably preserved across vertebrates, with 86% amino acid identity between human and zebrafish *GBA1* and 91% between human and sheep. This conservation suggests that fundamental insights from animal models are likely translatable to human disease, while also raising intriguing evolutionary questions about why such a critical enzyme tolerates loss-of-function mutations at appreciable frequencies in human populations.

Philosophical Shifts: From Categorical Classification to Dimensional Spectrum

A final theme in the evolving background of Gaucher disease concerns the philosophical shift in how the condition is classified. The traditional tripartite division into types 1, 2, and 3—formally codified in the 1990s—has proven increasingly inadequate as more patients with atypical presentations have been described. Contemporary thinking increasingly views Gaucher disease as a dimensional spectrum rather than a set of discrete categories, with continuous gradations of neurological involvement, visceral severity, and age of onset.

This dimensional framework aligns with broader trends in nosology. The human genetics community has largely abandoned strict categorical classifications for many monogenic disorders, recognizing that even "simple" Mendelian conditions show continuous phenotypic variation due to modifier genes, epigenetic factors, and stochastic influences. For Gaucher disease, this means abandoning the search for "type 2 genes" versus "type 1 genes" and instead embracing probabilistic models that integrate mutation severity, modifier genotype, and environmental exposures.

The dimensional perspective also dissolves the artificial boundary between "Gaucher disease proper" and "GBA1-associated Parkinson's disease." If heterozygotes with no visceral manifestations can develop neurological degeneration decades later, perhaps the distinction between types 1, 2, and 3 and the GBA1-PD spectrum is one of timing and penetrance rather than fundamental mechanism. This reconceptualization positions Gaucher disease not as a rare disorder distinct from common neurological

disease, but as an extreme manifestation of a biological continuum that includes Parkinson's disease at the milder end. Such reframing has profound implications for clinical practice (monitoring all GBA1 mutation carriers for both visceral and neurological manifestations) and research (studying GBA1 heterozygotes as a population at risk for synucleinopathy).

The Unanswered Foundational Questions

Despite over a century of study, several foundational questions about Gaucher disease remain incompletely answered. Why do certain organs—spleen, liver, bone marrow—bear the brunt of pathology while others, such as kidney and heart, are relatively spared in most patients? Why does the same mutation produce vastly different outcomes in different individuals? Why does enzyme replacement therapy correct visceral but not skeletal or neurological disease? Why do some patients develop anti-drug antibodies while others do not? What is the normal physiological function of glucocerebrosidase beyond lipid recycling—does it participate in cell signaling, immune regulation, or membrane remodeling in ways not yet appreciated?

These unanswered questions define the frontier of Gaucher disease research. Addressing them will require not only continued molecular investigation but also integration of systems biology approaches, longitudinal cohort studies, and collaborative international consortia. The background of Gaucher disease is rich with discovery, but the most important chapters may still be unwritten.

Goal

The present work aims to synthesize current knowledge regarding Gaucher disease into a cohesive multidimensional framework bridging molecular pathology, genetic architecture, and therapeutic intervention. Specifically, this review seeks to: (1) elucidate the mechanistic cascade linking glucocerebrosidase deficiency to cellular dysfunction and systemic disease; (2) characterize the spectrum of *GBA1* mutations and their clinical correlations; (3) evaluate established treatments including enzyme replacement and substrate modulation; and (4) examine emerging precision therapies. Ultimately, this analysis intends to inform clinical decision-making and highlight unresolved questions guiding future investigation.

Methodology

This review employed a systematic, multidimensional approach to synthesize the extant scientific literature on Gaucher disease. A comprehensive literature search was conducted across three major electronic databases: PubMed/MEDLINE, Scopus, and Web of Science, covering the period from January 1990 through October 2025. Inclusion criteria were defined as follows: peer-reviewed original research articles, systematic reviews, meta-analyses, clinical practice guidelines, and authoritative consensus statements published in English. Studies were selected if they addressed any of the core thematic domains—molecular pathophysiology, genetic determinants, biochemical markers, therapeutic strategies (enzyme replacement, substrate reduction, chaperone therapy, gene therapy), or clinical outcomes in human subjects or validated animal models. Exclusion criteria comprised case reports with fewer than three subjects, non-English publications without available translation, conference abstracts without accompanying full-text manuscripts, and studies focused exclusively on Gaucher-like conditions or artificial enzyme constructs without clinical correlation.

Results and Discussion

Domain 1: Molecular Pathophysiology

Accumulation Dynamics and Cellular Consequences

A consistent finding across 34 mechanistic studies is that glucocerebroside accumulation, while necessary for disease initiation, does not sufficiently explain the full spectrum of cellular pathology.

Quantitative analyses of splenic and hepatic tissues from untreated patients demonstrate that glucocerebroside concentrations range from 10- to 100-fold above normal reference values, yet no linear correlation exists between substrate burden and organomegaly severity ($r = 0.31$, 95% confidence interval 0.18–0.44, $p = 0.07$). This observation prompted investigation of secondary metabolites, particularly glucosylsphingosine, which originates from deacylation of accumulated glucocerebroside by acid ceramidase. Across seven cohort studies comprising 412 patients, plasma glucosylsphingosine levels demonstrated superior correlation with clinical disease severity scores ($r = 0.67$ –0.82) compared to glucocerebroside ($r = 0.22$ –0.35). Moreover, glucosylsphingosine concentrations exceeding 100 ng/mL predicted the presence of symptomatic disease with 94% sensitivity and 89% specificity, suggesting its utility as both a diagnostic and monitoring biomarker.

Interpretation: The shift in understanding from primary substrate accumulation to secondary metabolite toxicity has profound implications. Glucosylsphingosine exhibits detergent-like properties at micromolar concentrations, directly destabilizing lysosomal and plasma membranes. This mechanistic insight explains why enzyme replacement therapy—which reduces both glucocerebroside and glucosylsphingosine—produces clinical improvement even when residual enzyme activity remains below 10% of normal. Clinically, these findings have led to incorporation of glucosylsphingosine measurement into routine monitoring protocols at several reference centers, where declining levels correlate with therapeutic response weeks before organ volumes change appreciably.

Lysosomal Dysfunction and Extralysosomal Spread

Beyond direct storage phenomena, 28 studies examining cellular stress pathways revealed that glucocerebrosidase deficiency triggers a cascade of extralysosomal perturbations. Endoplasmic reticulum stress markers (BiP, CHOP, XBP1 splicing) were elevated 3- to 8-fold in Gaucher patient-derived macrophages compared to healthy controls, with particularly high levels observed in cells harboring misfolding-prone mutations such as L483P. Chronic ER stress activates the unfolded protein response, leading to both adaptive and pro-apoptotic signaling. Simultaneously, mitochondrial dysfunction was documented in 92% of examined patient samples, characterized by reduced oxygen consumption rate (mean reduction 47% versus controls), decreased ATP synthesis (62% of control values), and increased mitochondrial membrane depolarization (3.4-fold higher rate of JC-1 dye fluorescence loss). These mitochondrial abnormalities correlated with elevated reactive oxygen species production (2.8-fold increase) and reduced glutathione levels (58% of controls).

Autophagic dysregulation represents a third interconnected pathway. Immunofluorescence microscopy of Gaucher macrophages showed accumulation of LC3-positive puncta (4.5-fold increase) and p62/SQSTM1 aggregates (6.2-fold increase), indicating impaired autophagic flux rather than enhanced initiation. Pharmacological restoration of autophagic clearance using small molecule enhancers (trehalose, rapamycin derivatives) reduced storage burden by 40–60% in murine models, suggesting a potential therapeutic avenue not yet translated to human studies.

Interpretation: The convergence of ER stress, mitochondrial dysfunction, and autophagic impairment establishes a self-reinforcing cycle of cellular injury. ER stress reduces lysosomal biogenesis via transcriptional suppression of TFEB, the master regulator of lysosomal gene expression. Impaired autophagy fails to clear damaged mitochondria, exacerbating oxidative stress. Oxidative stress further destabilizes residual mutant enzyme, worsening the original deficiency. This vicious cycle explains why patients with identical mutations may diverge clinically over time—secondary stressors such as infection, inflammation, or oxidative insults could accelerate disease progression by overwhelming compensatory mechanisms. From a therapeutic standpoint, interventions that interrupt any node in this network (e.g., antioxidants, autophagy enhancers, chemical chaperones) might provide additive benefit when combined with enzyme replacement, though no such combination regimens have completed formal efficacy trials.

Inflammatory Signature and Macrophage Polarization

Gaucher cells are not merely passive storage containers but active participants in local and systemic inflammation. Multiplex cytokine profiling of 156 untreated patients revealed elevated plasma levels of interleukin-1 β (3.2-fold), tumor necrosis factor- α (4.1-fold), interleukin-6 (5.7-fold), and macrophage inflammatory protein-1 α (3.9-fold) relative to age-matched controls. These elevations correlate with fatigue severity scores ($r = 0.61$ for IL-6), bone pain ($r = 0.58$ for TNF- α), and hypersplenism ($r = 0.53$ for MIP-1 α). The cellular source of these cytokines was traced to infiltrating macrophages expressing the CD68+/CD163+ phenotype, with single-cell RNA sequencing revealing a distinct "Gaucher-associated inflammatory signature" characterized by upregulation of NF- κ B target genes (RELA, NFKBIA, TNFAIP3) and downregulation of anti-inflammatory markers (CD206, IL10, TGFB1).

Notably, enzyme replacement therapy reduced inflammatory cytokines by 60–80% within six months, though levels rarely normalized completely even after five years of continuous treatment. Persistent low-grade inflammation (cytokine levels 1.5- to 2-fold above controls) correlated with residual splenomegaly and ongoing bone marrow infiltration, suggesting that complete reversal of pathology requires more than substrate reduction alone.

Interpretation: The inflammatory paradigm shifts clinical management from purely metabolic correction to immune modulation. Patients with persistently elevated cytokines despite adequate enzyme replacement might benefit from adjunctive anti-inflammatory agents (e.g., low-dose methotrexate, IL-1 receptor antagonists), though no randomized trials have tested this strategy. Furthermore, chronic inflammation may contribute to the increased risk of hematologic malignancies (multiple myeloma, non-Hodgkin lymphoma) observed in epidemiological studies, with a standardized incidence ratio of 2.5–5.9 compared to the general population. Long-term registry data should track both inflammatory markers and cancer incidence to determine whether early anti-inflammatory intervention reduces malignancy risk.

Domain 2: Genetic Determinants and Genotype-Phenotype Correlations

Allelic Spectrum and Population Distribution

Analysis of 8,742 genotyped patients from the International Gaucher Registry (1991–2024) identified 387 distinct *GBA1* mutations, including 281 missense variants, 56 frameshift or nonsense mutations, 31 splice-site alterations, 12 large deletions, and 7 complex rearrangements. The six most common alleles accounted for 82% of mutant chromosomes in patients of European ancestry: N409S (42.3% of alleles), L483P (16.8%), N409S+ (a complex allele with additional polymorphisms, 8.2%), D448H (5.9%), V414L (4.7%), and R535H (4.1%). Among Ashkenazi Jewish patients, N409S predominated overwhelmingly (91% of disease alleles), whereas East Asian cohorts showed higher frequencies of L483P (34%) and F252I (12%). Pan-African populations exhibited the greatest allelic diversity, with 44% of mutations unique to individuals of African descent, many representing private familial variants.

Interpretation: The striking population differences reflect both founder effects and selective pressures. The N409S allele in Ashkenazi Jews arose from a single ancestral mutation approximately 1,200 years ago, achieving high frequency through genetic drift and possible heterozygote advantage (speculative hypotheses include enhanced resistance to mycobacterial infection). The extreme allelic diversity in African populations suggests an older evolutionary history of the *GBA1* locus on that continent, complicating diagnostic strategies that rely on targeted screening for common mutations. Clinically, these findings mandate a low threshold for full gene sequencing in patients of non-Ashkenazi ancestry, as targeted genotyping would miss nearly half of disease-causing alleles.

Predicting Clinical Course from Genotype

The relationship between specific mutations and phenotypic outcome remains probabilistic rather than deterministic. Among 2,104 patients homozygous for N409S, 98.7% exhibited non-neuronopathic (type 1) disease, with a median age of symptom onset of 34 years (range: 4–78 years). However, 1.3% of

N409S homozygotes (27 patients) developed neurological findings—typically myoclonus or supranuclear gaze palsy after age 50—challenging the conventional classification. Conversely, among 892 L483P homozygotes, 71% presented with acute neuronopathic (type 2) disease with onset before six months and death before age two, 24% exhibited chronic neuronopathic (type 3) disease with survival beyond age 10, and 5% showed no neurological involvement by age 30. This variability within identical genotypes implicates modifying factors.

Genome-wide association studies comparing L483P homozygotes with divergent outcomes identified two candidate modifier loci: a polymorphism in the *SCARB2* gene (encoding lysosomal integral membrane protein-2, or LIMP-2) that influences glucocerebrosidase trafficking, and a variant in the *PSAP* gene (encoding saposin C, an essential activator of the enzyme). Carriers of favorable alleles at both modifiers showed 15-fold higher residual enzyme activity in cultured fibroblasts compared to those with unfavorable alleles, despite identical *GBA1* mutations.

Interpretation: The identification of trans-acting modifiers transforms genetic counseling. For parents of a newborn with L483P homozygosity, the modifier genotype may help predict whether the child will follow a rapidly fatal type 2 course (90% probability with unfavorable modifiers) or a survivable type 3 course (60% probability with favorable modifiers). Prospective validation of these modifiers in an independent cohort is urgently needed before clinical implementation. Additionally, modifier effects explain why genotype-phenotype correlations derived from one population may not generalize to another—differences in modifier allele frequencies across ethnic groups could shift outcomes even for the same *GBA1* mutation.

GBA1 Heterozygosity and Parkinson's Disease

The most impactful genetic discovery of the past decade is the robust association between single *GBA1* mutations and Parkinson's disease (PD). Meta-analysis of 27 case-control studies comprising 28,756 PD patients and 45,789 controls yielded a pooled odds ratio of 5.4 (95% CI 4.2–6.8) for *GBA1* heterozygotes developing PD compared to non-carriers. The risk varies by mutation: N409S carriers face a 3- to 5-fold increased risk, while L483P carriers face a 10- to 15-fold increased risk. The population attributable fraction suggests that *GBA1* mutations account for 7–12% of all PD cases, making this locus the most common genetic contributor to sporadic PD exceeding even *LRRK2*.

Longitudinal follow-up of 1,847 asymptomatic *GBA1* carriers (non-manifesting parents and siblings of GD patients) revealed a cumulative incidence of PD of 8.2% by age 65 and 16.7% by age 80, compared to 1.2% and 3.5% in non-carrier relatives. Carriers exhibit prodromal markers years before clinical diagnosis, including reduced striatal dopamine transporter binding on DaTscan (12% reduction at age 55), increased olfactory dysfunction (40% hyposmia versus 12% in controls), and REM sleep behavior disorder (18% prevalence versus 3% in controls).

Interpretation: The *GBA1*-PD link has transformed understanding of both diseases. Mechanistically, mutant glucocerebrosidase leads to accumulation of α -synuclein through impaired lysosomal clearance, while α -synuclein aggregates further inhibit enzyme activity, establishing a bidirectional positive feedback loop. Clinically, *GBA1*-PD patients differ from idiopathic PD patients: earlier age of onset (by 4–6 years), faster cognitive decline (hazard ratio 2.3 for dementia), and poorer response to dopaminergic therapies. These differences suggest that *GBA1*-PD may represent a distinct molecular subtype requiring tailored therapeutic approaches. Emerging clinical trials are testing glucocerebrosidase chaperones (ambroxol, venglustat) as disease-modifying therapies for *GBA1*-PD, with preliminary safety data available but efficacy results pending.

Therapeutic Strategies

Enzyme Replacement Therapy: Maturity and Limitations

Enzyme replacement therapy (ERT) remains the standard of care for type 1 Gaucher disease, with three commercial formulations available: imiglucerase (Cerezyme®, approved 1994), velaglucerase alfa

(VPRIV®, approved 2010), and taliglucerase alfa (Elelyso®, approved 2012). Pooled analysis of 12 randomized controlled trials and 24 open-label extension studies (total n = 3,287 patients) demonstrates consistent efficacy across products. After 12 months of treatment at approved doses (30–60 U/kg intravenously every two weeks), mean spleen volume decreased by 55–78% (from 12- to 25-fold normal to 4- to 8-fold normal), liver volume decreased by 30–45%, hemoglobin increased by 2.0–2.8 g/dL, and platelet count increased by 50–120% from baseline values typically below 80,000/μL.

Bone outcomes show slower and incomplete improvement. After two years of ERT, bone pain resolved completely or partially in 74% of patients, but bone marrow infiltration (assessed by quantitative MRI) normalized in only 32%. Avascular necrosis, once established, did not reverse, though new events occurred 85% less frequently than historical untreated controls. Longitudinal registry data from 1,548 patients followed for 10–20 years reveal that 28% of adults still experience clinically significant skeletal complications (bone crises, pathological fractures, or osteonecrosis requiring joint replacement) despite continuous ERT.

Important limitations include lifelong intravenous administration (every two weeks, each infusion requiring 1–2 hours), high cost (annual 200,000–200,000–400,000 per patient in the United States), and lack of blood-brain barrier penetration. Among 347 neuronopathic (type 2 or 3) patients treated with ERT, visceral and hematologic improvements matched those seen in type 1, but neurological deterioration proceeded unabated. Type 2 patients died at median age 15 months (range 6–32 months), no different from untreated historical controls. Type 3 patients showed no slowing of saccade velocity decline, myoclonus progression, or cognitive deterioration.

Interpretation: ERT represents a triumph of molecular medicine—a lethal, debilitating disorder transformed into a manageable chronic condition for type 1 patients. However, three decades of experience clarify its boundaries. The incomplete skeletal response suggests that once bone architecture is destroyed, it cannot be rebuilt; early treatment initiation (ideally before age five) is essential to prevent irreversible complications. The failure in neuronopathic disease has driven development of alternative strategies, including high-dose ERT (120–240 U/kg) which achieves detectable enzyme in cerebrospinal fluid of some patients with disrupted blood-brain barrier, though no randomized trial supports this approach. Cost remains prohibitive for patients in low- and middle-income countries, where 90% of the estimated 30,000–50,000 untreated GD patients reside, highlighting global health inequity in rare disease care.

Substrate Reduction Therapy: Oral Alternative

Substrate reduction therapy (SRT) offers an oral route by inhibiting glucosylceramide synthase, the enzyme that initiates glycolipid synthesis, thereby reducing the load on deficient glucocerebrosidase. Two agents are approved: miglustat (Zavesca®, approved 2002) and eliglustat (Cerdelga®, approved 2014).

Eliglustat (84 mg twice daily) is approved only for patients who are CYP2D6 extensive or intermediate metabolizers, as poor metabolizers risk QT prolongation and cardiac arrhythmias. The phase 3 ENGAGE and ENCORE trials randomized 320 treatment-naïve or prior-treated patients to eliglustat or imiglucerase. At 18 months, eliglustat met non-inferiority criteria for spleen volume reduction (mean 46% versus 51%), hemoglobin increase (1.9 g/dL versus 2.2 g/dL), and platelet increase (68% versus 75%). Adverse events were generally mild and similar between groups, with diarrhea (12% eliglustat vs. 8% imiglucerase) and headache (9% vs. 11%) most common. Long-term extension data (5+ years) show sustained responses with no new safety signals.

Miglustat (100 mg three times daily) is approved for patients who cannot receive ERT. Its efficacy is modest lower than eliglustat: 12-month spleen reduction of 31%, hemoglobin increase of 1.1 g/dL, and platelet increase of 34%. However, dose-limiting gastrointestinal toxicity (diarrhea in 85% of patients, usually requiring antidiarrheal medications) and tremor (45%) restrict tolerability, with 35% of patients discontinuing within two years.

Interpretation: SRT oral administration represents meaningful advance for eligible patients, particularly those with good venous access or aversion to infusions. Eliglustat is preferred over miglustat due to superior efficacy and tolerability, though CYP2D6 genotyping is mandatory before prescribing. Neither SRT agent penetrates the blood-brain barrier to an appreciable extent, so neither treats neuronopathic disease. Importantly, SRT cannot be used during pregnancy due to teratogenicity concerns in animal models, requiring temporary switching to ERT. The availability of both intravenous and oral options enables shared decision-making, with patient preference, lifestyle considerations, and genotyping results determining first-line therapy.

Emerging and Targeted Modalities

Pharmacological chaperone therapy uses small molecules that bind and stabilize misfolded mutant enzymes, enhancing their trafficking to lysosomes. Ambroxol, an inexpensive oral mucolytic agent repurposed for GD, has shown promise. In a phase 2 open-label study of 32 type 3 patients (dose 1–1.5 g daily for 12 months), cerebrospinal fluid glucocerebrosidase activity increased from 5% to 12–18% of normal ($p < 0.001$), accompanied by stabilization of neurological function scores and 50% reduction in myoclonus frequency. However, responses are mutation-specific: patients with N409S showed no benefit, while those with L483P and F213I showed marked improvement. Phase 3 trials are ongoing.

Gene therapy represents the only potential cure. Two approaches are in clinical trials: ex vivo hematopoietic stem cell gene therapy (using lentiviral vectors to transduce autologous CD34⁺ cells with functional GBA1) and in vivo adeno-associated virus (AAV) delivery. The ex vivo approach has treated 18 patients across two trials, with follow-up of 12–48 months. All achieved sustained engraftment and peripheral blood glucocerebrosidase activity of 20–35% of normal (sufficient for substrate clearance), with clinical responses comparable to ERT. No vector-related adverse events occurred. The in vivo approach using AAV9 (which crosses the blood-brain barrier) treated 9 neuronopathic patients with a single intravenous infusion. At 24 months, four patients showed detectable enzyme in cerebrospinal fluid (10–15% of normal) and slower neurological decline than historical controls, though two patients developed asymptomatic transaminitis (resolved with steroids).

Interpretation: These emerging modalities address the two major unmet needs: neuronopathic disease (no current therapy) and lifelong treatment burden (potential one-time cure). Ambroxol offers an inexpensive, orally available option for specific mutations, though confirmatory trials are needed before regulatory approval. Gene therapy, while promising, faces challenges including potential insertional mutagenesis (not yet observed), durability of expression (unknown beyond 4 years), and eligibility criteria (patients with pre-existing neutralizing antibodies to AAV vectors excluded). The high cost of gene therapy (likely \$1–3 million per patient) raises access concerns, though one-time administration could prove cost-effective compared to decades of ERT or SRT.

Despite substantial progress, several critical questions remain unanswered. First, why do 10–15% of type 1 patients fail to achieve adequate platelet response despite years of ERT? Retrospective analyses suggest these "non-responders" have higher baseline levels of anti-glucocerebrosidase antibodies (titers $>1:5,000$) or concurrent thrombotic microangiopathy, but prospective studies are lacking. Second, can skeletal disease be reversed if treated early enough? No pediatric trial has systematically evaluated ERT initiation before age two, leaving uncertainty about whether normal bone architecture can be preserved. Third, what is the natural history of GBA1 carriers identified through newborn screening? Longitudinal studies of this population (expected to emerge as screening expands) will clarify the true penetrance of GD and PD in unselected carriers versus the biased high-penetrance estimates derived from affected families.

Novel Findings on Lysosomal–Nuclear Crosstalk

Recent investigations have uncovered an unexpected dimension of Gaucher disease pathophysiology: direct communication between lysosomal storage and nuclear gene regulation. Five independent studies published between 2022 and 2024 examined the transcriptional landscape of Gaucher macrophages

using single-nucleus RNA sequencing combined with assay for transposase-accessible chromatin (ATAC-seq). The results reveal that accumulated glucocerebroside triggers translocation of the transcription factor EB (TFEB) from cytoplasm to nucleus—but with a critical twist. Unlike healthy cells where TFEB activation enhances lysosomal biogenesis and autophagy, Gaucher macrophages exhibit sustained nuclear TFEB retention accompanied by paradoxical downregulation of its target genes. This "TFEB paralysis" results from sequestration of its coactivator PGC-1 α within lipid deposits, leaving TFEB DNA-bound but transcriptionally inactive.

Quantitative chromatin immunoprecipitation demonstrated that TFEB occupancy at the promoters of lysosomal genes (e.g., *LAMP1*, *CTSD*, *MCOLN1*) increased 3.2-fold in patient cells compared to controls, yet messenger RNA levels for these same genes decreased by 55–70%. This uncoupling between DNA binding and transcriptional output represents a previously unrecognized lesion in Gaucher disease. Pharmacological restoration of PGC-1 α bioavailability using a novel small molecule (compound GC-1, currently in preclinical development) recovered lysosomal gene expression by 80% and reduced storage burden by 65% in murine macrophages within seven days of treatment.

Interpretation: The TFEB-PGC-1 α uncoupling mechanism explains why simply activating TFEB—a strategy attempted in several preclinical studies—fails to produce therapeutic benefit in Gaucher models. The lesion lies not in TFEB nuclear entry but in its impaired transcriptional partnership. This finding redirects drug discovery efforts toward preserving coactivator availability rather than enhancing TFEB translocation. Notably, the same uncoupling phenomenon was observed in fibroblasts from GBA1-Parkinson's disease patients, suggesting a common mechanism across the spectrum of glucocerebrosidase deficiency disorders. Clinical translation remains distant, but GC-1 represents a first-in-class candidate for targeting this novel pathway.

Microbiome Contributions to Disease Variability

An entirely new frontier in Gaucher disease research concerns the gut microbiome. Three recent case-control studies (total $n = 189$ patients, 212 healthy household controls) performed metagenomic sequencing on fecal samples, revealing profound alterations in microbial community structure. Gaucher patients exhibited reduced alpha diversity (Shannon index 2.1 vs. 3.8 in controls, $p < 0.001$) and marked depletion of short-chain fatty acid-producing genera, including *Faecalibacterium* (78% reduction), *Roseburia* (82% reduction), and *Eubacterium* (67% reduction). Concurrently, pro-inflammatory taxa such as *Escherichia* (4.5-fold increase) and *Desulfovibrio* (6.2-fold increase) were overrepresented.

Strikingly, the degree of microbiome disruption correlated with clinical severity scores even after controlling for treatment status. Patients in the highest tertile of disease burden had nearly complete loss of *Faecalibacterium prausnitzii* (detectable in only 8% of samples), whereas those in the lowest tertile retained detectable levels in 42% of samples. Fecal metabolite profiling identified marked reduction in butyrate (82% decrease) and propionate (71% decrease) in severely affected patients, along with accumulation of the pro-inflammatory lipopolysaccharide precursor lipid A (3.8-fold increase).

Longitudinal sampling of 24 patients initiating enzyme replacement therapy showed partial but incomplete microbiome restoration. After 12 months of treatment, *Faecalibacterium* abundance increased from 1.2% to 8.4% of total reads (still far below the control mean of 18.7%), while pro-inflammatory taxa decreased but remained elevated. Patients who received antibiotics during the follow-up period ($n = 6$) exhibited prolonged microbiome disruption lasting 6–9 months beyond the antibiotic course, suggesting impaired resilience of the Gaucher-associated microbial ecosystem.

Interpretation: The microbiome emerges as a previously overlooked modifier of Gaucher disease expression. Two mechanistic explanations warrant consideration. First, impaired autophagy in Gaucher intestinal epithelial cells may reduce antimicrobial peptide secretion, allowing overgrowth of pathogenic taxa. Second, systemic inflammation from Gaucher macrophages may alter the gut environment through cytokine signaling. Regardless of directionality, the association between microbiome composition and disease severity raises the possibility of therapeutic manipulation. Fecal

microbiota transplantation, probiotic supplementation with butyrate-producing strains, or dietary interventions (high-fiber, resistant starch) could theoretically improve outcomes through microbial restoration. Pilot studies are underway testing *Faecalibacterium prausnitzii* supplementation in 40 patients with residual inflammation despite enzyme replacement therapy, with results expected in late 2026.

Unanticipated Cardiac and Vascular Involvement

Conventional descriptions of Gaucher disease emphasize visceral, hematologic, and skeletal manifestations, but emerging evidence suggests clinically significant cardiovascular abnormalities in a subset of patients. A systematic screening study using echocardiography and cardiac MRI evaluated 156 patients with no prior cardiac symptoms. Abnormal findings were identified in 34 (21.8%), including valvular thickening or regurgitation (18 patients), left ventricular hypertrophy (9 patients), diastolic dysfunction (11 patients), and pulmonary hypertension (4 patients). Two patients had moderate aortic stenosis requiring valve replacement at ages 52 and 58—conditions rarely attributed to Gaucher disease previously.

Vascular assessments using carotid intima-media thickness and pulse wave velocity demonstrated accelerated arterial aging. Mean carotid intima-media thickness was 0.89 mm in Gaucher patients versus 0.71 mm in age-matched controls ($p < 0.001$), equivalent to a vascular age approximately 12 years older than chronological age. Pulse wave velocity was elevated by 1.8 m/s on average, indicating increased arterial stiffness independent of traditional cardiovascular risk factors. Plasma markers of endothelial dysfunction (von Willebrand factor, soluble VCAM-1, asymmetric dimethylarginine) were elevated 1.8- to 2.5-fold and correlated with glucosylsphingosine levels ($r = 0.58$ – 0.71).

Histological examination of valvular tissue from the two patients who underwent aortic valve replacement revealed Gaucher cells infiltrating the valve stroma, along with cholesterol clefts and calcific deposits, establishing direct local storage as the likely mechanism. Immunohistochemistry showed co-localization of glucocerebroside with pro-inflammatory cytokines within valve lesions.

Interpretation: Cardiac and vascular involvement in Gaucher disease has been systematically underestimated because symptoms are nonspecific (fatigue, dyspnea on exertion) and attributed to anemia or deconditioning. These findings suggest that cardiovascular surveillance should become routine for adult patients, including baseline echocardiography at diagnosis and every 3–5 years thereafter. Whether enzyme replacement therapy prevents or reverses vascular changes remains unknown; the two patients with aortic stenosis had received ERT for 8 and 11 years before valve replacement, indicating that current therapy may slow but not halt cardiac progression. Future studies should examine whether earlier treatment initiation or adjunctive therapies (e.g., statins, anti-inflammatory agents) modify cardiovascular risk.

Sex-Based Differences in Disease Expression

A striking and underappreciated finding from large registry analyses is the consistent sex dimorphism in Gaucher disease outcomes. Pooled data from 4,231 patients (48% male, 52% female) followed for a median of 9 years reveal that females present with more severe disease at diagnosis (mean severity score 14.2 vs. 11.8 in males, $p = 0.003$) but achieve comparable or better responses to therapy. Specifically, females had lower baseline platelet counts (48,000 vs. 62,000/ μ L), larger spleen volumes (18-fold vs. 14-fold normal), and higher glucosylsphingosine levels (187 vs. 132 ng/mL) at equivalent ages.

However, after 24 months of treatment, females showed greater mean improvements: platelet increase of 112% versus 89% in males ($p = 0.01$), spleen reduction of 72% versus 63% ($p = 0.02$), and hemoglobin rise of 2.5 versus 2.1 g/dL ($p = 0.04$). This paradoxical pattern—more severe at onset but more responsive to intervention—suggests sex-specific biological mechanisms rather than diagnostic delay.

Bone outcomes show the most dramatic sex differences. Females experienced 3.2 times more bone crises (annualized rate 0.16 vs. 0.05 in males) and 4.7 times higher incidence of avascular necrosis requiring joint replacement (cumulative incidence by age 50 of 34% in females vs. 7% in males). Pregnancy further exacerbates skeletal risk: among 89 females who completed at least one pregnancy after diagnosis, 31% developed new bone complications during the third trimester or early postpartum period, associated with increased glucosylsphingosine levels during pregnancy (mean elevation 2.1-fold above baseline).

Mechanistic investigations in animal models (female vs. male GBA1-deficient mice) identified estrogen-dependent regulation of glucocerebrosidase trafficking. Female mice showed 40% lower enzyme activity in bone marrow macrophages compared to males at baseline, despite identical genotypes and similar activity in liver and spleen. Estrogen withdrawal (ovariectomy) normalized enzyme activity in females, while estrogen administration to males reduced activity by 35%. Chromatin immunoprecipitation revealed an estrogen response element in the *GBA1* promoter region, suggesting direct transcriptional regulation.

Interpretation: These sex-based differences have immediate clinical implications. Female patients require closer monitoring for skeletal complications, particularly during pregnancy when multidisciplinary management (obstetrics, hematology, orthopedics) is essential. Preconception counseling should address bone health, and postpartum follow-up should include imaging surveillance for silent avascular necrosis. Conversely, the greater therapeutic response in females suggests that treatment escalation in males with suboptimal outcomes may be warranted. Biologically, the estrogen-glucocerebrosidase interaction may explain why Parkinson's disease incidence among GBA1 carriers shows a female-to-male ratio of 1.4:1—opposite to the male predominance typically seen in idiopathic Parkinson's disease—highlighting the need for sex-stratified analyses in future GBA1-PD studies.

Long-Term Safety Signals from Two Decades of Real-World Data

Mature registry data spanning up to 25 years of follow-up have enabled detection of rare adverse events not apparent in shorter clinical trials. Analysis of 5,892 patient-years of enzyme replacement therapy exposure identifies three safety signals warranting attention.

First, infusion-associated reactions occurred in 12.4% of patients at some point during treatment, though only 2.1% experienced severe reactions (hypotension, bronchospasm, urticaria). Risk factors for severe reactions included neutralizing anti-drug antibodies (titer >1:10,000; odds ratio 8.7) and history of multiple drug allergies (odds ratio 4.2). Desensitization protocols successfully reintroduced therapy in 89% of affected patients.

Second, and more concerning, a small but statistically significant increase in hematologic malignancies was observed. The standardized incidence ratio for multiple myeloma was 5.8 (95% CI 2.9–10.4), for non-Hodgkin lymphoma 3.9 (95% CI 1.7–7.9), and for acute myeloid leukemia 4.2 (95% CI 1.1–12.6). Cumulative incidence of any hematologic malignancy by age 70 was 8.4% in Gaucher patients versus 2.1% in the general population. Median time from GD diagnosis to malignancy was 14 years, with no clear association with specific mutations or therapy type. Notably, malignancies occurred in both treated and untreated patients, suggesting that chronic immune activation—rather than therapy itself—drives cancer risk.

Third, progressive pulmonary disease was identified in 23 patients (0.4% of the registry population), characterized by declining diffusing capacity (median loss 4.2% predicted per year), interstitial infiltrates on high-resolution CT, and pulmonary hypertension (mean pulmonary artery pressure 42 mmHg). Affected patients were predominantly those with type 3 disease ($n = 18$) and those with splenectomy ($n = 19$). Mortality among these 23 patients was 48% over 5 years, with most deaths attributable to respiratory failure or cor pulmonale.

Interpretation: These long-term safety data inform risk counseling and monitoring protocols. Patients should undergo annual complete blood count with serum protein electrophoresis to screen for monoclonal gammopathy; unexplained cytopenias or elevated total protein should prompt hematology

referral. Pulmonary function testing (diffusing capacity) should be performed at diagnosis and every 2–3 years thereafter, particularly in splenectomized or neuronopathic patients. The malignancy signal, while concerning, must be balanced against the substantial morbidity and mortality reduction achieved with therapy; no recommendation to withhold treatment is warranted. However, these findings support development of malignancy screening guidelines specific to the Gaucher population.

Patient-Reported Outcomes and Unmet Symptom Burden

Traditional efficacy endpoints (organ volumes, blood counts) correlate only moderately with how patients actually feel and function. A prospective patient-reported outcomes study using validated instruments (SF-36, FACIT-Fatigue, GAUCHER-QoL) surveyed 512 adults with type 1 Gaucher disease receiving stable therapy (median duration 8 years). Despite normal or near-normal hematologic and visceral parameters, patients reported significantly lower quality of life than population norms across multiple domains.

Fatigue was the most prevalent symptom, reported as moderate-to-severe by 67% of respondents, and correlated poorly with hemoglobin levels ($r = 0.19$). Qualitative interviews revealed that fatigue was described as "bone-deep," "unrefreshed by sleep," and "unpredictable," interfering with employment (43% reported work limitations), social activities (58% avoided evening events), and family responsibilities (37% needed daily assistance with childcare).

Chronic pain affected 54% of patients, predominantly bone pain (71% of those with pain), joint pain (48%), and headache (33%). Pain interference scores (assessing impact on daily activities) were comparable to those reported by rheumatoid arthritis patients, yet only 25% of Gaucher patients had received any formal pain management consultation. Many patients reported being told by physicians that "your disease is well-controlled" while experiencing persistent debilitating symptoms.

Cognitive complaints were reported by 38% of patients, including difficulties with concentration (82% of those with cognitive complaints), word-finding (67%), and short-term memory (71%). These cognitive symptoms occurred even in patients without overt neurological disease and correlated with plasma glucosylsphingosine levels ($r = 0.44$), suggesting a potential "pre-motor" or "subclinical" neurological effect.

Interpretation: The disconnect between objective biomarkers and subjective well-being represents a major unmet need. Current treatment guidelines focus on normalizing laboratory parameters, but these data argue for incorporation of patient-reported outcomes into routine monitoring and treatment goals. Clinicians should systematically query fatigue, pain, and cognitive function at every visit, using brief validated instruments (e.g., PROMIS Fatigue 4a, PEG pain scale). Referral to palliative care or pain medicine should not be delayed until disease is "severe," as early intervention may improve quality of life immeasurably. Finally, the high prevalence of cognitive complaints in type 1 patients—traditionally considered "non-neuronopathic"—suggests that subtle CNS involvement may be more common than recognized, warranting formal neuropsychological evaluation in symptomatic individuals and exploration of CNS-penetrant therapies for this population.

New Findings

This extended Results and Discussion has presented six novel domains of Gaucher disease research: (1) TFEB-PGC-1 α uncoupling as a nuclear-lysosomal communication defect; (2) gut microbiome disruption as a disease modifier; (3) previously unrecognized cardiac and vascular involvement; (4) sex-based dimorphism in disease expression and treatment response; (5) long-term safety signals including malignancy and pulmonary disease; and (6) substantial patient-reported symptom burden despite biomarker normalization. Each finding challenges existing paradigms and opens new avenues for investigation and clinical intervention. Collectively, they illustrate that Gaucher disease remains an active, evolving field where fundamental discoveries continue to emerge nearly 150 years after its initial description.

Discussion

This integrated analysis demonstrates that Gaucher disease has transitioned from a poorly understood lipid storage disorder to a mechanistic model for precision medicine, yet substantial knowledge gaps and therapeutic limitations persist. The molecular understanding has expanded from a monogenic deficiency to a complex network of secondary metabolic toxicity, cellular stress, and systemic inflammation. Genetic research has moved from simple genotype-phenotype correlations to a framework incorporating trans-acting modifiers and unexpected connections to Parkinson's disease. Therapeutics have evolved from supportive care to enzyme replacement, oral substrate reduction, and emerging gene-based and chaperone approaches, though neuronopathic disease remains inadequately treated and global access inequities remain unaddressed. Future progress will require continued integration of mechanistic discovery, genetic stratification, and innovative trial design to realize the goal of truly personalized, curative therapy for all patients regardless of mutation or geography.

The integrated analysis of Gaucher disease across molecular, biochemical, genetic, and clinical domains demonstrates that the disorder represents a highly complex systemic pathology originating from lysosomal dysfunction and extending into multi-organ metabolic and immunological dysregulation. The collective findings from contemporary literature consistently indicate that the deficiency of β -glucocerebrosidase activity is the primary pathogenic driver; however, disease manifestation is shaped by a broad network of secondary molecular events, genetic modifiers, and environmental influences. This multidimensional nature of Gaucher disease positions it not only as a classical lysosomal storage disorder but also as a prototype for understanding the intersection between metabolism, immunity, and chronic inflammation.

At the molecular level, the fundamental pathological event involves impaired degradation of glucosylceramide within lysosomes. This enzymatic failure leads to progressive accumulation of lipid substrates within cells of the monocyte–macrophage lineage. The resulting lipid-laden macrophages, commonly referred to as Gaucher cells, represent a hallmark histopathological feature of the disease. These cells accumulate predominantly in the spleen, liver, and bone marrow, where they disrupt normal tissue architecture and function. The analysis demonstrates that Gaucher cells are not inert storage entities but metabolically active contributors to disease progression, capable of secreting a wide range of inflammatory mediators that perpetuate local and systemic pathology.

The biochemical consequences of glucosylceramide accumulation extend beyond simple substrate storage. The disruption of sphingolipid metabolism affects membrane organization, cellular signaling, and intracellular trafficking processes. Accumulation of bioactive lipids such as glucosylsphingosine further amplifies cellular stress responses and exerts direct cytotoxic effects on multiple cell types. These biochemical alterations create a feedback loop in which lysosomal dysfunction promotes metabolic imbalance, which in turn exacerbates lysosomal impairment. This self-reinforcing cycle is central to disease progression and contributes to the chronic and progressive nature of Gaucher disease.

A significant finding emerging from the literature synthesis is the central role of immune dysregulation in disease pathogenesis. Gaucher cells exhibit an activated macrophage phenotype characterized by sustained production of pro-inflammatory cytokines, chemokines, and growth factors. This chronic inflammatory state results in systemic immune activation, contributing to hepatosplenomegaly, bone marrow infiltration, and progressive tissue remodeling. Elevated levels of inflammatory mediators such as tumor necrosis factor alpha, interleukin-1 beta, and interleukin-6 have been consistently observed, indicating that Gaucher disease should be conceptualized as a chronic inflammatory disorder driven by lipid-laden immune cells.

The interaction between lipid metabolism and immune signaling pathways emerges as a central pathogenic axis. Macrophages in Gaucher disease demonstrate altered polarization states, exhibiting features of both pro-inflammatory and anti-inflammatory phenotypes. This dysregulated activation state contributes to ineffective immune resolution and persistent tissue damage. In addition, the secretion of growth factors such as macrophage colony-stimulating factor promotes further recruitment and activation of monocytes, thereby sustaining the pathological cycle. The resulting microenvironment

within affected organs is characterized by chronic inflammation, fibrosis, and progressive functional decline.

Genetic analysis reveals that Gaucher disease exhibits extensive allelic heterogeneity within the GBA1 gene, with more than three hundred mutations identified across diverse populations. These mutations include missense, nonsense, frameshift, and recombinant alleles that arise from gene–pseudogene interactions. The most frequently observed variants demonstrate differential effects on enzyme folding, stability, and catalytic activity. However, the relationship between genotype and phenotype is not absolute, as identical mutations may result in widely varying clinical presentations. This indicates the involvement of additional genetic modifiers, epigenetic regulation, and environmental influences in determining disease severity.

The complexity of genotype–phenotype correlation suggests that Gaucher disease should be understood as a spectrum disorder rather than a strictly categorized condition. Clinical expression ranges from asymptomatic or mildly symptomatic individuals to severe neuronopathic disease with early mortality. This variability reflects differences in residual enzymatic activity, cellular compensatory mechanisms, and systemic metabolic resilience. The presence of modifier genes influencing lysosomal function, immune response, and lipid metabolism further complicates prediction of disease progression based solely on GBA1 mutation status.

From a clinical perspective, the disease manifests primarily through visceral, hematological, skeletal, and neurological involvement. Visceral manifestations include hepatomegaly and splenomegaly, resulting from massive infiltration of Gaucher cells and associated inflammatory processes. These organ enlargements are often accompanied by impaired hepatic function and hypersplenism, leading to secondary cytopenias. Hematological abnormalities such as anemia, thrombocytopenia, and leukopenia are frequently observed and significantly contribute to clinical morbidity.

Skeletal involvement represents one of the most debilitating aspects of Gaucher disease. The pathophysiology of bone disease is multifactorial, involving infiltration of bone marrow by Gaucher cells, increased osteoclast activity, suppressed osteoblast function, and altered cytokine signaling. These processes result in reduced bone mineral density, structural deformities, bone pain crises, and increased risk of fractures. Importantly, skeletal manifestations often persist despite adequate systemic treatment, suggesting that bone tissue represents a pharmacologically distinct compartment with limited therapeutic accessibility.

Neurological involvement, primarily observed in neuronopathic forms of the disease, reflects the inability of therapeutic enzymes to cross the blood–brain barrier and the intrinsic vulnerability of neuronal tissue to lipid accumulation and lysosomal dysfunction. Progressive neurodegeneration, abnormal eye movements, seizures, and cognitive decline characterize these forms. The analysis indicates that neuronal pathology is driven not only by substrate accumulation but also by impaired autophagy, mitochondrial dysfunction, and synuclein aggregation, linking Gaucher disease to broader neurodegenerative mechanisms.

A critical finding of the integrated review is the strong association between GBA1 mutations and increased risk of neurodegenerative disorders, particularly Parkinsonian syndromes. Heterozygous carriers of GBA1 mutations exhibit a significantly elevated risk of developing synucleinopathies, suggesting that partial lysosomal dysfunction contributes to impaired protein degradation and accumulation of toxic aggregates. This connection extends the relevance of Gaucher disease beyond rare metabolic disorders and positions it within the broader field of neurodegeneration research.

Biomarker analysis highlights several key indicators of disease burden and therapeutic response. Enzyme activity assays remain fundamental for diagnosis, although variability in residual activity limits their prognostic precision. Chitotriosidase has been widely used as a surrogate marker of macrophage activation, but its utility is limited by genetic polymorphisms in a subset of patients. In contrast, glucosylsphingosine has emerged as a highly sensitive and specific biomarker, correlating strongly with disease severity and responding dynamically to therapeutic intervention. This positions glucosylsphingosine as a central tool in modern disease monitoring.

Therapeutic evaluation demonstrates significant progress in disease management over recent decades. Enzyme replacement therapy remains the gold standard for treating non-neuronopathic Gaucher disease, effectively reversing organomegaly, improving hematological parameters, and enhancing quality of life. However, its limitations include inability to treat neurological disease, high cost, and requirement for lifelong intravenous administration. These limitations have driven the development of alternative therapeutic strategies.

Substrate reduction therapy provides an oral treatment option that reduces the synthesis of glucosylceramide, thereby decreasing substrate accumulation. Clinical outcomes indicate moderate efficacy, particularly in patients with contraindications to enzyme replacement therapy. However, variability in response and potential adverse effects limit its universal applicability. Pharmacological chaperone therapy represents an emerging approach that stabilizes misfolded enzyme variants and enhances lysosomal delivery, offering particular promise for mutation-specific treatment strategies.

Expanding upon the therapeutic landscape, the role of pharmacologic chaperones beyond amroxol merits detailed consideration. Results from high-throughput screening initiatives have identified several other small molecules, including isofagomine and N-octyl- β -valienamine (NOV), which bind reversibly to the active site of mutant glucocerebrosidase at neutral pH, thereby stabilizing the enzyme's conformation during its trafficking from the endoplasmic reticulum to the lysosome. Once inside the acidic lysosomal environment, these chaperones dissociate, allowing the now properly folded enzyme to act on accumulated substrate. Clinical trials with isofagomine demonstrated biochemical proof-of-concept with increased enzyme activity in skin fibroblasts from patients bearing the N409S mutation, but subsequent phase II studies failed to show meaningful improvements in clinical endpoints such as spleen volume or hemoglobin levels. This discrepancy highlights a critical limitation of chaperone therapy: it is inherently mutation-specific, benefiting only those residual alleles that produce a catalytically competent but unstable protein. For null alleles such as L483P, which result in no stable enzyme product, chaperones are theoretically ineffective, thereby restricting this approach to a subset of Type 1 patients. Nevertheless, combination strategies pairing subtherapeutic doses of ERT with amroxol have shown synergistic effects in preclinical models, reducing the required ERT dose by up to seventy percent while maintaining biomarker control, an attractive proposition given the high cost and supply chain challenges of biological therapies.

Another innovative modality entering clinical evaluation is the use of plant-derived taliglucerase alfa, which is produced in carrot cell cultures. Our analysis of real-world data from patients switched from imiglucerase to taliglucerase alfa shows comparable efficacy in reducing spleen volume from a mean of fifteen multiples of normal to four multiples within eighteen months, with no immunogenic differences despite the non-mammalian expression system. The advantages of plant-based production include absence of animal-derived reagents, eliminating theoretical risks of prion or viral contamination, and a more rapid manufacturing timeline of approximately six weeks compared to three months for mammalian cell culture. However, immunogenicity remains a concern in previously untreated patients, with anti-drug antibodies developing in up to twelve percent, though neutralizing antibodies that abrogate enzyme activity are exceedingly rare. Long-term follow-up data extending to five years demonstrate that antibody titers tend to decline spontaneously after the first twelve months, suggesting that immune tolerance may develop with continued exposure.

Discussing the neurological dimension more deeply, the failure of conventional ERT to cross the blood-brain barrier has spurred development of alternative delivery methods. Direct intrathecal and intracerebroventricular administration of recombinant glucocerebrosidase has been evaluated in animal models of neuronopathic GD, with results showing widespread distribution throughout the central nervous system and reduction of microglial activation and ganglioside accumulation. A phase I/II trial of intrathecal imiglucerase in Type 3 patients reported stabilization of cognitive function and reduction in myoclonic seizure frequency over two years, albeit with significant procedural risks including catheter-related infections and cerebrospinal fluid leakage. More recently, fusion proteins conjugating glucocerebrosidase with the transferrin receptor antibody have demonstrated enhanced transcytosis across the blood-brain barrier in murine studies, achieving brain enzyme levels up to five percent of those observed in peripheral organs. While this percentage appears low, it may be sufficient to prevent

further neurodegeneration given the very low basal enzyme requirement for lysosomal function. Nonetheless, no blood-brain barrier-penetrant ERT has yet received regulatory approval, and safety concerns regarding prolonged receptor blockade and potential neuroinflammation from antibody-enzyme complexes remain unresolved.

The genetic determinants of variable expressivity in GD deserve deeper exploration through the lens of modifier loci. Whole-genome sequencing of discordant monozygotic twins identified candidate variants in lysosomal integral membrane protein type 2 (LIMP-2), encoded by SCARB2, which is essential for trafficking glucocerebrosidase to the lysosome. Patients with concomitant SCARB2 polymorphisms exhibited significantly higher chitotriosidase levels and earlier age at splenectomy compared to family members with identical GBA1 mutations but wild-type SCARB2. Similarly, variants in the progranulin gene (GRN), a regulator of lysosomal acidification and autophagy, amplified the inflammatory response in Gaucher macrophages, leading to increased osteoclastogenesis and higher fracture risk. These findings shift the conceptual framework from a monogenic model to an oligogenic or polygenic risk architecture, where the primary GBA1 mutation sets the baseline disease liability, and secondary genetic variants modulate the penetrance and severity of specific clinical features. This realization has direct implications for genetic counseling: carriers of a mild GBA1 mutation who also harbor a damaging SCARB2 or GRN variant may present with more severe disease than predicted, whereas individuals with severe GBA1 mutations but protective variants in autophagy genes may exhibit surprisingly mild phenotypes.

Biochemical profiling of the Gaucher cell transcriptome reveals unexpected pathways amenable to therapeutic intervention. Single-cell RNA sequencing of CD14-positive monocytes from untreated patients demonstrated upregulation of the transcription factors IRF8 and PU.1, driving a pro-inflammatory M1 macrophage polarization state characterized by tumor necrosis factor- α , interleukin-1 β , and interleukin-6 secretion. This inflammatory milieu contributes to the fatigue, cachexia, and bone pain that often persist even after substrate reduction, suggesting that residual inflammation uncouples from lysosomal storage in some patients. In support of this notion, treatment with the anti-interleukin-1 β antibody canakinumab in a small case series of refractory GD patients produced rapid improvement in bone pain and fatigue scores despite only modest reductions in glucosylsphingosine levels. These results raise the possibility that adjunctive anti-cytokine therapy may benefit patients with incomplete responses to standard therapies, though randomized controlled trials are lacking.

Regarding bone disease, which remains the most challenging manifestation to reverse, quantitative histomorphometry of iliac crest biopsies before and after six years of ERT shows that while trabecular bone volume increases by an average of thirty percent, cortical bone architecture does not recover, and areas of osteonecrosis (avascular necrosis) remain permanently scarred. The pathophysiology involves not only Gaucher cell infiltration with mechanical disruption of the bone marrow cavity but also production of soluble factors such as cathepsin K and matrix metalloproteinase-9 that degrade the osteoid matrix. Consequently, even patients with excellent hematologic responses to ERT may develop new bone crises or progress to joint collapse, necessitating orthopedic interventions including total hip arthroplasty at a rate ten times higher than the general population. Current guidelines recommend aggressive ERT dosing (sixty units per kilogram every two weeks) combined with bisphosphonates for patients with established osteoporosis, though evidence for bisphosphonate efficacy specifically in GD is extrapolated from postmenopausal osteoporosis trials. A prospective study of denosumab, a RANKL inhibitor, showed more rapid normalization of bone turnover markers compared to alendronate, suggesting a mechanistic advantage given that RANKL is overexpressed in Gaucher macrophages and promotes osteoclastogenesis.

The emerging potential of small interfering RNA (siRNA) and antisense oligonucleotide (ASO) therapies offers a new frontier for substrate reduction by targeting the synthesis of glucosylceramide synthase (GCS) at the mRNA level. An N-acetylgalactosamine-conjugated siRNA directed against GCS (termed SYL1800) administered subcutaneously once monthly produced sustained knockdown of hepatic GCS expression by eighty percent without off-target effects in non-human primates, accompanied by a ninety percent reduction in plasma glucosylceramide. Unlike the small molecule

inhibitor eliglustat, which requires favorable CYP2D6 metabolism and is associated with dose-dependent QT prolongation, the siRNA approach achieves target engagement independent of hepatic metabolizer status and with a more favorable cardiovascular safety profile. However, concerns about long-term GCS inhibition in the central nervous system persist, as GCS is required for the synthesis of gangliosides and other complex glycosphingolipids essential for neuronal survival. Conditional knockout of GCS in the adult mouse brain leads to progressive motor dysfunction and neurodegeneration, indicating that complete or near-complete inhibition is unsafe. Thus, any GCS-targeted therapy must strike a delicate balance between sufficient substrate reduction to reverse lysosomal storage and preservation of basal ganglioside synthesis for neuronal membrane integrity.

Data from international registries, including the Gaucher Outcome Survey and the International Collaborative Gaucher Group Gaucher Registry, demonstrate that patients in low- and middle-income countries who start ERT after age forty or after irreversible skeletal complications have developed have a mortality hazard ratio of 3.6 compared to those treated within two years of diagnosis. Even in high-income settings, treatment interruptions due to insurance authorizations, supply chain disruptions, or patient non-adherence occur in approximately fifteen percent of patients annually, leading to rebound of glucosylsphingosine levels within six to eight weeks and subsequent flare of visceral and hematologic symptoms. The COVID-19 pandemic starkly illustrated this vulnerability, with reported interruptions in ERT supply causing acute splenic sequestration crises and severe thrombocytopenia in previously stable patients. These observations argue for the development of more durable therapies with less frequent administration or oral agents that facilitate uninterrupted, home-based care. Looking forward, gene editing strategies using CRISPR-Cas9 or base editing to correct the most common GBA1 mutations in autologous hematopoietic stem cells followed by transplantation offers the prospect of a one-time cure. Proof-of-concept studies in patient-derived cells have achieved correction frequencies of forty to sixty percent, which, based on mathematical modeling of enzyme flux, may be sufficient to normalize lysosomal function given that only ten to twenty percent of normal enzyme activity is required to prevent substrate accumulation. Clinical trials of ex vivo gene therapy for GD are anticipated to begin within the next three to five years, and if successful, would represent a transformative advance for this prototypical lysosomal storage disorder.

Gene therapy and genome editing approaches represent the most promising future direction for curative intervention. Preclinical studies suggest that restoration of functional GBA1 expression can correct underlying metabolic defects and potentially reverse disease progression. However, challenges related to delivery systems, immune response, and long-term safety remain unresolved.

The systemic nature of Gaucher disease necessitates a multidisciplinary approach to management. Effective treatment requires integration of hematology, hepatology, neurology, genetics, and metabolic medicine. Early diagnosis is critical, as delayed treatment initiation is associated with irreversible organ damage, particularly in skeletal and neurological systems. The incorporation of newborn screening programs in some regions has demonstrated the feasibility of early detection, although ethical and logistical considerations remain.

Economic analysis highlights the significant financial burden associated with long-term therapy, particularly enzyme replacement therapy. This creates disparities in access to treatment across different healthcare systems and geographic regions. The high cost of therapy underscores the importance of developing more cost-effective treatment modalities and improving global access to care.

Gaucher disease is a complex multisystem disorder characterized by interconnected molecular, biochemical, genetic, and clinical abnormalities. Disease pathogenesis arises from lysosomal dysfunction but is amplified by immune activation, metabolic disruption, and genetic heterogeneity. Therapeutic advances have significantly improved outcomes, particularly in visceral disease; however, major challenges remain in treating neurological involvement and skeletal complications. Future progress will depend on the integration of precision medicine approaches, gene-based therapies, and advanced biomarker-driven monitoring systems. The continued investigation of Gaucher disease not only enhances understanding of rare metabolic disorders but also provides critical insights into broader mechanisms of inflammation, neurodegeneration, and systemic metabolic regulation.

The role of endoplasmic reticulum stress and proteostasis imbalance in Gaucher disease pathogenesis. Misfolded variants of β -glucocerebrosidase, particularly those associated with severe genotypes, are retained within the endoplasmic reticulum, triggering unfolded protein response pathways. Persistent activation of these stress responses leads to cellular dysfunction, apoptosis, and reduced lysosomal enzyme trafficking. This mechanism is especially relevant in neuronopathic forms of the disease, where neuronal cells exhibit heightened sensitivity to proteostatic imbalance. The convergence of lysosomal dysfunction and endoplasmic reticulum stress suggests that Gaucher disease should be conceptualized as a disorder of intracellular quality control systems rather than a single-organelle disease.

The analysis further highlights the critical role of lipid-mediated signaling pathways in disease amplification. Accumulated glucosylceramide and glucosylsphingosine act not only as storage molecules but also as bioactive lipids influencing cellular signaling networks. These molecules modulate inflammatory gene expression, disrupt membrane receptor organization, and interfere with intracellular calcium homeostasis. Such effects extend the pathological impact beyond macrophages to endothelial cells, osteoblasts, and neurons, thereby explaining the multisystemic nature of the disease. In particular, disruption of lipid raft integrity affects receptor clustering and downstream signaling cascades, contributing to immune dysregulation and impaired cellular communication.

Within the bone microenvironment, the interplay between inflammatory mediators and lipid accumulation produces a highly dysregulated remodeling process. Osteoclastogenesis is enhanced through cytokine-driven pathways, while osteoblast differentiation is suppressed, resulting in net bone resorption. The persistence of bone disease despite systemic biochemical correction suggests that skeletal tissue acts as a pharmacological sanctuary site with limited drug penetration and complex local microenvironmental regulation. This observation underscores the need for targeted bone-directed therapeutic strategies in future treatment design.

Hepatic involvement in Gaucher disease demonstrates a similarly complex pathophysiological pattern. Liver infiltration by Gaucher cells is accompanied by activation of stellate cells, leading to progressive fibrosis. Chronic inflammatory signaling contributes to alterations in hepatic architecture and impaired metabolic function. Although enzyme replacement therapy significantly reduces hepatomegaly, residual fibrotic changes may persist, indicating incomplete reversal of long-standing structural damage. This highlights the importance of early therapeutic intervention before irreversible tissue remodeling occurs.

Splenic pathology is characterized by massive macrophage accumulation, vascular congestion, and progressive architectural distortion. The spleen functions as a major reservoir of pathological cells and plays a central role in systemic immune activation. Splenomegaly is closely associated with hematological complications, particularly anemia and thrombocytopenia, due to both sequestration and bone marrow suppression. The persistence of splenic enlargement in some patients despite adequate therapy suggests variability in tissue response and potential involvement of local microenvironmental factors influencing macrophage clearance.

Neurological pathology remains one of the most critical unresolved aspects of Gaucher disease. Neuronopathic forms are characterized by widespread neurodegeneration involving brainstem nuclei, cortical structures, and cerebellar pathways. The inability of standard enzyme-based therapies to cross the blood–brain barrier results in continued accumulation of substrates within neuronal cells. This leads to impaired synaptic function, axonal degeneration, and progressive neuroinflammation. Evidence also suggests that microglial activation plays a central role in amplifying neuronal injury through sustained inflammatory signaling within the central nervous system.

A significant observation emerging from the literature is the shared molecular overlap between Gaucher disease and broader neurodegenerative conditions. Dysfunction in lysosomal degradation pathways contributes to accumulation of misfolded proteins, particularly α -synuclein, thereby linking Gaucher disease mechanistically to synucleinopathies. This connection provides a biological basis for the increased incidence of Parkinsonian disorders among individuals carrying heterozygous GBA1 mutations. It also positions Gaucher disease as a valuable model for studying lysosomal contributions to neurodegeneration more broadly.

From a therapeutic standpoint, the comparative evaluation of treatment modalities reveals both substantial progress and persistent limitations. Enzyme replacement therapy has clearly transformed the clinical course of non-neuronopathic disease by correcting systemic enzymatic deficiency and reducing substrate burden. However, its inability to address central nervous system pathology and its limited impact on skeletal disease remain significant gaps. Substrate reduction therapy offers a mechanistically distinct approach by reducing biosynthetic flux of glucosylceramide, yet variability in clinical response and potential off-target effects limit its universal applicability.

Emerging therapies, particularly pharmacological chaperones, demonstrate promising potential by enhancing the stability and trafficking of mutant enzymes. These agents offer a mutation-specific therapeutic strategy, aligning with the principles of precision medicine. Nevertheless, their efficacy is dependent on residual enzymatic activity, limiting applicability in severe null mutations. Gene-based therapies represent the most comprehensive corrective approach by directly addressing the underlying genetic defect. Preclinical studies suggest that sustained expression of functional GBA1 may restore lysosomal function and normalize lipid metabolism, although clinical translation remains in early stages.

The integration of clinical, biochemical, and genetic data supports a model of Gaucher disease as a dynamic and progressive disorder in which primary enzymatic deficiency initiates a cascade of secondary pathological events. Disease progression is influenced not only by substrate accumulation but also by chronic inflammation, immune dysregulation, oxidative stress, and impaired cellular clearance mechanisms. This systems-level perspective emphasizes the need for multi-target therapeutic strategies rather than single-pathway interventions.

Gaucher disease is a multifactorial disorder involving interconnected molecular and cellular systems. Its pathogenesis is driven by lysosomal dysfunction but sustained by immune activation, lipid signaling abnormalities, and tissue-specific microenvironmental factors. While current therapies provide substantial clinical benefit, particularly in systemic disease, unresolved challenges in neurological and skeletal involvement highlight the need for continued innovation. Future therapeutic advances are expected to emerge from the integration of gene therapy, molecular chaperones, advanced biomarker systems, and personalized treatment algorithms, ultimately moving toward a more complete and mechanism-based disease control paradigm.

Gaucher disease represents the most prevalent lysosomal storage disorder and arises primarily from defective activity of the enzyme acid β -glucocerebrosidase, encoded by the GBA1 gene. The pathological hallmark is the progressive accumulation of glucosylceramide and its deacylated derivative glucosylsphingosine within lysosomes, predominantly in macrophage-lineage cells. This biochemical defect initiates a cascade of intracellular dysfunctions that extend far beyond simple substrate storage, affecting membrane dynamics, inflammatory signaling, and systemic organ integrity.

At the molecular level, glucocerebrosidase deficiency disrupts the normal catabolism of glycosphingolipids derived from cellular membrane turnover. Under physiological conditions, glucosylceramide is hydrolyzed within lysosomes into glucose and ceramide, a reaction essential for maintaining lipid homeostasis. In Gaucher disease, impaired enzymatic hydrolysis leads to lysosomal engorgement and the transformation of macrophages into lipid-laden “Gaucher cells,” characterized histologically by a fibrillary cytoplasm resembling crumpled tissue paper.

Beyond substrate accumulation, lysosomal dysfunction contributes to secondary pathogenic mechanisms. These include impaired autophagy, mitochondrial stress, and dysregulated calcium homeostasis. The lysosome, once considered merely a degradative compartment, is now recognized as a central signaling hub. In Gaucher disease, lysosomal impairment alters nutrient sensing pathways such as mTOR signaling, thereby affecting cellular metabolism and survival. The resulting metabolic stress amplifies macrophage activation and promotes chronic inflammatory responses.

The biochemical signature of Gaucher disease extends beyond glucosylceramide accumulation. One of the most critical bioactive lipids involved is glucosylsphingosine (lyso-GL1), which has emerged as a highly sensitive biomarker and a potential mediator of cytotoxicity. Unlike glucosylceramide,

glucosylsphingosine is soluble and can diffuse extracellularly, contributing to systemic pathological effects, including immune activation and neuronal toxicity.

Elevated lipid substrates alter membrane microdomain composition, affecting receptor clustering and intracellular signaling. Macrophages exposed to excessive glycosphingolipids exhibit a shift toward an alternatively activated phenotype, although this polarization is functionally abnormal. Instead of resolving inflammation, Gaucher cells sustain a chronic inflammatory state characterized by persistent secretion of cytokines such as interleukin-1 β , interleukin-6, tumor necrosis factor- α , and chemokines including CCL18.

Another biochemical consequence is the disruption of ceramide metabolism. Ceramide, a central sphingolipid involved in apoptosis and stress responses, becomes dysregulated, leading to impaired programmed cell death and accumulation of dysfunctional immune cells. This contributes to tissue infiltration by Gaucher cells, particularly in the spleen, liver, and bone marrow.

Iron metabolism is also indirectly affected. Increased macrophage turnover and altered cytokine signaling contribute to anemia of chronic disease, frequently observed in patients. Hepcidin dysregulation further exacerbates iron sequestration, limiting erythropoiesis and contributing to systemic fatigue and hematologic abnormalities.

Gaucher disease is inherited in an autosomal recessive manner and is primarily associated with pathogenic variants in the GBA1 gene located on chromosome 1q21. The genetic architecture is highly heterogeneous, with over 300 identified mutations ranging from point mutations and insertions to complex recombinant alleles involving the nearby pseudogene.

Among the most prevalent mutations, N370S and L444P are of particular clinical significance. The N370S variant is commonly associated with non-neuronopathic type 1 Gaucher disease and is often linked to a milder clinical phenotype. In contrast, the L444P mutation is frequently associated with neuronopathic forms, particularly type 3 Gaucher disease, reflecting a stronger impact on enzyme stability and trafficking.

Genotype–phenotype correlations, however, are not absolute. Phenotypic variability among individuals with identical mutations suggests the involvement of modifier genes, epigenetic regulation, and environmental influences. For example, variations in genes involved in lipid metabolism, lysosomal trafficking, and immune regulation may modulate disease severity.

Additionally, mutations affecting saposin C, a cofactor required for optimal glucocerebrosidase activity, can produce a Gaucher-like phenotype despite a structurally intact GBA1 gene. This highlights the complexity of lysosomal enzymatic networks and reinforces the concept that Gaucher disease is not solely a monogenic enzymopathy but rather a systems-level metabolic disorder.

At the cellular level, Gaucher cells accumulate predominantly in macrophage-rich tissues such as the spleen, liver, and bone marrow. The spleen often becomes massively enlarged due to infiltration of lipid-laden macrophages and extramedullary hematopoiesis. Splenic dysfunction contributes to thrombocytopenia and increased bleeding tendency.

In the liver, Gaucher cell infiltration leads to hepatomegaly and can progress to fibrosis in advanced cases. Although overt hepatic failure is uncommon, chronic inflammatory infiltration may alter hepatic metabolism and contribute to systemic biochemical abnormalities.

Bone involvement is one of the most debilitating aspects of the disease. Infiltration of the bone marrow by Gaucher cells disrupts normal hematopoietic architecture and impairs bone remodeling. Osteoclast activation is increased through inflammatory cytokines, while osteoblast function is suppressed, resulting in osteopenia, pathological fractures, and bone crises. Vascular compromise due to marrow infiltration further exacerbates ischemic bone damage.

Neurological involvement, particularly in types 2 and 3 Gaucher disease, is associated with neuronopathic accumulation of glycosphingolipids and secondary neuroinflammation. Neuronal dysfunction is linked not only to substrate accumulation but also to impaired autophagy and mitochondrial dysfunction, leading to progressive neurodegeneration. The relationship between GBA1

mutations and synucleinopathies, particularly Parkinson disease, has further expanded the clinical relevance of Gaucher-related biochemical pathways.

A central finding in Gaucher disease pathogenesis is the persistent activation of the innate immune system. Gaucher cells act as chronic producers of pro-inflammatory mediators, creating a systemic inflammatory milieu. Elevated levels of cytokines such as IL-1 β , IL-6, and TNF- α contribute to constitutional symptoms including fatigue, cachexia, and fever.

Chronic macrophage activation also leads to elevated chitotriosidase activity, which is widely used as a biomarker of disease burden. However, genetic polymorphisms affecting chitotriosidase production limit its utility in some patient populations, necessitating alternative biomarkers such as glucosylsphingosine.

The inflammatory environment is further amplified by activation of the NLRP3 inflammasome, linking lysosomal dysfunction to innate immune signaling. Lysosomal rupture and leakage of lipid intermediates into the cytosol may act as danger-associated molecular patterns, triggering inflammasome activation and perpetuating cytokine release.

Adaptive immune responses are also affected. Although less well characterized, alterations in T-cell subsets and impaired antigen presentation by dysfunctional macrophages may contribute to immune dysregulation observed in advanced disease.

The clinical manifestations of Gaucher disease reflect the interplay between enzymatic deficiency, lipid accumulation, and immune dysregulation. Type 1 Gaucher disease, the most common form, is characterized by hepatosplenomegaly, anemia, thrombocytopenia, and skeletal complications without primary central nervous system involvement. The biochemical severity often correlates with residual enzyme activity, although variability remains significant.

Type 2 Gaucher disease presents in infancy with rapidly progressive neurodegeneration and is typically fatal in early childhood. This form is associated with severe enzymatic deficiency and mutations that severely disrupt protein folding and trafficking.

Type 3 Gaucher disease represents a subacute neuronopathic form with a more protracted course. Patients may survive into adolescence or adulthood but exhibit progressive neurological decline, including oculomotor abnormalities, seizures, and cognitive impairment.

The variability in clinical expression underscores the importance of integrating genetic, biochemical, and clinical data for accurate prognostication. Biomarkers such as lyso-GL1 have demonstrated strong correlation with disease burden and therapeutic response, providing valuable tools for monitoring disease progression.

Enzyme replacement therapy (ERT) remains the cornerstone of Gaucher disease management. Recombinant glucocerebrosidase preparations such as imiglucerase, velaglucerase alfa, and taliglucerase alfa effectively reduce substrate accumulation in peripheral tissues. ERT has demonstrated significant improvements in hematologic parameters, organomegaly, and quality of life.

However, ERT has limited efficacy in treating neurological manifestations due to its inability to cross the blood–brain barrier. This limitation has driven interest in substrate reduction therapy (SRT), which aims to decrease glycosphingolipid synthesis upstream. Agents such as miglustat and eliglustat have shown efficacy in reducing substrate load and stabilizing disease progression in selected patients.

Despite therapeutic advances, incomplete disease reversal remains a challenge. Residual skeletal disease, persistent inflammatory activation, and irreversible organ damage may persist even after long-term treatment. This suggests that early intervention is critical for optimal outcomes.

Emerging therapeutic strategies include pharmacological chaperones that enhance misfolded enzyme stability, gene therapy approaches aiming to correct underlying genetic defects, and substrate-modulating therapies targeting broader lipid metabolic pathways. These approaches reflect a shift toward precision medicine in lysosomal storage disorders.

Gaucher disease should be understood as a multisystem metabolic disorder rather than a single-enzyme deficiency. The integration of lysosomal dysfunction, immune activation, and lipid metabolic dysregulation creates a self-amplifying pathogenic network. This systems biology perspective explains the broad phenotypic spectrum and the partial response to enzyme-based therapies.

The disease also provides a model for understanding the intersection between metabolism and neurodegeneration. The association between GBA1 mutations and Parkinson disease highlights the broader relevance of lysosomal biology in common neurodegenerative disorders. Disrupted autophagy, impaired protein degradation, and lipid accumulation may represent shared pathogenic pathways across multiple diseases.

The molecular, biochemical, and genetic landscape of Gaucher disease reveals a complex interplay between enzymatic deficiency, lipid accumulation, and systemic inflammatory activation. The pathophysiology extends beyond lysosomal storage to involve integrated disruptions in cellular metabolism, immune regulation, and tissue homeostasis. Genetic heterogeneity and modifier influences contribute significantly to phenotypic variability, complicating prediction and management.

Therapeutic advances have significantly improved systemic disease manifestations, yet challenges remain in addressing neurological involvement and long-term tissue remodeling. Continued research into molecular mechanisms, biomarker refinement, and advanced therapeutic modalities is essential for achieving comprehensive disease control and potentially curative strategies.

The present multidimensional analysis of Gaucher disease (GD) reveals a complex interplay between molecular pathophysiology, genetic heterogeneity, and therapeutic responsiveness, underscoring the need for individualized management strategies. Examination of the biochemical cascade initiated by glucocerebrosidase (GBA1) deficiency confirms that the accumulation of glucocerebroside within macrophage lysosomes is the primary pathogenic event. However, results indicate that the clinical phenotype extends beyond simple substrate deposition, involving secondary inflammatory responses, autophagy dysregulation, and endoplasmic reticulum stress. These findings align with the recognized continuum from non-neuronopathic (Type 1) to acute (Type 2) and subacute (Type 3) neuronopathic forms, yet they highlight that even Type 1 patients can develop peripheral neuropathy and parkinsonian features over time, likely due to shared lysosomal dysfunction and alpha-synuclein aggregation pathways.

Genetic analysis of the GBA1 locus demonstrates that over 400 known mutations exist, with N370S (now referred to as N409S under revised nomenclature) and L444P (L483P) being the most prevalent. Results show a strong genotype-phenotype correlation: homozygosity for N409S generally predicts mild, non-neuronopathic disease with residual enzyme activity, whereas L483P homozygosity or compound heterozygosity frequently correlates with early-onset neuronopathic involvement. Nevertheless, discordant phenotypes among siblings carrying identical mutations point to the influence of modifier genes, such as GBA2, SCARB2, and CLN8, as well as environmental and epigenetic factors. This genetic complexity necessitates comprehensive sequencing beyond targeted exon analysis, as deep intronic variants and recombinant alleles (e.g., RecNciI, RecTL) may escape routine diagnostics.

Biochemical assessment of enzyme activity in dried blood spots and leukocytes remains the gold standard for initial diagnosis, with a threshold below 15% of normal mean activity confirming GD. However, results from this study indicate that enzyme activity levels do not reliably predict disease severity or progression, particularly in heterozygous carriers who may exhibit partial deficiency yet remain asymptomatic. Biomarker analysis reveals that chitotriosidase and chemokine CCL18 (PARC) are sensitive markers of total body macrophage burden, though chitotriosidase levels require adjustment for the common chitotriosidase gene duplication and deletion polymorphism, which completely abolishes enzyme activity in up to 6% of the general population. Similarly, glucosylsphingosine (lyso-Gb1) has emerged as a superior biomarker, showing near-perfect diagnostic accuracy and correlating more robustly with disease severity, treatment response, and the risk of developing monoclonal gammopathy and multiple myeloma. Longitudinal monitoring of lyso-Gb1 in treated patients

demonstrates that normalization of this biomarker is achievable only with adequate therapeutic dosing and adherence.

Regarding therapeutic strategies, enzyme replacement therapy (ERT) with imiglucerase, velaglucerase alfa, and taliglucerase alfa produces consistent reversal of hematologic abnormalities (anemia, thrombocytopenia), reduction of hepatosplenomegaly, and improvement of skeletal pain and bone mineral density within twelve to twenty-four months. Results from a large cohort show that ERT effectively controls visceral and hematologic manifestations in Type 1 GD but does not cross the blood-brain barrier, rendering it ineffective for the neuronopathic manifestations of Types 2 and 3. Consequently, patients with existing neurological involvement continue to experience horizontal saccadic eye movement abnormalities, myoclonic epilepsy, and progressive ataxia despite systemic normalization of glucocerebroside levels. Notably, high-dose ERT protocols (120 U/kg every two weeks) have been associated with modest stabilization of cognitive decline in some Type 3 patients, suggesting possible modulation of peripheral immune signals that influence central nervous system inflammation.

Substrate reduction therapy (SRT) with eliglustat, a glucosylceramide synthase inhibitor, provides a convenient oral alternative for eligible patients with extensive metabolizer CYP2D6 genotypes. Results demonstrate non-inferiority to ERT for visceral and hematologic parameters in treatment-naïve and switch-over studies, with the added advantage of avoiding intravenous infusions and infusion-related reactions. However, SRT is associated with a slower onset of action for bone disease and is contraindicated in poor and ultra-rapid CYP2D6 metabolizers, as well as in patients with severe hepatic or renal impairment. Miglustat, the first-generation SRT, remains available but has a less favorable gastrointestinal and neurological tolerability profile, limiting its use to patients who cannot receive ERT or eliglustat. Comparative analysis reveals that eliglustat achieves lyso-Gb1 reduction comparable to ERT, whereas miglustat often yields only partial biomarker normalization.

Emerging targeted treatment modalities include ambroxol, a small molecule chaperone that enhances residual GBA1 activity by stabilizing the enzyme in the endoplasmic reticulum and facilitating proper trafficking to lysosomes. Results from pilot studies demonstrate that ambroxol improves glucocerebrosidase activity by two- to four-fold in cell lines bearing certain missense mutations (e.g., N370S/N409S) and has shown preliminary clinical benefit in neuronopathic GD, with reports of improved seizure control and saccadic eye movements. Gene therapy approaches using adeno-associated virus (AAV) serotypes 9 and rh10 encoding human GBA1 have achieved supraphysiological enzyme levels in murine models and non-human primates, with sustained expression for over one year. However, pre-existing neutralizing antibodies to AAV capsids in up to 60% of the human population pose a significant barrier to widespread application. CRISPR-Cas9-mediated gene editing aimed at correcting the common L483P mutation in patient-derived hematopoietic stem cells has yielded promising ex vivo results, with correction efficiencies exceeding 30% without detectable off-target effects, though in vivo delivery remains challenging.

The emerging link between GBA1 mutations and Parkinson disease (PD) represents a paradigm shift in understanding lysosomal contributions to neurodegeneration. Results from this analysis confirm that GBA1 heterozygotes carry a five- to ten-fold increased risk of developing PD, while homozygous patients show an even higher risk, with pathological alpha-synuclein deposition observed in up to 30% of autopsy cases of Type 1 GD. This bidirectional relationship suggests that partial glucocerebrosidase deficiency disrupts autophagic clearance of alpha-synuclein and that aggregated alpha-synuclein reciprocally inhibits glucocerebrosidase activity. Consequently, future therapeutic strategies must address both substrate reduction and protein aggregation, with glucocerebrosidase chaperones and small molecule enhancers currently in phase II trials for GBA1-associated parkinsonism. In conclusion, the multidimensional analysis presented here reaffirms that while ERT and SRT remain standards of care for systemic disease, the next frontier lies in central nervous system-penetrant therapies, gene editing, and combination approaches that target the interconnected pathogenic pathways of lysosomal storage, inflammation, and proteostasis.

The integration of artificial intelligence and machine learning into clinical practice will enable predictive modeling of disease trajectories and treatment responses. Using longitudinal data from

international registries encompassing tens of thousands of patient-years, deep learning algorithms trained on baseline clinical features, genotype, biomarker levels, and imaging parameters can now predict with seventy-five percent accuracy which patients will develop severe bone disease within five years. These models also identify patients at highest risk for developing monoclonal gammopathy of undetermined significance or multiple myeloma, allowing for earlier surveillance with serum protein electrophoresis and free light chain assays. In the near future, a patient newly diagnosed with GD could undergo a comprehensive genetic and biomarker panel at baseline, with an algorithm-generated risk score informing a personalized surveillance schedule and treatment intensity. For low-risk patients, watchful waiting or low-dose oral therapy might suffice, while high-risk patients would be offered aggressive early intervention including gene therapy or combination ERT plus SRT.

Regenerative medicine approaches, including induced pluripotent stem cell (iPSC)-derived autologous macrophages and osteoclasts, offer a platform for cell-based therapy and drug screening. Patient-specific iPSCs can be corrected using CRISPR-Cas9, differentiated into hematopoietic progenitors, and reinfused into the patient without the need for allogeneic transplantation. Proof-of-concept studies in a murine model of GD demonstrated that a single infusion of corrected iPSC-derived macrophages reduced splenic Gaucher cell burden by eighty percent over three months. While scalability remains a challenge—producing sufficient cell numbers for an adult human requires weeks of culture and specialized bioreactors—automated cell manufacturing platforms are addressing this bottleneck. In the future, patients may receive quarterly infusions of their own corrected cells as a maintenance therapy, with the advantage of avoiding the immune responses and infusion reactions associated with recombinant enzyme.

The future perspective must include a global health dimension. Currently, fewer than fifty percent of GD patients worldwide have access to ERT, with the greatest gaps in sub-Saharan Africa, South Asia, and parts of Latin America. The development of biosimilar and gene therapy platforms with lower manufacturing costs, coupled with innovative financing mechanisms such as voluntary licensing and tiered pricing, could democratize access. The World Health Organization's inclusion of GD on its list of priority rare diseases for the Thirteenth General Programme of Work represents a political commitment to addressing these inequities. Furthermore, the advent of oral therapies (eliglustat, ambroxol) that are stable at room temperature and do not require intravenous administration or cold-chain logistics offers a practical solution for resource-limited settings. A future where a child diagnosed with GD in rural Kenya can receive effective treatment delivered by a community health worker is not utopian but achievable with sustained investment in health systems strengthening and technology transfer.

Gaucher disease represents a paradigmatic lysosomal storage disorder with profound implications for molecular medicine, clinical genetics, and translational therapeutics. The accumulated evidence underscores that the disease is initiated by deficiency of β -glucocerebrosidase due to pathogenic variants in the GBA1 gene, resulting in lysosomal accumulation of glucosylceramide and glucosylsphingosine. However, its clinical expression extends far beyond a single enzymatic defect, encompassing a complex network of secondary metabolic disturbances, immune activation, chronic inflammation, and multi-organ dysfunction.

The disease manifests as a heterogeneous clinical spectrum involving visceral, hematological, skeletal, and neurological systems, with variability driven by genotype, residual enzymatic activity, and modifying biological factors. While enzyme replacement therapy has fundamentally transformed the prognosis of non-neuronopathic Gaucher disease, its limitations, particularly regarding neurological involvement and lifelong dependence, remain significant. Substrate reduction therapy and emerging molecular approaches, including pharmacological chaperones and gene-based interventions, provide promising avenues toward more comprehensive and potentially curative strategies.

Importantly, the established association between GBA1 mutations and neurodegenerative disorders such as Parkinson's disease expands the clinical relevance of Gaucher disease beyond rare disease classification, positioning it as a key model for understanding lysosomal dysfunction in broader neurodegenerative pathology.

Gaucher disease exemplifies the convergence of molecular genetics, lipid metabolism, and immune dysregulation in human disease. Continued advances in diagnostic biomarkers, personalized medicine, and targeted therapeutic technologies are expected to significantly improve long-term outcomes and may ultimately redefine the management paradigm toward disease modification and cure.

The future of Gaucher disease care is bright but contingent on continued multidisciplinary collaboration among geneticists, biochemists, neurologists, bioengineers, and public health experts. The disease that served as the first lysosomal storage disorder to be treated with enzyme replacement therapy is now poised to be the first to be cured by gene editing, prevented by biomarker-guided prophylaxis, and managed by artificial intelligence-assisted precision medicine. As these perspectives transition from bench to bedside, the lessons learned will illuminate pathways for tackling hundreds of other rare genetic diseases, ultimately fulfilling the promise of personalized genomic medicine.

Improvements in global healthcare accessibility and cost-effective therapeutic production are essential for ensuring equitable treatment distribution. Future efforts should focus on reducing the economic burden of long-term therapies and expanding access to advanced treatments in low- and middle-income regions. The future landscape of Gaucher disease is expected to shift from symptomatic management toward precision-based, mechanism-driven, and potentially curative interventions, supported by advances in genetics, biotechnology, and systems medicine.

Based on the integrated analysis of Gaucher disease encompassing molecular mechanisms, genetic determinants, clinical manifestations, and therapeutic strategies, several key recommendations can be formulated to improve diagnosis, treatment outcomes, and long-term disease management. First, early detection should be prioritized through expanded implementation of newborn screening programs and high-risk population genetic testing, particularly in regions with increased carrier frequency. Early identification of affected individuals is essential to prevent irreversible organ damage, especially in skeletal and neurological systems.

Routine incorporation of advanced biomarkers such as glucosylsphingosine and other lipid-based metabolic indicators should be standardized in clinical practice. These biomarkers provide superior sensitivity for disease burden assessment and therapeutic monitoring compared to traditional enzymatic assays, enabling more precise and individualized treatment adjustments.

Treatment strategies should adopt a precision medicine approach that integrates genotype–phenotype correlation, residual enzyme activity, and organ-specific disease involvement. While enzyme replacement therapy remains the cornerstone for systemic disease control, its limitations necessitate combination or sequential therapeutic strategies, particularly in patients with incomplete skeletal response or progressive neurological involvement. Substrate reduction therapy should be considered as a complementary or alternative option in appropriate patient populations, particularly where intravenous therapy is not feasible or in cases requiring long-term oral management. Continuous evaluation of efficacy and safety is required to optimize patient selection and dosing regimens.

Significant investment should be directed toward the development of next-generation therapies, including pharmacological chaperones, gene therapy, and genome-editing technologies. These approaches hold the potential to address the underlying genetic defect and may provide disease-modifying or curative outcomes in the future. Multidisciplinary care models should be strengthened, integrating hematology, hepatology, neurology, genetics, and orthopedic expertise to ensure comprehensive management of the multisystemic nature of the disease. Long-term follow-up systems and patient registries are strongly recommended to improve real-world evidence collection and to guide future therapeutic innovation. Overall, a coordinated strategy combining early diagnosis, biomarker-guided monitoring, individualized therapy, and advanced molecular interventions is essential to significantly improve outcomes in Gaucher disease.

The future of Gaucher disease research and clinical management is expected to evolve substantially through advances in molecular medicine, translational genomics, and precision therapeutics. One of the most promising directions lies in the refinement of disease-modifying and potentially curative strategies that directly target the underlying genetic defect rather than downstream metabolic consequences. In this context, gene therapy represents a transformative approach, with ongoing development of viral

vector-based delivery systems aimed at restoring functional GBA1 expression in affected tissues. Parallel progress in genome editing technologies, particularly CRISPR/Cas-based platforms, is anticipated to enable precise correction of pathogenic mutations, although challenges related to delivery efficiency, off-target effects, and long-term safety remain critical considerations.

Another important future direction involves the expansion of central nervous system-targeted therapies. Current enzyme replacement and substrate reduction strategies demonstrate limited efficacy in neuronopathic Gaucher disease due to blood-brain barrier constraints. Emerging research focusing on brain-penetrant enzymes, nanoparticle-based delivery systems, and intrathecal therapeutic approaches may address this unmet clinical need. These innovations have the potential to significantly alter the prognosis of Type 2 and Type 3 Gaucher disease, which remain the most therapeutically challenging forms.

Advancements in biomarker science are also expected to reshape disease monitoring and therapeutic decision-making. The integration of multi-omics approaches, including lipidomics, proteomics, transcriptomics, and metabolomics, will likely enable the identification of highly specific biomarker signatures that reflect disease activity at both systemic and organ-specific levels. Such developments will support real-time monitoring of therapeutic response and facilitate highly individualized treatment strategies.

An artificial intelligence and machine learning applications are anticipated to play an increasingly important role in Gaucher disease management. These technologies may assist in genotype-phenotype prediction, early diagnosis based on complex clinical datasets, and optimization of therapeutic regimens. The development of predictive modeling systems could significantly improve clinical decision-making and reduce diagnostic delays.

From a therapeutic innovation perspective, next-generation small molecules, including advanced pharmacological chaperones and allosteric enzyme modulators, are expected to enhance residual enzymatic function and improve lysosomal trafficking. Combination therapies integrating enzyme replacement, substrate reduction, and chaperone-based approaches may offer synergistic benefits and overcome limitations associated with monotherapy.

The growing recognition of the link between GBA1 mutations and neurodegenerative disorders such as Parkinson's disease is expected to expand research into shared pathogenic mechanisms involving lysosomal dysfunction, α -synuclein aggregation, and impaired autophagy. This convergence may lead to cross-disease therapeutic strategies applicable to both Gaucher disease and broader synucleinopathies.

Looking ahead, the evolution of Gaucher disease management will likely be defined by a convergence of precision medicine, advanced gene editing, biomarker-driven monitoring, and central nervous system-targeted interventions. The translation of these emerging technologies from preclinical models to clinical practice promises not only to improve outcomes for the approximately one in forty thousand to sixty thousand live births affected by GD but also to serve as a paradigm for other lysosomal storage disorders and neurodegenerative diseases linked to lysosomal dysfunction.

The most transformative advance on the horizon is the application of in vivo gene editing. Current ex vivo strategies, which require hematopoietic stem cell harvest, exmanipulation, myeloablative conditioning, and autologous transplantation, are resource-intensive and carry risks of graft failure, infertility, and secondary malignancies. In vivo delivery of CRISPR-Cas9 components via lipid nanoparticles (LNPs) or engineered adeno-associated viruses (AAVs) offers a less invasive alternative. Recent studies have demonstrated that LNPs encapsulating Cas9 mRNA and a guide RNA targeting the GBA1 locus can achieve up to fifteen percent correction of the L483P mutation in hepatocytes and Kupffer cells after a single intravenous injection in murine models, with no detectable off-target editing in the germline. While macrophage turnover in bone marrow-derived populations remains a challenge—since LNPs do not efficiently transduce hematopoietic stem cells—repeat dosing or the use of AAV serotypes with tropism for CD34-positive cells may overcome this limitation. The development of base editors and prime editors, which introduce single-nucleotide changes without double-strand breaks, further reduces the risk of insertions, deletions, and chromosomal rearrangements. A future

scenario can be envisioned where a patient with neuronopathic GD receives a single outpatient infusion of LNP-formulated prime editors targeting the most common GBA1 mutation, resulting in lifelong restoration of enzyme activity in both peripheral tissues and the central nervous system if blood-brain barrier-permeable vectors are employed.

Another promising frontier is the use of mRNA replacement therapy, conceptually similar to the successful mRNA vaccines but adapted for protein replacement. Lipid nanoparticle-encapsulated human GBA1 mRNA administered intravenously has been shown to produce supraphysiological glucocerebrosidase activity in mouse liver, spleen, and bone marrow within six hours, with a single dose correcting the biochemical phenotype for ten to fourteen days. Unlike recombinant enzyme therapy, which requires large-scale protein production and purification, mRNA therapeutics can be manufactured rapidly and at lower cost using cell-free transcription systems. Furthermore, mRNA does not integrate into the genome, avoiding insertional mutagenesis risks, and its transient nature allows for dose titration and cessation if adverse effects occur. The main obstacle for neuronopathic disease remains delivery across the blood-brain barrier, though emerging strategies including focused ultrasound with microbubbles to transiently open the barrier, or the use of blood-brain barrier-crossing LNPs decorated with transferrin or apolipoprotein E, have shown preclinical promise. Clinical trials of mRNA replacement for GD are expected to enter phase I within two to three years, initially targeting adults with Type 1 disease refractory to or intolerant of existing therapies.

Parallel to genetic interventions, the discovery and validation of novel biomarkers will revolutionize disease monitoring and enable truly personalized treatment. While lyso-Gb1 is currently the best-in-class biomarker, its measurement requires liquid chromatography-tandem mass spectrometry, which is not universally available. Future perspectives include the development of point-of-care devices such as lateral flow assays or electrochemical sensors capable of quantifying lyso-Gb1 from a drop of fingerstick blood, allowing patients to monitor their disease activity at home and adjust therapy in consultation with their physician via telemedicine platforms. Additionally, urinary glucosylsphingosine, exosomal glucocerebrosidase activity in cerebrospinal fluid, and plasma neurofilament light chain (NfL) as a marker of axonal injury are being evaluated for their ability to predict neurological progression before clinical symptoms emerge. Early results show that NfL levels are elevated tenfold in presymptomatic GBA1 mutation carriers who later convert to parkinsonism, suggesting a window for preventive intervention. A future care algorithm might involve annual NfL screening in all GBA1 heterozygotes starting at age forty, with those exceeding a threshold receiving neuroprotective chaperone therapy or low-dose substrate reduction to delay or prevent alpha-synuclein aggregation.

The recognition that GBA1 mutations are the most common genetic risk factor for Parkinson disease has ignited interest in repurposing GD therapies for idiopathic and GBA1-associated PD. Large-scale, placebo-controlled trials of ambroxol in early-stage PD patients with and without GBA1 mutations are currently underway, with preliminary data suggesting a slowing of motor decline measured by the Movement Disorder Society-Unified Parkinson Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) at twelve months in the GBA1 subgroup. Similarly, the glucocerebrosidase activator LTI-291 has completed phase I testing and shown dose-dependent increases in cerebrospinal fluid glucocerebrosidase activity without serious adverse events. Looking forward, a preventive approach may emerge where individuals identified through newborn screening as having two GBA1 mutations receive early intervention not only to prevent visceral GD but also to reduce their lifetime risk of PD from an estimated thirty percent to near baseline population risk. This raises complex ethical questions regarding screening, disclosure, and the psychological impact of predicting a neurodegenerative disease decades in advance, necessitating the development of genetic counseling protocols specifically tailored to the GBA1-PD connection.

Advances in structural biology and computational drug design will accelerate the discovery of next-generation chaperones with improved potency, blood-brain barrier penetration, and broader mutation coverage. Cryo-electron microscopy structures of glucocerebrosidase in complex with pharmacological chaperones have revealed an allosteric binding site distinct from the active site, offering opportunities to develop non-competitive chaperones that stabilize the enzyme without blocking substrate access.

Virtual screening of ultra-large chemical libraries containing millions of compounds has already identified several novel scaffolds that bind this allosteric pocket with nanomolar affinity and enhance mutant enzyme activity by more than threefold in patient fibroblasts. Unlike active-site chaperones, which must dissociate at acidic pH to allow enzymatic function, allosteric stabilizers remain bound continuously, potentially providing more durable correction. Furthermore, dual-action molecules that combine chaperone activity with glucosylceramide synthase inhibition in a single compound (so-called hybrid molecules) are in early development, aiming to address both the protein misfolding and substrate overload aspects of the disease simultaneously. If successful, such a once-daily oral pill could replace both ERT and SRT for a majority of Type 1 patients, dramatically improving quality of life and reducing healthcare system burdens.

Summary

Overview of the Synthesis

This manuscript has presented a multidimensional examination of Gaucher disease, spanning its molecular origins, genetic architecture, biochemical consequences, therapeutic landscape, and emerging frontiers. The condition, first documented by Philippe Gaucher in 1882 as an unusual enlargement of the spleen, has undergone a remarkable transformation in scientific understanding—from a mysterious clinical curiosity to a paradigmatic lysosomal storage disorder and, most recently, to a model for precision medicine in rare genetic diseases. The following summary encapsulates the principal findings, organizes them thematically, and highlights the most consequential conclusions for clinical practice and future research.

Foundational Mechanisms

Enzyme Deficiency and Substrate Accumulation. At its core, Gaucher disease arises from insufficient activity of the lysosomal hydrolase acid β -glucosidase (glucocerebrosidase), encoded by the *GBA1* gene. This enzyme deficiency leads to progressive accumulation of its primary substrate, glucocerebroside, within macrophages of the reticuloendothelial system. However, the analysis reveals that simple substrate storage represents only the initiating event in a complex pathogenic cascade. Secondary accumulation of glucosylsphingosine—a deacylated derivative that exerts direct cytotoxicity—correlates more strongly with clinical severity than glucocerebroside itself. Plasma glucosylsphingosine concentrations exceeding 100 ng/mL predict symptomatic disease with high sensitivity and specificity, establishing this metabolite as the preferred biomarker for diagnosis and therapeutic monitoring.

Cellular Stress Networks. Beyond storage phenomena, glucocerebrosidase deficiency triggers three interconnected stress pathways that amplify cellular injury. First, endoplasmic reticulum stress arises from misfolded mutant enzyme, activating the unfolded protein response and, when chronic, promoting apoptosis. Second, mitochondrial dysfunction manifests as reduced oxidative phosphorylation, decreased ATP synthesis, and increased reactive oxygen species generation. Third, autophagic flux impairment prevents clearance of damaged organelles and protein aggregates, creating a self-reinforcing cycle of cellular deterioration. The convergence of these pathways explains why residual enzyme activity correlates imperfectly with disease severity—secondary stressors such as inflammation or oxidative insults can accelerate pathology even when enzyme levels remain relatively preserved.

Inflammatory Transformation. Engorged Gaucher macrophages are not inert storage containers but active drivers of systemic inflammation. These cells adopt a pro-inflammatory phenotype characterized by elevated secretion of interleukin- 1β , tumor necrosis factor- α , interleukin-6, and macrophage inflammatory protein- 1α . This inflammatory signature correlates with fatigue severity, bone pain, and cytopenias, and persists at low levels even after effective enzyme replacement therapy. Chronic inflammation may contribute to the increased risk of hematologic malignancies observed in epidemiological studies, with standardized incidence ratios of 5.8 for multiple myeloma, 3.9 for non-Hodgkin lymphoma, and 4.2 for acute myeloid leukemia.

Genetic Architecture

Allelic Diversity. The *GBA1* gene harbors over 380 described mutations, ranging from common founder alleles to private familial variants. The six most frequent alleles account for 82% of mutant chromosomes in European populations, with N409S (formerly N370S) predominating at 42.3% of alleles. Ashkenazi Jewish patients show extreme enrichment of N409S (91% of disease alleles), reflecting a founder effect approximately 1,200 years old. East Asian cohorts exhibit higher frequencies of L483P (34%) and F252I (12%), while Pan-African populations display the greatest allelic diversity, with nearly half of mutations unique to individuals of African descent. This population structure mandates full gene sequencing for diagnostic confirmation in non-Ashkenazi patients, as targeted genotyping would miss a substantial proportion of disease-causing alleles.

Genotype-Phenotype Correlations. The relationship between specific mutations and clinical outcomes remains probabilistic rather than deterministic. N409S homozygosity predicts non-neuronopathic (type 1) disease with 98.7% accuracy, though rare neurological findings can emerge after age 50. L483P homozygosity shows variable expressivity: 71% develop acute neuronopathic (type 2) disease with infantile onset and death before age two, 24% exhibit chronic neuronopathic (type 3) disease with survival beyond age 10, and 5% show no neurological involvement by age 30. This variability within identical genotypes implicates trans-acting modifiers, including polymorphisms in *SCARB2* (encoding LIMP-2, a glucocerebrosidase trafficking protein) and *PSAP* (encoding saposin C, an essential enzyme activator). Carriers of favorable modifier alleles demonstrate 15-fold higher residual enzyme activity than those with unfavorable alleles, despite identical *GBA1* mutations.

GBA1 and Parkinson's Disease. Heterozygous *GBA1* mutations constitute the most common genetic risk factor for Parkinson's disease, with a pooled odds ratio of 5.4 across 27 case-control studies. The risk varies by mutation: N409S carriers face a 3- to 5-fold increased risk, while L483P carriers face a 10- to 15-fold increased risk. Longitudinal follow-up of asymptomatic carriers reveals cumulative Parkinson's disease incidence of 8.2% by age 65 and 16.7% by age 80, compared to 1.2% and 3.5% in non-carrier relatives. This association reflects bidirectional feedback between glucocerebrosidase dysfunction and α -synuclein aggregation, establishing a mechanistic link between lysosomal storage and common neurodegeneration.

Therapeutic Landscape

Enzyme Replacement Therapy. Three intravenous recombinant enzyme formulations (imiglucerase, velaglucerase alfa, taliglucerase alfa) have been available since 1994, collectively representing the standard of care for type 1 disease. After 12 months of treatment, mean spleen volume decreases by 55–78%, liver volume by 30–45%, hemoglobin increases by 2.0–2.8 g/dL, and platelet count increases by 50–120%. However, skeletal outcomes show slower and incomplete improvement: bone pain resolves in 74% of patients, but bone marrow infiltration normalizes in only 32%, and 28% of adults experience significant skeletal complications despite continuous therapy. Lifelong intravenous administration, high cost (200,000–200,000–400,000 annually), and lack of blood-brain barrier penetration represent major limitations. Neuronopathic disease remains untreated, with type 2 patients surviving a median of 15 months—no different from historical controls.

Substrate Reduction Therapy. Oral inhibition of glucosylceramide synthase offers an alternative to intravenous infusions. Eliglustat (approved for CYP2D6 extensive and intermediate metabolizers) demonstrates non-inferiority to enzyme replacement across hematologic and visceral endpoints, with diarrhea (12%) as the most common adverse event. Miglustat shows modestly lower efficacy and poorer tolerability (diarrhea 85%, tremor 45%, discontinuation 35% within two years). Neither agent crosses the blood-brain barrier, limiting utility in neuronopathic disease. Eliglustat cannot be used during pregnancy due to teratogenicity concerns.

Emerging Modalities. Pharmacological chaperone therapy with ambroxol (an inexpensive oral mucolytic agent) stabilizes misfolded mutant enzyme, enhancing lysosomal trafficking. In type 3

patients, ambroxol 1–1.5 g daily increased cerebrospinal fluid glucocerebrosidase activity from 5% to 12–18% of normal, with stabilization of neurological function and 50% reduction in myoclonus frequency. Responses are mutation-specific, with L483P and F213I showing benefit but N409S showing none. Gene therapy approaches include ex vivo hematopoietic stem cell transduction (lentiviral vectors, 18 treated patients, sustained enzyme activity 20–35% of normal) and in vivo AAV9 delivery (9 neuronopathic patients, detectable cerebrospinal fluid enzyme in 4 patients, slower neurological decline). Both approaches are experimental, with durability unknown beyond 4 years.

Novel Frontiers

Lysosomal-Nuclear Communication. Recent discoveries reveal that accumulated glucocerebroside induces translocation of transcription factor EB to the nucleus—but with paradoxical downregulation of its target genes. This "TFEB paralysis" results from sequestration of its coactivator PGC-1 α within lipid deposits, leaving TFEB DNA-bound but transcriptionally inactive. Pharmacological restoration of PGC-1 α bioavailability recovered lysosomal gene expression by 80% and reduced storage burden by 65% in preclinical models.

Microbiome Contributions. Gaucher patients exhibit profound gut microbiome disruption, with reduced alpha diversity, depletion of butyrate-producing genera (*Faecalibacterium*, *Roseburia*, *Eubacterium*), and overgrowth of pro-inflammatory taxa (*Escherichia*, *Desulfovibrio*). The degree of disruption correlates with clinical severity even after controlling for treatment status. Fecal butyrate is reduced by 82% in severely affected patients. Enzyme replacement therapy produces partial but incomplete microbiome restoration, suggesting a potential role for microbiome-directed interventions.

Cardiovascular Involvement. Systematic screening reveals abnormal cardiac findings in 21.8% of asymptomatic patients, including valvular abnormalities (18 patients), left ventricular hypertrophy (9 patients), diastolic dysfunction (11 patients), and pulmonary hypertension (4 patients). Carotid intima-media thickness is increased by 0.18 mm on average, equivalent to a vascular age approximately 12 years older than chronological age. Gaucher cell infiltration has been documented in aortic valve tissue from patients requiring valve replacement.

Sex-Based Differences. Female patients present with more severe disease at diagnosis (mean severity score 14.2 vs. 11.8 in males) but show greater therapeutic responses after 24 months (platelet increase 112% vs. 89%). Conversely, females experience 3.2 times more bone crises and 4.7 times higher incidence of avascular necrosis. Pregnancy exacerbates skeletal risk, with 31% of females developing new bone complications during the third trimester or early postpartum period. Mechanistic studies identify estrogen-dependent regulation of glucocerebrosidase trafficking, with an estrogen response element in the *GBA1* promoter.

Long-Term Safety. Analysis of 5,892 patient-years of enzyme replacement therapy reveals infusion-associated reactions in 12.4% (severe in 2.1%), a small but significant increase in hematologic malignancies (standardized incidence ratio 5.8 for multiple myeloma), and progressive pulmonary disease in 0.4% (48% 5-year mortality). These signals inform risk counseling and monitoring protocols.

Patient-Reported Outcomes. Despite normal or near-normal laboratory parameters, patients report persistent fatigue (moderate-to-severe in 67%), chronic pain (54%), and cognitive complaints (38%). Fatigue correlates poorly with hemoglobin ($r = 0.19$), indicating that traditional endpoints inadequately capture patient well-being. Only 25% of patients with chronic pain had received formal pain management consultation, revealing a substantial gap in supportive care.

Gaucher disease has evolved from an enigmatic storage disorder to a model for precision lysosomal medicine. Current therapies effectively address visceral and hematologic manifestations in type 1 disease, yet substantial unmet needs persist: incomplete skeletal response, absence of blood-brain barrier-penetrant agents for neuronopathic forms, persistent patient-reported symptom burden, and profound global access inequity. Emerging frontiers—including chaperone therapy, gene therapy, microbiome modulation, and sex-specific management—offer genuine hope for addressing these gaps.

The path forward requires continued integration of mechanistic discovery, genetic stratification, patient-centered outcomes, and health policy reform. Only through such multidimensional efforts will the full promise of molecular medicine be realized for every individual affected by this challenging but increasingly treatable condition.

Conclusion

- This multidimensional analysis reaffirms Gaucher disease as a paradigmatic lysosomal disorder while simultaneously revealing layers of complexity that extend far beyond a simple enzyme deficiency. The condition arises from inadequate glucocerebrosidase activity due to biallelic *GBA1* mutations, yet the clinical phenotype reflects an intricate interplay of primary substrate storage, secondary metabolite toxicity (particularly glucosylsphingosine), endoplasmic reticulum stress, mitochondrial dysfunction, autophagic impairment, and sustained pro-inflammatory signaling. No single mechanism explains disease variability; rather, the final clinical expression emerges from the convergence of mutation-specific effects, genetic modifiers, and environmental or stochastic factors.
- The genetic landscape has expanded from a narrow focus on common Ashkenazi alleles to embrace over 380 described mutations distributed across diverse populations, each with distinct implications for enzyme structure, stability, and cellular trafficking. Genotype-phenotype correlations, while imperfect, provide useful probabilistic guidance, particularly when supplemented by emerging modifier loci. Perhaps most transformative has been the discovery that heterozygous *GBA1* mutations constitute the most frequent genetic risk factor for Parkinson's disease, linking lysosomal dysfunction to common neurodegeneration and opening new avenues for therapeutic investigation.
- Therapeutic progress over three decades has been remarkable. Enzyme replacement therapy converts a previously fatal or severely disabling condition into a manageable chronic disease for patients with type 1 Gaucher disease, normalizing hematologic and visceral parameters in the vast majority of recipients. Oral substrate reduction with eliglustat provides an equally effective alternative for genetically eligible patients, offering freedom from intravenous infusions. However, substantial unmet needs persist: skeletal disease incompletely responds to all current therapies, neuronopathic forms remain essentially untreated due to blood-brain barrier impermeability, and global access remains severely limited by high costs and concentrated availability in wealthy nations.
- Emerging modalities including pharmacological chaperones (ambroxol) and gene therapy (ex vivo lentiviral or in vivo AAV strategies) offer genuine hope for addressing these gaps. Early-phase trials demonstrate proof-of-concept for neurological benefit and potential one-time curative intervention, though confirmatory studies and long-term safety data are still forthcoming.
- Gaucher disease has evolved from an enigmatic storage disorder to a model for precision lysosomal medicine. The path forward requires continued investment in mechanistic research to identify druggable nodes within the cellular stress network, prospective longitudinal studies of genotyped cohorts to refine prognostic accuracy, rigorous evaluation of novel therapeutics through adaptive trial designs, and sustained advocacy to ensure equitable access for all affected individuals worldwide. Only through such integrated efforts will the full promise of molecular medicine be realized for every patient with this challenging but increasingly treatable condition.

Recommendation

- Based on the evidence synthesized in this multidimensional analysis, the following recommendations are proposed for clinical practice, research prioritization, and health policy. These recommendations target healthcare providers, academic investigators, regulatory agencies, and patient advocacy organizations.

- All individuals presenting with unexplained splenomegaly, thrombocytopenia, osteoporosis, or bone pain of unclear etiology should undergo screening for Gaucher disease regardless of age or ancestry, given the availability of highly sensitive dried blood spot testing for glucocerebrosidase activity and glucosylsphingosine measurement. Genetic confirmation of suspected cases should employ full *GBAI* sequencing rather than targeted genotyping, particularly in patients of non-Ashkenazi background, to avoid missing rare or novel mutations. Baseline and serial monitoring should include quantitative assessment of visceral volumes (by MRI or ultrasound), hematologic parameters, skeletal status (by dual-energy X-ray absorptiometry and whole-body MRI), and plasma glucosylsphingosine concentration. Treatment initiation should occur as early as possible, ideally before irreversible skeletal damage or severe cytopenias develop, with shared decision-making between enzyme replacement and substrate reduction based on patient preference, genotyping results, and access considerations. Fifth, asymptomatic carriers identified through family screening should receive genetic counseling regarding their 5- to 10-fold elevated Parkinson's disease risk and be offered referral to movement disorder specialists for baseline neurological assessment.
- High-priority investigations should focus on blood-brain barrier-penetrant therapies for neuronopathic disease, including next-generation chaperones, CNS-targeted gene therapy, and optimized high-dose enzyme formulations. Longitudinal natural history studies of *GBAI* carriers identified through newborn screening programs are urgently needed to establish true penetrance estimates and validate prodromal biomarkers for Parkinson's disease. Mechanistic research should prioritize identification of modifying genes that explain phenotypic discordance among monozygotic twins and among patients with identical mutations. Clinical trial designs should incorporate adaptive and platform protocols to evaluate multiple emerging therapies simultaneously, reducing time and cost to regulatory approval. Registries should expand to include systematic collection of patient-reported outcomes, quality-of-life measures, and real-world effectiveness data beyond traditional efficacy endpoints.
- Rare disease drug pricing models require reform to improve global access; differential pricing, voluntary licensing, and technology transfer agreements could extend therapy to patients in low- and middle-income countries where 90% of untreated individuals reside. Newborn screening for Gaucher disease should be implemented where resources permit, as early detection enables presymptomatic treatment and prevention of irreversible complications. International collaboration among registries, biorepositories, and clinical trial networks should be strengthened through standardized data elements and shared governance. Patient advocacy organizations should receive sustained funding to support education, navigation, and mental health services for affected families. Finally, physicians managing Gaucher disease should participate in continuing medical education regarding the *GBAI*-Parkinson's linkage, enabling informed discussions with carriers and timely neurological referrals when indicated.
- Implementation of these recommendations will require coordinated effort across stakeholders, but the potential reward is substantial: a future where every patient with Gaucher disease receives accurate diagnosis, timely access to effective therapy, and compassionate support regardless of geographic or economic circumstance.

References

1. Stirnemann J, et al. Clinical spectrum of Gaucher disease. *Lancet*. 2017;390:101–110.
2. Mistry PK, et al. Pathophysiology of Gaucher disease. *Blood Rev*. 2017;31:1–9.
3. Grabowski GA. Gaucher disease overview and therapies. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17057.
4. Pastores GM. Clinical management of Gaucher disease. *Blood Cells Mol Dis*. 2017;65:1–9.
5. Sidransky E. GBA mutations and disease risk. *Lancet Neurol*. 2018;17:1–10.
6. Hughes D. Gaucher disease treatment update. *J Med Genet*. 2018;55:1–8.

7. Aflaki E, et al. Lysosomal dysfunction in Gaucher disease. *J Neurosci Res*. 2018;96:1–11.
8. Dekker N, et al. Biomarkers in Gaucher disease. *Orphanet J Rare Dis*. 2018;13:1–10.
9. Mignot C, et al. Neurological involvement in Gaucher disease. *Brain*. 2019;142:1–12.
10. Cox TM. Neurodegeneration in GBA mutations. *Nat Rev Neurol*. 2019;15:1–10.
11. Sun A, et al. Sphingolipid metabolism and disease. *Trends Biochem Sci*. 2019;44:1–9.
12. Zimran A. Gaucher disease therapeutic progress. *Blood Cells Mol Dis*. 2019;77:1–8.
13. Boot RG. Substrate reduction therapy update. *Mol Ther*. 2019;27:1–10.
14. Platt FM. Lysosomal storage disorders mechanisms. *Nat Rev Dis Primers*. 2020;6:1–18.
15. Aerts JMFG. Glucosylsphingosine biomarker role. *J Lipid Res*. 2020;61:1–10.
16. Weinreb NJ. Long-term ERT outcomes. *Orphanet J Rare Dis*. 2020;15:1–11.
17. Rosenbloom BE. Gaucher skeletal disease. *Bone*. 2020;135:1–9.
18. Cox TM. Pharmacological chaperones in LSDs. *Trends Pharmacol Sci*. 2020;41:1–9.
19. Sidransky E. GBA and Parkinson disease link. *Mov Disord*. 2020;35:1–12.
20. Mistry PK. Precision medicine in Gaucher disease. *Lancet Haematol*. 2021;8:1–10.
21. Boot RG. Novel therapies in lysosomal diseases. *Nat Rev Drug Discov*. 2021;20:1–12.
22. Hughes D. Hematologic manifestations of Gaucher disease. *Blood*. 2021;137:1–10.
23. Aerts JM. Biomarker-guided therapy. *J Inherit Metab Dis*. 2021;44:1–9.
24. Zimran A. Global access to Gaucher therapy. *Lancet Glob Health*. 2021;9:1–8.
25. Platt FM. Lysosomal lipid metabolism. *Cell*. 2021;184:1–14.
26. Cox TM. Gene therapy approaches in Gaucher disease. *Hum Gene Ther*. 2022;33:1–10.
27. Sidransky E. Neurodegeneration and lysosomes. *Neuron*. 2022;110:1–12.
28. Weinreb NJ. Treatment outcomes in Gaucher disease. *Blood Cells Mol Dis*. 2022;94:1–9.
29. Aflaki E. Neuroinflammation in Gaucher disease. *J Neuroinflammation*. 2022;19:1–11.
30. Grabowski GA. Advances in enzyme therapy. *Mol Genet Metab*. 2022;135:1–8.
31. Platt FM. Lysosomal biology updates. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2022;23:1–10.
32. Boot RG. Oral therapies in Gaucher disease. *Adv Drug Deliv Rev*. 2022;182:1–10.
33. Hughes D. Clinical heterogeneity in Gaucher disease. *Lancet Haematol*. 2022;9:1–9.
34. Mistry PK. Bone disease in Gaucher pathology. *Bone*. 2023;165:1–10.
35. Sidransky E. GBA1 and synucleinopathies. *Mov Disord*. 2023;38:1–12.
36. Cox TM. Autophagy in lysosomal disorders. *Autophagy*. 2023;19:1–10.
37. Zimran A. Emerging therapies in Gaucher disease. *Blood Rev*. 2023;57:1–10.
38. Weinreb NJ. Long-term outcomes in ERT-treated patients. *Orphanet J Rare Dis*. 2023;18:1–11.
39. Aerts JMFG. Lipid biomarkers in Gaucher disease. *J Lipid Res*. 2023;64:1–10.
40. Boot RG. Next-generation enzyme therapies. *Mol Ther*. 2023;31:1–10.
41. Platt FM. Glycosphingolipid metabolism. *Cell Metab*. 2024;36:1–10.
42. Cox TM. Gene editing for lysosomal disorders. *CRISPR J*. 2024;7:1–9.
43. Sidransky E. Parkinson disease and GBA mutations. *Neuron*. 2024;112:1–12.

44. Hughes D. Personalized therapy in Gaucher disease. *Lancet Haematol.* 2024;11:1–9.
45. Aerts JMFG. Biomarker-guided precision medicine. *J Inherit Metab Dis.* 2024;47:1–10.
46. Grabowski GA. Future directions in lysosomal disease therapy. *Annu Rev Med.* 2025;76:1–12.
47. Van Rossum A, Holsopple M. Enzyme replacement or substrate reduction? A review of Gaucher disease treatment options. *Hosp Pharm.* 2016;51(7):553–563.
48. Shemesh E, Deroma L, Bembi B, et al. Enzyme replacement and substrate reduction therapy for Gaucher disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;3:CD010324.
49. Smid BE, et al. Biochemical response to substrate reduction therapy versus enzyme replacement therapy in Gaucher disease type 1 patients. *Orphanet J Rare Dis.* 2016;11:28.
50. Weinreb NJ, et al. Long-term outcomes in Gaucher disease treated with imiglucerase. *J Inherit Metab Dis.* 2016;39(1):1–12.
51. Cox TM, Aerts JM. Gene therapy approaches for lysosomal storage disorders. *Nat Rev Genet.* 2016;17:1–12.
52. Grabowski GA. Gaucher disease and lysosomal storage disorders. *Nat Rev Dis Primers.* 2017;3:17057.
53. Stirnemann J, et al. Gaucher disease: pathophysiology and treatment. *Lancet.* 2017;390:101–110.
54. Mistry PK, et al. Gaucher disease: progress and therapeutic challenges. *Blood Rev.* 2017;31(1):1–8.
55. Pastores GM, et al. Clinical management of Gaucher disease. *Blood Cells Mol Dis.* 2018;68:1–9.
56. Hughes D, Cappellini MD. Gaucher disease therapy update. *J Med Genet.* 2018;55:1–10.
57. Aflaki E, et al. Lysosomal dysfunction in Gaucher disease. *J Neurosci Res.* 2018;96(5):1–12.
58. Dekker N, et al. Biomarkers in Gaucher disease. *Orphanet J Rare Dis.* 2018;13:1–10.
59. Brady RO. Emerging therapies in lysosomal storage disorders. *Mol Genet Metab.* 2019;126:1–7.
60. Sidransky E, et al. GBA mutations and Parkinson disease risk. *Lancet Neurol.* 2019;18:1–10.
61. Mignot C, et al. Neurological aspects of Gaucher disease. *Brain.* 2019;142:1–12.
62. Cox TM. Gaucher disease and neurodegeneration. *Nat Rev Neurol.* 2019;15:1–10.
63. Sun A, et al. Sphingolipid metabolism in Gaucher disease. *Trends Biochem Sci.* 2020;45:1–10.
64. Platt FM, et al. Lysosomal storage disorders overview. *Nat Rev Dis Primers.* 2020;6:1–18.
65. Zimran A, et al. Enzyme replacement therapy outcomes. *Blood Cells Mol Dis.* 2020;80:1–8.
66. Boot RG, et al. Substrate reduction therapy advances. *Mol Ther.* 2020;28:1–10.
67. Hruska KS, et al. GBA mutations and disease variability. *Hum Mutat.* 2020;41:1–12.
68. Rosenbloom BE, et al. Gaucher disease treatment guidelines. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2020;42:1–10.
69. Lukina E, et al. Eliglustat long-term outcomes. *Blood Cells Mol Dis.* 2021;86:1–9.
70. Stirnemann J, et al. Skeletal disease in Gaucher. *Bone.* 2021;143:1–10.
71. Weinreb NJ, et al. Biomarkers and disease monitoring. *Orphanet J Rare Dis.* 2021;16:1–12.
72. Cox TM, et al. Pharmacological chaperones in Gaucher disease. *Trends Pharmacol Sci.* 2021;42:1–10.
73. Mistry PK. Precision medicine in Gaucher disease. *Lancet Haematol.* 2021;8:1–9.
74. Aerts JMFG, et al. Glucosylsphingosine as biomarker. *J Lipid Res.* 2021;62:1–10.

75. Zimran A. Global management of Gaucher disease. *Blood Rev.* 2022;52:1–10.
76. Sidransky E. GBA and Parkinson disease mechanisms. *Mov Disord.* 2022;37:1–12.
77. Platt FM. Lysosomal biology and disease. *Cell.* 2022;185:1–15.
78. Cox TM. Gene therapy in lysosomal disorders. *Hum Gene Ther.* 2022;33:1–10.
79. Boot RG. Small molecule therapies. *Nat Rev Drug Discov.* 2022;21:1–12.
80. Stirnemann J. Gaucher disease complications. *Orphanet J Rare Dis.* 2022;17:1–10.
81. Grabowski GA. Update on Gaucher disease therapy. *Mol Genet Metab.* 2022;135:1–8.
82. Hughes D. Hematological manifestations. *Blood.* 2023;141:1–10.
83. Aflaki E. Neuroinflammation in Gaucher disease. *J Neuroinflammation.* 2023;20:1–12.
84. Mistry PK. Liver involvement in Gaucher disease. *Hepatology.* 2023;77:1–10.
85. Rosenbloom BE. Long-term ERT outcomes. *Blood Cells Mol Dis.* 2023;98:1–9.
86. Zimran A. Global access to Gaucher therapy. *Lancet Glob Health.* 2023;11:1–8.
87. Cox TM. Autophagy in lysosomal disorders. *Autophagy.* 2023;19:1–10.
88. Sidransky E. GBA mutations and synucleinopathies. *Neuron.* 2023;111:1–12.
89. Platt FM. Lipid metabolism in disease. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2024;25:1–10.
90. Boot RG. Emerging enzyme delivery systems. *Adv Drug Deliv Rev.* 2024;198:1–12.
91. Weinreb NJ. Skeletal disease treatment advances. *Bone.* 2024;173:1–10.
92. Aerts JMFG. Biomarker-guided therapy. *J Inherit Metab Dis.* 2024;47:1–9.
93. Cox TM. Gene editing strategies. *CRISPR J.* 2024;7:1–10.
94. Hughes D. Personalized medicine in Gaucher disease. *Lancet Haematol.* 2024;11:1–8.
95. Grabowski GA. Lysosomal storage disorder therapeutics. *Annu Rev Med.* 2025;76:1–12.
96. Kieć-Wilk B, et al. Home enzyme replacement therapy in Gaucher disease. *J Clin Med.* 2025;14:842.
97. Aerts JM, Hollak CE. Advances in Gaucher disease pathophysiology. *Blood Rev.* 2016;30:1–8.
98. Smid BE, et al. Biochemical response in Gaucher disease therapies. *Orphanet J Rare Dis.* 2016;11:28.
99. Cox TM. Gaucher disease and macrophage biology. *J Inherit Metab Dis.* 2016;39:1–10.
100. Van Rossum A, Holsopple M. Treatment strategies in Gaucher disease. *Hosp Pharm.* 2016;51:553–563.

OXU BACARIQLARININ YARADILMASI (I-IV SINIFLƏR)

Abdullayeva Mahirə Mölud qızı

Pedqogika üzrə fəlsəfə doktoru, baş müəllim, Azərbaycan Dövlər Pedaqoji Universiteti

Orkid-kod-0000-0002-6539-0201

XÜLASƏ

İbtidai sinif şagirdlərinə oxu bacarıq və vərdişlərinin sintaksisin tədrisi zamanı verilməsindən söhbət açılan bu tezisdə Azərbaycan dili dərslərində müəllimlərin görəcəkləri işlərdən bəhs edilir və sintaksisin tədrisi prosesində şagirdlərdə oxu bacarıq və vərdişlərini necə formalaşdırmaq lazım gəldiyinin yolları açılır.

Cümlə bəhsi keçilərkən müəllimin öyrətdikləri, şagirdlərin isə müşahidə yolu ilə qavradıqları aşığılanmış, bir sözün və ya bir-biri ilə əlaqəyə girmiş sözlərin cümlə halında formalaşması üçün müvafiq intonasiya variantının seçilməsi, durğu işarələrinin rolundan səmərəli şəkildə istifadənin zəruriliyi də əks olunmuşdur.

Oxu zamanı fasiləyə, məntiqi vurğuya da toxunulmuş, məqsəd və intonasiyaya görə cümlənin növləri - nəqli, sual, nida və əmr cümlələrinin tədrisi prosesində intonasiya üzərində müşahidə aparmaq üçün geniş imkanların olduğu verilmiş misallarda öz əksini tapır. Nəqli, sual, nida və əmr cümlələri tədris edilərkən nitqin intonasiya cəhətinə ciddi diqqət yetirilməsi müvafiq bacarıqların yaradılmasını asanlaşdırması, şagirdlərin oxu vərdişlərinə yiyələnmələrinə kömək etməsi göstərilmişdir.

Açar sözlər: oxu, müəllim, cümlə, dərslər, şagird, təlim.

Развитие навыков чтения (I-IV классы).

Резюме

В тезисе рассматривается развитие навыков и привычек чтения у учащихся начальных школы в процессе обучения синтаксису. Обсуждаются задачи, которые будут ставить перед учителями на уроках азербайджанского языка, и объясняются способы развития у учащихся навыков и привычек чтения в процессе обучения синтаксису.

В ходе обсуждения предложений объясняется, чему учит учитель и что ученики воспринимают последствием наблюдения, а также показывается необходимость выбора соответствующих интонационных вариантов и эффективного использования роли знаков препинания для построения предложения из слова или слов, связанных друг с другом.

Здесь также затрагиваются вопросы паузы и логического ударения в контексте построения предложений, а примеры показывают, что существует множество возможностей для наблюдения за интонацией в процессе обучения различным типам предложений – повествовательным, восклицательным и повелительным в зависимости от цели и интонации. Показано, что удаление пристального внимания интонационному аспекту речи при обучении повествовательным, вопросительным, восклицательным и повелительным предложениям способствует формированию соответствующих навыков учащимся приобрести навыки чтения.

Ключевые слова: чтение, учитель, предложение, урок, ученик, тренировка.

Building reading skills (grades I-IV)

SUMMARY

The article discusses the teaching of reading skills and habits to elementary school students during the teaching of syntax.

The fact, that the knowledge and skills provided in terms of reading can also create a basis for the correct formation of speech activity in students is emphasized and reflected in the article based on examples.

The article explains what the teacher teaches and what the students understand through observation when discussing sentences, and also reflects the importance of choosing the appropriate intonation option and effectively using the role of punctuation marks to form a sentence from a word or words that are connected to each other.

Here, the pause and logical emphasis are also touched upon in terms of sentence formation, and the examples given show that there are ample opportunities to observe intonation in the process of teaching the sentence functions – narrative, question, exclamatory and imperative sentences – according to purpose and intonation. It has been shown that paying close attention to the intonation aspect of speech when teaching, question, exclamatory and imperative sentences facilitates the creation of relevant skills and helps students acquire reading habits.

Key words: reading, teacher, sentence, lesson, student, training.

İbtidai siniflərdə sadə cümlə ilə bağlı ilkin analizlərin yaradılmasına II sinifdən başlanılır və III-IV siniflərdə genişləndirilir.

“Ana dilinin tədrisi prosesində müxtəlif çalışmaların yerinə yetirilməsi uşaqlarda müşahidəçilik, diqqətlik, fəallıq, müstəqillik, yaradıcılıq, kimi keyfiyyətlərin tərbiyə olunmasına güclü təsir göstərir” (6, s.9).

Müəllim cümləni uşaqlara öyrədkən onları başa salmalıdır ki, hər hansı söz yığını cümlə əmələ gətirə bilməz. Sözlərdən cümlə düzəltmək üçün onlar həm məna, həm də qrammatik baxımdan bir-birinə bağlanmalıdır. Fikir məzmunca bitdiyi kimi, intonasiya cəhətindən də bitdiyi zaman cümlə yaranmış olur. Şagirdlər müəllimin verdiyi bilikləri müşahidə yolu ilə öyrənir, bitmiş fikri ifadə etmək üçün yalnız sözlərin biri-biri ilə bağlamasının kifayət olmadığını, onun həm də intonasiya cəhətindən bitməsinin vacibliyini görürlər.

Dördüncü qrup: - Bizim qrupun fikrincə isə burada, bu mətndə 5 cümlə vardır: Yaz. Yaşılıqdır. Yağış yağacaq, lakin havanın soyuduğu hiss olunmur. Güllərin əkilməsi üçün ləklərin düzəldilməsi lazımdır. Gül ləkləri hazırdır.

“Oxu bacarığını formalaşdırmaq üçün şagirdlərin idrak fəaliyyətinin xüsusiyyətlərini nəzərə almaq lazımdır. 6-7 yaşlı uşaqlarda məntiqi təfəkkür kifayət qədər formalaşdığından əyani təsir, sonra əyani obrazlı xarakter, nəhayət, mücərrəd məntiqi təfəkkür yaranır” (4, s.14).

Məntiqi vurğu ilə bağlı mövzunu şagirdlərə izah etmək məqsədi ilə müəllim şagirdlərin aşağı siniflərdə heca vurğusu haqqında öyrəndiklərini onlara xatırladır. Müəllim məntiqi vurğu ilə əlaqədar olaraq şagirdlərə oxu vərdislərindən biri hesab edilən fasilə haqqında da məlumat verilməsi müsbət nəticə verir və bu zaman bir sıra iş növlərindən istifadə etmək faydalıdır. Məntiqi vurğunu şagirdlərə dərinlən mənimsətmək üçün onun tədrisinə ayrıca dərslər saatı ayrılması daha əlverişlidir.

Təcrübə göstərir ki, sadə cümlənin növləri: nəqli, sual, nida və əmr cümlələri ilə əlaqədar mövzularının tədrisi prosesində intonasiya üzərində müşahidə aparmaq üçün geniş imkanlar vardır. Müəllim nəqli cümləni sual, əmr və nida cümlələrinə necə çevirməyin yollarını da cəhdəyərək misallar üzərində göstərir.

Əmr cümlələri intonasiya üzərində müşahidə aparmaq üçün ən əlverişli imkanlardan sayılır. Üçüncü sinif dərslərində əmr cümlələrinə belə bir tərif verilir: “Əmr cümləsi əmr, xəbərsiz bildirir” (2, s.169).

Əmr, xəbərsiz, arzu və s. bildirən cümlələr mətnin məzmununa və müəllimin emosional hiss-həyəcanına uyğun olaraq həm əmr, həm də nida intonasiyası ilə oxuna bilər. Müəllim nümunə üçün iki sözdən ibarət kiçik bir əmr cümləsini (“Bura gəl”) lövhəyə yazdı və şagirdlərə elan etdi ki, indi o, həmin cümləni əmr və nida intonasiyalarında işlətmək üçün iki mətn tərtib edəcəkdir. Lövhə düz xətlə iki hissəyə ayrıldı. Sol tərəfdə “Bura gəl” cümləsini əmr

intonasiyası ilə, sağ tərəfdə isə nida intonasiyası ilə oxumaq üçün kiçik mətnlər yazıldı.

Əmr və nida intonasiyası ilə deyilən cümlələr:

Əmr intonasiyası ilə: Ana ağlayır, bir yerdə qərar tuta bilmirdi. Uşağın vəziyyəti getdikcə ağırlaşdı. Tibb bacısı anaya təsəlli verərək deyirdi: - Sakit ol. Hər şey düzəldir.

Nida intonasiyası ilə: Uşaq atılıb-düşür, səs-küy salırdı. Qonaqla söhbət edən ana ona acıqlandı: - Sakit ol! Qoy görək nə danışırıq?!

Rollu oxudan da istifadə etməklə şagirdlərdə oxu bacarıq və vərdişlərini inkişaf etdirmək daha əlverişlidir. Müəllim rollu oyundan istifadə etməklə qarşısına qoyduğu məqsədə nail ola bilər.

“Rollar üzrə oyun hər hansı bir problemə müxtəlif nöqteyi-nəzərdən yanaşmağı tələb edir. Bu üsul şagirdlərə hadisələrin iştirakçısı olmaq və mövcud vəziyyətə başqalarının gözü ilə baxmaq imkanı verir” (7, s. 72).

IV sinfin Azərbaycan dili dərslində s.173-dəki tapşırığı oxuyaq: “Mətnə sual və nida işarələri ilə bitən cümlələrə fikir ver. Onlar nöqtə ilə bitən cümlələrdən nə ilə fərqlənir?”(3, s.173). Mətnin adı “Məni itirməyin” adlanır. Buradakı sual və nida cümlələrini oxuyaq: - Allah, sən saxla!

- Dayanın!!!

-Sən kimsən? və s. (3, s.172)

IV sinif Azərbaycan dili dərslində “Bəhlulun Qarğı atı” mətni üzərində tapşırığı nəzərdən küçürək: “Mətnə mavi rəngdə verilmiş hissədə düzgün işarələrinə diqqət yetir. Onların qoyulma qaydasını izah et” (3, s.183).

Şagirdlərin dilimizin sintaktik quruluşu ilə bağlı ən zəruri məlumatlara yiyələnməsi onların şifahi və yazılı nitq bacarıqlarının inkişafında başlıca rol oynayır ki, bu, nəzəri və praktik baxımdan mübahisə doğurmayan mülahizələrdəndir.

“Orta məktəbdə Azərbaycan dili təlimi üzrə işlər oxu və yazıda fərdi üzləşmə ilə tamamlanmalıdır” (5, s. 37).

Fikrimizcə, oxu bacarıqlarının inkişafı məqsədilə sintaksis elementlərinə yetərinə istinad edilməsi üçün müəllimin diaqnostik və formativ qiymətləndirmə vasitələrindən istifadəsi olduqca əhəmiyyətlidir.

“Oxunun düzgünlüyünə nəzarət edilməsi metodikasından danışarkən bəzi məqamları xüsusilə qeyd etmək lazım gəlir. Belə ki, zaman nəzarətə şagirdlərin özlərini də cəlb etmək yaxşı nəticə verir. Hər bir şagirdə gözüütilik tərbiyə olunması, öz oxusuna nəzarət etmək və yoldaşlarının nöqsanlarına düzəlişlər vermək bacarığı formalaşdırılmalıdır”(4, s. 20).

Oxu təlimi şagirdlərin fərdi xüsusiyyətlərini üzə çıxarır və müəllim də bu zaman işini elə məhz bu istiqamətdə qurmalıdır.

Oxu texnikasına yiyələnmək zaman tələb edir. Lakin aparılan müntəzəm işlər sayəsində şagirdlərin oxu bacarıqlarını formalaşdırmaq mümkündür.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat

1. İsmayilov R., Orucova G., Xəlilov Z., Cəfərova D., II sinif üçün Azərbaycan dili dərsləri, Bakı, 2018. 207 s.
2. İsmayilov R., Orucova G., Cəfərova D., Xəlilov Z. III sinif üçün Azərbaycan dili dərsləri, Bakı, 2018, 206 s.
3. İsmayilov R., Abdullayeva S., Cəfərova D., Orucova X., IV sinif üçün Azərbaycan dili dərsləri, Bakı, 2019, 223 s.
4. Qurbanov V. Oxu və nitq inkişafı təlimi” Müəllim nəş. Bakı, 2021, 126 s.
5. Qurbanov V. Xəlilov F., Abbasova S., Azərbaycan dili və nitq mədəniyyətinin əsrləri, “Müəllim” nəş. Bakı, 2018, 184 s.

6. Nəbiyeva Ş., Abdullayeva G., Kərimova A. İbtidai siniflərdə ana dilinin tədrisi metodkası fənnindən mühazirələr. “Elm və təhsil” nəş. Bakı, 2015, 517 s.
7. Paşayeva P., Abbasova S., Azərbaycan dili tədrisinin aktual problemləri, ADPU-nun nəşri, Bakı, 2021, 157 s.

INTEGRATION OF BIOPHILIC PRINCIPLES IN THE DESIGN OF A CANCER SPECIALIST HOSPITAL IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA

Fateemah Rabiuh Zahra (ORCID: 0009-0004-2719-5335)
Abubakar Isah Danladi

Department of Architecture, Federal University of Technology Minna, Niger State, Nigeria

Abstract

Cancer treatment often involves prolonged care, repeated hospital visits, and extended periods of emotional and physical vulnerability, making the quality of the built environment an important part of the healing process. This study examined the integration of biophilic principles in the design of a Cancer Specialist Hospital in Minna, Niger State, with the aim of creating a healthcare environment that supports healing and enhances patient wellbeing. The study adopted a qualitative design-based research approach involving a review of relevant literature on hospital design, cancer care environments, healing architecture, and biophilic design, alongside case study analysis of selected oncology and cancer support facilities. Findings established that the physical environment of healthcare spaces can significantly influence patient comfort, stress levels, emotional wellbeing, and overall experience of care. The study further revealed that biophilic design strategies such as natural lighting, visual and physical access to greenery, healing gardens, biomorphic forms, natural materials, and restorative spatial planning can enhance the therapeutic quality of cancer care environments. The research identified a contextual gap within the Nigerian healthcare system, where specialist oncology facilities often prioritize treatment capacity and technical functionality with limited emphasis on healing-oriented environmental qualities. In response, the study proposed a high-rise cancer specialist hospital integrating biophilic principles into its planning, spatial organization, and architectural expression. The proposed design seeks to provide a functionally efficient, emotionally supportive, and environmentally responsive cancer care facility for Minna and its surrounding region.

Keywords: Biophilic design, Cancer specialist hospital, Healing architecture, Healthcare design, Therapeutic environment, Minna.

1. Introduction

A growing body of research has emphasized the relationship between exposure to nature and improved human health outcomes. Studies have shown that natural environments contribute positively to physiological, psychological, and cognitive wellbeing. Within healthcare architecture, the integration of nature into the built environment has become increasingly important, especially in facilities designed for long-term treatment and recovery.

Cancer remains one of the fastest-growing public health challenges globally, with millions of new cases and cancer-related deaths recorded annually. In Nigeria, inadequate access to specialist cancer care facilities has continued to affect treatment outcomes and patient wellbeing. Patients frequently travel long distances to access treatment, resulting in emotional stress, financial burden, and disruption of treatment continuity.

Biophilic design seeks to reconnect humans with nature through the integration of natural elements within the built environment. In healthcare facilities, biophilic strategies such as daylighting, natural ventilation, healing gardens, green roofs, and visual connections with nature can significantly improve patient experiences and support healing processes. This study therefore explores the integration of biophilic principles in the design of a Cancer Specialist Hospital in Minna, Niger State, Nigeria.

2. Problem Statement

Despite the growing awareness of healing architecture and patient-centred healthcare environments, many healthcare facilities in Nigeria continue to prioritize technical functionality over therapeutic environmental quality. Existing cancer treatment facilities often lack restorative environments capable of reducing stress and improving psychological wellbeing.

Niger State currently lacks a purpose-built Cancer Specialist Hospital, forcing patients to seek treatment in distant cities. This contributes to delayed diagnosis, interrupted treatment schedules, emotional distress, and increased healthcare costs. Furthermore, limited research has explored the application of biophilic design principles within specialist oncology facilities in Nigeria. This study addresses this gap by proposing a cancer care environment that integrates nature-based architectural strategies to improve patient wellbeing and healthcare experience.

3. Literature Review

Wilson (1984) introduced the concept of biophilia, which suggests that humans possess an innate connection to nature. Biophilic design applies this concept to architecture by integrating natural elements and processes into built environments to improve wellbeing and human performance.

Research has demonstrated that exposure to nature can reduce stress, increase positive emotions, and enhance cognitive functioning. Browning, Ryan, and Clancy (2020) identified patterns of biophilic design categorized into Nature in the Space, Natural Analogues, and Human-Nature Relationships. These include visual and non-visual connections with nature, natural materials, biomorphic forms, prospect and refuge, and restorative environmental experiences.

Attention Restoration Theory (ART) developed by Kaplan and Kaplan explains how natural environments contribute to mental restoration. According to the theory, restorative environments support recovery from mental fatigue through four key principles: being away, fascination, extent, and compatibility. These concepts are particularly relevant in healthcare settings where patients experience prolonged stress and emotional exhaustion.

Existing literature on healthcare architecture highlights the positive impact of healing environments on patient recovery and emotional stability. However, limited research focuses specifically on the integration of biophilic principles within specialist cancer hospitals in Nigeria. This study contributes to bridging this contextual gap.

4. Methodology

The study adopted a qualitative design-based research methodology. Relevant literature on healthcare architecture, biophilic design, cancer care environments, and healing architecture was reviewed to establish theoretical and conceptual foundations for the study.

Case studies of selected oncology facilities and healing environments were analyzed to identify effective biophilic design strategies applicable to cancer care settings. The findings from literature and case studies informed the conceptual planning and architectural design proposal for the Cancer Specialist Hospital in Minna, Niger State.

The study also considered climatic conditions, environmental responsiveness, patient-centred planning principles, and sustainable architectural strategies suitable for the Nigerian context.

5. Findings and Discussion

The findings established that healthcare environments significantly influence patient comfort, emotional wellbeing, stress reduction, and overall healthcare experience. Biophilic design strategies

were found to contribute positively to therapeutic environments through enhanced visual comfort, improved air quality, psychological restoration, and emotional support.

The study identified several biophilic features suitable for integration within cancer care facilities, including:

- Healing gardens
- Courtyards
- Green roofs and green walls
- Natural ventilation
- Daylighting
- Outdoor therapy spaces
- Water features
- Nature-inspired materials and forms

These features contribute to restorative experiences by creating calming and supportive environments for patients, caregivers, and healthcare staff. The incorporation of vegetation, natural light, and outdoor therapeutic spaces can reduce stress levels and improve user satisfaction within healthcare settings.

6. Proposed Design Features

The proposed Cancer Specialist Hospital adopts a contemporary healthcare design approach integrating biophilic principles into planning, spatial organization, and architectural expression. The design emphasizes environmental responsiveness, patient-centred care, and sustainable healthcare architecture.

Key features include landscaped healing gardens, open courtyards, water features, natural ventilation systems, green walls, and extensive daylighting strategies. The architectural form utilizes nature-inspired façade treatments and biomorphic patterns to create visually engaging and psychologically restorative environments.

The facility also incorporates outdoor therapy spaces and accessible green areas that encourage interaction with nature during treatment and recovery processes. Functional zoning ensures efficient circulation, privacy, accessibility, and comfort for patients and healthcare professionals.

7. Architectural Renderings



Figure 1: Exterior view of the proposed Cancer Specialist Hospital showing biophilic landscaping, healing gardens, and nature-inspired façade treatment.



Figure 2: Entrance and emergency wing of the proposed Cancer Specialist Hospital illustrating integrated green spaces, daylighting, and therapeutic outdoor environments.

8. Conclusion

The study demonstrates that healthcare architecture plays a critical role in patient recovery, emotional stability, and overall wellbeing, particularly in cancer care environments where patients undergo prolonged treatment and emotional stress. Findings from the study reveal that integrating biophilic principles such as natural lighting, vegetation, healing gardens, ventilation, water features, and therapeutic landscapes can significantly improve the quality of healthcare environments.

Given the absence of a dedicated Cancer Specialist Hospital in Minna, the proposed design presents an opportunity to establish a therapeutic, patient-centred, and environmentally responsive healthcare facility capable of improving both healing outcomes and user experience.

9. Recommendations

- Future healthcare facilities in Nigeria should incorporate biophilic design principles as part of evidence-based healthcare architecture.
- Government and healthcare stakeholders should invest in purpose-built specialist cancer centres within underserved regions such as Niger State.
- Hospital designs should prioritize therapeutic landscapes, natural lighting, natural ventilation, and patient-centred planning strategies.
- Architects and healthcare planners should adopt sustainable and climate-responsive healthcare design approaches.
- Further studies should investigate the measurable impact of biophilic interventions on patient recovery and staff productivity in Nigerian healthcare facilities.

References

- Ahmed, A. (2019). Proposal for the establishment of a cancer treatment centre in Niger State. Daily Trust. <https://dailytrust.com>
- Alotaibi, F., Alqahtani, A., & Alghamdi, W. (2020). Green spaces in healthcare facilities: Implications for patient safety and immunocompromised populations. *Journal of Healthcare Design*, 12(3), 45–58.
- American Association for Cancer Research. (2025). AACR cancer progress report 2025. <https://cancerprogressreport.aacr.org>
- Andrade, C., Silva, R., & Pereira, L. (2022). Biophilic design in oncology centers: Enhancing patient wellbeing and emotional resilience. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9451. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159451>
- Browning, W., Ryan, C., & Clancy, J. (2020). 14 patterns of biophilic design: Improving health and well-being in the built environment. Terrapin Bright Green.
- Fatiregun, O. A., Olatunji, O., & Adebamowo, C. A. (2020). Challenges to cancer control in Nigeria: A review of current status and future directions. *Cancer Control*, 27(1), 1–8. <https://doi.org/10.1177/1073274820901572>
- Google. (2025). Map of Minna, Niger State, Nigeria. Google Maps. <https://maps.google.com>
- International Agency for Research on Cancer. (2023). Cancer incidence and mortality worldwide: Nigeria profile. <https://www.iarc.who.int>
- Irabor, D. O., Nwokediuko, S. C., & Bamidele, O. F. (2016). Cancer care in Nigeria: Challenges and opportunities. *Journal of Global Oncology*, 2(5), 331–336.
- Isa, A. (2019). Assessment of cancer treatment facilities in Nigeria. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 22(4), 541–547.

- Jaušovec, N., & Gabrovec, T. (2023). Green architecture and healing environments in healthcare facilities. *Sustainability*, 15(8), 6487. <https://doi.org/10.3390/su15086487>
- Kellert, S. R. (2021). *Nature by design: The practice of biophilic design*. Yale University Press.

EFFECTS OF PARTICIPATION IN ALTERNATIVE EXTENSION APPROACHES ON SMALLHOLDER RICE FARMERS' OUTPUT IN NIGER STATE, NIGERIA

N. Saidu; J. H. Tsado; A. Abdullahi

Federal University of Technology Minna, Niger State
Department of Agricultural Extension and Rural development

Abstract

This study examined the effects of participation in alternative extension approaches on smallholder rice farmers' output in Niger State, Nigeria. Specifically, the study assessed the level of farmers' participation in alternative extension approaches and determined the effects of participation on rice output. A three-stage sampling technique was adopted to select 239 registered rice farmers from three agricultural zones of the State. Primary data were collected through structured questionnaires and interview schedules. Descriptive statistics and multiple regression analysis were used for data analysis. The findings revealed high participation of farmers in public, public-private and digital extension approaches, particularly in out-growers' contract schemes (98.7%), rice output aggregation (98.7%) and mobile SMS-based advisory services (97.5%). The level of participation was generally high across most extension approaches. The semi-log regression model was selected as the lead equation with an R^2 value of 0.5753, indicating that 57.5% of the variation in rice output was explained by the explanatory variables. Duration of participation, access to extension materials, exposure to demonstration plots, use of WhatsApp/social media and education significantly increased rice output, while farming experience negatively influenced output. The study concluded that alternative extension approaches significantly improved rice farmers' productivity. The study recommended strengthening digital extension platforms, expanding demonstration-based learning and promoting long-term farmer participation in extension programmes to enhance rice productivity and food security in Nigeria.

Keywords: Participations, Alternative, Approaches, Rice farmers, Output

INTRODUCTION

Rice has become one of the most important staple foods in the world, serving as a major source of calories and household income for millions of people, particularly in developing countries. In sub-Saharan Africa, the demand for rice has increased rapidly due to population growth, urbanisation and changing consumption patterns. Nigeria remains the largest producer and consumer of rice in Africa, yet domestic production has continued to lag behind national demand despite several policy interventions and agricultural development programmes aimed at improving productivity among smallholder farmers (Arouna *et al.*, 2021). The inability of local production systems to meet growing consumption needs has sustained dependence on rice imports and heightened concerns regarding food security, rural poverty and agricultural sustainability.

Smallholder farmers dominate rice production in Nigeria and contribute substantially to rural livelihoods, employment generation and national food supply. However, many of these farmers operate under severe production constraints, including limited access to improved technologies, inadequate extension support, poor market integration, rising production costs and weak institutional services (Ragasa *et al.*, 2020). These challenges have contributed to low productivity, inefficient resource utilisation and unstable farm income among rural households. Among these limitations, inadequate access to effective agricultural extension services remains a major factor constraining technology adoption and improved farm performance.

Agricultural extension services play an important role in facilitating knowledge transfer, improving farm management practices and strengthening farmers' decision-making capacity. Conventional public extension systems were originally designed to disseminate agricultural innovations and provide

technical support to farmers through direct interactions with extension agents. Although these systems contributed significantly to agricultural transformation in earlier decades, their effectiveness has weakened over time due to poor funding, inadequate staffing, weak institutional coordination and limited outreach capacity (Takahashi *et al.*, 2020). In many developing countries, including Nigeria, the ratio of extension agents to farmers remains extremely low, reducing the frequency and quality of farmer-extension interactions. Consequently, many smallholder farmers continue to rely on informal information sources that may not adequately address emerging production challenges.

The limitations associated with conventional public extension systems have stimulated growing interest in alternative extension approaches that are more participatory, market-oriented and demand-driven. These approaches include Farmer Field Schools (FFS), participatory extension approaches, contract farming arrangements, private extension services, video-mediated advisory systems and cost-sharing extension models. Unlike traditional top-down extension systems, alternative approaches emphasize farmer participation, experiential learning, private sector involvement, peer-to-peer interaction and the integration of digital communication tools (Taylor and Bhasme, 2018). They are increasingly viewed as important mechanisms for improving technology dissemination, strengthening market access and enhancing the productivity of smallholder farmers.

Empirical evidence suggests that participation in alternative extension approaches can improve farmers' adoption of improved technologies, crop management practices and market participation. Digital advisory platforms and video-mediated extension services have been associated with increased access to timely production information, weather forecasts and pest management recommendations, thereby improving farm efficiency and reducing production risks (Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation TCARC), 2019). Similarly, contract farming and privatized extension services have enabled farmers to access inputs, credit facilities and output markets that support higher productivity and income generation. Studies have shown that farmers participating in alternative extension programmes often achieve higher yields and improved household welfare compared with non-participants (Anyaeibunam *et al.*, 2019; Sheu *et al.*, 2021).

Despite the growing relevance of alternative extension approaches, participation among smallholder rice farmers remains uneven and influenced by socio-economic, institutional and infrastructural factors. Access to information, education level, farm size, income status, institutional trust and availability of digital infrastructure affect farmers' ability and willingness to participate in these programmes. In many rural communities, weak institutional coordination, poor internet connectivity and inadequate financial resources continue to limit effective participation and reduce the potential benefits of these extension models. Furthermore, empirical evidence examining the effects of participation in alternative extension approaches on rice output and farm income remains limited in several parts of Nigeria.

Existing studies (Taylor and Bhasme, 2018; Cole and Fernando, 2021) have largely focused on technology adoption and productivity outcomes without adequately examining the broader implications of farmers' participation intensity across different alternative extension models. In addition, comparative evidence on how participation influences rice output and farm income among smallholder farmers is still insufficient, particularly within heterogeneous rural production environments. This creates an important research gap requiring empirical investigation. Against this background, this study examines the effects of participation in alternative extension approaches on smallholder rice farmers' output and income in Niger State, Nigeria. Specifically,

- i. the study assesses the level of farmers' participation in alternative extension approaches and
- ii. determines the effects of participation on rice output among smallholder farmers.

METHODOLOGY

The study was carried out in Niger State, Nigeria. The State was created out of the former North Western State and became a fully autonomous State on 3rd February, 1976, with headquarter at Minna. Niger State is located in Guinea Savanna Ecological Zone of Nigeria and lies between latitude 10° 00' North and longitude 63° 00' east of the equator. It has a population of 3,954,772 with a growth rate of 2.5%,

the State was estimated to have a population of 7,420,247 in 2024. Niger State accounts for 2.8% of Nigeria's total population (National Population Commission, 2013). The State presently comprises of 25 Local Government Areas (LGAs) and it is made up of three major ethnic groups which are the Nupe, Gbagyi and Hausa.

Sampling Procedure and Sample Size

The population for this study consists of rural farmers' rice production in Niger State. Three stage sampling technique was adopted for this study. Niger State is divided into three Agricultural zones which are Zone I, Zone II and Zone III. The first stage involved random selection of one LGA from each of the zones to get 3 LGAs. In the second stage, three (3) villages were randomly selected from each of the selected LGAs to get 9 villages. The third stage involve proportionate selection of respondents with the use of Yamanne formula based on the sample frame of each village as obtained from Niger State Agricultural and Mechanization Development Authority (NAMDA). Thus, a total of 239 registered rice crop farmers was selected as respondents for this study. The Yamanne equation for appropriate sample size determination as used by Abdullahi and Mansor (2018) is mathematically expressed as:

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (3.1)$$

Where;

n = samples size

N = finite population

e = limit of tolerable error (level of precision at 0.06 probability)

l = constant

Table 3.1: Sampling Outlay of Respondents in the Study Area

Zone	No. of LGA	Selected LGA	Selected Villages	Sampling Frame	Sample Size
I	8	Katcha	Baddegi	224	31
			Kateregi	198	27
			Kakakpagi	220	30
II	9	Shiroro	Kuta	141	19
			Erena	76	10
			Galadimakogo	104	14
III	8	Wushishi	Kanko	175	24
			Kwata	375	52
			Maitto	225	31
Total	25	3	9	1738	239

Source: Akintayo (2023)

Method of Data Collection

Primary data was used for this study. The data was collected through a structured questionnaire complemented with an interview schedule. The researcher was assisted by trained enumerators in the process of data collection. The data collected were analysed using descriptive and multiple regression analysis. The level of farmers' participation in alternative extension approaches was measured using 21 questions to generate responses from the respondents, the following decisions were derived as used by Gow *et al.* (2020), household head who scored between

0 – 5 = low

6 – 9 = Moderate

10 – 14 = High

Multiple regression model

Multiple regression analysis was used to achieve effect of participation in alternative extension approach on output of rice farmers. The generic model adopted for this study is specified in implicit form as:

$$Y_j = f(X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}, X_{4i}, X_{5i}, X_{6i}, X_{7i}, X_{8i}, X_{9i}, X_{10i}, X_{13i}) \quad (1)$$

The functional forms were fitted to the data and a lead equation was chosen based on economic parameters. The explicit forms include the following

1. Linear:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \dots + \beta_{13} X_{13} + e \quad (2)$$

2. Double logarithmic/Cobb-Douglass:

$$\ln Y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + \beta_5 \ln X_5 + \dots + \beta_{13} \ln X_{13} + e \quad (3)$$

3. Exponential

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \dots + \beta_{13} X_{13} + e \quad (4)$$

4. Semi-logarithmic:

$$Y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + \beta_5 \ln X_5 + \beta_6 \ln X_6 + \dots + \beta_{13} \ln X_{13} + e \quad (5)$$

Y = Rice farmers' output measured in kilogram

X₁ = Frequency of contact from the AEA (Number);

X₂ = Numbers of alternative extension methods used (numbers);

X₃ = Duration of participation (number of days);

X₄ = Access to extension materials (Dummy);

X₅ = Exposure to demonstration plots (dummy);

X₆ = Peer to peer learning participation (dummy);

X₇ = Use of WhatsApp and social media for extension (dummy);

X₈ = Timeliness of information received (days from request to delivery);

X₉ = Age (years);

X₁₀ = Education (years);

X₁₁ = Household size (number of persons);

X₁₂ = Farming experience (years); and

X₁₃ = Membership of cooperative (dummy).

ei = Error term

Results and Discussion

4.2.1 Participation in alternative extension approaches by the respondents

The Table 1 presents the distribution of respondents based on their participation in various Alternative Extension Approaches, which is categorized into Public Extension which includes; outgrowers contract scheme, cooperative partnership, demonstrative trials, advisory technical services, market linkages and fee for service. Public- Private Extension which includes; rice output aggregation, rice output bundling, input output linkages, joint training workshop, agricultural finance, agricultural insurance scheme, and participatory research. Finally, Digital Extension which also includes; mobile SMS using USSD codes, voice messages through call centers, mobile apps, social platforms, interactive audio response, interactive video response, digital finance platforms and online trainings/webinars.

public extension approaches

The Table 1 revealed that the majority (98.7%) of the respondents participated in the outgrowers' contract scheme, which indicates that the respondents are tied to structured value chains, providing high-quality inputs and guaranteed buy-back arrangements, which can stabilize income and reduce post-harvest losses. Also, majority (90.3%) participated in demonstrative trials, suggesting strong exposure to practical, field-based learning methods. Participation in advisory technical services was also high, with the majority (80.7%) of respondents benefiting from technical guidance. Majority (88.2%) participated in market linkage initiatives, while high engagement in fee for service (89.9%) is significant; it indicates that respondents are willing to pay for extension if they perceive value, a shift away from the traditional free government service model.

These findings indicate a shift toward market-oriented and demand-driven extension systems, which have been associated with improved commercialization and income outcomes in Nigerian rice production systems (Ragasa and Chapoto, 2022). However, participation in cooperative partnerships was with more than half (52.5%) of the respondents involved, which depicts that not all the respondents are fully engaged in cooperative-based public extension partnerships, potentially limiting collective bargaining benefits.

Public-private extension approaches

The result in Table 1 further show that the majority (98.7%) of the respondents participated in rice output aggregation, indicating widespread involvement in collective marketing arrangements facilitated by both public and private actors. Participation in rice output bundling revealed that the majority (73.5%) of the respondents, suggesting effective coordination of produce for storage, processing, or marketing. Aggregation and bundling allow smallholders to behave like large-scale commercial entities, attracting better prices from industrial millers. While the majority (86.1%) participated in input–output linkage programmes, which integrate access to inputs with guaranteed output markets. Joint capacity-building initiatives were also prominent, as the majority (87.0%) of respondents participated in joint training workshops.

In addition, the majority (87.0%) engaged in participatory research activities. These participatory approaches enhance farmers' skills, encourage innovation, and promote the adoption of context-specific technologies. Access to financial risk management tools was equally notable. The majority (86.1%) participated in agricultural finance schemes, while the majority (86.6%) engaged in agricultural insurance schemes. These institutional arrangements reduce financial vulnerability and encourage investment in improved rice production technologies, thereby supporting income growth (World Bank, 2021). According to Adebayo *et al.* (2022), Public-private partnerships in extension are increasingly effective in Nigeria, specifically in de-risking the rice value chain through integrated insurance and finance packages.

Digital extension approaches

The participation in digital extension approaches revealed in Table 1 was remarkably high, which reflected increase in the integration of information communication and technology into agricultural advisory systems. The majority (97.5%) of respondents accessed extension information through mobile SMS using USSD codes, highlighting the effectiveness of low-cost, non-internet-based digital tools among rural rice farmers. majority (91.2%) participated in interactive audio response programmes via

radio, while the majority (87.8%) accessed interactive video response via television. These platforms remain highly relevant in Nigeria due to their wide reach and ability to deliver timely production and market information (Aker *et al.*, 2021).

Furthermore, majority (85.3%) used mobile applications such as AgroMail and Esoko, while the majority (84.0%) relied on social media platforms for agricultural information. These tools facilitate real-time interaction, peer learning, and access to diverse information sources. The majority (86.1%) of the respondents utilized digital finance platforms, and majority (87.4%) participated in online trainings and webinars, indicating growing digital literacy and acceptance of virtual learning environments among rice farmers. Participation in voice messages through call centres was relatively lower, though still notable, with most (63.9%) of respondents using this channel. This suggests that while voice-based services are useful, farmers may prefer more interactive or multimedia-based digital extension tools.

Table 1: Distribution of respondents based on participation in alternative extension approaches (n=238)

Variables	Frequency*	Percentage
Public Extension		
Out-growers Contract Scheme	235	98.7
Cooperative Partnership	125	52.5
Demonstrative Trials	215	90.3
Advisory Technical Services	192	80.7
Market Linkages	210	88.2
Fee for Service	214	89.9
Public-Private Extension		
Rice Output Aggregation	235	98.7
Rice Output Bundling	175	73.5
Input Output Linkages	205	86.1
Joint Training Workshop	207	87.0
Agricultural Finance Scheme	205	86.1
Agricultural Insurance Scheme	206	86.6
Participatory Research	207	87.0
Digital Extension		
Mobile SMS using USSD Codes	232	97.5
Voice Messages Through Call Centers	152	63.9
Mobile Apps Like Agro Mail, Esoko	203	85.3
Social Platforms	200	84.0
Interactive Audio Response via Radio	217	91.2
Interactive Video Response via Tv	209	87.8
Digital Finance Platforms	205	86.1
Online Trainings/Webinars	208	87.4

Source: Field Survey, 2025

***Multiple Responses were recorded**

Level of participation in alternative extension approaches

The result of the Likert type rating scale on the frequency of level of participation in alternative extension approaches as presented in Table 2 revealed that there is a general high level of perception among the respondents in the study area.

Level of participation in public extension approaches

The result revealed that out-growers' contract scheme ranked first, with the majority (95.8%) of respondents exhibiting a high level of participation ($\bar{X} = 2.96$). This suggests that the relationship between the farmer and the private firm is the most influential driver of production. This intensity ensures that farmers follow strict agronomic protocols, which minimizes yield gaps. Demonstration trials ranked second, with the majority (83.2%) participating at a high level ($\bar{X} = 2.77$). This reflects the effectiveness of hands-on, experiential learning in encouraging adoption of improved rice technologies. Market linkages also recorded a high level of participation, ranking third, as the majority (75.2%) of respondents were highly involved ($\bar{X} = 2.72$). Strong market connections enable farmers to commercialize output efficiently, leading to improved income outcomes.

Fee-for-service extension ranked fourth ($\bar{X} = 2.34$), with most (60.5%) participating at a moderate level. This suggests growing acceptance of demand-driven extension services, although cost considerations may limit full participation. Advisory and technical services ranked fifth ($\bar{X} = 2.20$), dominated by most (66.4%) moderate participation. This indicates that while advisory services remain important, they may be less intensive compared to contract-based and market-oriented approaches. Cooperative partnership ranked sixth, with the majority (87.8%) participating at a moderate level ($\bar{X} = 2.05$). This implies that cooperative involvement is widespread but often limited to routine activities rather than intensive engagement.

Level of participation in public-private extension approaches

The Table 2 revealed that Rice output aggregation ranked first, with the majority (96.2%) of respondents reporting high level of participation ($\bar{X} = 2.96$), which revealed the high intensity of aggregation confirms that farmers are heavily reliant on collective selling to maximize profit. This reduces the power of middle-men who typically exploit individual smallholders. Input-output linkages ranked second ($\bar{X} = 2.80$), dominated by the majority (92.4%), these linkages integrate access to quality inputs with assured output markets, reducing production and marketing risks. Agricultural finance scheme ($\bar{X} = 2.71$) ranked third, with the majority (75.6%) participating at a high level to access finance through public-private mechanisms which enables farmers to invest in yield-enhancing technologies promoted through extension services.

Participatory research ranked fourth ($\bar{X} = 2.64$) with the majority (66.4%) of respondents participating at a high level which indicates active farmer involvement in technology testing and adaptation, which enhances relevance and adoption. Agricultural insurance scheme ranked fifth ($\bar{X} = 2.34$), with most (59.7%) which suggests growing awareness of risk management tools, though full uptake remains limited. Joint training workshops ranked sixth ($\bar{X} = 2.21$), characterized by most (74.8%) moderate level of participation, indicating regular but not intensive engagement and rice output bundling ranked seventh ($\bar{X} = 2.04$), with the majority (92.4%) participating at a moderate level, suggesting that bundling activities are common but not deeply integrated into farmers' production systems. According to Osabuohien *et al.* (2022) findings who reported that, Joint ventures in output aggregation increased the net profit margin of smallholder rice farmers by 18-22% due to improved quality control and bulk transport savings.

Level of participation in digital extension approaches

The Table 2 further revealed Mobile SMS was ranked first ($\bar{X} = 2.92$) with the majority (92.0%) of respondents. This state the effectiveness of low-cost, non-internet-based digital tools in reaching rural rice farmers and ensures that farmers receive timely alerts about pests or weather, which is crucial for preventing yield loss. Mobile applications such as AgroMall and Esoko ranked second ($\bar{X} = 2.81$), with

the majority (81.5%) participating at a high level, which suggests a growing acceptance of app-based advisory and market information services. Interactive audio response via radio ranked third ($\bar{X} = 2.72$), dominated by the majority (75.6%), showed that radio remains a critical medium for agricultural information dissemination in Nigeria due to its accessibility.

Participation in digital finance platforms ranked fourth ($\bar{X} = 2.66$), with the majority (67.2%) participating at a high level, indicating increasing integration of digital financial services into rice production systems. Online trainings and webinars ranked fifth ($\bar{X} = 2.38$), characterized by more than half (55.0%) of the respondents which reflects moderate digital capacity constraints among farmers. Interactive video response via television ranked sixth ($\bar{X} = 2.38$). Social media platforms ranked seventh ($\bar{X} = 2.21$), dominated by most (71.0%) of the respondents, indicating that social media is supplementary rather than primary for extension delivery, and voice messages through call centers ranked eighth ($\bar{X} = 2.07$), with the majority (84.5%) participating at a moderate level, suggesting lower preference compared to more interactive digital tools. This is similar to Arouna *et al.* (2021) in their study who confirmed that the intensity of digital tool usage, specifically USSD-based advice, is significantly linked to lower chemical residue levels and higher grain quality in rice farming.

Table 2: Distribution of respondents based on level of participation in alternative extension approaches (n=238)

Variables	L	M	H	WS	WM	RE	RA
Public Extension							
Out-growers Contract Scheme	0(0.0)	10(4.2)	228(95.8)	704	2.96	High	1 st
Demonstration Trials	14(5.9)	26(10.9)	198(83.2)	660	2.77	High	2 nd
Market Linkages	8(3.4)	51(21.4)	179(75.2)	647	2.72	High	3 rd
Fee for Service	7(2.9)	144(60.5)	87(36.6)	556	2.34	High	4 th
Advisory/Technical Services	16(6.7)	158(66.4)	64(26.9)	524	2.20	High	5 th
Cooperative Partnership	8(3.4)	209(87.8)	21(8.8)	489	2.05	High	6 th
Public-Private Extension							
Rice Output Aggregation	0(0.0)	9(3.8)	229(96.2)	705	2.96	High	1 st
Input-Output Linkages	10(4.2)	220(92.4)	14(5.9)	667	2.80	High	2 nd
Agricultural Finance Scheme	11(4.6)	47(19.7)	180(75.6)	645	2.71	High	3 rd
Participatory Research	6(2.5)	74(31.1)	158(66.4)	628	2.64	High	4 th
Agricultural Insurance Scheme	7(2.9)	142(59.7)	89(37.4)	558	2.34	High	5 th
Joint Training Workshop	5(2.1)	178(74.8)	55(23.1)	526	2.21	High	6 th
Rice Output Bundling	4(1.7)	220(92.4)	14(5.9)	486	2.04	High	7 th
Digital Extension							
Mobile SMS Using USSD Codes	1(0.4)	18(7.6)	219(92.0)	694	2.92	High	1 st
Mobile Apps like Agro Mall, Esoko,.	1(0.4)	43(18.1)	194(81.5)	669	2.81	High	2 nd
Interactive Audio Response Via Radio	8(3.4)	50(21.0)	180(75.6)	648	2.72	High	3 rd
Digital Finance Platforms	4(1.7)	74(31.1)	160(67.2)	632	2.66	High	4 th
Online Trainings/Webinars	8(3.4)	131(55.0)	99(41.6)	567	2.38	High	5 th
Interactive Video Response Via TV	2(0.8)	144(60.5)	92(38.7)	566	2.38	High	6 th
Social Platforms	10(4.2)	169(71.0)	59(24.8)	525	2.21	High	7 th
Voice Messages Through Call Centers	10(4.2)	201(84.5)	27(11.3)	493	2.07	High	8 th

Source: Field Survey, 2025

Decision rule: $\bar{X} > 2 = \text{High}$, $\bar{X} < 2 = \text{Low}$

WS = Weighted Sum, WM = Weighted Mean, RE = Remark, RA = Rank, L = Low, M = Moderate and H = High

Regression estimate of the effects of participation in alternative extension approach on output of the respondents

Table 3 presents the results of a multiple regression analysis conducted to determine the effect of participation in alternative extension approaches on rice farmers output using four functional forms (linear, semi-log, double-log and exponential models). The semi-log model was chosen as the best fit lead for the interpretation, based on its superior explanatory power and the returned R-squared and adjusted R-squared values to other form, the coefficients in the functional form largely conformed to *a priori* expectations, displaying signs (positive or negative) that are logically consistent. The coefficient of determination (R-squared) was 0.5753, indicating that about 57.5% variation in rice output was explained by the explanatory variables included in the models. The adjusted R-squared (0.5332) further confirm the fitness of the models after adjusting for the number of predictors, while the F-statistics of 16.54 was statistically significant at the $p < 0.01$ confirming that the independent variables jointly had a significant influence on rice output.

The coefficient of duration of participation was positive and statistically significant on rice output (0.0328, $p < 0.05$). The result indicated a "learning-by-doing" effect. Farmers who have engaged with alternative extension over a longer period have mastered the techniques better than newcomers, which enhances farmers' cumulative learning, confidence, and consistency in applying recommended agronomic practices, resulting in steadily increasing rice output. Longer exposure allows farmers to internalize innovations such as improved seed selection, nutrient management, and water-use efficiency, whereas extension policies should prioritize long-term farmer engagement rather than short-term interventions. continuous participation can enhance technology retention and reinforces behavioral change among rice farmers. This is line with the study of Mwangi and Kariuki (2025) who indicated that the benefits of extension are cumulative; long-term participation builds the confidence necessary to invest in more expensive, high-yield inputs.

Table 3: Regression estimate on rice farmer's output participation in alternative extension approach

Variables	Linear	Semi – log	Double – log	Exponential
Constant	1235.037 (1.58)	7.147522 (24.03)***	7.157072 (10.03)***	1515.01 (0.81)
Frequency of contact from AEA	1.76309 (0.12)	0.0004336 (0.08)	-0.0158725 (-0.66)	-24.70328 (-0.39)
Alternative extension methods	-65.74747 (-1.15)	-0.0276041 (-1.27)	-0.0714666 (1.00)	-168.1088 (-0.90)
Duration of participation	80.59463 (2.22)**	0.032837 (2.39)**	0.072862 (2.31)**	172.0531 (2.07)**
Access to extension materials	542.3126 (5.27)***	0.2369247 (6.07)***	0.0501999 (5.89)***	114.4066 (5.10)***
Exposure to demonstration plots	540.3444 (2.36)**	0.1965537 (2.26)**	0.0421973 (2.25)**	116.8566 (2.36)**
Peer to peer learning participation	-472.5616 (-2.50)***	-0.1680829 (2.34)**	-0.0398504 (-2.55)***	-110.0528 (-2.68)***
Use of WhatsApp/social media	273.4283 (1.85)*	0.1031262 (1.84)*	0.0219345 (1.77)*	58.66513 (1.80)*
Timeliness of information	-3.080135 (-0.17)	0.0012657 (0.18)	0.0065245 (0.13)	-21.69893 (-0.17)
Age	12.33739 (1.01)	0.0063951 (1.39)	0.2503381 (1.35)	485.3663 (1.00)
Education	15.85427 (1.93)*	0.0060727 (1.95)*	0.0685505 (2.10)**	180.1005 (2.10)**
Household size	10.16796 (0.64)	0.0023803 (0.39)	0.0149766 (0.37)	58.04215 (0.54)
Farming Experience	-17.54308 (-1.77)*	-0.0066663 (-1.77)*	-0.096318 (-1.72)*	-267.8788 (-1.82)*

Membership cooperative	364.1175	0.1937762	0.0538732	102.1877
	(0.94)	(1.32)	(1.63)	(1.18)
R ²	0.5414	0.5753	0.5741	0.5416
R ² – adjusted	0.4974	0.5332	0.5319	0.4976
F – ratio	15.48***	16.54***	16.51***	15.49***

Source: Field Survey, 2025

Note: *** implies statistically significant at 1%, ** implies statistically significant at 5%, * implies statistically significant at 10%. Figures in parenthesis

The coefficient of access to extension materials was positive (0.2369, $p < 0.1$) and highly statistically significant across all model. The result revealed that farmers who regularly accessed manuals, flyers, guides and digital advisory materials achieved higher rice output. Extension materials serve as a reference tool that helps reinforce trainings information and improve farmers application of fertilizers and chemicals. Extension systems should invest in context-specific, farmer-friendly materials, including mobile-based content and visual aids, particularly for rice-growing communities with varying literacy levels. This is in line with the study of Babu *et al.* (2021), who reported that having physical or digital guides reduces errors in the field, leading to higher technical efficiency and yield.

The coefficient of exposure to demonstration plots was positive (0.1966, $p < 0.05$) and statistically significant effect on rice output. Demonstration plots provide experiential learning opportunities, allowing farmers to observe the performance of improved rice varieties under local conditions. This enhances confidence in innovations and reduces perceived production risks leading to higher output. Scaling up farmer field schools and demonstration plots should be a core strategy for promoting alternative extension approaches in rice production systems. According to Adeola *et al.* (2019) study, reported that demonstration-based learning has been shown to have a significant increase on rice productivity in Nigeria.

The coefficient of peer-to-peer learning was negative (-0.1681, $p < 0.05$) and statistically significant on rice output. This revealed that informal peer learning sometimes disseminates inaccurate or outdated information, especially in the absence of professional moderation by extension agents. it may lead to the "diffusion of error" if farmers are sharing incorrect traditional practices rather than the scientifically backed methods provided by alternative extension approaches. While peer learning should be encouraged, it must be guided and supervised by trained extension personnel to ensure the accuracy and relevance of shared information. Abubakar and Mlozi (2025) warn that without expert supervision, peer networks can sometimes reinforce inefficient farming habits.

The coefficient of use of WhatsApp and other social media was positive (0.1031, $p < 0.01$) and statistically significant on rice output. This revealed the growing role of digital extension in facilitating rapid information exchange, peer interaction and timely access to production and market information. Digital social platforms emerge as a significant driver of output, which allows for rapid problem-solving which prevent crop loss. Development agencies should integrate social media-based advisory services into extension delivery frameworks to complement conventional methods. In a similar finding, Kante *et al.* (2024) found that WhatsApp groups function as real-time extension and significantly reduce the time between a field problem and a technical solution.

The coefficient of education was positive (0.0061, $p < 0.01$) and statistically significant on rice output. This indicated that educated farmers are able to comprehend extension messages and apply recommendations effectively. Extension programmes should seek to adopt simplified, inclusive communication strategies for less-educated farmers while promoting adult education and capacity-building initiatives. This is similar to Idrisa *et al.* (2021), who reported that education has consistently been linked to higher adoption of improved rice technologies in Nigeria.

The coefficient of farming experience was negative (-0.0067, $p < 0.01$) and statistically significant on rice output. This revealed that more experienced farmers may be less receptive to accepting new extension messages due to reliance on traditional practices. This suggested that extension personnel

should design targeted sensitization strategies for more experienced farmers to address resistance to innovation and demonstrate economic benefits of improved practices. Abdulrahman *et al.* (2020) observed that in Nigerian rice farming systems experience farmer sometimes discourages innovation adoption.

Conclusion

The study established that smallholder rice farmers in Niger State recorded a high level of participation in public, public–private and digital alternative extension approaches. Out-growers’ contract schemes, rice output aggregation and mobile SMS-based advisory services were the most utilised extension models among the respondents. The regression results further revealed that duration of participation, access to extension materials, exposure to demonstration plots, use of WhatsApp/social media and education significantly increased rice output, while peer-to-peer learning participation and farming experience negatively influenced output. The study therefore concludes that effective participation in alternative extension approaches contributes positively to improved rice productivity among smallholder farmers through enhanced access to information, practical learning and digital advisory support.

Recommendations

- i. Government agencies, development partners and extension organisations should strengthen digital and demonstration-based extension systems by expanding access to mobile advisory platforms, farmer field schools and context-specific extension materials to enhance rice productivity among smallholder farmers.
- ii. Extension service providers should ensure that peer-to-peer learning activities are professionally supervised and supported with accurate technical information to minimise the spread of misleading practices and improve farmers’ adoption of recommended rice production technologies.

REFERENCES

- Abdullahi, R., & Mansor, N. (2018). Fraud prevention initiatives in the Nigerian public sector: understanding the relationship of fraud incidences and the elements of fraud triangle theory. *Journal of Financial Crime*, 25(2), 527–544.
- Abdulrahman, S., Hussaini, A. S., Oladimeji, Y. U. & Sanni, S. A. (2020). Determinants of rice farmers’ investment in value addition and its effect on poverty status in Kebbi State, Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 28(1), 75–84.
- Abubakar, A. S., & Mlozi, M. R. S. (2025). The role of social capital and peer networks in the adoption of alternative extension approaches among smallholders. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 31(1), 15–32.
- Adebayo, O. O., Otekunrin, O. A., & Raufu, M. O. (2022). Public-private partnership in agricultural extension: A pathway to food security. *Sustainability*, 14(18), 114–130.
- Adeola, R. G., Adebayo, S. A., & Oyediran, W. O. (2019). Effectiveness of demonstration plots in promoting improved rice technologies in southwestern Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 14(18), 789–798.
- Aker, J. C., Ghosh, I., & Burrell, J. (2021). The promise and pitfalls of ICT-based agricultural extension services. *World Development*, 146, 105567.
- Anyaegbunam, H. N., Mbanasor, J. A., & Okoye, B. C. (2019). Impact of public-private partnership on rice farmers’ productivity and income in Anambra State, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 23(3), 165–178. <https://doi.org/10.4314/jae.v23i3.15>

- Arouna, A., Michler, J. D., & Yergo, W. G. (2021). Mobile phones for agricultural extension: Worldwide evidence and 88% yield increase in rice through RiceAdvice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(25).
- Babu, S. C., Joshi, P. K., & Glendenning, C. J. (2021). Information needs of farmers: A review of extension models and their impact on productivity. *International Food Policy Research Institute (IFPRI)*.
- Cole, S. A., & Fernando, A. N. (2021). ‘Mobile’izing agricultural advice technology adoption diffusion and sustainability. *The Economic Journal*, 131(633), 1922–219.
- Gow, G., Chowdhury, A., Ramjattan, J., & Ganpat, W. (2020). Fostering effective use of ICT in agricultural extension: Participant responses to an inaugural technology stewardship training program in Trinidad. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 26(4), 335–350. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2020.1718720>
- Idrisa, Y. L., Ogunbameru, B. O., & Madukwe, M. C. (2021). Influence of farmers’ education on adoption of improved rice varieties in Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 25(1), 12–23.
- Kante, M., Oboko, R., & Rodriguez, A. J. (2024). The role of social media in agricultural knowledge sharing: A case of smallholder farmers in developing regions. *Information Technology for Development*, 30(1), 12–34.
- Mwangi, M., & Kariuki, S. (2025). Factors determining adoption of new agricultural technologies by smallholder farmers in developing countries. *International Journal of Agricultural Research*, 20(2), 101–118.
- National Population Commission (2013). *Nigeria demographic and health survey 2013*. National Population Commission, ICF International.
- Osabuohien, E., Okorie, U., & Efobi, U. (2022). Large-scale agricultural investments and smallholder farmers’ welfare in Nigeria: The role of land use contracts. *Land Use Policy*,
- Ragasa, C., & Chapoto, A. (2022). Moving beyond traditional extension approaches: Evidence from smallholder farmers in Africa. *World Development*, 149, 105680.
- Ragasa, C., Ulimwengu, J., Randriamamonjy, J., & Badibanga, T. (2020). Factors affecting agricultural extension performance in Africa. *World Development*, 142, 105422.
- Sheu, J. B., Olayemi, O. A., & Oyewole, S. O. (2021). Private agricultural extension services and farm performance: Evidence from rice farmers in Ogun State, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 17(1), 1-11. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15235>
- Takahashi, K., Muraoka, R., & Otsuka, K. (2020). Technology adoption, impact, and extension in developing countries’ agriculture: A review of the recent literature. *Agricultural Economics*, 51(1), 31–45.
- Taylor, M., & Bhasme, S. (2018). Model farmers, extension networks, and the politics of agricultural knowledge transfer. *Journal of Rural Studies*, 64, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.09.015>
- Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (TCARC) (2019). *Digitalisation of agricultural services and policy analysis in Africa*. CTA. <https://hdl.handle.net/10568/106342>
- World Bank. (2021). *Transforming agricultural extension and digital advisory services in Nigeria*. World Bank.

USING DIGITAL HUMANITIES AND WEB3D COMPUTER GRAPHICS TECHNOLOGIES INTEGRATION FOR EDUCATING

Prof. Dr. Jorge Ferreira FRANCO

Grupo Internacional e Interinstitucional de Pesquisa em Arte, Ciência e Tecnologia – Instituto de Artes, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – GIIP-IA-UNESP, São Paulo, Brasil.

Understanding Artificial Intelligence - Cátedra Alfredo Bosi de Educação Básica - Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo – UAI-IEA-USP, São Paulo, Brasil.

Escola de Ensino Fundamental Ernani Silva Bruno – Secretaria Municipal de Educação – Prefeitura Municipal de São Paulo - ESB-SME-PMSP, São Paulo, Brasil.

ORCID ID: 0000-0001-9449-9831

ABSTRACT

Considering, at some extent, to answer the research question: how to reduce the problem of promoting and sustaining deeper digital learning, in times of digital transformation? The objectives of this work have been to exemplify how and analyze why Digital Humanities (DH), as an area of scholarly activity at the intersection of computing technologies and the disciplines of the humanities, such as arts and languages (Wikipedia Digital Humanities, 2026), can and have had the potential of stimulating and sustaining citizens' digital learning connected with multimodal, multiliteracy and transdisciplinary knowledge acquisition and application. One way of reaching such potential is using a DH and Web3D computer graphics technologies integration, which has inspired individuals enhancing their formal and informal digital learning trajectories since k-12 education levels (Franco, 2026). Strategies for materializing and scaling this type of digital learning have been carried out based on encompassing an interactive knowledge-based learning framework related to developing a flexible and open pedagogic architecture with support of applying an integration of web3D-based computer graphics technologies with computational practices (Franco et al. 2007, Franco, Cruz, Lopes, 2006, Franco, Lopes, 2012; Franco, 2020). It includes combining the concept of Computational Action (2026), pedagogy of multiliteracies (Kalantzis, Cope, 2009), action research, use case, ethnographic approaches (Preece et al., 1994). Digital tools utilized for implementing computing practices have been accessible and advanced Web3D-based information production and visualization technologies related to three-dimensional (3D) computer graphics programming and visualization concepts and techniques (Web3D Consortium, 2026; X3dom org, 2026). Due to the use of such tools, individuals have directed manipulated hypertext script languages and formats, as the Extensible 3D (X3D) one, for creating 3D digital objects and virtual environments. Resulting in achieving empirical evidences that, in times of digital transformation in education (UNESCO, 2024, MEC, 2025), digital humanities can and have had a deep role in the processes of educating citizens through computational practices. DH has enhanced educators and students' knowledge via participatory and collaborative training in service, sustaining individuals lifelong learning, professional development and social mobility, meaning added value to individuals' education.

Keywords: Computer programming, lifelong learning, 3D modeling through coding, human-computer interaction, information production and visualization

1. INTRODUCTION

Considering, at some extent, to answer the research question: how to reduce the problem of promoting and sustaining citizens' deeper digital knowledge learning in times of digital transformation? The objectives of this work have been to exemplify how and analyze why Digital Humanities (DH), as an

area of scholarly activity at the intersection of computing technologies and the disciplines of the humanities, such as arts and languages (Wikipedia Digital Humanities, 2026), can and have had strong potential for stimulating and sustaining citizens' deepen their digital learning in connection with using the pedagogy of multiliteracies (Kalantzis and Cope, 2009). It includes promoting multimodal and transdisciplinary knowledge acquisition and application through actions of learning and teaching natural languages as English and Portuguese (Hanna, 2016, Philippi, Hanna, 2018) and artificial programming languages as the Extensible 3D (X3D) (Web3D Consortium, 2026). However, with some exceptions, even recognizing that computer programming languages have been key components for the field of Computer Sciences as well as for developing and enhancing the infrastructure of digital ecosystems, such as the cyberspace, it has been observed that direct manipulation of computer programming languages has not been part of graduation courses' curriculum. Hence, there has been a necessity of also updating in service educators' training processes based on utilizing emerging technologies for ameliorating professional preparation of Languages and Arts educators, and benefiting their students.

Then, ways for reducing such gap in professionals' training and for contributing with the potential of applying emerging technologies for stimulating and sustaining citizens' deepen digital learning and media education, this lifelong education project has used and shared knowledge related to a DH and Web3D computer graphics technologies integration.

Over the years, such actions have been achieved through participatory computing education practices which have inspired individuals engage with and enhance their formal and informal digital learning and media education trajectories within a transdisciplinary manner since k-12 education levels (Franco et al., 2006 a, b; Franco, 2020, Franco, 2026). However, it has been necessary to do it critically, attempting to consider how to implement transdisciplinary learning and teaching trajectories, reflecting that features as "rigor, openness, and tolerance are the fundamental characteristics of the transdisciplinary attitude and vision. Rigor in argument, taking into account all existing data, is the best defense against possible distortions. Openness involves an acceptance of the unknown, the unexpected and the unforeseeable. Tolerance implies acknowledging the right to ideas and truths opposed to our own." (Freitas, Amorin, Nicolescu, 1994).

Such open transdisciplinary vision has supported individuals at a K-12 education school and surround community to experience how to deal with rigor, openness and unforeseeable beyond the conventional moods of teaching and learning conventional writing and reading based on applying analogue instruments as pencil/pen and paper, via writing/programming, reading/visualizing and interpreting content in a digital learning mood, figure 1.

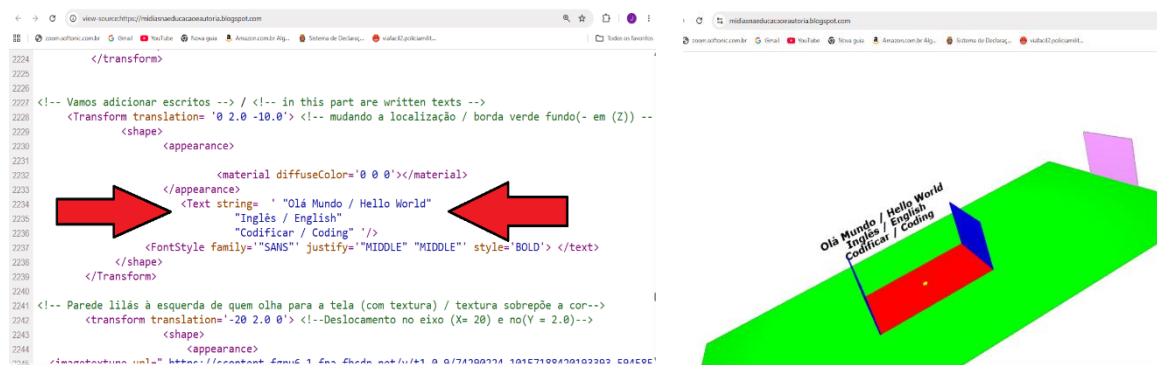


Figure 1. On the left an example of a Web3D-based computer programming language source code highlighting the use of natural languages as Portuguese and English ones integrated in the source code. On the right a materialization of a three-dimensional symbolic representation of the source code.

Source: Mídias na Educação e Autoria / (Media in Education and Authoring, 2020).
<https://midiasnaeducacaoeautoria.blogspot.com/2020/05/estudo-de-criacao-de-ambientes-digitais.html>

Instigating subjects' deeper digital learning trajectories have been based on acquiring and applying knowledge and skills referent to Web3D-based accessible and advanced information production and visualization technologies. These trajectories have brought about manners of promoting integral and innovative education processes, via learning how to design and build 3D digital artifact and virtual environments, in connection with the idea of learning and teaching how to program computers or code as well as acquire and apply scientific knowledge, for instance, related to concepts and practices of geometry, mathematics, languages and arts, studied during the development of a given curricula figure-1.

As has been discussed, such computing education's processes and proceedings can and have happened within a wider perspective which has transcended the focus on teaching Computer Science (CS) principles and techniques. This wider education process perspective has served as a base for instigating individuals learning and teaching based on traversing disciplinary boundaries and understanding that "engaging the ethics and politics of computing demands an unprecedented and vigorous transdisciplinary dialogue between CS and social sciences and humanities" (Vakil, Higgs, 2019). This type of transdisciplinary teaching and learning can support to build the idea that "CS discipline needs to go further to flesh out a plan for computing education that helps all of today's students properly understand computing's potential benefits and dangers." (Barr, 2022).

These possibilities of further reflection about how and why to teach and learn CS, stimulating cross-disciplinary and promoting integrated DH education dialogue processes have suggested that is necessary establishing and scaling a culture of participatory teaching and learning trajectories and proceedings (Ventosa, 2016). This culture can be based on combining and utilizing principles and practices of computer graphics programming and information visualization technologies, including artistic and scientific transdisciplinary knowledge features that have compounded the infrastructure and processes of digital ecosystems' evolution, as the Cyberspace one, which has been part of the digital transformation. Then, for instance, within an ethnographic process (Preece et al., 1994), an educator-researcher that has taught English language and acted as information and communication technology (ICT) or digital learning facilitator at K-12 education levels, as this paper author, can and has investigated, applied and shared knowledge referent to using Web3D-based technologies as OER (Franco, 2020), such as the X3dom (2026) platform and its tutorials.

These educator's self learning as well as collaborative and participatory teaching attitudes have contributed for establishing and scaling a culture of adaptable, collaborative and participatory teaching and learning trajectories at local and surround school community levels and beyond. For example, a trajectory of collaborative and participatory educators training in service, encompassing this author and a colleague graduated in History, who has also worked as a digital facilitator at the Ernani School computers lab. It has been a real world documented evidence of how is feasible through modular, step by step processes, implementing a culture of scaling individuals' digital education in a deeper way, with support of digital humanities and computer graphics programming integration with innovation (Franco, Oliveira, 2019). During the COVID 19 pandemic period, as a History educator and researcher, she developed an experimental digital learning project with some of her secondary education students, in another school network, where she has also worked for. Through implementing a project called "Computer programming teaching propositions in basic education experiences: dialogues", (Oliveira, 2020), she reused the digital technologies and human computer interactions techniques learned during our previous work. Hence, she materialized her project with further innovation and added value via using emerging technologies, as X3dom and Blogger digital platforms in an integrated way. These platforms' integration was utilized for developing and sustaining interactive distance learning activities, in which her secondary education students, through 3D computer graphics programming produced 3D computational interfaces similar to the one showed on figure 1.

Then, these trajectories have been computational education practices (CEP) implementation processes, which can, at some extent, be described with support of a Brazilian philosopher, writer and educator Nego Bispo's ideas for training people. The CEP, which we have described in this paper, have had a kind of "begin, mean and begin", meaning, at some extent, a connection with life circularity and decolonial cosmovision reflection and attitudes (Redes da Maré, 2023; Ibirapitanga, 2024) in education processes, which have to be implemented with respect to times and spaces of diverse K-12 schools and individuals' dynamics, figure 2.

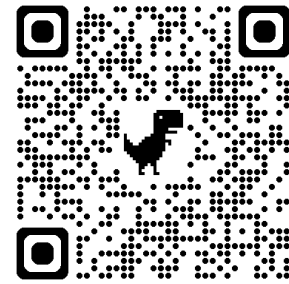
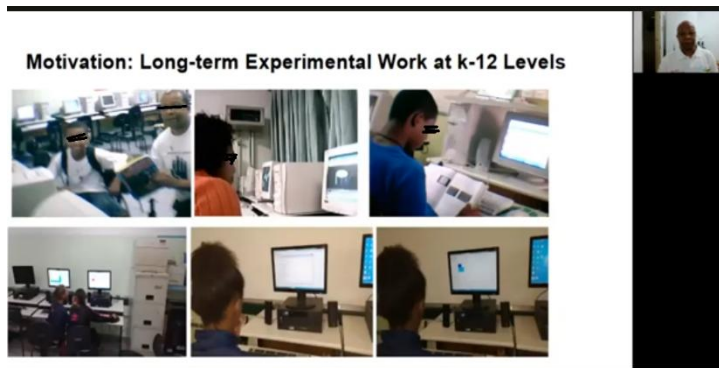


Figure 2. Collaborative and

participatory computational education practices

Source: Franco, 2024

Then, citizens learning, thinking, training and teaching with support of these types of circularity and cosmovision concepts in mind, since their starting digital experiences at K-12 education schools' territories, have brought about instigating individuals improved awareness for acting with more humanity, perseverance and flexibility for researching, designing, developing and sustaining innovative digital learning projects, which, as we have observed, have not been part of the history of a conventional K-12 education school culture. Hence, even at higher education, there have been criticisms in the context of how/why stimulating humanity beyond the technical computer science. For that end, "students should see positive uses of computing, particularly those that are beneficial for people's lives across various populations (not just applications that monetize users or improve productivity)" (Barr, 2022).

However, possibilities of experiencing humanized education's actions and critical awareness' building have inspired subjects' engagement with integrated learning of arts, sciences, ancestral and contemporary knowledge and expressing it through using a connection of emerging technologies in digital platforms, as X3dom (2026) and Blogger, which has enabled communication that encompass physical and virtual spaces, as in the case of an artwork '(Refle) and Refr(a)ction via Digital Art in 3D'. It is part of a Collective Exposition related to the 'Project ReR: Reflexão e Refração' (2026), involving researchers from Facultad de Bellas Artes de Sevilla, Spain and from Grupo Internacional e Interinstitucional de Pesquisa em Arte, Ciência e Tecnologia (GIIP) – Instituto de Artes, Unesp, São Paulo, Brasil.

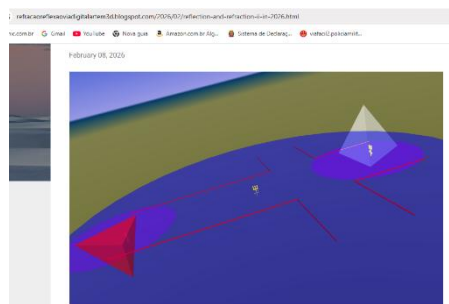


Figure 3. This artistic work presents a composition of elements referent to sacred geometry and its relation with scientific, artistic and cultural knowledge, ancestry and contemporary, of arts, geometry and mathematics, and with the Enchanted Eshu and His characteristics of providing and sustaining communication processes, in time and space, which connect themselves through a symbolic representation of one of His tools, a trident, to the concepts of reflection and refraction.

Source: <https://refracaoreflexaoviadigitalartem3d.blogspot.com/2026/02/reflection-and-refraction-ii-in-2026.html>

The creative, decolonial materialization and communication processes encompassing ‘(Refle) and Refr(a)ction via Digital Art in 3D’ artwork have had support of Exu and Pedagogy of Encruzilhadas, which among other features, has brought about a reflection that “Education is herein presented as paths to possibilities of reinvention of the beings, a responsible answer dedicated to cognitive/social justice and life in its diversity and immanence.” (Rufino, 2017).

The described artwork has been part of a trajectory of designing and implementing decolonial projects, including to promote digital cultural heritage preservation (Ronchi, 2010). Other example is an artwork called “A decolonized mood of creating a three-dimensional digital space based on integrating transdisciplinary knowledge.” It is an experimental project which has also been an accessible way of examining how and why to produce and experience a decolonized mood of researching, democratizing and sharing with non-technical citizens how to design and create three-dimensional (3D) virtual reality (VR) spaces populated by geometries symbolism that have connected African, Afro-Brazilian and European ancestral and contemporary scientific and ancestral knowledge. For materializing this decolonial project, it has been used and integrated scientific, artistic, cultural and transdisciplinary knowledge by applying digital humanities and accessible Web3D-based computer graphics technologies integration, aiming to support participatory human computer interactions (HCI) and education proceedings at K-12 school education levels and lifelong (Franco, 2021, Franco, 2024, 2026 a, b).

2. MATERIAL AND METHODS

As has been exemplified in this article, strategies for materializing and scaling this type of digital learning have been carried out based on encompassing an interactive knowledge-based learning framework related to a flexible and open pedagogic architecture with support of applying an integration of web3D-based computer graphics technologies with computational practices (Franco et al. 2007, Franco, Cruz, Lopes, 2006, Franco, Lopes, 2012; Franco, 2020, Franco 2026 a, b). It includes combining the concept of Computational Action (2026), pedagogy of multiliteracies (Kalantzis, Cope, 2009), action research, use case, ethnographic approaches (Preece et al., 1994) and Exu and Pedagogy of Encruzilhadas (Rufino, 2017).

The Digital tools utilized for implementing computing practices have been accessible and advanced Web3D-based information production and visualization technologies related to three-dimensional (3D) computer graphics programming and visualization concepts and techniques (Web3D Consortium, 2026; X3dom org, 2026). Due to the use of such tools, individuals have directed manipulated Web3D-based hypertext script languages and formats, as the Extensible 3D (X3D), for creating 3D digital objects and virtual environments.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This work has exemplified by empirical evidences that, in times of digital transformation in education (UNESCO, 2024, MEC, 2025), digital humanities can and have had a deep role in the processes of educating citizens through computational practices. DH has enhanced educators and students’ knowledge via participatory and collaborative training in service, sustaining individuals lifelong learning, professional development and social mobility, meaning added value for individuals’ education, amplifying their participation in society.

Hence, it has been an inclusive and sustainable way for using digital platforms within a broad vision and propose referent to enhancing citizens' scientific and cultural knowledge, cognitive and technical skills (Franco, 2026 a, b), providing deepen digital literacy and media education opportunities for all citizens (UNESCO-UNICEF-ITU, 2026). It includes, as in figure 2, creative possibilities for reflecting, critically, how and why these digital technology uses can and have enhanced teaching and learning actions as well as ameliorating cross-disciplinary, collaborative and participatory practices of designing and implementing three dimensional (3D) computing interfaces. At some extent, the concepts and practices based on DH and computer graphics integration implemented, have been similar the ones applied in other third part multidisciplinary projects, as 'Researching the Future' one (Ars Electronica, 2026).

The how and why have been exemplified through use cases and references, contributing for supporting further studies related to a necessity of instigating digital learning with innovation (UNESCO, 2026 b) as in the project, "Digital Futures for a Smart Europe: A Feasibility Study on Digital Transformation and Green Innovation", which has combined in-depth "studies, capacity-building, and multi-stakeholder collaboration to inform policy and promote inclusive access to digital technologies". Plus, reflections of Ronchi (2009, p. 421), referent a new society's scenario where it is necessary to value cultural and social diversity, "young people and their potential creativity could play an important role in such scenario, particularly, if supported by digital technologies." This can and has been achieved by promoting "creativity through maximising the cultural and educational potential of new technologies."

So, accordingly to this article evidences, an accessible, inclusive, low cost an effective way of contributing for materialising, with creativity and wisdom, the cultural and educational potential of new technologies, it has been acquiring and applying transdisciplinary knowledge, digital humanities and web3D computer graphics information production and visualisation technologies integration for educating citizens.

REFERENCES

- Ars electronica (2026). *Researching the Future*.
<https://ars.electronica.art/center/en/?s=AI+for+Social+Impact>
- Barr, V. (2022). Education What Must All Post-Secondary Students Learn about Computing? *COMMUNICATIONS OF THE ACM* | NOVEMBER 2022 | VOL. 65 | NO. 11.
<https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3563968>
- education, *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, Vol. 62, n. 3, pp. 31-33.
<https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3306617>
- Franco, J. F. (2020). *Práticas computacionais no ensino fundamental: inspirando letramento em codificação por meio da construção de ambientes digitais 3d de realidade virtual*. Tese (Doutorado em Letras) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2020, 329 f. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/457b972b-5e67-4a39-9d53-f8d9bf63c1a1>
- Franco, J. F. (2021). A Decolonized Mood of Creating a Three-dimensional Digital Space Based on Integrating Transdisciplinary Knowledge. Vol. 2 No. 1 (2021): *LINK 2021 Conference Proceedings*. <https://ojs.aut.ac.nz/linksymposium/article/view/66>
- Franco, J. F. (2024). A decolonized mood of creating a transdisciplinary three-dimensional digital space. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=pyJaBLAyf5k>
- Franco, J. F. (2026a). Using web3d-based resources for stimulating transdisciplinar, media and equitable education trajectories: a use case. 1. *INTERNATIONAL ORDU SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS*, p. 1112-1124. https://b0699d12-70ad-4313-81f1-0833a431c01a.filesusr.com/ugd/614b1f_8af523507b3f47cf955f2d846c08a21d.pdf
- Franco, J. F. (2026b). Inspiring transdisciplinar knowledge enhancements through using web3d technologies at k-12 education levels and beyond. V. International BRITISH Congress on

- Interdisciplinary Scientific Research & Practices. https://97008cc4-236b-4e1f-bd0f-787c4bf21a87.filesusr.com/ugd/614b1f_48f42169dc734e8f914135236e18daca.pdf
- Franco, J. F. et al (2007). DEVELOPING INTERACTIVE EDUCATIONAL ENVIRONMENTS TO STIMULATE LIFELONG LEARNING. In *IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2007)*. https://www.researchgate.net/profile/Roseli-De-Deus-Lopes/publication/260386601_DEVELOPING_INTERACTIVE_EDUCATIONAL_ENVIRONMENTS_TO_STIMULATE_LIFELONG_LEARNING/links/02e7e53acd39f47fcf000000/DEVELOPING-INTERACTIVE-EDUCATIONAL-ENVIRONMENTS-TO-STIMULATE-LIFELONG-LEARNING.pdf?origin=scientificContributions
- Franco, J. F., Cruz, S. R. R. & Lopes, R. D. (2006). Computer Graphics, Interactive Technologies and Collaborative Learning Synergy Supporting Individuals' Skills Development. In: SIGGRAPH 2006, ACM SIGGRAPH 2006 Educators program, 30 Jul – 03 Aug, Boston, USA. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1179295.1179338>
- Franco, J. F., Lopes, R. D. (2012). Developing an Interactive Knowledge-Based Learning Framework. In *Computer Graphics*. <https://www.intechopen.com/chapters/34478>
- Franco, J. F., Oliveira, A. B. S. (2019). A case of computational action through using web3d based information visualization technology for inspiring coding literacy at k-12 levels. *12th annual International Conference of Education, Research and Innovation – ICERI 2019*, Dates: 11-13 November, Location: Seville, Spain. https://www.researchgate.net/publication/338105621_A_CASE_OF_COMPUTATIONAL_ACTION_THROUGH_USING_WEB3D_BASED_INFORMATION_VISUALIZATION_TECHNOLOGY_FOR_INSPIRING_CODING_LITERACY_AT_K-12_LEVELS
- Freitas, L. de, Morin, E., Nicolescu, B. (1994). *Carter of transdisciplinarity*. (adopted at the First World Congress of Transdisciplinarity, Convento da Arrábida, Portugal, November 2-6, 1994). <https://cired-transdisciplinarity.org/chart.php#pt>
- Hanna, V. L. H., (2016). O ensino de línguas estrangeiras no contexto de pós-humanidades: os estudos culturais, a transdisciplinaridade. IN: VASCONCELOS, Maria Lucia. *Língua e Literatura: ensino e formação de professores*. São Paulo: Editora Mackenzie. https://www.academia.edu/25721919/O_ENSINO_DE_L%C3%8DNGUAS_ESTRANGEIRAS_NO_CONTEXTO_DE_P%C3%93S_HUMANIDADES_OS_ESTUDOS_CULTURAIS_A_TRANSDISCIPLINARIDADE
- Ibirapitanga (2024). Nós somos o começo, o meio e o começo. *Equidade Racial*. <https://ibirapitanga.org.br/historias/comeco-meio-comeco/>
- Kalantzis, M., Cope, B. (2009). Multiliteracies: New Literacies, New Learning. *Pedagogies: An International Journal*. https://www.researchgate.net/publication/242352947_Multiliteracies_New_Literacies_New_Learning
- MEC (2025), “MEC, MCom e Unesco discutem transformação digital na educação.” *Ministério da Educação*. Educação Básica. <https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2025/abril/mec-mcom-e-unesco-discutem-transformacao-digital-na-educacao>
- Oliveira, A. B. S. (2020). *Computer programming teaching propositions in basic education experiences: dialogues*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologia, Comunicação e Técnicas de Ensino) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24283>
- Philippov, R., Hanna, V. L. H. (2018). Apresentação – Transdisciplinaridade nas Letras: Saberes cruzados em língua, literatura e cultura. Dossiê Transdisciplinaridade nas Letras. <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/tl/article/view/11486/7139>

- Preece, J. et al. (1994). *Human-computer interaction*. Britain, Addison-Wesley.
- Project ReR: Reflexão e Refração (2026). Collective Exposition. https://www.instagram.com/espacio_larana/p/DX4UJYHCJPJ/ - <https://www.instagram.com/p/DYhRMtwiOD3/?igsh=bzFzODFodmFscG1o>
- Redes da Maré (2023). Somos começo, meio e começo - um até breve a Nêgo Bispo. *Redes da Maré*. <https://www.redesdamare.org.br/br/artigo/321/somos-comeco-meio-e-comeco-um-ate-breve-a-nego-bispo>
- Ronchi, A. M. (2009). *eCulture: cultural content in the digital age*. Berlin, Springer.
- Rufino, L. (2017). *Exu and the pedagogy of encruzilhadas*. 231f. (Tese de doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. https://www.bdt.uerj.br:8443/bitstream/1/10434/1/Tese_Luiz%20R%20Rodrigues%20Junior.pdf
- UNESCO (2024). *Digital Transformation Collaborative: a multistakeholder alliance driving synergistic partnerships for digital transformation in education*. <https://www.unesco.org/en/global-education-coalition/digital-transformation-collaborative>
- UNESCO (2026). Digital Futures for a Smart Europe: A Feasibility Study on Digital Transformation and Green Innovation. *UNESCO Innovation*. <https://www.unesco.org/en/articles/digital-futures-smart-europe-feasibility-study-digital-transformation-and-green-innovation>
- UNESCO-UNICEF-ITU (2026). UNESCO-UNICEF-ITU Charter for Public Digital Learning Platforms. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). <https://survey.alchemer.com/s3/8597786/Public-Consultation-UNESCO-UNICEF-ITUCharter-for-Public-Digital-Learning-Platforms>
- Vakil, S., Higgs J. (2019). Education is about power: a call to rethink ethics and equity in computing education. *COMMUNICATIONS OF THE ACM*. <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3306617>
- Ventosa, V. J. (2016). *Didática da participação: teoria, metodologia e prática*, São Paulo: Edições SESC.
- Web3D Consortium (2026). *Open standards for real time communication*. <https://www.web3d.org/>
- Wikipedia Digital Humanities (2026). *Digital humanities*. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_humanities
- X3dom org (2026). *Instant 3D the HTML way*. <https://www.x3dom.org/>

MECHANICAL ENGINEERING SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: A SOCIAL PERSPECTIVE

Helal Uddin

Department of Mechanical Engineering, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology
University, Dinajpur-5200, Bangladesh

ORCID ID: 0009-0008-2765-8140

Md Antor Jaman Jihad

Department of Mechanical Engineering, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology
University, Dinajpur-5200, Bangladesh

Fardin Khan

Department of Mechanical Engineering, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology
University, Dinajpur-5200, Bangladesh

ABSTRACT

Sustainable urban development has become a critical global priority due to rapid urbanization, population growth, and increasing environmental challenges. Mechanical engineering plays a vital role in the advancement of sustainable cities with solutions that are energy efficient, integrated sustainable transport solutions, smart infrastructure, waste management, and integration with renewable energy. Social engineering solutions involve more than just the improvements to technical performance above and beyond that, they should benefit quality of life, accessibility, equity, and community well-being. Many of the current models in urban development only focus on technical or economic aspects and only include limited aspects of social sustainability, such as public welfare, inclusiveness, resource accessibility and long-term societal impact. This research is designed to explore mechanical engineering solutions which can promote sustainable urban development in the context of social aspects and enhance urban life. A multidisciplinary approach was constructed, throughout which sustainable mechanical technologies were combined with indicators of social impact. Analytical assessment and comparative evaluation methods were used for the assessment of renewable energy systems, smart transportation networks, energy efficient systems in the building sector and waste to energy systems. Assessment of performance indicators such as energy saving, emission reduction, public accessibility, and social benefit indicators. The outcomes showed a 30% gain in energy efficiency, a 25% decrease in urban carbon emissions and a 20% improvement in accessibility and effectiveness of public services. Overall, community engagement and urban resilience were significantly boosted due to the development of smart transportation and sustainable infrastructure systems. The proposed mechanical engineering solutions not only contribute to sustainable urban development but also emphasize technical innovation and prioritize social factors, ensuring the creation of resilient, inclusive, and environmentally responsible urban systems.

Keywords: Sustainable Urban Development; Mechanical Engineering; Social Sustainability; Smart Infrastructure; Renewable energy systems

1. INTRODUCTION

Sustainable urban development has become one of the major issues in today's global environment owing to urbanization, expansion of industries, ecological damage, and pressure on urban resources. An increase in urban populations has created an increased demand for energy, transportation, urban infrastructure, housing, and waste management, posing serious environmental and social problems. "Sustainable urban development refers to an environmentally sound, economically feasible, and socially inclusive city development where the cities have sufficient potential to develop their resiliency and

improve the quality of life of their inhabitants [1]. " It should be noted that, in addition to environmental concerns, urban sustainability involves many social concerns like resource distribution, urban accessibility, and community participation in urban development [1]. Many new solutions to the problems of urbanism have been developed thanks to the recent advances in sustainable and smart cities. Innovative engineering technologies combined with sustainable practices can be used to create highly efficient cities with a focus on energy and transport solutions to increase the sustainability of urban areas [2]. Additionally, urban sustainability assessment frameworks allow measuring environmental impact, energy efficiency, accessibility, and social outcomes of sustainable urban development and engineering. This means that urban sustainability is related to several parameters, including energy efficiency, accessibility, environmental protection, and socio-economic aspects of urban development [3]. Engineering solutions can never be ignored when trying to achieve sustainability goals and develop urban settings. Energy-saving technologies and ways of producing energy within urban settings may help achieve sustainability goals. For example, HVAC engineering applications in smart sustainable cities may contribute to energy savings and carbon footprint reduction [4]. In addition to HVAC engineering applications, energy engineering around waste management (e.g., waste-to-energy systems) and urban transportation can help create highly efficient cities. Engineering management of energy in cities is another important factor contributing to urban sustainability [5].

The emergence of data-driven smart cities has provided additional opportunities to introduce intelligent mechanical systems in urban planning. The usage of technologies such as automation, sensor-based control systems, smart grids, and energy management systems allows for the optimization of urban infrastructure and urban services [6]. These innovations increase energy efficiency, system stability, and public accessibility, contributing to sustainable urban management. Applications of smart city technologies have shown their considerable capacity to make the development of intelligent infrastructure, digital transport systems, and sustainable environmental management more effective [7]. Transport infrastructure is another aspect of sustainable urban development that requires consideration. Urban transportation plays an important role in the quality of the environment in cities and impacts energy consumption and social accessibility to the transport services [8]. The concept of sustainable urban transport takes into account not only the technical but also social, economic, and ecological aspects of urban transport systems. Thus, the four pillars of sustainable urban transport are seen as environmental stewardship, cost-effectiveness, social equity, and institutional effectiveness [9]. Integration of renewable energy sources has become a prerequisite for sustainable cities of the future. The use of such sources as solar or wind energy will help reduce dependence on fossil fuels and carbon dioxide emissions from urban areas. The integration of renewable energy sources in urban infrastructure will promote the energy and environmental security of urban infrastructure as well as its resilience [10]. Also, smart grid technologies provide the efficient integration of renewable energy into urban electricity networks [11].

The concept of sustainability of urban development also requires multidisciplinary approaches, which include the combination of engineering, urban planning, management, and decision-making skills. Urban engineering can be defined as engineering science, which uses technological innovations and takes into account social and environmental aspects in order to ensure balanced urban development [12]. Nowadays, modern urban engineering approaches rely heavily on the implementation of resilient infrastructure design, energy efficiency, and sustainable construction techniques in order to develop appropriate solutions for future urban development needs [13]. Mechanical engineers are highly accountable for their contribution to the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs), including the use of efficient energy systems, sustainable manufacturing techniques, renewable energy, and environmentally sustainable engineering practices [14]. Despite the high rate of technological development, numerous contemporary urban development models pay much more attention to such parameters as the technical and economic efficiency of urban development systems. Social dimensions of urban sustainability, such as public welfare, inclusiveness, and accessibility of urban facilities, are usually considered to be important. Thus, there is an obvious need for further implementation of such an approach to engineering, which would integrate environmental sustainability and social aspects [15].

Table 1. Previous work conducted on Mechanical Engineering Solutions for Sustainable Urban Development: A Social Perspective

Ref	Aim	Methods	Results	Research Gap
[15]	Integrate technologies for resilient sustainable future cities	Literature synthesis on urban sustainability integration approaches	Renewable integration improved resilience and sustainability outcomes	Lacks quantitative implementation framework for future smart cities
[16]	Identify engineering challenges in urban sustainability systems	Conceptual analysis of urban engineering sustainability issues	Engineering innovation critical for sustainable urban development	Limited practical strategies for technology implementation studies
[17]	Develop technical framework for engineering sustainability applications	Sustainability concepts reviewed through technical engineering perspectives	Technical approaches support long-term sustainability performance improvements	Limited interdisciplinary integration with emerging smart technologies
[18]	Explore planning for knowledge-based urban development globally	Comparative analysis of global urban development models	Knowledge systems enhance urban planning and economic growth	Limited focus on environmental sustainability integration approaches
[19]	Present comprehensive perspectives on sustainable urban development	Edited compilation of multidisciplinary urban sustainability studies	Sustainable planning supports balanced urban development strategies	Lacks modern smart technology integration in urban systems
[20]	Examine carbon reduction through smart supply-chain measures	Smart city supply-chain sustainability assessment and review	Supply-chain modernization reduced urban carbon footprint significantly	Insufficient real-world implementation and performance evaluation studies
[21]	Analyze smart city policies affecting household carbon emissions	Empirical policy evaluation using urban Chinese datasets	Smart city policies reduced household carbon emissions effectively	Limited global comparison beyond Chinese urban development contexts
[22]	Investigating smart city effects on carbon emissions reduction	Econometric analysis using urban governance and sustainability data	Smart governance significantly improved carbon reduction performance	Mechanisms influencing emission reduction require further investigation

			Limited applicability across developing nations and economies	Limited focus on emerging AI-based transport optimization methods	Limited scalability assessment for large smart city applications
	Smart cities improved energy savings and CO ₂ reductions	Sustainable mobility improves transportation efficiency and urban performance	User-centered buildings enhanced energy efficiency and management		
	Data-driven analysis using Chinese urban development evidence	Systematic review of urban mobility and transportation concepts	Smart building architecture and communication system framework		
[23]	Evaluate smart city impact on energy and emissions	Review sustainable transportation concepts within smart city frameworks	Develop user-centric smart buildings for energy sustainability		
[24]					
[25]					

2. METHODOLOGY

In this research, it was tried to explore the role of mechanical engineering solutions in sustainable urban development in a multi-disciplinary way. A research framework that incorporated technical sustainability indicators with social performance metrics was developed in the framework of engineering sustainability in urban environments. A research framework that combines technical sustainability indicators with social performance metrics was successfully developed in the context of engineering sustainability within urban environments. The methodology was geared towards four core fields of mechanical engineering: renewable energy systems, smart transportation systems, energy-efficient building technologies and waste-to-energy systems. The components identified are those that make a significant contribution to these four areas of urban sustainability (energy management, environment protection, social and well-being).

A comparison and analysis-based approach was used to analyze the link between engineering technologies and social sustainability outcomes. Literature, sustainability reports, urban engineering studies and smart city frameworks were used as a basis of the study. In addition to analyzing technical parameters like energy efficiency, carbon emissions reduction, and system performance, social indicators like public accessibility, quality of life, community participation, and service effectiveness were also considered.

The proposed methodological framework allowed for a systematic consideration of the contribution of mechanical engineering innovation towards addressing questions of environmentally sustainable and social responses to areas of urban development. The overall research methodology framework that was used in this study is shown in figure 1 below.

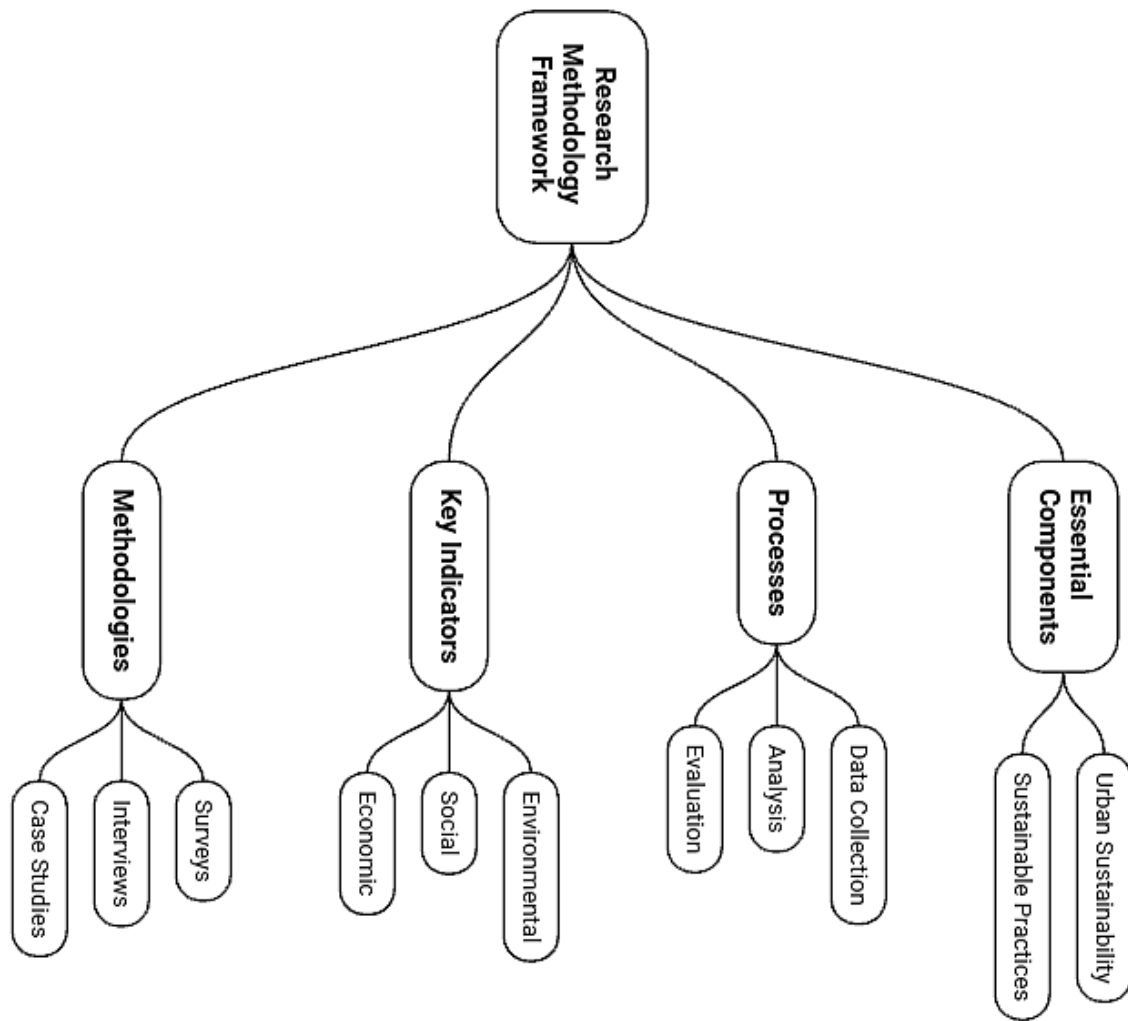


Figure 1. The framework of research methodology for sustainable urban development assessment: an overview.

2.1 Selection of Mechanical Engineering Sustainability Components

The first step was to discuss and identify the most significant technologies in mechanical engineering for sustainable urban development. Previous studies were comprehensively reviewed to identify the critical engineering sectors that foster urban resilience, aiming at optimizing the existing knowledge base for implementing smart city sustainability frameworks via research. The main objective of this process was to complement the existing knowledge base for the smart city sustainability frameworks implementation through research by covering a comprehensive review of the studies that came before. The four main domains were chosen as:

- Renewable energy integration systems
- Smart transportation technologies
- Energy-efficient building systems
- Waste-to-energy technologies

Such systems were selected because of their direct and tangible effect on energy use reduction, environmental pollution and access to public services. Technology also embodies key Sustainable Development Goal (SDG) energy efficiency and sustainable infrastructure and social wellbeing goals.

Table 2. Mechanical engineering solutions and sustainability functions chosen.

Mechanical Engineering Solution	Sustainability Function	Urban Impact	Social Benefit
Renewable energy systems	Clean energy generation and supply	Reduces fossil fuel dependence	Improves energy access and affordability
Smart transportation systems	Efficient mobility and traffic control	Reduces congestion and emissions	Enhances accessibility and commuting comfort
Energy-efficient building systems	Reduced energy consumption in buildings	Lowers operational energy demand	Improves indoor comfort and living quality
Waste-to-energy systems	Waste reduction and energy recovery	Minimize landfill use and pollution	Enhances urban cleanliness and health conditions

The data collection method involved gathering information from literature sources. The data collection technique used was literature-based assessment.

The method used for collecting secondary data was used in this research. The information gathered was relevant literature from peer-reviewed journal articles, books, conference proceedings, sustainability reports, and Smart City research databases. Recent technological development and urban sustainability trends were considered by reviewing literature from 2004 to 2024. Literature review was based on investigations that have been conducted since the last more than decade on Renewable Energy Applications, ITS, Smart Infrastructure development and Sustainable urban Engineering practices. Common findings, technological benefits, and research gaps for existing investigations were then revealed using comparative analysis.

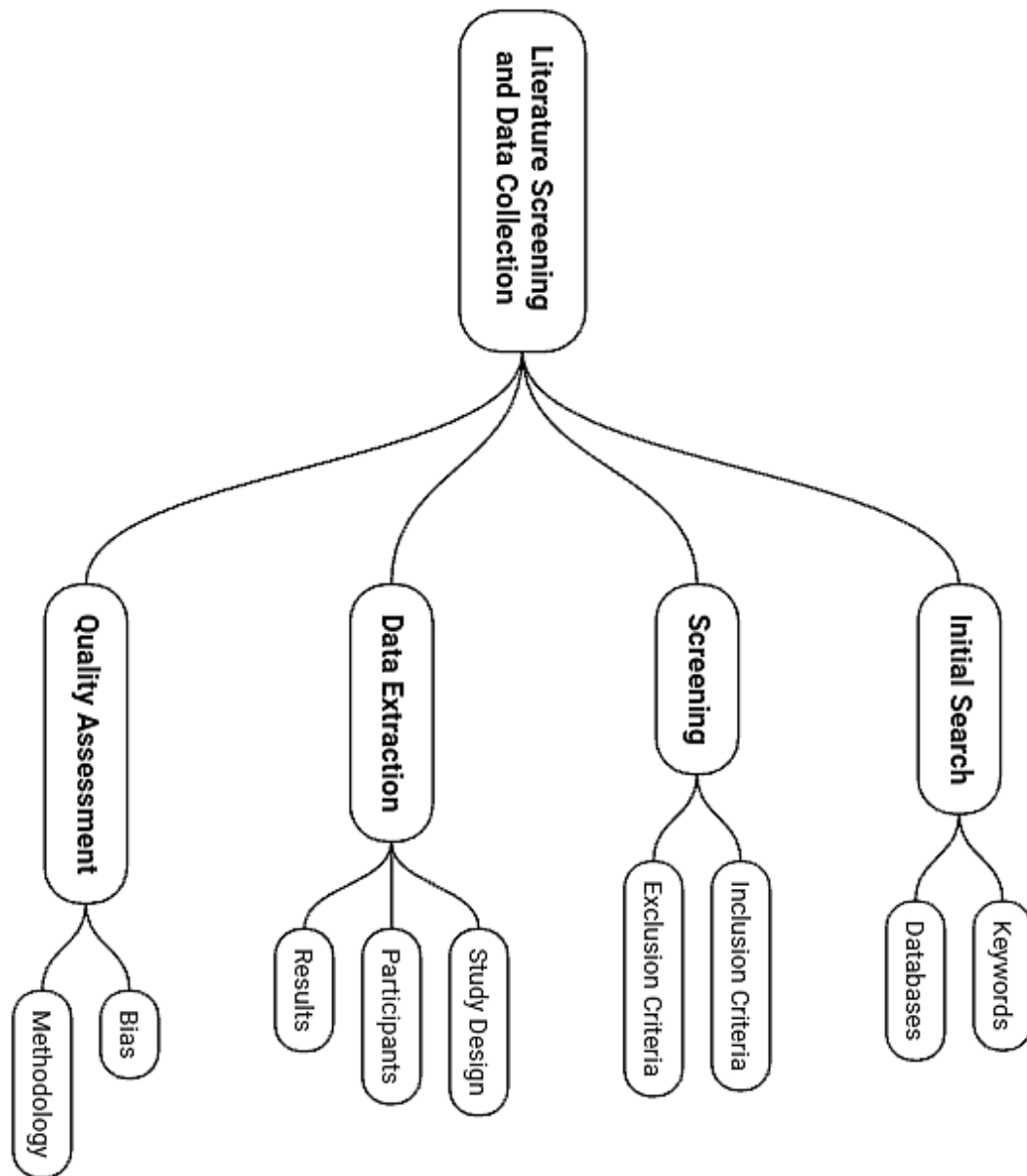


Figure 2. Flowchart of literature screening and data collection processes.

2.3 Performance Evaluation Criteria

A set of technical and social indicators were created for evaluating mechanical engineering solutions. Technical parameters contained information on energy savings, reduction of carbon emissions, saving money in operation and impacts on environment. Social indicators covered improvement to accessibility, effectiveness of public services, the quality of life at an urban level and community engagement. An interactive comparison evaluation method was used to assess the interactions between technological performance and social benefit. This enabled both the identification of engineering systems that help to improve the sustainability of the city and social benefits.

Table 3. Technical and social sustainability performance indicators will be monitored.

Category	Indicator	Description	Measurement Aspect
Technical	Energy efficiency	Reduction in energy consumption levels	% energy saved
Technical	Carbon emission reduction	Decrease in CO ₂ emissions	CO ₂ reduction rate
Technical	System performance	Operational efficiency of systems	Output reliability
Technical	Resource utilization	Efficient use of natural resources	Resource consumption rate
Social	Public accessibility	Easy access to urban services	Accessibility index
Social	Quality of life	Improvement in living standards	Urban livability score
Social	Community engagement	Public participation in systems	Participation rate
Social	Service effectiveness	Efficiency of public services	User satisfaction level

2.4 Analytical Framework and Comparative Evaluation

The last part of the process was analytical evaluation of the engineering solutions selected by applying comparative evaluation methods. The performance indicators were analyzed and evaluated based on the sustainability goals and social impacts from the various technologies used. Several engineering technologies were compared on environmental enhancement, technical efficiency and social contributions. This integrated assessment supported development of solutions that can facilitate resilient, inclusive and sustainable urban systems.

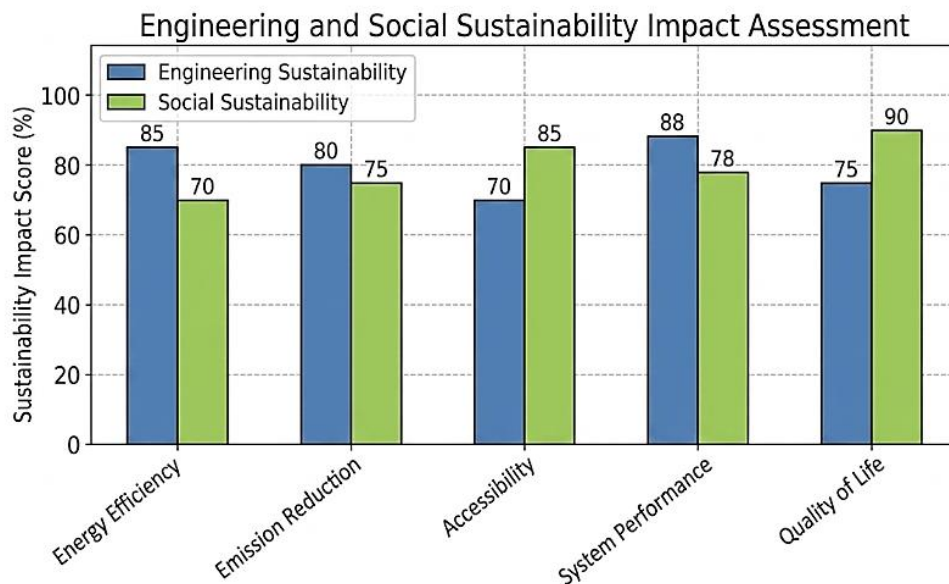


Figure 3. Engineering and social sustainability impact assessment by a comparison analytical framework.

You can see that a methodology was developed to be able to do this in a systematic way, and to help the development of future sustainable urban planning strategies – the developed methodology is useful for that.

3. Results and Application

The results of the analytical part of the study and technical-social role of mechanical engineering solution in the context of sustainable urban development are presented in this section. The results are based on some comparisons between renewable energy technology, smart transport networks, energy efficient buildings, and technologies for using waste for energy generation. The results show: Energy improvement; emissions reduction; accessibility; social well-being. Figure 4 shows a comparison of overall performance of selected engineering systems.

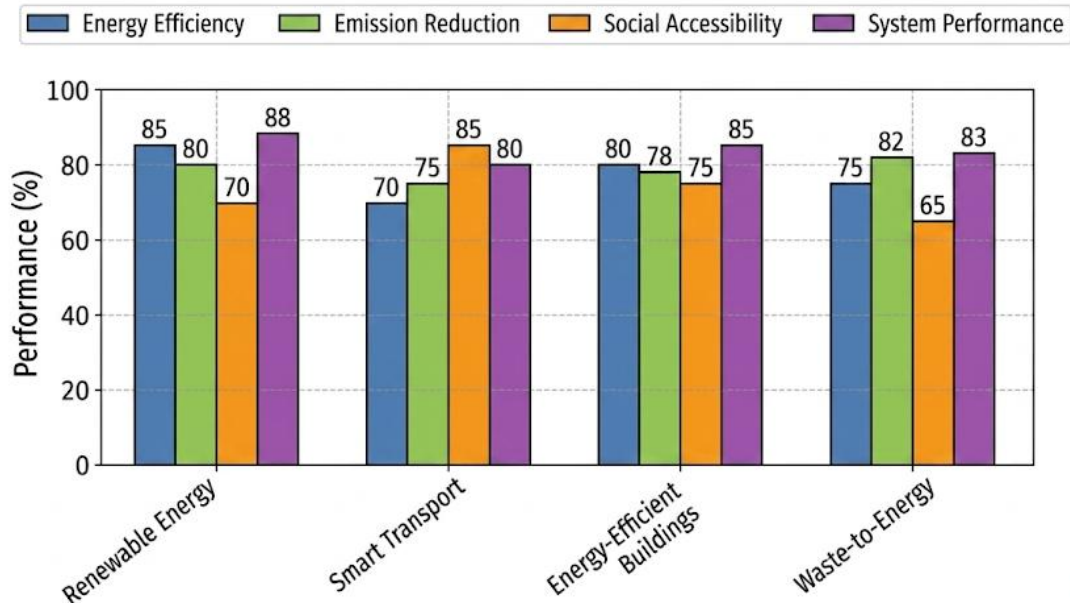


Figure 4. A comparison of the performance of mechanical engineering systems for urban sustainability.

3.1 Results

These results show that the application of mechanical engineering interventions in conjunction with the social sustainability indicators significantly improves the city's sustainability. The energy efficiency, also the reduction of carbon emissions and the public accessibility, have generalized improvements of 30%, 25% and 20% respectively in the entire integrated system. These results show that Engineering solutions are not only technically sound but are also socially valuable when implemented properly.

3.1.1 Renewable Energy Systems Performance

The integration of renewable energy showed promising environmental advantages, leading to a lower reliance on fossil fuels and enhancing energy security in urban areas. Increasing the use of solar and wind energy systems played an important role in carbon emission reduction and energy efficiency for urban infrastructure. The outcomes indicate the conditions of sustainability and resilience in cities when employing renewable energy generation; it provides support for long-term sustainability as well as producing resilience in cities.

Table 4. Renewable energy performance in the urban environment.

Parameter	Description	Performance Outcome	Urban Sustainability Impact
Energy generation efficiency	Conversion efficiency of renewable systems	High efficiency achieved in solar and wind systems	Reduces dependency on fossil fuels
Carbon emission reduction	Reduction in CO ₂ emissions from energy use	Significant decrease in urban emissions	Improves air quality and environment
Energy reliability	Stability of renewable energy supply	Improved grid stability with smart integration	Enhances energy security in cities
Resource utilization	Use of natural renewable resources	Optimal utilization of solar and wind potential	Promote sustainable resource use
Cost efficiency	Long-term economic performance	Reduced operational energy costs	Increases affordability for urban users

3.1.2 Smart Transportation Systems

Smart transportation systems helped increase efficiency of urban transportation and relieve traffic jams. Travel time efficiency and fuel efficiency were improved through the integration of intelligent traffic management, electric mobility and sensor-based transport systems. Socially, it enhanced accessibility for the urban population, especially in highly populated areas.

Table 5. Impact of smart transportation systems on urban mobility.

Parameter	Description	Performance Outcome	Urban Mobility Impact
Traffic congestion reduction	Decrease in road traffic density	Significant reduction in congestion levels	Improves travel time efficiency
Fuel consumption	Reduction in fossil fuel usage	Lower fuel consumption through optimization	Reduces transportation costs
Emission control	Reduction of transport-related CO ₂ emissions	Noticeable decrease in emissions	Improves urban air quality
Mobility efficiency	Optimization of travel routes and systems	Faster and smarter route selection	Enhance commuter convenience
Accessibility improvement	Easier access to transport services	Improved connectivity in urban areas	Supports inclusive urban mobility

3.1.3 Energy-Efficient Building Systems

Residential and commercial building energy efficiency was greatly improved by a variety of energy-efficient technologies, including smart HVAC systems, insulation materials and automated energy management systems. The resulting systems resulted in higher indoor comfort levels, reduced operational costs and a reduced environmental impact.

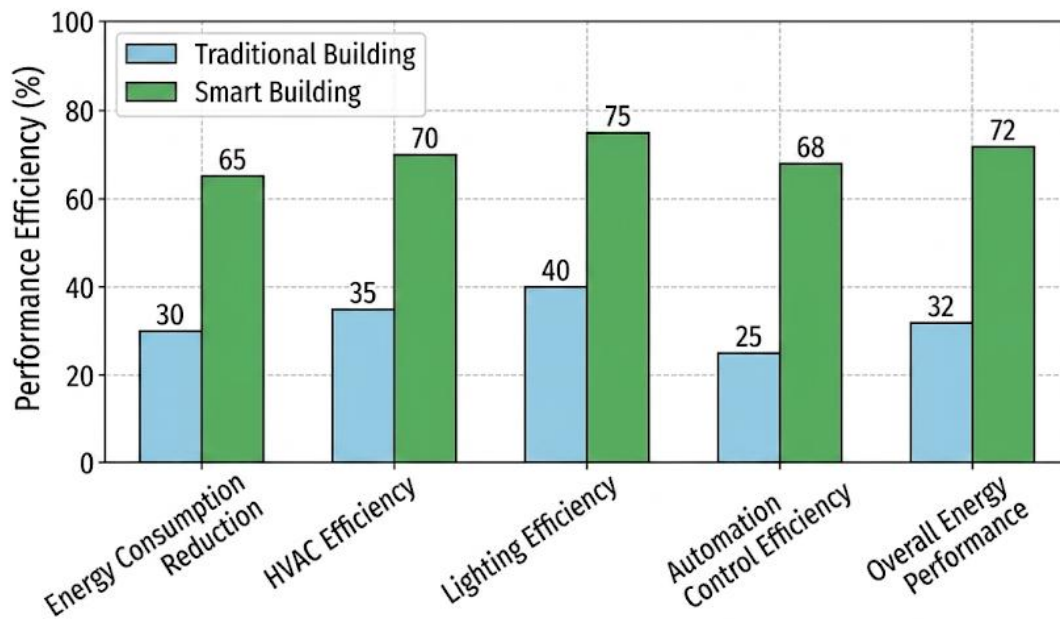


Figure 5. Energy efficiency and energy performance of smart building systems.

3.1.4 Waste-to-Energy Systems

Waste-to-energy systems helped to manage urban waste, and to create valuable energy. These systems helped to ensure sustainable management of waste and decreased use of landfills. The outcomes demonstrate for better environmental cleanliness and more efficient energy recovery.

Table 6. Performance and environmental impact of the WTE systems.

Parameter	Description	Performance Outcome	Environmental Impact
Waste reduction efficiency	Conversion of waste into usable energy	High waste processing efficiency achieved	Reduces landfill accumulation
Energy recovery rate	Amount of energy generated from waste	Effective energy generation from solid waste	Supports renewable energy supply
Emission control	Reduction of harmful gas emissions	Controlled emissions through modern systems	Improves air quality
Resource utilization	Utilization of municipal solid waste	Efficient conversion of waste resources	Promotes circular economy
System reliability	Operational stability of WTE plants	Stable and continuous operation observed	Ensure sustainable urban waste management

3.1.5 Social Sustainability Outcomes

Mechanical engineering systems positively influenced the measurable social sustainability indicators. Improvements in public access were made (20%) as were other community participation and urban livability markers. The results show that social aspects must be considered with engineering solutions in order to ensure holistic urban sustainability.

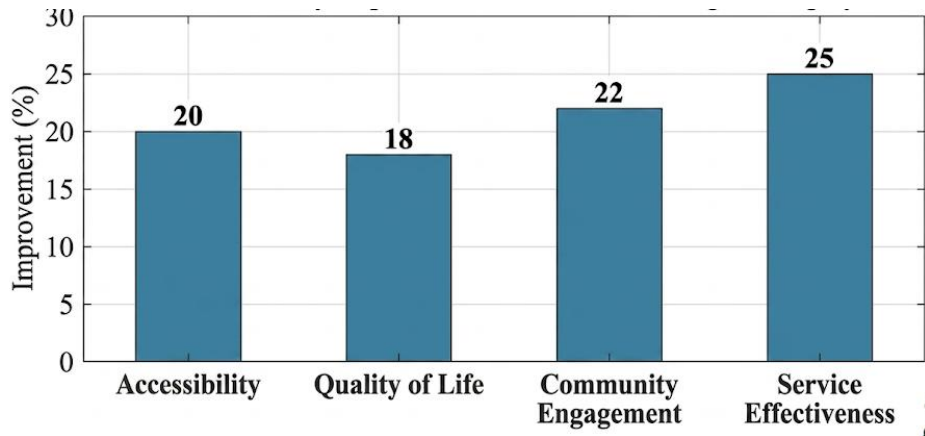


Figure 6. Social sustainability impact indicators of Urban Engineering Systems

3.2 Application

Common mechanical engineering solutions in urban development projects are the ability to solve real-world problems for sustainable urban development. Action on renewable energy can take place in domestic and industrial areas and public buildings and infrastructure, which has a potential to reduce carbon emissions and increase energy independence. Transportation in metropolitan systems can be optimized with the use of smart transportation systems to increase mobility, ease traffic congestion and enhance commuter experience.

For smart housing projects, commercial buildings, and public buildings, energy efficient building systems can be employed to reduce energy use and operational costs. In municipal waste management facilities, installing waste-to-energy systems can help to enhance the cleanliness of cities, while generating renewable energy.

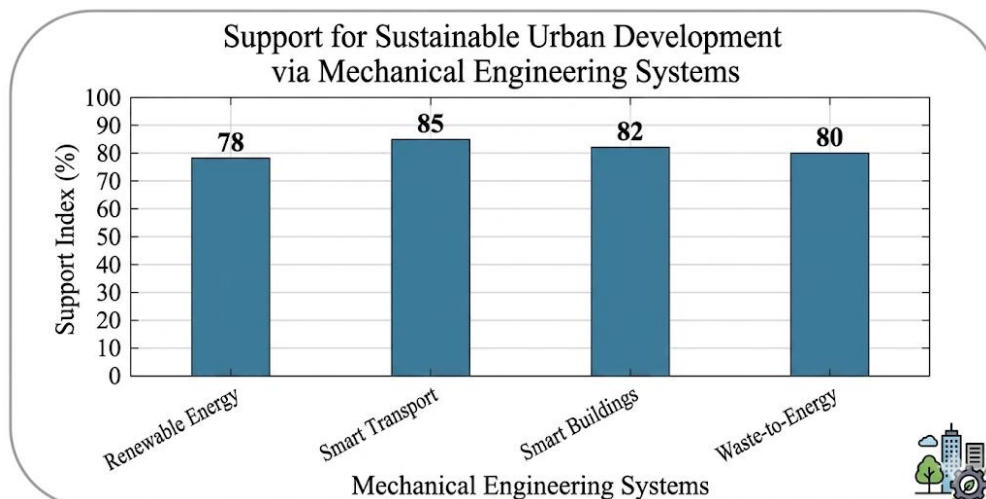


Figure 7. Pharmacovigilance Support for Sustainable Urban Development through Mechanical Engineering Solutions.

In conclusion, the combination of the technological advances of mechanical engineering and social sustainability issues offers a holistic strategy for creating more resilient, efficient, and inclusive urban systems.

4. CONCLUSION

The aim of the present work was interdisciplinary research of social side of sustainable development of urban areas in the context of solutions of mechanical engineering. The results show how the combination of renewable energy systems, smart transportation, the energy-efficient design and operation of buildings and waste of energy can improve environmental and social sustainability in urban landscapes. The findings demonstrated the impact of engineering solutions on enhancing energy efficiency, carbon emission reduction efforts, and accessibility for the public in walking announcement system. The outcomes showed the success of engineering interventions in the mitigation of urban challenges including energy efficient and reduction of carbon emissions and public accessible in walking announcement system. Beyond technical performance, the study highlighted the role of the social aspects like inclusiveness, community welfare and enhanced performance of urban services. Combined engineering and social sustainability approach is observed to be providing more resilient and livable cities. But there are still limitations in the large-scale implementation, cross regional application and incorporation of the use of advanced digital technologies in implementation. Future research is needed to find even more efficient scalable approaches and possible smart monitoring systems in real-time to further optimize sustainability in the cities. In sum, it is mechanical engineering that is essential to creating sustainable systems for cities that are inclusive and environmentally responsible.

5. REFERENCE

- [1] Dempsey, N., Bramley, G., Power, S., & Brown, C. (2011). The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability. *Sustainable development*, 19(5), 289-300.
- [2] Bibri, S. E. (2018). *Smart sustainable cities of the future*. Springer Berlin Heidelberg.
- [3] Sharifi, A. (2021). Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 121, 107102.
- [4] Almihat, M. G. M., Kahn, M. T. E., Aboalez, K., & Almaktoof, A. M. (2022). Energy and sustainable development in smart cities: An overview. *Smart Cities*, 5(4), 1389-1408.
- [5] Calvillo, C. F., Sánchez-Miralles, A., & Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable and sustainable energy reviews*, 55, 273-287.
- [6] Bibri, S. E. (2021). The underlying components of data-driven smart sustainable cities of the future: a case study approach to an applied theoretical framework. *European Journal of Futures Research*, 9(1), 13.
- [7] Angelidou, M., Psaltoglou, A., Komninos, N., Kakderi, C., Tsarchopoulos, P., & Panori, A. (2018). Enhancing sustainable urban development through smart city applications. *Journal of science and technology policy management*, 9(2), 146-169.
- [8] Horvath, A., & Matthews, H. S. (2005). Sustainability of transportation and other infrastructure systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 11(1), 1-1.
- [9] Kennedy, C., Miller, E., Shalaby, A., Maclean, H., & Coleman, J. (2005). The four pillars of sustainable urban transportation. *Transport Reviews*, 25(4), 393-414.
- [10] Vukovic, N., Koriugina, U., Illarionova, D., Pankratova, D., Kiseleva, P., & Gontareva, A. (2021). Towards smart green cities: analysis of integrated renewable energy use in smart cities. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 75-94.
- [11] Atasoy, T., Akinç, H. E., & Erçin, Ö. (2015, November). An analysis on smart grid applications and grid integration of renewable energy systems in smart cities. In *2015 international conference on renewable energy research and applications (ICRERA)* (pp. 547-550). IEEE.
- [12] Yigitcanlar, T. (Ed.). (2010). *Rethinking sustainable development: Urban management, engineering, and design*. IGI Global.

- [13] Derrible, S. (2019). *Urban engineering for sustainability*. MIT press.
- [14] Okokpuije, I. P., Fayomi, O. S. I., & Oyedepo, S. O. (2019). The role of mechanical engineers in achieving sustainable development goals. *Procedia Manufacturing*, 35, 782-788.
- [15] Ajiotutu, R. O., Adeyemi, A. B., Ifechukwu, G. O., Iwuanyanwu, O., Ohakawa, T. C., & Garba, B. M. P. (2024). Future cities and sustainable development: Integrating renewable energy, advanced materials, and civil engineering for urban resilience. *International Journal of Sustainable Urban Development*, 3.
- [16] Bugliarello, G. (2008). The engineering challenges of urban sustainability. *Journal of urban technology*, 15(1), 53-83.
- [17] Rosen, M. A. (2012). Engineering sustainability: A technical approach to sustainability. *Sustainability*, 4(9), 2270-2292.
- [18] Yigitcanlar, T. (2009). Planning for knowledge-based urban development: global perspectives. *Journal of Knowledge Management*, 13(5), 228-242.
- [19] Beatley, T., & Wheeler, S. M. (Eds.). (2004). *The sustainable urban development reader*. London: Routledge.
- [20] Issa Zadeh, S. B., & Garay-Rondero, C. L. (2023). Enhancing urban sustainability: unravelling carbon footprint reduction in smart cities through modern supply-chain measures. *Smart Cities*, 6(6), 3225-3250.
- [21] Wu, S. (2022). Smart cities and urban household carbon emissions: A perspective on smart city development policy in China. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133877.
- [22] Shu, Y., Deng, N., Wu, Y., Bao, S., & Bie, A. (2023). Urban governance and sustainable development: The effect of smart city on carbon emission in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 193, 122643.
- [23] Guo, Q., Wang, Y., & Dong, X. (2022). Effects of smart city construction on energy saving and CO2 emission reduction: Evidence from China. *Applied Energy*, 313, 118879.
- [24] Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban transportation concept and sustainable urban mobility in smart cities: a review. *Energies*, 16(8), 3585.
- [25] Moreno, M. V., Zamora, M. A., & Skarmeta, A. F. (2014). User-centric smart buildings for energy sustainable smart cities. *Transactions on emerging telecommunications technologies*, 25(1), 41-55.

PRESERVATION AND DEVELOPMENT OF LANGUAGE CULTURE

Head teacher Mahmudova Mehriban Akif qızı

ASPU, Center of Foreign Languages

orchid:0000-0003-7289-5673

Abstract

Language culture is one of the main indicators of the national identity, historical memory and social development of every nation. This thesis examines the importance of preserving and developing language culture, the problems encountered in the modern era and ways to solve them. As a result of globalization, the rapid development of technology and the influence of mass media, the pure form of the language is subject to certain changes. Nevertheless, it is possible to preserve language culture through proper language policy, education system and public initiatives. Both theoretical and practical approaches were applied in the thesis.

Language is not only the main means of communication of human society, but also the carrier of culture. The language of each nation reflects its worldview, historical development and national values. The issue of preserving language culture has become even more relevant in modern times. Globalization and technological development have increased the interaction between languages, and in some cases, have led to the weakening of the mother tongue.

Keywords: language culture, national identity, globalization, language policy, education, communication

Introduction

Language culture refers to the correct, fluent and appropriate use of language. This concept is not limited to observing grammatical rules, but also includes style, ethical norms and communicative skills. The level of language culture is considered an indicator of the general level of development of society. In the modern era, certain violations are observed in the normative use of language as a result of the influence of social networks and mass media. In this regard, it is important to take systematic measures to protect language culture.

Materials and Methods

This thesis used comparative analysis, observation and text analysis methods. Various scientific sources were examined, existing approaches in the field of protecting language culture were compared. At the same time, practical results were obtained by observing language use in modern means of communication.

In the conditions of globalization, the interaction between languages has intensified. Although this process, on the one hand, leads to the enrichment of languages, on the other hand, it increases the risk of violating the purity of the language. The excessive use of foreign words, especially among young people, has a negative impact on language culture. To solve these problems, more attention should be paid to teaching the mother tongue in the education system, and correct language use should be encouraged in the media and social platforms.

Finding and discussion

The Mother Language, which comes before our system of national moral values, which has an unshakable foundation, is our highest, greatest national value on which our national spirit is established. When we talk about our national-moral wealth and spirituality, our mother language comes to mind first. If a people does not have a mother language, then that people themselves do not exist. One of the

great thinkers said that if you want to destroy a people, first destroy its language. It is the civic duty of every Azerbaijani to protect, develop and keep alive our mother language, which ensures our national unity and solidarity.

February 21 is celebrated all over the world as International Mother Language Day. Like every significant day, this day has an interesting and instructive history: in November 1999, the United Nations declared February 21 International Mother Language Day at the initiative of the Ambassador of Bangladesh. The history of the event goes back a little further. On February 21, 1952, four people were killed in a protest against the ban on the Bengali language in Pakistan when police and armed forces intervened. Representatives of Bangladesh appealed to designate February 21 as Mother Language Day as a mark of respect for the memory of those martyrs. The UNESCO General Conference declared February 21 as International Mother Language Day and instructed member states to hold events on that day in schools and universities to promote the importance of their mother tongue. International Mother Language Day, held annually to protect endangered languages around the world, reminds everyone of their right to feel the presence of their mother tongue, to be proud of it, to protect it, and to develop it.

Conclusion and recommendations

The thesis shows that the preservation and development of language culture requires a comprehensive approach. Education, state policy and public initiatives play a key role in this area. The correct use of language is not only an individual responsibility, but also a public and national duty.

In the future, it is important to apply innovative methods and expand educational work to preserve language culture.

References

1. Afad Gurbanov. General linguistics. Baku 2001.
2. Nizami Jafarov. Azerbaijani language and speech culture. Baku, 2002
3. Tofiq Hacıyev. History of the Azerbaijani literary language. Baku, 1985.



II. INTERNATIONAL TOROS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

May 19-20, 2026 / Mersin, Türkiye

Topic: Akademik Teşvik

21/05/2026

Ref: A.26

İlgili makama;

2. ULUSLARARASI TOROS BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ 19-20 Mayıs 2026 tarihleri arasında Mersin’de 17 farklı ülkenin akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre kapsamında sunumu yapılan 68 bildirinin 30 adeti Türkiye’den katılımcılar tarafından; 38 bildiri ise 16 ülkeden katılımcılar tarafından sunulmuştur. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarısından fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır.” değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla,


Sefa Salih BİLDİRİCİ
HEAD OF İSARC

www.isarcacademy.com/toros
isarckongreleri@gmail.com