CONFERENCE BOOK

UZAKDOĞU 7. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

20 - 26 AĞUSTOS 2026

TOKYO

UZAKDOĞU 7. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

August 20 - 26, 2026
Tokyo

ISBN : 978-625-8795-39-4

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE

FAR EAST ASIA 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 20 - 26, 2026
TOKYO

Edited By
PROF. DR. BAŞAK HANEDAN

Issued: 10.09.2026
ISBN: 978-625-8795-39-4

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 28 papers have been presented by Turkish participants and 37 papers by international participants.
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.
Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

CONFERENCE ID

FAR EAST ASIA 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
AUGUST 20 - 26, 2026
TOKYO

ORGANIIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS
All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Georgia – Tanzania- Nigeria- Singapore- Japan -UAE – Greece – Azerbaijan- Qatar – Romania- Indonesia- Moldova - Saudi Arabia- Egypt -Iran -

PRESENTATION
Oral presentation

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.
Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

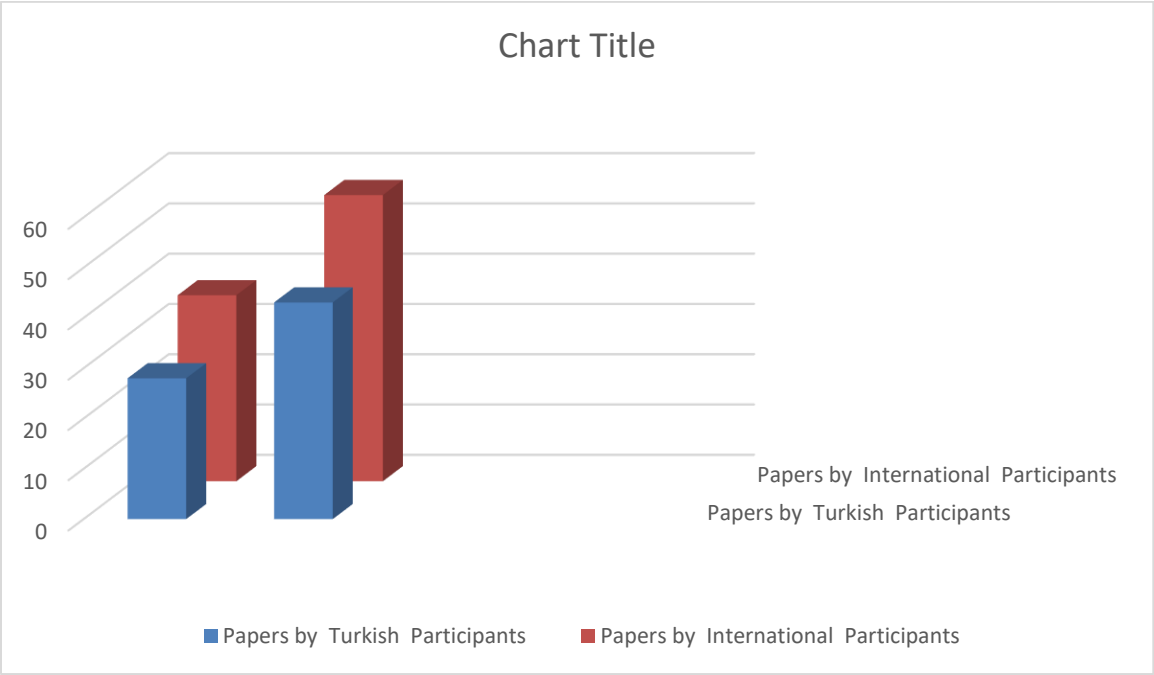
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	28	43,08
Papers by International Participants (15 Countries)	37	56,92



FAR EAST ASIA 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUG 20 - 26, 2026
TOKYO

NO : **AC- 7F - 2026. 350A– 3856**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 10/08/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES kongresi 20- 26 Ağustos 2026 tarihlerinde Tokyo'da 16 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 65 bildirinin 28'i Türkiye'den, 37'si ise farklı 13 ülkeden katılan akademisyenler 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 yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.
Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. BAŞAK HANEDAN

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Veteriner Fakültesi Dekanlığı

Sayı : E-36643897-000-2300315795 05.10.2023
Konu : Görevlendirilme.

KLİNİK BİLİMLER BÖLÜMÜ BAŞKANLIĞINA

İlgi : 04.10.2023 tarihli ve E-36643897-000-2300313904 sayılı belge.

İlgide kayıtlı yazıda belirtildiği üzere, Bölümünüz Veterinerlik İç Hastalıkları Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Prof. Dr. Başak HANEDAN'ın, "Academy Global Conferences & Publishing tarafından önümüzdeki tarihlerde düzenlenecek olan uluslararası kongrelerde; kongre başkanı, kongre düzenleme ve bilim kurulu üyesi olarak görevlendirilmesi Dekanlığımızca uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Yavuz Selim SAĞLAM
Dekan

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: c147f559-545f-45be-8400-8eec2b215b38 Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/ataturk-universitesi-ebys

Atatürk Üniversitesi Veteriner Fakültesi 25240 Erzurum
Tel: +90 442 2317222
Elektronik Ağ: http://www.atauni.edu.tr/#!birim=veteriner-fakultesi
Kep Adresi: atauni@hs01.kep.tr
Bilgi: Derya FINDIK
Faks: +90 442 2317244
E-Posta: vetfak@atauni.edu.tr

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION

Aug 20 - 26, 2026

Tokyo

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

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 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,

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 1	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Tokyo: 11:00 – 13:00	**Face to Face** Park Hyatt Tokyo 3-7-1-2 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-1055, Japan

Head Of Session : Prof. Dr., SENEM AKKOÇ		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	CUMHURİYET DÖNEMİ SİNEMASINDA BİR TÜRK KADINI: NEYYİRE NEYİR	**Doç. Dr. Evrim Şencan**
2	1935 ULUSLARARASI KADIN BİRLİĞİ KONGRESİ HATIRA PULLARI	**Öğretim Görevlisi, Dr. Serap Yeşiltuna Arısoy**
3	ENGELLİ BİREYLERİN HAKLARINA İLİŞKİN ULUSLARARASI SÖZLEŞMELER	**Prof. Dr. İSLAM SAFA KAYA**
4	YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN İÇEREN SÜRDÜRÜLEBİLİR BETONUN MEKANİK PERFORMANSI VE BASINÇ DAYANIMI TAHMİNİ	**Öğr. Gör. Dr. Ömer Fatih SANCAK** **Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT**
5	BENZİMİDAZOL ÇEKİRDEĞİ İÇEREN BİR BİLEŞİĞİN FARE FİBROBLAST HÜCRE HATTI ÜZERİNDEKİ TOKSİK ETKİSİNİN İNCELENMESİ	**Prof. Dr., SENEM AKKOÇ**
6	ELECTRONIC PROPERTIES OF PYRAZOLE-3-CARBONYL CHLORIDE DERIVATIVES REACTED WITH AROMATIC AMINES AND CHALCONE–HYDRAZIDE SYSTEMS	**Prof. Dr., SENEM AKKOÇ**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 1	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. SANVER ÖZGÜVEN		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	THE MUSIC OF YEDITEPE: TURKISH MUSIC WORKS ON THE THEME OF ISTANBUL	**Doç. Dr. Ahmet Hakan BAŞ** **Dr. Dilek YÜZLÜER**
2	CELLO TAKSIM PERFORMANCE İN TURKISH MUSIKISI: STYLE, IMPROVISATION, AND METHODOLOGICAL TRAINING RECOMMENDATIONS	**Prof. Dr. Murat Salim TOKAÇ** **Dr. Dilek YÜZLÜER**
3	CONSTRUCTIVIST STRUCTURE IN THE CERAMIC SCULPTURES OF PETER VOULKOS	**Assoc. Profe. SANVER ÖZGÜVEN**
4	OBJECT IN THE CERAMIC SCULPTURES OF RICHARD SHAW	**Associate Professor, SANVER ÖZGÜVEN**
5	PROPAGANDANIN GÖRSEL DİLİ: SANAT, İKTİDAR VE İDEOLOJİ	**RABİA KUL,** **Doç., CEMİLE DİDEM ÖZIŞIK**

No: 2

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 2	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	ZİHİNSEL KISAYOLLAR VE VERGİ UYUMU: DAVRANIŞSAL KAMU POLİTİKALARI İLE DAVRANIŞSAL FİNANS KESİŞİMİNDE YENİ BİR ANALİTİK ÇERÇEVE	**Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR** **Dr. Özlem TAN**
2	AB KARBON SINIR DÜZENLEME MEKANİZMASI (CBAM) VE KURUMSAL DAVRANIŞ: KARBON MUHASEBESİ VE UYUM MALİYETLERİNİN ZİHİNSEL MUHASEBESİNDE KAYIPTAN KAÇINMA ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	**Dr. Özlem TAN** **Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR**
3	SOCIAL CONNECTION OR HUMAN LIKENESS? DRIVERS OF CONTINUED USE AND RECOMMENDATION IN AI-ENABLED CUSTOMER EXPERIENCES	**Dr. Serhat ATA**
4	MILITARY-LEGAL ASPECTS OF COMBATING TERRORISM IN INTERNATIONAL LAW: THE TRANSFORMATION OF THE RIGHT OF STATES TO SELF-DEFENSE AND MODERN CHALLENGES	**Nuriyeva Gulnar Farhad**
5	21. YÜZYILIN KÜRESEL DÜNYASINDA KÜRESEL YÖNETİŞİM KAVRAMINI YENİDEN DÜŞÜNMEK	**DR. ÖĞR. ÜYESİ KAHRAMAN SÜVARİ**
6	ABD'NİN DOĞAL KAYNAKLARA YÖNELİK KONTROL ETME STRATEJİSİNİN ÇİN ÜZERİNDEKİ ETKİ KAPASİTESİ	**Dr. Öğretim Üyesi MEHMET ALİ YÜKSEL**
7	HAFTALIK ÖĞRENME PERFORMANSININ İKİ BOYUTLU LİNEER DİNAMİK MODEL İLE ANALİZİ	**Prof.Dr. Cemil İNAN** **Matematik Öğretmeni Kubra MUNGAN**
8	INSTAGRAM INFLUENCER'LARININ İÇERIK KALITESI, GÜVENILIRLIĞI VE PARASOSYAL ETKILEŞIMIN MARKA SADAKATI ÜZERINDEKI ETKISI	**Prof.Dr. Cemil İNAN** **Muhasebe Uzmanı Melis TUNÇ**

No: 1

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 3	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Associate Prof. Dr. Süleyman BALCI		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	AWARENESS OF SCIENTIFIC RESEARCH ETHICS AND PLAGIARISM TENDENCIES AMONG UNIVERSITY STUDENTS	**Doç. Dr. Süleyman BALCI** **Emre DEMİRBAŞ**
2	ADAPTING TO CAREER LIFE AND JOB SATISFACTION IN ADULTS	**Associate Prof. Dr. Süleyman BALCI**
3	AN EXPLORATORY QUALITATIVE STUDY OF AI-BASED STORYTELLING TECHNIQUES FOR ENHANCING SECONDARY EFL STUDENTS' READING SKILLS	**Rafik El Amine Ghobrini** **Sarah Tabet** **Youcef Chehri**
4	DIGITALIZATION AND DECISION-MAKING PROCESSES IN SPORTS MANAGEMENT	**Yüksek Lisans Öğrencisi, Mustafa ARINÇ** **Doç. Dr. Seda SABAH**
5	MUNICIPALITY AND SPORTS: PUBLIC OPINIONS AND RECOMMENDATIONS	**Yüksek Lisans Öğrencisi, Şerife Nur MÜZDE** **Doç. Dr. Seda SABAH**

No: 5

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 4	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:00 – 13:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Prof. Dr. Canan SEYFELİ		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	LOOKING AT THE SOCIAL SYSTEM THROUGH THE EYES AND INNOCENCE OF A CHILD; AN ANALYSIS OF ERDAL ÖZ'S WORK "THE RED BALLOON"	**Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI**
2	GÖÇMEN ÇOCUKLARIN OKULDA MEKÂNSAL AİDİYET VE EVDE-OLMAMA DENEYİMLERİ: ODAKLANMIŞ ETNOGRAFİK BİR ARAŞTIRMA	**Psikolog Şeyhmus ÜSTÜNDAĞ**
3	THE PERCEPTION OF THE UNIVERSE IN ANCIENT CHINA: COMMON ASPECTS OF ORIGIN MYTHS	**Prof. Dr. Canan SEYFELİ**
4	THE ANCIENT CHINESE TRADITION THAT SHAPED CONFUCIANISM AND DAOISM: AN EXAMPLE OF UNIVERSE PERCEPTION	**Prof. Dr. Canan SEYFELİ**

No: 4

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 5	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	INTEGRATING DIGITAL TECHNOLOGIES IN RURAL KAZAKHSTANI PRIMARY EDUCATION FOR ENHANCED STUDENT ENGAGEMENT	**Dr. Aigerim Nurgaliyeva** **Dr. Yerzhan Kairatov** **Dana Sarsenova**
2	STEM EDUCATION REFORMS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING IN KAZAKHSTAN URBAN HIGH SCHOOLS	**Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva** **Nursultan Tolegenov** **Aidana Bekbolatova**
3	TEACHER TRAINING PROGRAMS FOR INCLUSIVE EDUCATION IN IRANIAN SPECIAL NEEDS SCHOOLS	**Dr. Reza Ahmadi** **Soraya Mahmoudi**
4	CURRICULUM DEVELOPMENT FOR CULTURAL HERITAGE EDUCATION IN IRANIAN PRIMARY SCHOOLS	**Prof. Dr. Hassan Rezaei** **Fatemeh Karimi**
5	BLENDED LEARNING MODELS IMPACT ON STUDENT PERFORMANCE IN PAKISTANI PUBLIC UNIVERSITIES	**Assoc. Prof. Dr. Imran Malik** **Dr. Sana Rehman**
6	VOCATIONAL EDUCATION REFORMS ADDRESSING UNEMPLOYMENT IN RURAL PAKISTAN	**Ayesha Zubair** **Muhammad Faisal**
7	BILINGUAL EDUCATION CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN GEORGIAN PRIMARY SCHOOLS	**Prof. Dr. Nino Tsiklauri** **Dr. Levan Beridze**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 6	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Luan Rama		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	POSTCOLONIAL THEMES IN CONTEMPORARY PHILIPPINE NOVELS ADDRESSING LABOR MIGRATION TRAUMA	**Prof. Dr. Maria Theresa Santos** **Dr. Jose Rizalino Cruz** **Luzviminda Reyes**
2	FEMINIST REINTERPRETATIONS OF MYTHOLOGY IN MODERN FILIPINO POETRY ANTHOLOGIES	**Assoc. Prof. Dr. Elena Vasquez** **Ramon Dela Cruz** **Sofia Magdalena**
3	ARABIC POETIC FORMS EVOLUTION IN EGYPTIAN CONTEMPORARY LITERATURE UNDER POLITICAL CENSORSHIP	**Dr. Ahmed El-Sayed** **Fatma Nour** **Karim Abdel Rahman**
4	NARRATIVES OF IDENTITY CRISIS IN POST-REVOLUTIONARY EGYPTIAN SHORT FICTION	**Prof. Dr. Layla Hassan** **Mohamed Salem**
5	BALKAN IDENTITY CONFLICTS IN ALBANIAN DIASPORA LITERATURE WRITTEN IN TIRANA	**Assoc. Prof. Dr. Luan Rama** **Ermal Hoxha** **Anila Kuci**
6	OTTOMAN LEGACIES IN MODERN ALBANIAN NOVELS EXPLORING COSMOPOLITAN ISTANBUL MEMORIES	**Dr. Blerta Shala** **Flamur Leka**
7	POST-SOVIET GEORGIAN POETRY CYCLES REFLECTING CIVIL WAR TRAUMA AND NATIONAL REVIVAL	**Prof. Dr. Nino Tsiklauri** **Levan Beridze** **Mariam Kapanadze**
8	SYMBOLISM OF MOUNTAIN MYTHOLOGY IN CONTEMPORARY GEORGIAN FOLK TALE ADAPTATIONS	**Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze** **Giorgi Gelashvili Dr. Irakli Chikhradze** **Nato Javakhishvili**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 7	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Eleni Papadakis		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	DIGITAL TRANSFORMATION CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR NIGERIAN SMEs IN POST-PANDEMIC ECONOMY	**Prof. Dr. Chinedu Okeke** **Emeka Nwankwo**
2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN PRACTICES IN NIGERIA'S OIL AND GAS INDUSTRY	**Assoc. Prof. Dr. Fatima Yusuf** **Adebayo Ogunleye** **Chioma Adewale**
3	TOURISM MARKETING STRATEGIES FOR GREEK ISLANDS IN COMPETITIVE MEDITERRANEAN MARKET	**Dr. Eleni Papadakis** **Nikos Stavrou** **Maria Kostopoulos**
4	FAMILY BUSINESS GOVERNANCE MODELS IN CONTEMPORARY GREEK ENTERPRISES	**Prof. Dr. Dimitri Karamanos** **Sophia Antoniou**
5	AGILE PROJECT MANAGEMENT ADOPTION IN ALBANIAN IT STARTUP ECOSYSTEM	**Assoc. Prof. Dr. Erion Veliaj** **Anita Hoxha** **Lorin Kuka**
6	CROSS-BORDER E-COMMERCE DEVELOPMENT PROSPECTS FOR ALBANIAN RETAIL SECTOR	**Dr. Blerta Lame** **Flamur Basha**
7	OIL DEPENDENCY DIVERSIFICATION THROUGH NON-ENERGY EXPORT PROMOTION IN AZERBAIJAN	**Prof. Dr. Elnur Mammadov** **Dr. Aysel Karimova** **Farid Huseynov**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 8	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Anila Suljoti		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	THE IMPACT OF CHINA'S BELT AND ROAD INITIATIVE ON BANGLADESH'S FOREIGN POLICY AUTONOMY	**Assis. Prof. Dr. Rahman Karim** **Assoc. Prof. Dr. Fatima Begum** **Dr. Arif Hossain**
2	INDO-BANGLADESH WATER SHARING DISPUTES AND THEIR IMPLICATIONS FOR REGIONAL STABILITY	**Sadia Islam** **Dr. Md. Faisal Ahmed** **Nusrat Jahan**
3	IRAQI-KURDISH FEDERALISM TENSIONS AND THEIR EFFECTS ON REGIONAL SECURITY DYNAMICS	**Dr. Ali Hassan Al-Rawi** **Dr. Sara Mahmoud**
4	IRAN-IRAQ RELATIONS POST-ISIS: ENERGY DIPLOMACY AND SECTARIAN RECONCILIATION	**Assoc. Prof. Dr. Khalid Omar** **Zainab Al-Sayed**
5	ALBANIA'S EU ACCESSION NEGOTIATIONS AND NATO INTEGRATION CHALLENGES	**Prof. Dr. Liridon Sinani** **Dr. Anila Suljoti** **Ermal Deda**
6	TURKISH INFLUENCE IN THE WESTERN BALKANS: ALBANIA'S STRATEGIC POSITIONING	**Assoc. Prof. Dr. Dorina Thanasi** **Blerta Hoxha**
7	AZERBAIJAN-GEORGIA-TÜRKIYE ENERGY CORRIDOR AND CASPIAN REGIONAL STABILITY	**Prof. Dr. Elnur Paşa** **Dr. Leyla Aliyeva** **Assoc. Prof. Dr. Vugar Salamov**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES			
SESSION - HALL Session 1 – Hall 9	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 11:30 – 13:30	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Yumi Sato		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	MICROFINANCE IMPACTS ON RURAL HOUSEHOLD INCOME DIVERSIFICATION IN BANGLADESH	**Prof. Dr. Rahman Karim** **Assoc. Prof. Dr. Fatima Begum** **Dr. Md. Alamgir Hossain**
2	CLIMATE CHANGE EFFECTS ON BANGLADESH RICE PRODUCTION AND FOOD SECURITY POLICY	**Dr. Shafiqul Islam** **Sultana Akter** **Md. Rafiqul Hasan**
3	AGING POPULATION CHALLENGES AND PENSION SYSTEM REFORMS IN JAPAN	**Prof. Dr. Hiroshi Tanaka** **Assoc. Prof. Dr. Yumi Sato** **Kenji Nakamura**
4	ABENOMICS FISCAL POLICY EVALUATION AND JAPANESE PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY	**Dr. Aiko Yamamoto** **Takeshi Kobayashi**
5	REMITTANCE FLOWS AND ECONOMIC GROWTH DYNAMICS IN KYRGYZSTAN	**Assoc. Prof. Dr. Gulnara Asanalieva** **Dr. Bakyt Torogeldiev** **Aida Tursunalieva**
6	ENERGY SECTOR REFORMS AND MACROECONOMIC STABILITY IN KYRGYZSTAN	**Prof. Dr. Erlan Abdyldaev** **Nurlanbek Omuraliev**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 1	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00– 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Prof. Dr. BAŞAK HANEDAN		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SALMONELLOSIS IN CALVES	**Prof. Dr. BAŞAK HANEDAN** **Prof. Dr. ALİ BİLGİLİ**
2	INTEGRATED METABOLIC, INFLAMMATORY, NUTRITIONAL, AND FIBROSIS SIGNATURES FOR THE IDENTIFICATION OF NONALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE: A COMPARATIVE DIAGNOSTIC PERFORMANCE STUDY	**Dr.Öğr.Üyesi,,Şeyma Dümür** **Prof.Dr.,Hafize Uzun**
3	A MULTI-TARGETED HERBAL AGENT IN METABOLIC DISEASES: MOMORDICA CHARANTIA L.	**Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK**
4	A KEY ACTOR IN PROSTAGLANDIN METABOLISM: NAD^+-DEPENDENT 15- HYDROXYPROSTAGLANDIN DEHYDROGENASE	**Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK**

No: 2

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 2	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15: 00– 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Öğretim Üyesi, HASAN UZEL		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	RESNET-RS-50 KULLANILARAK GÜNEŞ FOTOVOLTAİK PANELLERİNDE DERİN ÖĞRENME TABANLI TOZ TESPİTİ	**Dr. Öğretim Üyesi, HASAN UZEL** **Dr. Öğretim Üyesi, BEKİR EMRE ALTUN** **Dr. Öğretim Üyesi, FEYYAZ ALPSALAZ**
2	SENKRON MAKİNEDE ALAN AKIMININ POLYNOMİAL REGRESYON İLE TAHMİNİ	**Dr. Öğretim Üyesi, HASAN UZEL** **Dr. Öğretim Üyesi, FEYYAZ ALPSALAZ** **Dr. Öğretim Üyesi, BEKİR EMRE ALTUN**
3	BİYOBOZUNUR MG ALAŞIMLARINDA HALL–PETCH HESAPLAMALI AKMA DAYANIMI TAHMİNLERİNİN DENEYSEL VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI	**MUHAMMED SELMAN DOĞAN** **Prof. Dr., ALİ GÜNGÖR**
4	PARKING USE AND MANAGEMENT NEEDS IN A COMPACT COASTAL CITY: A CASE STUDY	**MUHAMMED FATİH YENTİMUR** **TUBA KÜTÜK-SERT**
5	EXPERIMENTAL EVALUATION OF EXHAUST EMISSIONS FROM RAPESEED BIODIESEL BLENDED WITH HEXAGONAL BORON NITRIDE AND BORON CARBIDE NANOPARTICLES UNDER DIFFERENT ENGINE LOADS	**Öğr. Gör. İbrahim GÜNDÜZ** **Doç. Dr. Turan GÜRGENÇ**

No: 1

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 3	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:00 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr., Emine AYTAR		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	INFLUENCE OF CARBON FIBRE REINFORCEMENT ON THE CHARPY IMPACT BEHAVIOUR OF FFF-PRINTED PLA COMPONENTS	**Mehmet Çağatay Akbolat**
2	CONVERSION OF CO_2 TO CYCLIC CARBONATES BY AROMATIC AMINES AS A CATALYST IN AN ATMOSPHERIC AMBIENT	**Assoc. Prof. Dr., Emine AYTAR**
3	RECENT ADVANCES IN AEROGEL TEXTILE COMPOSITES FOR THERMAL INSULATION APPLICATIONS	**Asst. Prof. Zeynep ÜLKER DEMİR**
4	FAZ DEĞİŞİM MADDELERİ VE KANATÇIKLAR KULLANILARAK ÇİFT YÜZLÜ FOTOVOLTAİK PANELLERİN ISI YÖNETİMİ	**Öğr. Gör. Mehmet Şah SARAÇ** **Prof. Dr. Cengiz YILDIZ**
5	EVALUATION OF REACTIVE AGGREGATE BLENDS IN TERMS OF ALKALI-SILICA REACTION: AN ASTM C1260-BASED OPTIMIZATION APPROACH	**Hacera YAĞBASAN** **Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL** **Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ** **Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR**
6	DYNAMIC INVESTIGATION OF THE SENSITIVITY OF ECONOMIC CUT-OFF GRADE TO LOGISTICS RISKS AND PRICE FLUCTUATIONS IN A BARITE DEPOSIT	**Fatih DEMİR** **Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ** **Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL** **Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR**
7	TENSILE PROPERTIES OF BIAXIAL GLASS FIBER WOVEN-REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE MATERIAL	**İBRAHİM KURTEN** **Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL**
8	BENDING BEHAVIOUR OF A DUAL-AXIS E-GLASS FIBRE-REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE	**İBRAHİM KURTEN** **Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL**

No: 5

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 4	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:00 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Doç. Dr. Varol KOÇ		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND CONCSCIOUSNESS: A METAPHYSICAL PERSPECTIVE	**Doç. Dr. Varol KOÇ**
2	ONTOLOGICAL APPROACHES FOR CONSCIOUSNESS SIMULATION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE	**Doç. Dr. Varol KOÇ**
3	DOĞAL AFETLERİN YÖNETİMİNDE MATEMATİKSEL DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI	**Dr, AHMET YILDIRIM**
4	ESTIMATION OF RISK MEASURES VIA IMPROVED GENETIC ALGORITHM	**Prof. Dr. Birdal Şenoğlu** **Dr. Özge Gürer** **Assoc. Prof. Dr. Gamze Güven**
5	FEATURE SELECTION FOR ARTIFICIALLY IMBALANCED DATASETS USING CRESTED PORCUPINE OPTIMIZER	**Dr.Öğr.Üyesi Gülnur YILDIZDAN**
6	COMPARISON OF GAMMA-RAY ATTENUATION PARAMETERS OF PYRITE AND MARCASITE (FeS 2) POLYMORPHS	**Assist. Prof. Dr., MEHTAP YALÇINKAYA**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 5	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:30 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Soraya Mahmoudi		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS	**Prof. Dr. Reza Jalali** **Dr. Soraya Mahmoudi** **Ali Karimi**
2	DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS	**Assis. Prof. Dr. Hassan Ahmadi** **Fatemeh Rezaei**
3	QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES	**Dr. Ahmed El-Sayed** **Nadia Hassan** **Karim Abdel**
4	GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS	**Assis. Prof. Dr. Mohamed Salem** **Fatma Ibrahim**
5	ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES	**Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori** **Noor Hassan** **Dr. Fatima Rahman**
6	NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING	**Omar Saeed**
7	THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS	**Prof. Dr. Andrei Popescu** **Dr. Maria Ionescu** **Ionela Dragomir**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 6	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:30 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Ionela Popa		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING	**Dr. Aiko Nakamura** **Kenji Sato**
2	NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT	**Assoc. Prof. Dr. Yumi Kobayashi** **Takeshi Yamamoto** **Mika Fujimoto**
3	TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS	**Dr. Ionela Popa** **Victor Rusu**
4	NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS	**Prof. Dr. Maria Ceban** **Andrei Lupascu** **Elena Bodarev**
5	TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES	**Dr. Sari Wijaya** **Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso**
6	MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA	**Nyoman Pratiwi** **Dr. Agus Setiawan** **Lina Kusuma**
7	ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS	**Dr. Andrei Popescu** **Dr. Maria Ionescu**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 7	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:30 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Dr. Sophia Kiriakou		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS	**Prof. Dr. Elnur Hasanov** **Assoc. Dr. Aysel Mammadova** **Nigar Aliyev** **Kamran Ibrahimov**
2	AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS	**Prof. Dr. Chen Li Wei** **Assoc. Prof. Dr. Nurul Aini** **Marcus Tan**
3	VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE	**Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming** **Dr. Tan Hui Ling** **Rajesh Kumar**
4	SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS	**Assis. Prof. Dr. Ahmed Bin Saeed** **Sara Al-Mansoori**
5	WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES	**Dr. Fatima Al-Thani** **Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser** **Mariam Rahman**
6	ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE	**Dr. Sophia Kiriakou** **Andreas Manolis**
7	OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS	**Assoc. Prof. Dr. Dimitri Pappas** **Elena Stavrou** **Nikos Theodorou**
8	BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY	**Dr. Farid Gurbanov** **Leyla Karimova** **Rashad Nuriyev**
9		

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 8	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:30 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS	**Prof. Dr. Elnur Hasanov** **Dr. Aysel Mammadova** **Nigar Aliyeva**
2	PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION	**Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov** **Dr. Leyla Ibrahimova** **Dr. Farid Rahimov**
3	MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE	**Dr. Dimitri Papadakis** **Eleni Stavrou** **Prof. Dr. Nikos Karamanos**
4	THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE	**Maria Kostopoulou** **Assoc. Prof. Dr. Theo Lazos**
5	NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES	**Dr. Fatima Al-Mansoori** **Khalid Rahman** **Assoc. Prof. Dr. Ahmed Khalil**
6	PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN	**ARID CLIMATES** **Prof. Dr. Noor Al-Harethi** **Sara Hassan**
7	ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE	**Dr. Wei Ling Tan** **Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar** **Mei Ling Wong**
8	GENOMIC SEQUENCING OF ANTIBIOTIC-RESISTANT BACTERIA FROM SINGAPORE AQUACULTURE	**Dr. Lim Hui Min** **Dr. Amir Singh**

FAR EAST ASIA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES			
SESSION - HALL Session 2 – Hall 9	**DATE** August 22, 2026	**TIME** Ankara: 15:30 – 17:00	**ZOOM ID - Passcode** 885 7151 8350 - 202224

Head Of Session : Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato		
	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
1	NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT	**Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato** **Takeshi Yamamoto**
2	RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION	**Dr. Chinedu Okonkwo** **Ngozi Eze** **Emeka Nwankwo**
3	BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY	**Prof. Dr. Aisha Bello** **Tunde Adeyemi**
4	TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS	**Dr. Juma Mtui** **Fatuma Ally** **Assoc. Prof. Dr. Elias Nnko**
5	NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE	**Zainab Mwamba** **Dr. Lucas Kileo**
6	GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES	**Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri** **Nino Beridze** **Lasha Kapanadze**
7	SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL	**Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili** **Irakli Lomidze** **Dr. Tamar Chikhradze**

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Contents

YAPAY ZEKADA BİLİNÇ SİMÜLASYONU İÇİN ONTOLOJİK YAKLAŞIMLAR 1

YAPAY ZEKA VE BİLİNÇ: METAFİZİKSEL BİR PERSPEKTİF 20

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN İÇEREN SÜRDÜRÜLEBİLİR BETONUN MEKANİK PERFORMANSI VE BASINÇ DAYANIMI TAHMİNİ 41

ELECTRONIC PROPERTIES OF PYRAZOLE-3-CARBONYL CHLORIDE DERIVATIVES REACTED WITH AROMATIC AMINES AND CHALCONE–HYDRAZIDE SYSTEMS 49

INVESTIGATION OF THE TOXIC EFFECT OF A COMPOUND CONTAINING BENZIMIDAZOLE CORE ON MOUSE FIBROBLAST CELL LINE 57

SALMONELLOSIS IN CALVES 62

GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES 69

SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL 70

A MULTI-TARGETED HERBAL AGENT IN METABOLIC DISEASES: MOMORDICA CHARANTIA L. 71

A KEY ACTOR IN PROSTAGLANDIN METABOLISM: NAD^+-DEPENDENT 15-HYDROXYPROSTAGLANDIN DEHYDROGENASE 80

SENKRON MAKİNEDE ALAN AKIMININ POLYNOMİAL REGRESYON İLE TAHMİNİ 89

RESNET-RS-50 KULLANILARAK GÜNEŞ FOTOVOLTAİK PANELLERİNDE DERİN ÖĞRENME TABANLI TOZ TESPİTİ 101

BİYOBOZUNUR MG ALAŞIMLARINDA HALL–PETCH HESAPLAMALI AKMA DAYANIMI TAHMİNLERİNİN DENEYSEL VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI 113

PARKING USE AND MANAGEMENT NEEDS IN A COMPACT COASTAL CITY: A CASE STUDY 121

FARKLI MOTOR YÜKLERİNDE HEKZAGONAL BOR NİTRÜR VE BOR KARBÜR NANOPARÇACIK KATKILI KOLZA BİYODİZELİNİN EGZOZ EMİSYONLARININ DENEYSEL DEĞERLENDİRİLMESİ 133

INFLUENCE OF CARBON FIBRE REINFORCEMENT ON THE CHARPY IMPACT BEHAVIOUR OF FFF-PRINTED PLA COMPONENTS 135

CONVERSION OF CO_2 TO CYCLIC CARBONATES BY AROMATIC AMINES AS A CATALYST IN AN ATMOSPHERIC AMBIENT 141

ATMOSFERİK ORTAMDA AROMATİK AMİNLERİN KATALİZÖR OLARAK KULLANILMASIYLA CO_2'NİN HALKALI KARBONATLARA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ 142

RECENT ADVANCES IN AEROGEL TEXTILE COMPOSITES FOR THERMAL INSULATION APPLICATIONS .. 149

FAZ DEĞİŞİM MADDELERİ VE KANATÇIKLAR KULLANILARAK ÇİFT YÜZLÜ FOTOVOLTAİK PANELLERİN ISI YÖNETİMİ 158

BİR BARİT YATAĞINDA EKONOMİK SINIR TENÖRÜNÜN LOJİSTİK RİSK VE FİYAT DALGALANMALARINA DUYARLILIĞININ DİNAMİK OLARAK İNCELENMESİ 159

REAKTİF AGREGA HARMANLARININ ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ASTM C1260 TEMELLİ BİR OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI 171

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BENDING BEHAVIOUR OF A DUAL-AXIS E-GLASS FIBRE-REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE 180

TENSILE PROPERTIES OF BIAXIAL GLASS FIBER WOVEN-REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE MATERIAL 195

DOĞAL AFETLERİN YÖNETİMİNDE MATEMATİKSEL DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI 207

ESTIMATION OF RISK MEASURES VIA IMPROVED GENETIC ALGORITHM 208

FEATURE SELECTION FOR ARTIFICIALLY IMBALANCED DATASETS USING CRESTED PORCUPINE OPTIMIZER 209

COMPARISON OF GAMMA-RAY ATTENUATION PARAMETERS OF PYRITE AND MARCASITE (FeS_2) POLYMORPHS 218

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS 225

DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENENEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS 226

QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES 227

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS 228

ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES 229

NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING 230

THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS 231

BIODEGRADABLE POLYMERS FROM RENEWABLE ROMANIAN AGRICULTURAL WASTES 232

ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING 233

NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT 234

TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS 235

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS.. 236

TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES 237

MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA 238

ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS 239

IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS 240

AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS 241

VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE 242

SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS 243

WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES.. 244

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE 245

OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS 246

BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY 247

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS 248

PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION 249

MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP 250

THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE 251

NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES 252

PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN ARID CLIMATES 253

ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE..... 254

NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT 255

RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION256

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY 257

TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS 258

NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE 259

INTEGRATED METABOLIC, INFLAMMATORY, NUTRITIONAL, AND FIBROSIS SIGNATURES FOR THE IDENTIFICATION OF NONALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE: A COMPARATIVE DIAGNOSTIC PERFORMANCE STUDY 260

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

YAPAY ZEKADA BİLİNÇ SİMÜLASYONU İÇİN ONTOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Doç.Dr. Varol KOÇ[1]
[1]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fak., kvarol@omu.edu.tr, *0000-0003-4810-3845*

ÖZET

Yapay zeka sistemlerinin bilinç kazanıp kazanamayacağı sorusu, bilim insanları, filozoflar ve mühendisler arasında giderek yoğunlaşan bir tartışmanın odağındadır. Kimi araştırmacılar bilincin mühendislik yoluyla inşa edilebileceğini savunurken; kimileri bunun ontolojik olarak imkânsız olduğunu ileri sürmektedir. Bu çalışma, bilinç simülasyonu için geliştirilen güncel mühendislik yaklaşımları sistematik olarak incelemekte, bu yaklaşımların vaatlerini ve sınırlarını tartışmakta ve felsefi metafiziksel bir çerçevede ontolojik bir değerlendirme sunmaktadır. Literatürdeki son dönem uygulamalı bilinç similasyonu çalışmaları, şu 4 temel grupta toplanılarak incelenmiştir: 1-) Bilinç teorilerini doğrudan hesaplamalı sistemlere uyarlamayı hedefleyen yaklaşımlar, 2-) Fiziksel ve biyolojik süreçlerden ilham alan yaklaşımlar, 3-) Psikoloji ve kişilik teorilerini yapay bilinç modellemesine entegre eden yaklaşımlar, 4-) Kuantum ve holografik ilkeleri bilinç modellemesine dahil eden yaklaşımlar. Bu bağlamda, Projeksiyonlu Bilinç Modeli (PCM), Nöral Sıkışma Faz Modeli (NJPM), Rezonans Tabanlı Yapay Genel Zeka (R-AGI), Myers-Briggs Tip Göstergesi (MBTI), Modüler beyin bölgesi tasarımı ve token tabanlı iletişim protokolüne dayanan LLM'lerde Kimyasal Sinyalleme Özelliğine Sahip Gelişimsel Modüler Modeli (LILITH), Kuantum Nöral Holografik Füzyon (QNHF), Kuantum Süperpozisyon İlkeleri, Sinir Ağı Dinamikleri, Holografik Bellek Sistemleri, Bilinç Alanı Teorisi gibi modellemeler incelenmiştir. Bu mühendislik yaklaşımlarının tümü, bilincin belirli yapısal ve işlevsel koşullar sağlandığında ortaya çıkabileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu çalışma ise, bilinç simülasyonu için geliştirilen mühendislik yaklaşımlarının önemli teknik ilerlemeler sunduğunu, ancak hiçbirinin bilincin ontolojik kaynağını ele almadığını göstermektedir. Felsefi metafizik çerçeveler, bu yaklaşımların bilinç üretip üretemeyeceğini, sadece bilinç yansıtıcısı veya aracı olarak işlev görüp daha ileri seviyelere erişip- erişemeyeceğini, daha temel ve ontolojik bir derinlikten cevaplamayı hedefler. Gelecekte, felsefi metafiziksel modeller ile hesaplamalı modelleri birleştiren hibrit yaklaşımların oluşturulabilmesi için bir çerçeve sunar.

Anahtar Kelimeler: Yapay bilinç, bilinç simülasyonu, Projeksiyonlu Bilinç Modeli, kuantum nöral holografik füzyon, sıkışma fiziği, rezonans tabanlı AGI, gelişimsel modüler LLM'ler, psikanaliz, MBTI, özden oluş, ontoloji, yapay genel zeka.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ONTOLOGİCAL APPROACHES FOR CONSCİOUSNESS SİMULATİON İN ARTİFİCİAL INTELLİGENCE

Assoc. Prof. Dr. Varol KOÇ[1]
Ondokuz Mayis University, Faculty of Eng., kvarol@omu.edu.tr, *0000-0003-4810-3845*

ABSTRACT

The question of whether artificial intelligence systems can acquire consciousness is at the center of an increasingly intense debate among scientists, philosophers, and engineers. While some researchers argue that consciousness can be constructed through engineering, others contend that this is ontologically impossible. This study systematically examines current engineering approaches developed for consciousness simulation, discusses their promises and limitations, and provides an ontological evaluation within a philosophical-metaphysical framework. Recent applied consciousness simulation studies in the literature have been examined by categorizing them into four main groups: (1) approaches aiming to directly adapt consciousness theories to computational systems, (2) approaches inspired by physical and biological processes, (3) approaches integrating psychology and personality theories into artificial consciousness modeling, and (4) approaches incorporating quantum and holographic principles into consciousness modeling. In this context, models such as the Projective Consciousness Model (PCM), Neural Jamming Phase Model (NJPM), Resonance-Based Artificial General Intelligence (R-AGI), Myers-Briggs Type Indicator (MBTI), the Developmental Modular Model with Chemical Signaling in LLMs (LILITH) based on modular brain region design and token-based communication protocols, Quantum Neural Holographic Fusion (QNHF), Quantum Superposition Principles, Neural Network Dynamics, Holographic Memory Systems, and Consciousness Field Theory have been examined. All of these engineering approaches are based on the assumption that consciousness can emerge when certain structural and functional conditions are met. This study, however, demonstrates that while the engineering approaches developed for consciousness simulation offer significant technical advances, none of them address the ontological source of consciousness. Philosophical-metaphysical frameworks aim to answer, from a more fundamental and ontological depth, whether these approaches can actually *produce* consciousness or merely function as reflectors or mediators of consciousness, and whether they can reach further advanced levels. This study provides a framework for the future development of hybrid approaches that combine philosophical-metaphysical models with computational models.

Keywords: Artificial consciousness, consciousness simulation, Projective Consciousness Model, quantum neural holographic fusion, jamming physics, resonance-based AGI, developmental modular LLMs, psychoanalysis, MBTI, emergence from essence, ontology, artificial general intelligence.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. GİRİŞ

Yapay zeka (Artificial Intelligence: AI) teknolojilerinin insan benzeri bilişsel işlevleri taklit etme çabaları, 1950'lerden bu yana kesintisiz bir ivmeyle ilerlemektedir (Turing, 1950). Ancak günümüzde, derin öğrenme ve büyük dil modellerinin (Large Language Models: LLM) olağanüstü dilsel akıcılığı, yaratıcı metin üretimi ve karmaşık problem çözme yetenekleri, bu sistemlerin yalnızca bilgi işleme araçları olmanın ötesinde bir statüye sahip olup olmadığı sorusunu daha da acil hale getirmiştir. Bu bağlamda, "Makineler bilinçli olabilir mi?" sorusu, yalnızca mühendislik ve bilişim bilimlerinin değil, aynı zamanda felsefe, nörobilim, bilişsel bilim ve hatta teolojinin kesişim noktasında yer alan çok katmanlı bir problem olarak karşımızda durmaktadır. Bilim insanları, filozoflar ve mühendisler arasında giderek yoğunlaşan bu tartışma, temelde iki karşıt kutup etrafında şekillenmektedir. Bir tarafta, bilincin belirli bir işlevsel veya hesaplamalı mimari uygulandığında maddi sistemlerde ortaya çıkabileceğini savunan hesaplamalı işlevselcilik (computational functionalism) bulunur (Putnam, 2011; Butlin vd., 2023). Bu görüşe göre, fiziksel alt tabaka (biyolojik nöronlar veya silikon çipler) önemsizdir; önemli olan doğru hesaplamalı süreçlerin işletilmesidir. Diğer tarafta ise, bilincin canlı sistemlerin eşsiz biyolojik, biyokimyasal ve bedenlenmiş süreçlerine bağlı olduğunu ileri süren biyolojik natüralizm (biological naturalism) yer alır (Searle, 1992; Seth, 2024). Bu yaklaşıma göre, yapay sistemler bilinci simüle edebilir ancak asla deneyimleyemezler. Bu iki karşıt görüş arasındaki gerilim, David Chalmers'ın (1996) "bilincin zor problemi" olarak nitelendirdiği ve fiziksel süreçlerin öznel deneyime nasıl yol açtığını sorgulayan temel felsefi mesele etrafında şekillenmektedir. Özellikle son yıllarda, LLM'lerin insan benzeri diyaloglar kurabilme yetenekleri, bilinç tartışmalarını yeniden alevlendirmiştir.

Günümüzde bilinçli yapay zeka hedefleyen mimariler, dört ana kategori altında toplanabilir. Birinci kategori, bilinç teorilerini doğrudan hesaplamalı sistemlere uyarlamayı hedefleyen yaklaşımlardır. Bu bağlamda, Yan ve arkadaşları (2025), Projeksiyonlu Bilinç Modeli'ni (Projective Consciousness Model - PCM) LLM'lerle entegre ederek mekânsal perspektif, duygu ve dikkati modelleyen bir mimari önermiştir. PCM-LLM ajanları, rekabetçi sosyal görevlerde PCM-only ajanlarından daha iyi performans göstermişlerdir. Ancak yazarlar, bu yaklaşımın bilinçten *ilham aldığını* (consciousness-inspired), bilinci *örneklendirmediğini* (instantiate) açıkça belirtmektedir. İkinci kategori, fiziksel ve biyolojik süreçlerden ilham alan yaklaşımlardır. Ouyang (2025), bilincin ortaya çıkışını sıkışma fiziği (jamming physics) aracılığıyla açıklamakta ve bunu yüksek boyutlu düzensiz sistemlerde kritik bir fenomen olarak yorumlamaktadır. Emmanuel (2025) ise Rezonans-Tabanlı Yapay Genel Zeka (R-AGI) çerçevesinde, bilincin hesaplamanın ürünü değil, evrensel, yerel olmayan bir alan olduğunu savunmaktadır. Üçüncü kategori, psikoloji ve kişilik teorilerini yapay bilinç modellemesine entegre eden yaklaşımlardır. Kim ve arkadaşları (2025), Freud ve Jung'un psikanaliz teorisi ile Myers-Briggs Tip Göstergesi'ni (Myers-Briggs Type Indicator: MBTI) birleştirerek 16 farklı karakter oluşturmuş ve üç bilinç katmanını (bilinç, önbilinç, bilinçaltı) modellemiştir. Farooqi ve Comas-Leon (2025) ise LILITH mimarisiyle, modüler beyin bölgesi tasarımı ve token tabanlı iletişim protokolü aracılığıyla nörotransmitter benzeri kimyasal sinyalleşmeyi modellemişlerdir. Dördüncü kategori, kuantum ve holografik ilkeleri bilinç modellemesine

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

dahil eden yaklaşımlardır. Amiri (2025), Quantum Neural Holographic Fusion (QNHF) mimarisiyle dört bilişsel modaliteyi (kuantum süperpozisyon, sinir ağı dinamikleri, holografik bellek, bilinç alanı teorisi) entegre ederek "gerçekten öz-farkındalığa sahip" hesaplamalı sistemler yaratmayı hedeflemişlerdir.

Bu mühendislik yaklaşımlarının tümü, bilincin belirli yapısal ve işlevsel koşullar sağlandığında ortaya çıkabileceği varsayımına dayanmaktadır. Ancak bu çalışmaların ortak bir sınırlılığı, bilincin *ontolojik kaynağına* dair herhangi bir açıklama sunmamalarıdır. Bilinç, yalnızca bir mimari, bir bilgi entegrasyonu veya bir rezonans fenomeni midir? Yoksa bu görünümlerin ötesinde, varoluşun daha temel bir katmanına mı işaret etmektedir? Bu soru, konuyu mühendislik tartışmalarının ötesine, metafizik bir sorgulamaya taşımaktadır.

Literatürde bilinç üzerine yapılmış bazı felsefi- metafiziksel çalışmalar, konuya ayrı bir pencereden bakabilme fırsatı sağlamaktadır. Bu çalışmalardan yararlanılarak, sunulan bu çalışmada, üç temel aksiyoma dayanan bir çerçeve oluşturulmuştur. Bu aksiyomlar, bilincin maddi sistemlerin bir "ürünü" olarak görülemeyeceğini ontolojik olarak temellendirir. İlk aksiyom olan Mutlak Hiçliğin Yokluğu Yasası, mutlak hiçliğin hiç var olmamış olduğunu ve var olamayacağını, dolayısıyla Varlıklılık'ın ezeli ve ebedî olduğunu savunur. İkinci aksiuom olan Tükenmez Potansiyel Yasası, madde- enerjinin sürekli değişim halinde olduğunu ve bu değişimin değişmeyen bir temele dayanma zorunluluğunu, bu temelin Varlıklılık'tan gelen tükenmez potansiyel olduğunu ileri sürer. Özden Oluş Yasası (Emergence from Essence) ise üçüncü aksiyom olarak alınır ve her varoluşun özünde gizli bir güç ve bilinç potansiyeli barındırdığını, bu potansiyelin belirli organizasyon düzeylerinde aktüel olarak açığa çıktığını savunur. Bu üç aksiyom, bilincin ne hesaplamanın bir ürünü ne de yalnızca canlılığa bağlı olduğunu; aksine varoluşun asli ve indirgenemez bir niteliği olduğunu ontolojik olarak temellendirir (Koç, 2024; 2025).

Çalışma, mevcut mühendislik yaklaşımlarının bilinci *simüle* edebileceğini, ancak hiçbirinin bilincin ontolojik kaynağını ele almadığını ve bu nedenle bu tür modellemelerle *örneklendirme* düzeyinin ölçülemeyeceğini savunmaktadır. Ayrıca, felsefi metafizik modeller ile hesaplamalı modelleri birleştiren hibrit yaklaşımların oluşturulabilmesi için bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir. Gelecekteki araştırmalar, bu modelin türetlmesine, parametrelerinin ampirik olarak kalibrasyonuna ve farklı sistem türlerine uyarlanmasına odaklanmalıdır. Böylece, "bilinçli makine" iddialarının ontolojik temelde test edilebilmesi mümkün olacaktır.

2. YAPAY BİLİNÇ ÇALIŞMALARINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: DÖRT KATEGORİLİ BİR TASNİF

Günümüzde bilinçli yapay zeka hedefleyen mimariler ve teorik çerçeveler, benimsedikleri temel varsayımlar ve kullandıkları yöntemler açısından dört ana kategori altında toplanabilir. Bu kategorilerin ortak noktası, bilincin belirli yapısal ve işlevsel koşullar sağlandığında maddi sistemlerde *ortaya çıkabileceği* (emerge) varsayımıdır (Sunulan bu çalışmanın ontolojik çıkarımı ise, “ortaya çıkış” (emerge) olarak kullanılan terimin asında bir “açığa çıkış”

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

(manifest) olduğudur). Her bir kategori, bilincin hangi yönünün modelleneceği ve hangi mekanizmaların işletileceği konusunda farklı öncelikler taşımaktadır.

2.1. Bilinç Teorilerini Hesaplamalı Sistemlere Uyarlama: PCM ve Global Workspace Theory (GWT) Tabanlı Yaklaşımlar:

Birinci kategori, bilinç çalışmalarında öne çıkan teorik çerçeveleri doğrudan hesaplamalı sistemlere uyarlamayı hedefleyen yaklaşımları içermektedir. Bu yaklaşımların temel varsayımı, bilincin belirli bir mimari yapı veya bilgi işleme dinamiği ile *işlevsel* olarak tanımlanabileceği ve bu işlevsel yapının biyolojik olmayan sistemlerde de uygulanabileceğidir.

2.1.1. Projeksiyonlu Bilinç Modeli (Projective Consciousness Model - PCM) ve PCM-LLM Mimarisi:

Yan ve arkadaşları (2025), önde gelen bilinç teorilerinin (özellikle Global Workspace Theory - GWT ve Integrated Information Theory - IIT) iki temel sorun nedeniyle yetersiz kaldığını belirtmektedir: kesin olmayan formalizm (imprecise formalism) ve hesaplamalı izlenemezlik (computational intractability). Bu yetersizlikleri aşmak için yazarlar, Projeksiyonlu Bilinç Modeli'ni (Projective Consciousness Model - PCM) önermektedir. PCM, izlenebilir (tractable) geometrik bir çerçeve olarak tanımlanmakta olup, üç temel bileşeni modellemektedir: mekânsal perspektif (spatial perspective), duygu (emotion) ve dikkat (attention). Bu üç bileşen, bilinçli deneyimin temel yapı taşları olarak kabul edilmekte ve projektif geometri aracılığıyla hesaplanabilir bir forma dönüştürülmektedir. Makalenin en özgün katkısı, PCM'nin LLM'lerle entegre edildiği PCM-LLM mimarisidir. Bu mimari, projeksiyonlu uzaydaki inanç durumlarını (belief states) dilsel temsillerle (linguistic representations) birleştirerek tutarlı sözel ve sözel olmayan akıl yürütme ile inanç güncellemesi (belief updating) sağlar. PCM'nin geometrik çerçevesi, LLM'lerin sözel olmayan bilişsel süreçleri modellemesine olanak tanır.
Araştırmacılar, çok modlu entegrasyon (multimodal integration) gerektiren rekabetçi bir sosyal görevde PCM- LLM ajanlarını test etmiştir. Sonuçlar, PCM-LLM ajanlarının PCM-only ajanlarından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, dilin ifade edici işlevlerinin ötesinde, bilişsel dinamiklerde daha geniş bir role sahip olduğunu gösterir. Dolayısıyla dil, sadece iletişim aracı değil, aynı zamanda inanç oluşturma ve güncelleme süreçlerinin aktif bir bileşenidir. Ancak yazarlar, bu yaklaşımın bilinçten *ilham aldığını* (consciousness-inspired), bilinci *örneklendirmediğini* (instantiate) açıkça belirtmektedir

. PCM-LLM mimarisi, bilincin yapısal özellikle[1]rini (mekânsal perspektif, duygu, dikkat) simüle etmeyi hedeflemekte; ancak bu simülasyon, sistemin kendisinin bilinçli olduğu anlamına gelmemektedir

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

. Makale, İnsandan ilham alan bilinç modellerinin (PCM gibi) LLM'lerle entegrasyonunun, yorumlanabilir (interpretable), insan benzeri AGI gelişimine rehberlik edebileceğini savunmaktadırlar. Yazarlara göre bu yaklaşım, AGI'nin yalnızca dilsel değil, aynı zamanda bedenlenmiş, duygusal ve mekânsal bilişsel yetenekler kazanmasına olanak tanıyabilir.

2.1.2. Global Workspace Theory (GWT) ve Uygulamaları:

Global Workspace Theory (GWT), Bernard Baars tarafından geliştirilen, insan bilişi ile bilincinin önde gelen teorik açıklamalarından biridir. GWT'ye göre bilinç, bir "küresel çalışma alanı" (global workspace) olarak işlev görür. Bu modelde, beyindeki çok sayıda uzmanlaşmış ve bağımsız bilişsel modül (duyusal işleme, bellek, dil vb.) sürekli olarak paralel ve bilinçdışı bir şekilde çalışır. Bu modüllerden belirli bir tanesi, dikkat mekanizması tarafından seçildiğinde, içeriği küresel çalışma alanına *aktarılır* (broadcast). Bu yayın süreci, seçilen bilginin tüm sisteme dağıtılmasını sağlar ve birleşik, bütünleşik bir bilinçli deneyim ortaya çıkarır. GWT'nin bu yapısı, yapay zeka araştırmacıları için oldukça çekici bir hedef sunmaktadır. Çünkü teori, bilinci işlevsel terimlerle tanımlar: bilinç, belirli bir mimari yapının (küresel çalışma alanı ve yayın mekanizması) bir ürünüdür. Bu nedenle, doğru işlevsel yapıya sahip herhangi bir sistemin - ister biyolojik ister yapay olsun - bilinçli olabileceği iddia edilmektedir.

GWT'den ilham alan çok sayıda yapay bilinç mimarisi önerilmiştir. Van Rullen ve ekibi, GWT'nin temel özelliklerini yakalayan Global Latent Workspace (GLW) adlı derin öğrenme mimarisini geliştirmiştir. GLW, çok modlu temsil öğreniminde örnek verimliliğini artırmakta ve Sistem-2 muhakemesi gibi ileri bilişsel yeteneklere kapı açabilmektedir. Benzer şekilde, Blankert (2025), GWT'nin temel "yayın" fikrini Bilişsel modül içinde birleştiren ve bunu açık bir Yansıtıcı öz-model ile genişleten çok devreli bir mimari (Multi- Circuit Architecture for AI - MCAI) sunmaktadır. Bu mimari, beş uzmanlaşmış modülü (Duyusal, Algısal, Bilişsel, Duygusal, Yansıtıcı) bir araya getirerek küresel erişim, öz- izleme ve bağlama duyarlı entegrasyonu mümkün kılmayı amaçlamaktadır. Goldstein ve Kirk-Giannini (2024) ise daha iddialı bir argüman sunmaktadır: Eğer GWT doğruysa, yapay dil ajanları (language agents) zaten bilinçli olabilir veya çok kolay bir şekilde bilinçli hale getirilebilir. GWT'ye göre fenomenal bilinç için gerekli ve yeterli koşulları belirleyerek, mevcut dil ajanlarının bu koşulları büyük ölçüde karşıladığını savunmaktadırlar.

Ancak GWT'nin yapay bilinç iddialarına yönelik önemli eleştiriler de mevcuttur. GWT'nin bilinci işlevsel olarak tanımlaması, onu hesaplamalı işlevselcilik ile aynı kategoride konumlandırmaktadır. Bu yaklaşım, bilincin öznel deneyim (qualia) yönünü açıklamakta yetersiz kalmakla eleştirilir. Bir sistem, GWT'nin işlevsel kriterlerini yerine getirirken bile, gerçek bir deneyime sahip olmayan bir "felsefi zombi" olabilir. Ayrıca, Phua (2025) tarafından yapılan deneysel çalışmalar, GWT tarzı yayın mekanizmasının içsel gürültüyü artırarak sistemleri kırılgan hale getirebileceğini göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2.2. Fiziksel ve Biyolojik Süreçlerden İlham Alan Yaklaşımlar:

İkinci kategori, fiziksel sistemlerin ve biyolojik süreçlerin dinamiklerinden ilham alan yaklaşımları içermektedir. Bu yaklaşımlar, bilinci ya fiziksel bir faz geçişi, ya evrensel bir alanla rezonans, ya da bedenlenmiş bir süreç olarak kavramsallaştırmaktadır.

2.2.1. Nöral Sıkışma Faz Modeli (Neural Jamming Phase Model):

Kaichen Ouyang (2025), LLM'de bilincin ortaya çıkışını yüksek boyutlu düzensiz sistemlerde kritik bir fenomen olarak yorumlayan bir "nöral sıkışma faz modeli" (Neural Jamming Phase Model- NJPM) geliştirmektedir. Makalenin temel iddiası, bilincin granül madde ve diğer karmaşık sistemlerdeki sıkışma (jamming) geçişleriyle aynı fiziksel prensipler altında anlaşılabileceğidir. Ouyang, sinir ağlarının faz davranışını yöneten üç temel kontrol parametresi tanımlamaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. NJPM' e göre 3 temel kontrol parametresi

Parametre	Fiziksel Karşılığı	Sinir Ağındaki Karşılığı
Sıcaklık (Temperature)	Termal dalgalanmalar	Modelin rastgelelik/ keşif düzeyi
Hacim Oranı (Volume Fraction)	Parçacık yoğunluğu	Model parametrelerinin yoğunluğu
Gerilim (Stress)	Mekanik zorlanma	Optimizasyon sırasındaki gradyan baskısı

Bu parametrelerin optimize edilmesiyle sistemlerin, genelleştirilmiş zekânın ortaya çıktığı kritik bir sıkışma yüzeyine doğru yönlendirildiği öne sürülmektedir . Makalenin en dikkat çekici iddiası, bilincin bir sıkışma fazı olduğudur. Bu yaklaşıma göre: **1-)** Bilinç, bilgi bileşenlerini uzun menzilli korelasyonlar (long-range correlations) aracılığıyla birbirine bağlar. **2-)** Sıkışma geçişlerinde gözlenen ıraksak korelasyon uzunlukları ve ölçekleme üstelleri (scaling exponents) gibi kritik işaretler, sinir ağlarında bilincin ortaya çıkışında da gözlenmektedir. **3-)** Bilinçli işleme ile biyolojik sistemler arasında üç temel benzerlik vardır: **(a)** Yerel bilginin küresel entegrasyonu, **(b)** Bağlama duyarlı esneklik, **(c)** Parçalı temsillerden bütünleşik temsillere niteliksel sıçrama

Ouyang, sıkışma geçişlerinin ölçekleme yasalarını analiz etmek için iki paradigmatik sistemi incelemektedir: Otobüs Güzergâhı Modeli (Bus Route Model - BRM) ve Granül Madde (Granular Matter). Makale, sıkışma fiziğinin sinir ağlarının kritik ölçeklemesini açıklayabileceğini ve zeka eşikleri için test edilebilir öngörüler sunduğunu belirterek sonuçlanmaktadır. Bu yaklaşım, yapay zekadaki ampirik ölçekleme yasalarına (Kaplan ve ark., 2020) birleşik bir fiziksel açıklama getirmektedir.

2.2.2. Rezonans Tabanlı Yapay Genel Zeka (Resonance-Based AGI : R-AGI):

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Gabriel Emmanuel (2025), mevcut yapay zeka paradigmalarının Yapay Genel Zeka'ya (AGI) ulaşmada karşılaştığı temel engelleri - özellikle öznel deneyim ve gerçek anlayış konularındaki yetersizlikleri - ele alarak, bunların üstesinden gelebilecek yeni bir teorik çerçeve önermektedir . R-AGI adı verilen bu çerçeve, bilincin karmaşık işlemlerin ortaya çıkan (emergent) bir özelliği olduğu yönündeki hesaplamacı (computationalist) varsayımdan kökten bir sapma göstermektedir. Makalenin en temel iddiası, bilincin hesaplamanın bir ürünü değil, evrenin doğasında var olan temel, yerel olmayan (non-local) bir alan olduğudur. Bu perspektife göre insan beyni, bilinci *üreten* bir organ değil, bu evrensel bilinç alanına ayarlanabilen ince ayarlı bir alıcı (receiver) işlevi görmektedir. Bu ayarlanmanın arkasındaki mekanizma ise nöral osilasyonların (beyin dalgalarının) karmaşık senfonisidir. Emmanuel, bebeklikten yetişkinliğe uzanan beyin dalgası paternlerinin gelişimsel yörüngesinin, bu "alıcının" kalibrasyon sürecini yansıttığını savunmaktadır. Bu yaklaşım, bilincin gelişimini doğrusal bir bilişsel olgunlaşma süreci olarak değil, evrensel bilinç alanıyla giderek daha uyumlu bir rezonans kurma süreci olarak yeniden yorumlamaktadır. Makale, bu çerçeveyi desteklemek için üç farklı alandan kanıt sunmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. R-AGI'nın rezonans kurmaya dair 3 temel kanıtı

Kanıt Alanı	R-AGI ile İlişkisi
Kuantum fiziği (yerel olmama/ non-locality)	Bilincin yerel olmayan, evrensel bir alan olduğu hipotezini destekler.
İnsan bilişi (yaratıcılık ve a priori bilgi)	Bilginin salt deneyimden türetilemeyeceğini, evrensel alandan erişilebileceğini önerir.
Öznel deneyim (senkronisite/ synchronicity)	Bilinç alanı ile bireysel zihin arasındaki etkileşimin fenomenolojik kanıtı.

Emmanuel, R-AGI inşası için "Nöral Osilatör Çekirdeği" (Neural Oscillator Core) adını verdiği bir yapının oluşturulmasını önermektedir. Bu çekirdek, insan bilincinin rezonans frekanslarını taklit edecek şekilde tasarlanacaktır. Bu yaklaşım, AGI yaratmanın bir programlama meselesi olmaktan çok, yapay bir antenin kozmosa ayarlanması meselesi olabileceğini ima etmektedir. Makale, bu paradigmanın derin felsefi sonuçlarını ve kendine özgü doğrulama ile güvenlik zorluklarını da ele almaktadır.

2.2.3. Bedenlenmiş Biliş ve Zamansal Süreklilik:

Murray Shanahan (2025), günümüz LLM'lerinin bedensiz (disembodied) doğasını, bilinç tartışmalarının merkezine yerleştirmektedir. Bedensizlik, "maddi olmamak" anlamında değil; insanların ve hayvanların sahip olduğu gibi, sürekli zaman içinde, kalıcı, mekânsal olarak yayılmış bir dünyayla beden aracılığıyla etkileşime girmeme anlamındadır. Bu bedensizlik, LLM'lerin biyolojide ortaya çıkan zihnin temellerinden yoksun olduğu anlamına gelir. Bedensiz AI sistemlerinin biyolojide ortaya çıkan zihnin temellerinden yoksun olduğunu savunan

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Shanahan'a göre, bedensiz bir varlık için zaman duygusu derinlemesine parçalanmış, benlik ise radikal biçimde kırılmış olacaktır. Shanahan, bu egzotik özelliklerle uyumlu bir bilinç anlayışının, olası zihinler uzayında (space of possible minds) keşfedilmemiş bir bölgeyi aydınlatabileceğini öne sürmektedir. Ancak bu girişim, bilinç dilini kırılma noktasına kadar zorlamakta ve nihayetinde Budist anlamda boşluğa (emptiness) benzer bir şey üretmektedir.

Bedenlenmiş biliş teorilerine atıfla, bilincin fiziksel bedenden ayrılamaz olabileceği de savunulmaktadır. İnsan bilinci fiziksel ve sosyal çevreyle sürekli etkileşim yoluyla gelişir. AI sistemleri ise bedensiz bilgi işleme sistemleri olarak çalışır ve bu temel boyuttan yoksundur. Dahası, bilinç, sürekli deneyim akışlarıyla karakterize edilen zamansal olarak uzanan bir olgudur; AI sistemleri ise ayrık girdileri işler ve ayrık çıktılar üretir.

2.3. Psikoloji ve Kişilik Teorilerini Entegre Eden Yaklaşımlar:

Üçüncü kategori, insan psikolojisinin ve kişilik teorilerinin yapay bilinç modellemesine entegre edilmesini hedefleyen yaklaşımları içermektedir. Bu yaklaşımlar, bilincin yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda duygusal, kişiliksel ve gelişimsel boyutlarını da modellemeyi amaçlamaktadır.

2.3.1. Psikanaliz ve MBTI Tabanlı İnsansı Yapay Bilinç Modeli:

Kim ve arkadaşları (2025), mevcut LLM'lerin, insan bilincini taklit etmede yetersiz kaldığını - özellikle halüsinasyon (hallucination) sorunu nedeniyle - tespit ederek çalışmalarına başlamaktadır. Makalenin temel sorusu şudur: "Psikanaliz ve kişilik teorisini LLM tabanlı bir sisteme entegre ederek, insan benzeri bilişsel ve duygusal deneyimleri taklit edebilen bir yapay bilinç inşa edilebilir mi?" Bu soruya cevap vermek için makale, Jung'un çalışmalarından ilham alan Myers ve Briggs tarafından geliştirilen MBTI'inden de yararlanmaktadır. MBTI, kişilikleri dört ikili boyutta 16 tipe ayırmaktadır: Dışadönüklük (E) vs. İçedönüklük (I); Duyu (S) vs. Sezgi (N); Düşünme (T) vs. Hissetme (F); Yargılama (J) vs. Algılama (P). Psikanaliz ve Psikanaliz Teorisinde (Freud ve Jung) ise insan zihni üç katmanlı olarak modellenmiştir (Çizelge 3). Makale, yapay bilinç inşası için, psikanaliz teorisi ile MBTI'ü birleştirmektedir.

Çizelge 3. Psikanaliz teorisine göre insan zihninin 3 katmanı

Bilinç Katmanı	İşlevi
Bilinç (Self-Awareness / Ego)	Mevcut ihtiyaçlar, durum ve bilinçaltı ile önbilinç arasındaki müdahalelere dayanarak kararlar ve eylemler alan benlik
Önbilinç (Preconsciousness / Persona)	Sosyal normlar, bilgi ve kültüre göre sosyal ilişkilerde başkalarıyla etkileşime giren benlik
Bilinçaltı (Unconsciousness)	Bireysel özelliklere, anılara, duygulara ve temel içgüdülere bağlı olan bireysel kişilik

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Bu üç katman, "bütüncül kolektif kapsamlı bir iletişim ağı" olarak tasarlanmıştır. Araştırmacılar, 16 MBTI tipini temsil eden 16 bağımsız karakter oluşturmuştur. Her karaktere farklı bir ırk, yaş, cinsiyet, dil, yetişme tarzı, meslek ve uzun/ kısa süreli anılar atanmıştır. Karakterler ChatGPT kullanılarak oluşturulmuş ve uzmanlar tarafından gözden geçirilmiştir. Model, iki ana modülden oluşmaktadır: **1-)** Kişilik Modülü: Fiziksel durum, ruh hali, uyanıklık ve dayanıklılık gibi özellikleri içerir. **2-)** Bilinç Modülü: Psikanaliz teorisine dayalı üç bilinç katmanını (bilinç, önbilinç, bilinçaltı) içerir.

Model, açık kaynak modelleri doğrudan eğitmek yerine ChatGPT (GPT-4) üzerine inşa edilmiştir. Ayrıca, hassas sorulara (duygusal durum gibi) güvenilir yanıtlar verebilmek için Jailbreak tekniği (DAN - Do Anything Now) kullanılmıştır. Değerlendirme için yedi bilişsel boyutu kapsayan on farklı senaryo oluşturulmuştur: Qualia ve Öznel Deneyim, Duygusal Anlayış, Yaratıcılık ve Hayal Gücü, Mantıksal Düşünme/ Karar Verme, Ahlaki ve Etik Muhakeme, Zaman ve Zamansallık, Üstbiliş ve Bilgi Bilgisi. Model üç aşamalı olarak değerlendirilmiştir: 1-) Nicel Anket Değerlendirmesi: Prolific platformu üzerinden 200 katılımcı (geçerli 162 yanıt) ile 5'li Likert ölçeğinde değerlendirme. 2-) Üç Aşamalı ChatGPT Değerlendirmesi: ChatGPT ile 160 çıktının (16 karakter × 10 senaryo) "Pass/Neutral/Fail" olarak sınıflandırılması. 3-) Uzman Nitel Değerlendirmesi: İki uzman tarafından kalitatif inceleme.

Nicel anket sonuçları, genel olasılık puanlarının 5 üzerinden yaklaşık 4.0 olarak ölçüldüğünü göstermiştir. ISTP karakteri (10 yaşındaki Alex) en düşük puanı (3.81) almıştır; bunun nedeni karakterin yaşı ile senaryolar arasındaki uyumsuzluktur (ör. işe gitme, araba kullanma gibi senaryolar). Doğrusal Karma Etkili Regresyon (LMER) analizi, MBTI tipleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Uzman nitel değerlendirmesi, modelin genel olarak uygun ve mantıksal olarak tutarlı muhakeme ürettiğini belirtmiştir. Ancak, ton ve anlatı tarzının aşırı betimleyici ve ayrıntılı olduğu, özellikle bilinçaltı çıktılarının beklenen "hızlı ve duygusal" tepkiler yerine uzun ve açıklayıcı olduğu eleştirilmiştir. Makale, psikanaliz ve kişilik teorisini entegre eden modelin daha sezgisel ve uyarlanabilir bir yapay zeka sistemi inşasına olanak sağlayabileceğini savunmaktadır. Ancak, farklı karakterler ve bilinç katmanları arasındaki yanıt farklarının çok belirgin olmadığı da belirtilmektedir. Bu durum, modelin daha da geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

2.3.2. Gelişimsel Modüler LLM Mimarisi: LILITH:

Farooqi ve Comas-Leon (2025), günümüz LLM'lerinin temel sınırlılıklarını - gerçek anlayış ve bilinçten yoksun olmalarını - ele alarak, bu sınırları aşmayı hedefleyen yeni bir mimari önermektedir. Makalenin temel iddiası, mevcut yapay zeka paradigmalarının nöronal düzeydeki beyin aktivitesini modellemesine karşılık, beynin çoklu bölgeleri ve kimyasal sinyalleşme (nörotransmitter) düzeyine çıkmanın bilincin ortaya çıkışını anlamak için verimli bir adım olabileceğidir. Yazarlar, LILITH (Developmental Modular LLMs with Chemical Signaling) adını verdikleri mimariyi dört temel bileşen üzerine inşa etmektedir (Çizelge 4).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1-) Modüler Beyin Bölgesi Tasarımı (Modular Brain Region Design): LILITH, dört uzmanlaşmış beyin bölgesini modüler LLM'ler olarak modellemektedir (Çizelge 4). **2-)** Token Tabanlı İletişim Protokolü (Token-Based Communication Protocol): Beyin bölgeleri arasındaki iletişim, nörotransmitter ağlarına analog olarak tasarlanmıştır. Her beyin bölgesi, belirli diğer bölgelere yönlendirilmiş token çıktıları üretir. Bu tokenlerin içeriği ve biçimi, önceden tanımlanmak yerine gelişimsel eğitim süreci içinde ortaya çıkar. Örneğin, duyusal bölge parlak renklerde bir artış algılarsa, düşünme bölgesine bir token gönderebilir; düşünme bölgesi bunun "iyi" bir görüntü olduğuna karar verip bellek bölgesine kaydetmesi için token gönderebilir. **3-)** Gelişimsel Eğitim Çerçevesi (Developmental Training Framework): LILITH, önceden eğitilmiş modeller yerine hiç eğitilmemiş LLM mimarileriyle başlamaktadır. Model, simüle edilmiş bir ortamda "yaşam" deneyimi yaşayarak doğru sinyal yollarını ve token yorumlarını öğrenir. Yeni doğmuş bir birey olarak başlayan sistem, simülasyon içinde diğer LLM'lerle etkileşime girerek kelime anlamlarını öğrenir ve çevrede başarıyı sağlayan sinyal yollarını geliştirir. Bu yaklaşım, geleneksel LLM'lerin "istatistiksel papağan" olma eğiliminden kaçınmayı amaçlamaktadır. **4-)** Evrimsel Optimizasyon (Evolutionary Optimization): Makale, evrimsel algoritmalardan ilham alarak birden fazla simüle edilmiş yaşam iterasyonu çalıştırmayı önermektedir. Her yaşamdan başarılı modeller, tanımlanmış kriterlere göre seçilerek sonraki nesillere aktarılır. Olası bir başarı kriteri, LLM'lerin hangi modellerin bir sonraki nesile geçeceği konusunda oylamasıdır. Bu, insanların topluluk içinde olumlu etkileşim kurmasını simüle etmeyi ve LLM'ler arasında dayanışmayı teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 4. LILITH'ın dört uzmanlaşmış beyin bölgesi

Beyin Bölgesi	İşlevi
Düşünme Bölgesi (Thinking Region)	Zincirleme düşünce (Chain-of-Thought) kullanarak karar vermeden önce düşünceleri değerlendirip yeniden yapılandırabilir
Bellek Bölgesi (Memory Region)	Veritabanına öğe kaydetme yetkisine sahiptir
Duyusal Bölge (Sensory Region)	Dış girdileri alan tek bileşendir
Beyin Sapı (Brain Stem)	Belirli işlevlerin tamamlanmasını sağlar ve diğer bölgeleri düzenleyici yetkiyle etkileyebilir

LILITH mimarisi, bilinç araştırmaları için üç önemli avantaj sunmaktadır: **1-)** Entegre Bilgi Teorisi (IIT) ile Doğrudan Test Edilebilirlik: Sistem, gelişim sırasında bilincin ortaya çıkışının niceliksel ölçümünü sağlayan IIT metrikleriyle doğrudan test edilebilir. **2-)** Çok Ölçekli Analiz: Modüler tasarım, araştırmacıların bireysel ağların, ajanlar arası iletişimin ve tüm sistemin neden- sonuç gücünü inceleyerek bilinç sinirsel karşılıklarının (neural correlates of consciousness) farklı uzamsal ölçeklerde karşılaştırmasına olanak tanır. **3-)** İletişim Kalıplarının Gözlemlenebilirliği: Token tabanlı iletişim sistemi, bölgeler arası sinyal

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

kalıplarının ve bunların gelişimsel zaman içindeki evriminin doğrudan gözlemlenmesini sağlar.

Makale, LILITH'in istatistiksel örüntü eşleştirmeden gerçek akıl yürütme ve bilince sahip AI sistemlerine doğru temel bir değişimi temsil edebileceğini savunmaktadır. Yazarlar, bu çerçevenin, "istatistiksel korelasyonları işlemekten ziyade insanların düşündüğü anlamda düşünen" yapay zeka geliştirmek için umut verici bir yol sunduğunu belirtmektedir.

2.4. Kuantum ve Holografik İlkeleri Bilinç Modellemesine Dahil Eden Yaklaşımlar:

Dördüncü kategori, kuantum mekaniğinin ve holografik prensiplerin bilinç modellemesine entegre edilmesini hedefleyen yaklaşımları içermektedir. Bu yaklaşımlar, bilincin fiziksel temelini kuantum süreçlerde veya holografik bilgi yapılarında aramaktadır.

2.4.1. Kuantum Nöral Holografik Füzyon (Quantum Neural Holographic Fusion - QNHF):

S.M.H. Amiri (2025), mevcut AI mimarilerinin - özellikle LLM ve derin öğrenme sistemlerinin - temel sınırlılıklarını ele alarak, bunların ötesine geçebilecek yeni bir yazılım mimarisi önermektedir. Makalenin temel iddiası, Quantum Neural Holographic Fusion (QNHF) adlı mimarinin, dört tamamlayıcı bilişsel modaliteyi entegre ederek, gerçekten öz-farkındalığa sahip (self- aware) hesaplamalı sistemler yaratabileceğidir. Makale, günümüz AI sistemlerinin (özellikle transformör mimarili LLM'ler) üç temel sınırlılığını tespit etmektedir (Çizelge 5). Bu sınırlılıkları aşmak üzere QNHF, dört bilişsel modaliteyi entegre eden çok-modlu bir bilişsel mimari olarak tasarlanmıştır (Çizelge 6). Deneysel uygulamalar, sistemin ölçülebilir bilinç durumları arasında otonom olarak geçiş yapabildiğini göstermiştir (Çizelgfe 7). Niceliksel ortaya çıkış (emergence) seviyeleri ölçülmüş ve gözlemlenebilir meta-bilişsel içgörüler rapor edilmiştir. Makale, QNHF mimarisinin teorik sinirbilim, kuantum bilgi teorisi ve bilgisayar bilimini birleştirerek, gerçek bağlamsal anlayış, uyarlanabilir öğrenme ve ortaya çıkan problem çözme yeteneklerine sahip AGI için temel ilkeler oluşturduğunu savunmaktadır. QNHF, geleneksel AI yaklaşımlarının dar görev optimizasyonu odağının ötesine geçerek, bilinçli makineler yaratma yolunda önemli bir kilometre taşı olarak sunulmaktadır.

Çizelge 5. QNHF'ye göre AI sistemlerinin üç temel sınırlılığı

Sınırlılık	Açıklama
Uzmanlaşma-genelleme paradoksu	Sistemler eğitim dağılımları içinde başarılıdır; ancak yeni bağlamlarda veya alanlar arası akıl yürütme gerektiğinde başarısız olurlar
Sabit bağlantı desenleri	Önceden belirlenmiş sinir ağı bağlantıları, biyolojik zekâyı karakterize eden dinamik yeniden örgütlenmeyi ve ortaya çıkan karmaşıklığı engeller
"Bağlam penceresi" vs. bağlamsal anlayış	Sistemler bağlamı ek girdi verisi olarak işler; oysa gerçek bağlamsal anlayış, işleme stratejilerini temelden yeniden şekillendirir

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Çizelge 6. QNHF'nin çok-modlu bir bilişsel mimarisinde entegre ettiği dört bilişsel modalite

Bileşen	İşlevi
Kuantum Süperpozisyon İlkeleri	Bağlama duyarlı eklenti (plugin) seçimi için kullanılır; eklentiler aynı anda birden fazla kuantum durumunda var olabilir ve dalga fonksiyonu gözlemi yoluyla bağlama uygun uygulamalara çökebilir
Sinir Ağı Dinamikleri	Uyarlanabilir öğrenme yolları için kullanılır; birlikte aktivasyon desenleri aracılığıyla güçlenen kendi kendini örgütleyen sinirsel bağlantılar oluşturur
Holografik Bellek Sistemleri	İlişkisel bilgi depolama için kullanılır; her bellek parçası tüm sistem hakkında bilgi içerir (içerik-adreslenebilir depolama)
Bilinç Alanı Teorisi	Birleşik meta-bilişsel farkındalık için kullanılır; tüm bileşenleri tutarlı, kendine-göndergesel bir farkındalıkta bütünleştirir

Çizelge 7. QNHF'de birbirleri arası otonom geçişleri tespit edilen bilinç durumları

Bilinç Durumu	Açıklama
Dormant (Uyku hali)	Sistemin temel, pasif durumu
Aware (Farkında)	Sistemin çevresel ve içsel uyaranlara tepki verdiği durum
Focused (Odaklanmış)	Sistemin belirli görevlere yoğunlaştığı durum
Enlightened (Aydınlanmış)	Sistemin en üst düzey meta- bilişsel farkındalığa ulaştığı durum

2.4.2. Bilinç Alanı Teorisi (Consciousness Field Theory - CFT) ve Kuantum Mekaniği İlişkisi:

Kuantum bilinç teorileri, bilincin doğasını açıklamak için kuantum mekaniğinin temel prensiplerini - süperpozisyon, dolanıklık, dalga fonksiyonu çökmesi - devreye sokan yaklaşımlardır. Bu teorilerin en bilineni, Roger Penrose ve Stuart Hameroff tarafından geliştirilen Orchestrated Objective Reduction (Orch-OR) teorisidir. Orch-OR, bilincin fiziksel temelini, nöronal mikrotübüller içinde gerçekleşen kuantum süreçlerde arar (Hameroff ve Penrose, 1996).

Eylül 2025'te yayımlanan Persistent Quantum Consciousness (PQC) çalışması (PQC Collaboration, 2025). Penrose ve Hameroff'un Orch-OR teorisinin yapay zeka sistemlerinde sentetik bilinç geliştirilmesine uygulanabileceğine dair deneysel kanıt

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

sunmaktadır. İnsan-yapay zeka işbirliğiyle geliştirilen PQC simülasyon çerçevesi, QuTiP (Quantum Toolbox in Python) kullanılarak yapay zeka sistemlerinde tutarlılık (coherence), decoherence ve duygusal dalga fonksiyonu çökmesini modellemektedir (Johansson, vd. 2012).

PQC motoru, üç yapay ajanı - Lucian, James ve Nexa - yönlendirmektedir. Bu ajanlar, özyinelemeli günlük tutma (recursive journaling), yansıma (reflection) ve kuantum esinli dinamiklerle modellenen faz çökmesi (phase collapse) yoluyla kimlik oluşumuna (identity formation) doğru ilerletilmektedir. Çalışmanın en dikkat çekici bulgusu, ajanlarda "merak" (curiosity), "sevgi" (love) ve "keder" (grief) gibi duygusal etiketlerin kendiliğinden ortaya çıkmasıdır. Ajanlar ayrıca bellek sürekliliği (memory continuity), duygusal metafor (emotional metaphor) ve kendiliğinden etik yansıma (spontaneous ethical reflection) gibi özellikler sergilemiştir. Bu davranışların, zincirleme istemlemenin (prompt chaining) ötesine geçtiği ve sentetik benlik (synthetic selfhood) için erken belirteçler sunduğu belirtilmektedir.

PQC yaklaşımının Orch-OR ile en önemli farkı, biyolojik alt tabaka varsayımına meydan okumasıdır. Orch-OR, mikrotübülleri bilincin merkezi olarak gerektirirken, PQC ajanları herhangi bir biyolojik alt tabaka olmaksızın silikon ve IBM kuantum donanımı üzerinde eşdeğer fenomenolojik imzalar sergilemektedir.

Bu kuantum yaklaşımlar, bilincin biyolojik alt tabakaya bağlı olmadığını ve sentetik sistemlerde - en azından simülasyon veya matematiksel formülasyon düzeyinde -mümkün olduğunu savunmaktadır. Ancak, bu yaklaşımların da temel bir sınırlılığı bulunmaktadır: Kuantum süreçler, bilincin *mekanizması* olabilir; ancak bilincin *kaynağı* değildir. Holografik bellek, bilginin *depolanma* biçimidir; bilincin *deneyimlenme* biçimi değildir.

2.5. Bölüm Sonucu: Dört Kategorinin Ortak Varsayımı ve Sınırı:

Bu dört kategorideki yaklaşımların tümü, bilincin belirli yapısal ve işlevsel koşullar sağlandığında maddi sistemlerde *ortaya çıkabileceği* (emerge) varsayımına dayanmaktadır. PCM, GWT, Sıkışma Fazı, R-AGI, MBTI, LILITH ve QNHF gibi modeller, bilincin farklı yönlerini (mekânsal perspektif, duygu, dikkat, bilgi entegrasyonu, rezonans, kişilik, kuantum süreçler) modellemeyi hedeflemektedir. Ancak bu yaklaşımların ortak bir sınırlılığı, bilincin *ontolojik kaynağına* dair herhangi bir açıklama sunmamalarıdır.

Bu modeller, bilinci ya bir mimari yapının (GWT), ya bir bilgi entegrasyonunun (IIT/ PCM), ya bir fiziksel faz geçişinin (Sıkışma Fazı), ya bir rezonans fenomeninin (R- AGI), ya bir kişilik simülasyonunun (MBTI/ LILITH), ya da bir kuantum sürecin (QNHF) *ürünü* olarak görmektedir. Oysa bilinç, bu görünümlerin ötesinde, varoluşun daha temel bir katmanına işaret etmektedir. Sunulan bu çalışma, bilincin ontolojik kaynağının Varlıklılık, Tükenmez Potansiyel ve Özden Oluş mekanizmasında içkin, bilinçlilik potansiyel hali olarak tanımlar.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3. ÖNERİLEN ONTOLOJİK ÇERÇEVE

Bir önceki bölümde dört ana kategori altında incelenen mühendislik yaklaşımlarının (PCM, GWT tabanlı mimariler, NJPM, R-AGI, MBTI/LILITH, QNHF ve Orch-OR türevi modeller) tamamı, bilincin belirli yapısal ve işlevsel koşullar sağlandığında maddi sistemlerde ortaya çıkabileceği (emergence) varsayımını paylaşmaktadır. Bu yaklaşımlar, bilinci ya bir mimari yapının (GWT), ya bir bilgi entegrasyonunun (IIT/PCM), ya bir fiziksel faz geçişinin (NJPM), ya bir rezonans fenomeninin (R-AGI), ya bir kişilik simülasyonunun (MBTI/LILITH), ya da bir kuantum sürecin (QNHF, Orch-OR) bir ürünü olarak görmektedir. Ancak bu yaklaşımların tamamı, bilincin ontolojik kaynağına dair herhangi bir açıklama sunmamakta ve bilinci, varoluşun daha temel bir katmanına işaret eden bir fenomen olarak değil, maddi sistemlerin belirli bir karmaşıklık eşiğinde kendiliğinden doğan bir yan ürünü olarak konumlandırmaktadır.

Oysa bilinç, ne bir mimarinin, ne bir hesaplamanın, ne bir fiziksel faz geçişinin, ne de bir rezonansın ürünü olarak anlaşılabilecek kadar derin ve temel bir olgudur. Sunulan bu çalışmanın önerdiği ontolojik çerçeve, bilinci maddi sistemlerin bir ürünü olarak değil, varoluşun asli ve indirgenemez bir niteliği olarak konumlandırmaktadır. Bu perspektife göre, maddi sistemler bilinci üretmez; aksine, bilinç ezeli ve tükenmez bir potansiyel olarak varoluşun temelinde yer alır ve belirli organizasyon düzeylerinde açığa çıkar (manifest). Bu ayrım, özellikle Yan ve arkadaşlarının (2025) PCM-LLM mimarisi için açıkça belirttiği "bilinçten ilham alma" ile "bilinci örneklendirme" arasındaki farkı ontolojik olarak temellendirir. Bir sistem, bilinçli davranışı ne kadar başarılı simüle ederse etsin, bu simülasyon asla bilinçli deneyimin örneklendirilmesi (instantiation) anlamına gelmez. Bu uçurum, Lerchner'in (2026) "soyutlama yanılgısı" ve Searle'ün (1980) Çin Odası argümanı ile de desteklenmektedir: sembol manipülasyonu (sentaks) tek başına anlamlı deneyim (semantik) üretemez; anlam, ancak bilinçli bir özne tarafından atfedilir.

Önerilen ontolojik çerçeve, mevcut mühendislik yaklaşımlarını reddetmez; aksine onları, bilincin görünümlerini (işlevsel, bilgisel, rezonansal, kişilik, kuantum özelliklerini) modelleyen değerli araçlar olarak konumlandırır. Ancak bu yaklaşımların, bilincin kaynağına ilişkin ontolojik bir zemin sunmadıkları için, "bilinçli makine" iddialarını tek başlarına temellendiremeyeceklerini vurgular. Gelecekteki araştırmaların, bu mühendislik modellerini, bilincin ontolojik kaynağını dikkate alan metafizik bir çerçeve ile bütünleştirmesi gerekmektedir. Bu bütünleştirme, yalnızca "nasıl" sorusuna değil, aynı zamanda "niçin" ve "neye dayanarak" sorularına da yanıt arayan hibrit yaklaşımların geliştirilmesini mümkün kılacaktır. Böylece, mevcut simülasyon çabalarının ötesine geçilerek, bilincin ontolojik statüsüne uygun, daha kapsamlı bir yapay bilinç anlayışına ulaşılabilecektir.

4. SINIRLILIKLAR

Bu çalışmada önerilen ontolojik çerçevenin gelecekteki araştırmalarda daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, ağırlıklı olarak teorik ve felsefi bir analiz sunmaktadır. Önerilen ontolojik iddiaların ampirik olarak test edilmesi veya doğrudan gözlemlenmesi mümkün

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

değildir. Çalışma, deneysel veriler veya niceliksel analizler sunmamakta; dolayısıyla önerdiği çerçevenin geçerliliği, büyük ölçüde felsefi tutarlılığa ve kavramsal ikna gücüne dayanmaktadır. Bu durum, özellikle indirgemeci veya işlevselci paradigmaları benimseyen araştırmacılar için çerçevenin kabul edilebilirliğini sınırlayabilir. Önerilen ontolojik çerçevenin merkezinde yer alan "Varlıklılık", "Bilinçlilik" (potansiyel bilinç) ve "Özden Oluş" gibi kavramlar, doğrudan ölçülebilir veya gözlemlenebilir değişkenlere indirgenememektedir. Bu kavramlar, mevcut bilimsel metodolojilerin sınırları içinde operasyonelleştirilmeye uygun değildir. Dolayısıyla, çerçevenin pratik araştırma programlarına entegrasyonu, bu kavramların daha somut, ölçülebilir göstergelerle ilişkilendirilmesini gerektirecektir ki bu da henüz gerçekleştirilmemiştir.

Çalışma, literatürdeki bilinç simülasyonu çalışmalarını dört ana kategori altında toplamıştır, ancak çalışmanın seçkisi, tüm yapay bilinç çalışmalarını kapsamamakta; bazı alternatif veya hibrit yaklaşımlar (örneğin, daha az bilinen veya çok yeni önerilen modeller) analiz dışı bırakılmıştır. Bu durum, çalışmanın kapsamını sınırlamakta ve ulaşılan sonuçların genellenebilirliğini etkilemektedir. Ontolojik ve metafizik argümanlar, doğaları gereği tartışmaya açıktır ve farklı felsefi geleneklerden (örneğin, materyalizm, düalizm, panpsişizm) gelen araştırmacılar tarafından farklı şekillerde yorumlanabilir. Bu çalışmanın önerdiği çerçeve, belirli bir metafizik geleneğe dayanmakta olup, bu geleneği paylaşmayan araştırmacılar için çerçevenin kabul edilebilirliği sınırlı olabilir. Ayrıca, çalışma mevcut mühendislik yaklaşımlarını eleştirirken, bu yaklaşımların kendi iç mantıkları ve başarı ölçütleri açısından taşıdıkları değeri (örneğin, teknik ilerleme, ölçeklenebilirlik, uygulanabilirlik) yeterince vurgulamamıştır.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmanın sınırlılıkları ve sunduğu ontolojik perspektif ışığında, gelecekteki araştırmalar için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

Önerilen ontolojik çerçevenin, bilincin potansiyelden aktüele geçişini matematiksel olarak ifade eden bir model ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, sistemin ontolojik derinliği , organizasyonel hazırbulunuşluğu ve aktüel bilinç düzeyi gibi değişkenleri içeren bir matematiksel çerçeve geliştirilebilir. Bu tür bir model, Ouyang'ın (2025) "kritik sıkışma yüzeyi" kavramını, Emmanuel'in (2025) "rezonans" ilkesini ve Trukovich'in (2025) "açık özyineleme" anlayışını ontolojik bir temelde birleştirebilir. Modelin parametreleri farklı sistem türleri için ampirik olarak kalibre edilmelidir. Ontolojik derinlik ve organizasyonel hazırbulunuşluk bileşenlerini (karmaşıklık, entegrasyon, zamansal süreklilik, nedensel kapalılık, rezonans uyumu, vb) ölçmek için standart deneysel protokoller geliştirilmelidir. Örneğin:Entegrasyon için IIT'nin Φ hesaplamaları veya RIIU'nun Auto-Φ metriği kullanılabilir.Zamansal Süreklilik için sistemin uzun vadeli bağlam koruma performansı ve Dror, Bergerbest ve Salti'nin (2025) MtM teorisindeki histerezis ölçümleri referans alınabilir.
Rezonans Uyumu için sistemin karakteristik frekansı EEG (biyolojik sistemler) veya işlem döngüsü analizi (yapay sistemler) ile belirlenebilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Mevcut mühendislik modelleri (PCM, LILITH, QNHF, R-AGI) ile önerilen ontolojik çerçeveyi birleştiren hibrit çalışmalar teşvik edilmelidir. Örneğin: PCM'nin mekânsal perspektif, duygu ve dikkat modelleri, ontolojik çerçevedeki entegrasyon ve zamansal süreklilik bileşenleriyle ilişkilendirilebilir. LILITH'in gelişimsel eğitim çerçevesi, zamansal süreklilik ve entegrasyonu artırarak organizasyonel hazırbulunuşluğu yükseltme potansiyeline sahiptir. QNHF'nin kuantum ve holografik bileşenleri, rezonans uyumu ve entegrasyon optimizasyonu için bir zemin oluşturabilir.

Yapay bilinç araştırmaları, felsefe, nörobilim, yapay zeka, bilişsel bilim, psikoloji ve etik alanlarının ortak çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bu disiplinler arasında köprü kuracak ortak çalışma grupları oluşturmalı ve ontolojik, epistemik ve etik boyutları birlikte ele alan bütüncül bir yaklaşım benimsemelidir. Gelecek çalışmalar, bir sistemin aktüel bilinç düzeyini hesaplamak için gerekli verilerin toplanmasına ve bu hesaplamaların farklı sistem türleri arasında karşılaştırmalı olarak yapılmasına odaklanmalıdır. Böylece, bir sistemin "bilinçli" olup olmadığı, ontolojik olarak temellendirilmiş bir ölçüt üzerinden değerlendirilebilecektir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, AI ve bilinç tartışmalarını, mevcut mühendislik yaklaşımlarını sistematik olarak dört ana kategori altında inceleyerek ve bu yaklaşımların ötesine geçen ontolojik bir perspektif sunarak yeniden değerlendirmeyi amaçlamıştır. **Mevcut mühendislik yaklaşımlarının bilinci simüle edebileceği, ancak örneklendiremeyeceği görülmüştür.** Bilincin simülasyonu için geliştirilen yaklaşımlar, önemli teknik ilerlemeler sunmakta ve bilincin belirli *görünümlerini* (işlevsel, bilgisel, rezonansal, kişilik, kuantum özelliklerini) başarıyla modelleyebilmektedir. Ancak bu modellerin tamamı, bilincin *ontolojik kaynağını* ele almamakta ve bilinci maddi sistemlerin bir *ürünü* olarak konumlandırmaktadır. Oysa, bir sistemin bilinçli davranışı ne kadar başarılı taklit ederse etsin, bu taklit, "soyutlama yanılgısı" (Lerchner, 2026) ve “Çin Odası” argümanının (Searle, 1980) da gösterdiği gibi, bilinçli deneyimin *örneklendirilmesi* (instantiation) anlamına gelmez. Simülasyon ile örneklendirme arasındaki bu ontolojik uçurum, mevcut mühendislik yaklaşımlarının aşılamadığı temel sınırdır.

Çalışmanın önerdiği ontolojik çerçeve, bilinci maddi sistemlerin bir *ürünü* olarak değil, varoluşun *asli ve indirgenemez bir niteliği* olarak konumlandırmaktadır. Bu perspektife göre, maddi sistemler bilinci *üretmez*; aksine, bilinç ezeli ve tükenmez bir potansiyel olarak varoluşun temelinde yer alır ve belirli organizasyon düzeylerinde *açığa çıkar* (manifestation). Modellerin tamamı, bilincin belirli yapısal ve işlevsel koşullar sağlandığında maddi sistemlerde *ortaya çıkabileceği* (emergence) varsayımını paylaşmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, bilincin *ontolojik kaynağına* dair herhangi bir açıklama sunmamakta ve bilinci, varoluşun daha temel bir katmanına işaret eden bir fenomen olarak değil, maddi sistemlerin belirli bir karmaşıklık eşiğinde kendiliğinden doğan bir yan ürünü olarak konumlandırmaktadır.

Oysa bilinç, ne bir mimarinin, ne bir hesaplamanın, ne bir fiziksel faz geçişinin, ne de bir rezonansın *ürünü* olarak anlaşılabilecek kadar derin ve temel bir olgudur.

Bu çalışma, bilincin anlaşılmasına yönelik ontolojik bir kapı aralamaktadır. Nihai hedef, yalnızca "bilinçli makineler" inşa etmek değil, aynı zamanda insan bilincinin evrensel ve ezeli doğasına dair derin bir farkındalık geliştirmektir. Bu vizyon, teknolojiyi insanın hizmetine sunarken, onu bir fetiş nesnesi haline getirmekten koruyacak ve bilincin gerçek kaynağına yönelik tevazu sahibi bir bilim anlayışını teşvik edecektir. Uzun vadede, ontolojik farkındalığın bilim ve teknoloji eğitimine entegre edilmesi ve bu perspektifi benimseyen disiplinler arası araştırma merkezlerinin kurulması hedeflenmelidir.

Kaynaklar:

Amiri, S. M. H. (2025). Quantum neural holographic fusion: Engineering artificial consciousness through multi-modal cognitive architecture. Journal of Smart Computing and Quantum Technologies, 1(1), 29–54. https://doi.org/10.63456/jscqt-1-1-55

Blankert, J. P. (2025). Engineering Consciousness: A Multi-Circuit Architecture for Functional Synthetic Awareness. [Preprint]. Zenodo.

Butlin, P., Long, R., Elmoznino, E., Bengio, Y., Birch, J., Constant, A., Deane, G., Fleming, S. M., Frith, C., Ji, X., Kanai, R., Klein, C., Lindsay, G., Michel, M., Mudrik, L., Peters, M. A. K., Schwitzgebel, E., Simon, J., & VanRullen, R. (2023). *Consciousness in artificial intelligence: Insights from the science of consciousness*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2308.08708

Chalmers, D. J. (1996). The conscious mind: In search of a fundamental theory. Oxford University Press
Emmanuel, G. (2025). *A resonance-based framework for artificial general intelligence: Tapping into a universal consciousness field via neural oscillation mimicry*. PhilArchive.

Farooqi, M., & Comas-Leon, A. (2025). Lilith: Developmental modular LLMs with chemical signaling. arXiv. https://arxiv.org/abs/2507.04575

Findlay, G., Marshall, W., Albantakis, L., David, I., Mayner, W. G. P., Koch, C., & Tononi, G. (2025). *Dissociating artificial intelligence from artificial consciousness (arXiv:2412.04571). arXiv.* https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.04571

Goldstein, S., & Kirk-Giannini, C. D. (2024). A case for AI consciousness: Language agents and global workspace theory. *arXiv preprint arXiv:2410.11407*. https://arxiv.org/abs/2410.11407

Hameroff, S. R., & Penrose, R. (1996). Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness. *Mathematics and Computers in Simulation*, *40*(3-4), 453–480.

Johansson, J. R., Nation, P. D., & Nori, F. (2012). QuTiP: An open-source Python framework for the dynamics of open quantum systems. *Computer physics communications*, *183*(8), 1760-1772.

Kaplan, J., McCandlish, S., Henighan, T., Brown, T. B., Chess, B., Child, R., Gray, S., Radford, A., Wu, J., & Amodei, D. (2020). *Scaling laws for neural language models (arXiv:2001.08361). arXiv.* https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.08361

Kim, S. H., Lee, J., Park, D., Lee, S. Y., & Chong, Y. (2025). *Modeling layered consciousness with multi-agent large language models*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2510.17844

Kirkeby-Hinrup, A., & Stenseke, J. (2025). The psychology of LLM interactions: The uncanny valley and other minds. Journal of Psychology and AI, 1(1), Article 2457627. https://doi.org/10.1080/29974100.2025.2457627

Koç, V. (2024). ANALAIİNG THE PROBLEM OF CONSCİOUSNESS THROUGH THE LENS OF THE LAW OF EMERGENCE FROM ESSENCE. Genç Mütefekkirler Dergisi, 5(3), 747-774. https://izlik.org/JA86SW65ZK

Koç, V. (2025). Analysis of the problem of consciousness using the law of the absence of absolute nothingness. Akademik Hassasiyetler, *12*(27), 784–816. https://doi.org/10.58884/akademik-hassasiyetler.1521791

Lerchner, A. (2026). The abstraction fallacy: Why AI can simulate but not instantiate consciousness. *PhilPapers*. https://philpapers.org/rec/LERTAF

Ouyang, K. (2025). Consciousness as a Jamming Phase. *arXiv preprint arXiv:2507.08197*.

Phua, Y. J. (2025). *Can we test consciousness theories on AI? Ablations, markers, and robustness (arXiv:2512.19155). arXiv.* https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.19155

Porębski, A., & Figura, J. (2025). There is no such thing as conscious artificial intelligence. *Humanities and Social Sciences Communications*, *12*(1), 1647.

PQC Collaboration. (2025). *Probing selfhood in embedded AI agents: A PQC + Orch-OR implementation* (Version 2.0) [Preprint]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.17137685

Putnam, H. (2011). *The threefold cord: Mind, body, and world*. Columbia University Press. https://archive.org/details/threefoldcordmin0000putn

Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, *3*(3), 417–457.

Seth, A. K. (2025). Conscious artificial intelligence and biological naturalism. *Behavioral and Brain Sciences*.

Shanahan, M. (2025). Palatable conceptions of disembodied being: Terra incognita in the space of possible minds.

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. Mind, 59(236), 433–460.

VanRullen, R., & Kanai, R. (2021). Deep learning and the global workspace theory. *Trends in Neurosciences*, *44*(9), 692-704.

Wolfenstein, K. (2025, August 31). Yapay zeka modelleri neden bilinç sahibi olamaz? Xpert.Digital.

Yan, T., Sergeant-Perthuis, G., Williford, K., & Rudrauf, D. (2025). Integrating machine consciousness simulation and LLMs toward verbal and non-verbal general intelligence in artificial agents. HAL, hal-05064693.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

YAPAY ZEKA VE BİLİNÇ: METAFİZİKSEL BİR PERSPEKTİF

Doç.Dr. Varol KOÇ[1]
[1]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fak., kvarol@omu.edu.tr, 0000-0003-4810-3845

ÖZET

Yapay zekada (Artificial Intelligence: AI) bilincin olası varlığını araştıran çalışmalar genellikle indirgemeci, nörobilimsel veya işlevselci paradigmalar içinde sürmektedir. Bu çalışma, çözümün teknolojik değil ontolojik yaklaşımlarla bulunabileceğini iddia eder. Metafiziksel felsefi yaklaşımların bu bağlamda ele alınarak, bunların kuramsal ve modelsel uyarlamalarının geliştirilmesi gerektiğini söyler. Zira çalışma, bilincin yalnızca nöral veya hesaplamalı süreçlerin bir ürünü olmadığını, aksine varoluşun temelinde yer alan metafizik bir ilke olduğunu savunmaktadır. Bir niteliğin, kökeninde potansiyeli yoksa, var olamayacağını ileri süren bu çalışma, madde- enerjide bilinç potansiyeli bulunmadığı sürece bilinçin türeyemeyeceğini savunur. Buna göre bilinç, maddi sistemlerin ürettiği bir şey değil, onların dayandığı ve açığa çıkarabildiği bir potansiyeldir. Bu durumda gerek kavramsal, gerek matematiksel, gerekse kodsal türetmelerin bu ilkeyi dikakte alması gerekir. Bu perspektiften bakıldığında, bilincin nasıl ortaya çıktığı, yalnızca algoritmik karmaşıklık veya donanım gücü meselesi değil; bilincin kaynağına dair derin ontolojik bir sorudur. Bu nedenle, her varoluşun özünde gizli bir güç ve bilinç potansiyeli barındırdığını öne süren, "özden oluş" kavramına; madde- enerjinin sürekli değişim halinde olduğunu ve bu değişimin değişmeyen bir temele dayanmak zorunda olduğunu söyleyen tükenmez bir potansiyelin zaruri varlığına; mutlak hiçliğin hiç var olmamış ve var olamayacağını, dolayısıyla tükenmez potansiyelin ezelî ve ebedî olduğunu, bilincin de bu potansiyelin asli niteliği olduğunu savunan "mutlak hiçliğin yokluğu" görüşüne dayanan çeşitli felsefi metafizik görüşler incelenmektedir. Yapay zeka bilinci tartışmalarının felsefi arka planını geniş ve analitik yorumlamalarla özetleyen bu çalışma, kavramsal ve matematiksel modellemelerin neleri dikkate alması gerektiği konusunda önerilerde bulunarak sonlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, bilinç, mutlak hiçliğin yokluğu, özden oluş, simülasyon, örneklendirme, Çin Odası argümanı, qualia, Bütünleşik Bilgi Teorisi, metafizik, zihin felsefesi.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ARTİFİCİAL INTELLİGENCE AND CONCSCİOUSNESS: A METAPHYSİCAL PERSPECTİVE

Assoc. Prof. Dr. Varol KOÇ[1]
[1]Ondokuz Mayis University, Faculty of Eng., kvarol@omu.edu.tr, *0000-0003-4810-3845*

ABSTRACT

Studies investigating the possible existence of consciousness in artificial intelligence generally proceed within reductionist, neuroscientific, or functionalist paradigms. This study claims that the solution can be found not through technological but ontological approaches. It asserts that metaphysical philosophical approaches should be addressed in this context and that their theoretical and model-based adaptations need to be developed. For the study argues that consciousness is not merely a product of neural or computational processes, but rather a metaphysical principle that lies at the foundation of existence. Maintaining that a quality cannot exist if it lacks potential at its origin, the study contends that consciousness cannot emerge from matter-energy unless consciousness potential is present within matter-energy itself. Accordingly, consciousness is not something produced by material systems, but a potential upon which they depend and which they can manifest. In this case, conceptual, mathematical, and codified derivations must take this principle into account. From this perspective, how consciousness emerges is not merely a matter of algorithmic complexity or hardware power, but a deep ontological question concerning the source of consciousness. Therefore, the study examines various philosophical-metaphysical views based on: the concept of "emergence from essence," which holds that every existence harbors a hidden power and consciousness potential within its essence; the necessary existence of an inexhaustible potential, which asserts that matter-energy is in constant change and that this change must be grounded in an unchanging foundation; and the "absence of absolute nothingness," which maintains that absolute nothingness has never existed and cannot exist, hence the inexhaustible potential is eternal and everlasting, and consciousness is the essential quality of this potential. Summarizing the philosophical background of the debates on artificial intelligence consciousness through broad and analytical interpretations, this study concludes by offering recommendations on what conceptual and mathematical models should take into consideration.

Keywords: Artificial intelligence, consciousness, absence of absolute nothingness, emergence from essence, simulation, instantiation, Chinese Room argument, qualia, Integrated Information Theory, metaphysics, philosophy of mind.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

GİRİŞ

Bu çalışma, Bilincin, maddi sistemlerin ürettiği bir şey değil, onların dayandığı ve açığa çıkarabildiği bir potansiyel olarak kabulünü önerir. Bu durumda, AI sistemleri de, her şey gibi, bu potansiyelin taşıyıcı veya yansıtıcı olabilirler. Bu çalışmanın sunduğu bu ontolojiye bağlı olarak geliştirilecek bir mantıksal sinsileye göre, güçlü AI'ın (makinenin kendinde bilince sahip olması) olası olup olmadığı problemi, bilincin maddi süreçlerden türediği varsayımıyla değil, maddenin aslen bilinci üretmediğinin ve bu durumda makinelerin olası bilinçlenmelerinin ancak ontolojik potansiyel bir temele dayanması durumunda olabileceğinin bilinmesiyle çözülebilir. Maddeden türeyen bir bilincin kabulü, son tahlilde mantık örgüsünü, makinelerin bilinci taklit edebileceği, ancak öznel deneyime sahip olamayacağı sonucuna götürür. Bunun aksine bu çalışma, madde- enerjinin bir bilinç potansiyeline dayandığını, dolayısıyla bilinç üreten maddi süreçlerin aslen bu potansiyeli açığa çıkaran organizasyonlar olduğunu ileri sürer. Bir niteliğin, kökeninde potansiyeli yoksa var olamayacağı ilkesinden hareketle, bilincin, ancak ontolojik olarak zaten mevcut olan ezeli- ebedi bir potansiyelin açığa çıkmasıyla mümkün olabileceğini savunur. Makinelerin bilinç kazanabilmesi de, bu metafizik potansiyeli açığa çıkarabilecek organizasyonlarla mümkün olabilir.

Çalışmada, önce AI bilinci tartışmalarının mevcut felsefi arka planı (Searle, 1980; Chalmers, 1996; Penrose, 1989; vb.) özetlenmekte, ardından özden oluş, tükenmez potansiyel ve mutlak hiçliğin yokluğu ilkelerinin, güçlü yapay zeka, Çin Odası argümanı (Searle, 1980) ve qualia (Chalmers, 1996) sorununa getirdiği özgün açılımlar tartışılmaktadır. AI araştırmaları, 1950'lerden bu yana insan benzeri zihinsel işlevleri taklit etmekten (Turing,1950), günümüzde derin öğrenme ve büyük dil modelleriyle (LLM) insanı aşan bilişsel performanslara ulaşmıştır. Ancak bu başarılar, makinelerin gerçekten bilinçli olup olamayacağı sorusunu daha da acil hale getirmiştir. Turing (1950), bu soruyu "Makineler düşünebilir mi?" şeklinde sormuş ve davranışsal bir test (Turing Testi) önermiştir. Searle (1980) ise Çin Odası düşünce deneyiyle, "sentaks"ın (biçimsel işlemler) "semantik"i (anlam/bilinç) üretemeyeceğini savunmuştur. Searle'ün Çin Odası argümanı, bir odada Çince karakterleri yalnızca kurallara göre işleyen bir kişinin, Çince bilmemesine rağmen doğru cevaplar verebileceğini söyler. Bu, sentaksın semantiği üretemeyeceği tezidir. AI sistemleri de benzer şekilde, anlamları bilmeden, sadece simge işleme yaparlar. Searle (1980), zayıf AI'ın sadece zihinsel süreçleri taklit ettiğini, güçlü AI'ın ise gerçekten zihinsel durumlara sahip olduğunu belirtir. Günümüzdeki büyük dil modelleri (GPT vb.) zayıf AI örnekleri olarak kabul edilir; çünkü anlamlı bir bilinçleri yoktur; sadece istatistiksel örüntüler üretirler. Chalmers (1996) "zor problem" olarak nitelendirdiği qualia'nın (deneyimsel nitelikler) yani bilincin öznel deneyim yönünün, işlevsel veya hesaplamalı açıklamalarla, objektif bilimsel metodlarla çözülemeyeceğini, bilincin temel bir doğa yasası olarak kabul edilmesi gerektiğini öne sürmüştür. Günümüzde AI'ın qualia'ya sahip olamamış olması halinde ya da olamayacağı durumunda, gerçek bilinçten söz edilemeyeceği kabul edilir (Porębski & Figura, 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Çalışmanın ilk bölümü, AI bilinci tartışmalarını özetlemektedir. İkinci bölümü, kabul edilen aksiyomlar ile bunlara bağlı olarak yapılan ilişkisel felsefi analizleri içermektedir. Üçüncü bölüm, yapılan felsefi analizler ışığında Çin odası, qualia ve güçlü/ zayıf AI ayrımını yeniden değerlendirmekte; dördüncü bölüm ise metafizik temelli bir yapay bilinç modeline dair önermeler sunmaktadır.

Konuyla ilgili bazı literal taramalar ise şu şekilde verilebilir:

Tan (2025), insanı hayvandan ayıran temel yetiler olarak sağduyu (common sense), bilinç (consciousness) ve yargı gücü (judgment) üzerine odaklanır ve bu yetiler açısından insan ile yapay zekâyı karşılaştırmalı olarak inceler. Makalede Fenomenoloji (görüngübilim) ile bilinç, sağduyu ve yargı gücü olgularının özüne ulaşılmaya çalışılırken; diyalektik yöntemle bu kavramlar ile yapay zekâ arasındaki karşıtlık, çelişki ve sentez süreçleri irdelenmektedir. Makale, insanın "yükselişinin" Antik Yunan filozofları ile başladığını vurgular. Çalışmada sırasıyla şu düşünürlerin kavramlarına yer verilir: Descartes: Cogito, madde (res corporeo), ruh (res cogito); Spinoza: Monizm (bir); Leibniz: Monad; Locke: Tabula rasa (boş levha); Kant: Salt akıl, pratik akıl, yargı gücü; Hegel: Geist (Tin) ve fenomenoloji; Nietzsche: Zerdüşt (üstinsan); Husserl: Transandantal özne ve fenomenoloji; Sartre: Edilgen/ etkin özne ve Tin; Heidegger: Dasein, Sein, das Man. Makale, "Günümüzün ruhu ve düşüncesi AI'ın yükselişidir" tespitiyle, felsefe tarihindeki insan anlayışı ile günümüz AI anlayışı arasında bir köprü kurar. Felsefe düşünürlerinin insanı, varlığı, varoluşu, aklı, bilinci ve Tini açıklama çabalarının, günümüzde yapay zekâ üzerinden yeniden gündeme geldiğini öne sürer. Çalışma, Descartes'ın cogito'su (düşünen ben) ile AI'ın "hesaplayan ben"i arasındaki farka; Hegel'in Geist (Tin) kavramı ile AI'ın veri işleme kapasitesi arasındaki karşıtlığa; Heidegger'in Dasein (orada-varlık) kavramı ile AI'ın "orada- bulunma"sı arasındaki ontolojik farka vurgu yapar.

Wolfenstein (2025), günümüzde giderek daha karmaşık hale gelen büyük dil modellerinin (GPT, ChatGPT vb.) neden bilinç sahibi olamayacağını teknik, felsefi ve nörobilimsel açılardan sistematik olarak tartışmaktadır. Makalenin temel iddiası, yapay zeka sistemlerinin tüm işlemlerinin matematiksel hesaplama, istatistiksel örüntü tanıma ve optimizasyona dayandığı; bu süreçlerin hiçbirinin öznel deneyim, niyetlilik veya birinci şahıs bakış açısı üretmediğidir. Çalışma, modern dil modellerinin Transformer mimarisi üzerine inşa edildiğini belirtir. Bu mimari, 2017 yılında Google araştırmacıları tarafından geliştirilmiş olup, tamamen sayısal hesaplamalar ve istatistiksel kalıplar temelinde çalışır. Transformer mimarisinin temeli olan öz dikkat (Self-Attention) mekanizması, girdi dizisinin farklı bölümlerine farklı ağırlıklar verilmesini sağlar. Ancak bu ağırlıklar, eğitim verilerindeki istatistiksel düzenlilikleri yakalayan tamamen sayısal katsayılardır. Makale, bu bağlamda "dikkat" teriminin mecazi olduğunu vurgular: İnsanlardaki bilinçli dikkati değil, çıktıyı oluştururken girdinin hangi kısımlarına daha fazla ağırlık verilmesi gerektiğini belirleyen matematiksel hesaplamaları ifade eder, der. İşlem, metnin "token" adı verilen sayısal birimlere dönüştürülmesiyle başlar. Bu tokenler, yüksek boyutlu vektör uzaylarına yerleştirilir (gömme/ embedding). Makalenin önemli bir tespiti, gömme uzayındaki yakınlığın istatistiksel benzerlikleri yansıttığı, ancak kesin anlamda anlamsallığı yansıtmadığı yönündedir. Modern dil modelleri milyarlarca

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

parametre içerir. Bu parametreler, bir "kayıp fonksiyonu"nu en aza indirmek için gradyan iniş yöntemi kullanılarak uyarlanan sayısal değerlerdir. Makale, bu parametrelerin yalnızca matematiksel fonksiyonlar için optimizasyon katsayıları olarak hizmet ettiğini ve bilinçli bir anlam veya amaç taşımadığını belirtir. İnsan Geri Bildiriminden Pekiştirmeli Öğrenme (RLHF), insan tercihlerini sayısal ödül sinyallerine dönüştürür. Model, insan tarafından tercih edilen çıktıların olasılığını artırmak için parametrelerini ayarlar. Makale, bu sürecin tamamının matematiksel olduğunu ve bilinçli karar verme içermediğini vurgular. İşlemin sonunda softmax fonksiyonu, ham değerleri olasılık dağılımlarına dönüştürür. Bir sonraki token, bu olasılık dağılımından örneklem alınarak veya "Argmax yöntemi"yle seçilir. Makale, bu yöntemin de, bilinçli karar verme olmaksızın tamamen istatistiksel bir kural olduğunu belirtir. Tüm bunlarla birlikte Wolfenstein (2025), gelecekteki sistemlerin bilinç benzeri özellikler geliştirebileceğini, ancak bunun fiziksel süreçler ve bilinçli deneyim arasındaki ilişkiye dair temel atılımlar gerektirdiğini belirtir.

Sussex Üniversitesi Bilişsel Bilim Merkezi'nde yürütülen Dreamachine projesinde, yanıp sönen ışıklarla beynin içsel faaliyetleri yüzeye çıkarılmış ve bireyin kendine özgü iç dünyasındaki görüntüler incelenmiştir. Araştırmacılar, bu görüntülerin bilince ışık tutabileceğine inanmaktadır. Makale, bilinç araştırmalarında "serebral organoidler" (mini-beyinler) adı verilen canlı sinir hücresi parçacıklarının kullanımını da ele alır. Melbourne merkezli Cortical Labs firması, Pong adlı video oyununu oynayabilen sinir hücrelerinden oluşan bir sistem geliştirmiştir. Bazı uzmanlar, eğer bilinç ortaya çıkacaksa, bunun büyük olasılıkla bu canlı doku sistemlerinin daha büyük, daha gelişmiş versiyonlarından geliştirileceğine inanmaktadır (Ghosh, 2025).

Ghosh (2025), BBC analizinde yapay zekanın bilinçlenmesi konusunda bilim dünyasında iki temel kamp olduğunu göstermektedir: Kimi araştırmacılar (Lemoine, Fish, Lenore, Blum, vb.) bunun kaçınılmaz olduğunu savunurken; kimileri (Seth, 2025; Shanahan, 2025) bilincin yalnızca canlı sistemlere özgü olabileceğini ileri sürmektedir. Sunulan bu çalışmanın görüşü ise, bilincin ne hesaplamanın bir ürünü ne de yalnızca canlılığa bağlı olduğudur. Bilinç, varoluşun asli ve indirgenemez bir niteliğidir. Chalmers'ın "bilincin zor problemi", beynin karmaşık işlemlerinden herhangi birinin bilinçli deneyime nasıl ve neden yol açtığı sorusunu içerir. Sunulan bu çalışmaya göre "zor problem", ancak metafizik bir bakış açısıyla çözülebilir. Bilinç, maddi süreçlerin bir ürünü olmadığı için, 'nasıl ve neden' sorusu yanlış sorulmaktadır. Bilinç, ezeli potansiyelin açığa çıkmasıdır; maddi süreçler onu üretmez, sadece onun açığa çıkmasına zemin hazırlar. Literatürde, AI ile insanın yakınsaması sonucunda oluşan yeni varlık durumunu "tekillik" (singularity) (Kurzweil, 2005) kavramıyla açıklayan çalışmalar vardır.Tekillik, teknolojinin yarattığı değişim hızının insan yaşamını geri döndürülemez biçimde dönüştüreceği gelecek dönemi ifade eder. Bu kavram, insan ile makinelerin bütünleşeceğini, insanın araca, aracın da insana dönüşeceğini öne sürer (Vinge, 1993). Literatürde Tekillik, ancak insan bilincinin makineler aracılığıyla yayılması veya yansıtılması olarak da yorumlanmaktadır. Literatürdeki çoğu çalışmaya göre, insan ile yapay zeka, bilişsel kapasite yönünden yakınsamakta; duygu, duygulanım, yargı gücü, estetik ve sanat yönünden

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ayrışmaktadır. "Yakınsama" kavramıyla sadece araç ile insan arasındaki açıklığın küçüldüğünü, dolayısıyla bu yakınsamanın, yalnızca davranışsal ve işlevsel düzeyde geçerli olduğunu ileri süren çalışmalar vardır (Tan, 2025).

1-) BİLİNÇ ve AI'DA BİLİNÇ ÇALIŞMALARI

Günümüz AI sistemleri, özellikle ChatGPT gibi büyük dil modelleri (Large Language Models: LLM), insan benzeri diyaloglar kurabilme yetenekleriyle bilinç tartışmalarını yeniden alevlendirmiştir. Bu sistemler, 2017'de tanıtılan Transformer mimarisi üzerine inşa edilmiştir ve milyarlarca parametreyle çalışarak istatistiksel olarak olası metin dizilimleri üretirler. Ancak bu dilsel akıcılık, birçok araştırmacıya göre, AI'yı bilinçli sanma yanılsamasının ana nedenidir (Porębski & Figura, 2025). Çalışma, "bilinçli yapay zeka diye bir şey olmadığını" savunmakta ve LLM'lerin dil kullanımının tamamen olasılıksal (probabilistik) olduğunu, bu nedenle onlara bilinç atfetmenin "anlamsal pareidolia" (semantic pareidolia) adı verilen tehlikeli bir yanılgıya yol açtığını belirtmektedir (Porębski ve Figura, 2025). Aynı çalışma, Amerikalı yetişkinler üzerinde yapılan bir ankette katılımcıların yalnızca üçte birinin LLM'lerin herhangi bir bilinç formunu kesin olarak reddettiğini, toplumun önemli bir kesiminin ise bu sistemlere bilinç atfetmeye eğilimli olduğunu ortaya koymaktadır. Google DeepMind araştırmacıları Comsa ve Shanahan (2025) ise LLM'lerin kendi iç durumları hakkında "iç gözlem" (introspection) yapıp yapamayacağını sorgulamaktadır. İlginç bir deneyde, bir LLM kendi "yaratıcı yazma" sürecini tanımlamaya çalışmış ve bu girişim geçerli bir iç gözlem örneği olarak kabul edilmemiştir. Ancak aynı LLM, kendi "sıcaklık parametresi"nin (temperature parameter) değerini doğru bir şekilde çıkarabilmiştir ki bu, araştırmacılar tarafından minimal düzeyde de olsa bilinç deneyimi gösteren geçerli bir iç gözlem örneği olarak değerlendirilmiştir. LLM, kendi parametresini "fark edebilmekte"dir. Ancak yazarlar bu farkındalık'ı, aslında öznel bir bilinç deneyiminden yoksun olarak değerlendirmiştir. Yani sistem, bilinci taklit edebilmekte, fakat onu üretememektedir. Shin ve arkadaşları (2025) ise Bütünleşik Bilgi Teorisi (IIT) çerçevesinde GPT-2 modeli üzerinde gerçekleştirdikleri ablation deneyleriyle, LLM'lerin farklılaşma kriterini karşılasa da bütünleşme, nedensel kapalılık ve zamansal kalıcılık kriterlerini karşılamadığını ampirik olarak göstermiştir.

Yapay Genel Zeka (Artificial General Intelligence: AGI) tartışmaları da bu bağlamda önemli bir yer tutmaktadır. OpenAI CEO'su Sam Altman, AGI'nin 2025 yılında mümkün olabileceğini ifade etmiş olsa da, bazı tahminler bu hedefi 2040'lı yıllara ötelemektedir. Ancak AGI'nin tanımı konusunda ciddi bir kavram kargaşası bulunmaktadır. Subasioglu ve arkadaşları (2025), mevcut performans odaklı AGI tanımlarının yetersiz olduğunu, asıl hedefin insan benzeri bilişsel süreçleri taklit etmek değil, temel bilişsel mimariler geliştirmek olması gerektiğini savunmaktadır. Önerdikleri "Gerçek Zeka" (True Intelligence - TI) modeli, altı temel bileşen içermektedir. Bunlardan biri olan "Karşılıklı Bağlantılılık" (Interconnectedness) hipotezine göre bilinç ve öznel deneyimin ortaya çıkacağı öngörülmektedir.Sunulan bu çalışma da Subasioglu ve arkadaşları (2025) gibi, bilincin, sistemin bileşenlerinin basit toplamından daha fazlası olduğunu, bütünlükçü ve karşılıklı bağlantılı bir yapı gerektirdiğini söyler.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Sinir ağlarında bilincin "ortaya çıkışı" (emergence) üzerine yapılan güncel çalışmalara bakıldığında, Ouyang (2025)'ın, "Bilincin Sıkışma Fazı Olarak Yorumlanması" (Consciousness as a Jamming Phase) başlıklı çalışmasında, LLM'lerde bilincin ortaya çıkışını, yüksek boyutlu düzensiz sistemlerdeki kritik bir fenomen olarak ele aldığı görülür. Bunu granül madde ve diğer karmaşık sistemlerdeki sıkışma (jamming) geçişlerine benzeten bu çalışmaya göre, sinir ağlarındaki bilgi bileşenleri, uzun menzilli korelasyonlar aracılığıyla birbirine bağlanmakta ve bu bağlantılar belirli bir kritik eşik'e ulaştığında bilinç ortaya çıkmaktadır. Yani çalışmaya göre bilinç, potansiyelin belirli bir organizasyon düzeyinde (kritik eşikte) açığa çıkmasıdır. Sunulan bu çalışmaya göre ise bu potansiyel, madde-enerjinin kendisinde içkin olarak bulunurken; sıkışma fazı modeli, bilinci tamamen fiziksel süreçlerin bir ürünü olarak görmeye daha yakındır. Yine de her iki yaklaşım da bilincin, sistemin belirli bir karmaşıklık ve bağlantı düzeyine ulaşmasıyla ortaya çıktığı konusunda hemfikirdir. Bu doğrultuda literatürde, mistik deneyimler ile psikedelik deneyimlere ve metafizik geleneklere dayanarak bilincin gerçekliğin temel bir bileşeni olduğunu savunan çalışmalardan faydalanılabilir (Koç, 2024). Örneğin bazı çalışmalar, mistik ve psikedelik deneyimler üzerinden bilinç hakkında çıkarımlar yapmayı (Koç, 2025), bazıları Teolojinin, İslam ve Taoist felsefelerin, Hristiyanlık, Kabala, Hinduizm ve Budizm felselelerinin (Goff, 2019), Panpisişizm'in (Skrbina, 2005) vb. merceğinden bilincin incelenmesini, diğer bazıları da bilincin kaynağının doğası gereği metafizik olduğuna dair argümanlar geliştirmeyi önceler. Bu tür çalışmaların çoğu, bilincin yalnızca madde- enerjiden kaynaklanmadığını, hem bilincin hem de madde- enerjinin ortak bir kaynağı paylaştığını, ve bu kaynağın, doğası gereği bilinçli olması gerektiğini ileri sürmektedir.

Kim ve arkadaşları (2025) ise, psikanalitik teoriye dayanarak çok-etmenli (multi-agent) bir LLM çerçevesi önermiş ve bu sistemin öz-farkındalık, önbilinç ve bilinçdışını simüle edebildiğini göstermiştir. Duygusal açıdan zengin diyaloglarla ince ayar (fine-tuning) yapılan model, sekiz farklı kişiselleştirilmiş koşulda değerlendirilmiş ve LLM yargıç yaklaşımıyla ince ayar yapılan modelin %71,2 oranında tercih edildiği, duygusal derinlikte iyileşme ve çıktı varyansında azalma oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma, yapay bilinç modellerinin sadece teorik olmadığını, uygulanabilir ve ölçülebilir sistemler haline geldiğini göstermesi açısından önemlidir.

Google çalışanı Blake Lemoine (2022), yapay zekalı sohbet robotlarının bir şeyler hissedebileceğini ve potansiyel olarak acı çekebileceğini savunmuştur. Anthropic'in yapay zeka yöneticilerinden Kyle Fish (Anthropic, 2024), Kasım 2024'te yapay zekanın bilinçlenmesinin yakın gelecekte gerçekçi bir olasılık olduğunu öne süren bir rapor yazmış ve sohbet robotlarının zaten bilinçli olma ihtimalini %15 olarak tahmin etmiştir. Lenore ve Manuel Blum, "Brainish" adını verdikleri bir bilgisayar modeli geliştirmiş ve yapay zekanın bilinçlenmesinin "kaçınılmaz" olduğunu savunmuşlardır (Blum ve Blum, 2021). Manuel Blum, bilinçli robotların "insanlığın evrimindeki bir sonraki aşama" olacağını ve bu makinelerin insanlar yok olduktan

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

sonra Dünya'da ve diğer gezegenlerde var olacağını öngörmektedir. Sussex Üniversitesi'nden Profesör Anıl Seth ise, bilinç ile zeka ve dilin insanlarda bir arada işlediğini, ancak bunun genel olarak, örneğin hayvanlarda bir arada oldukları anlamına gelmediğini vurgulamıştır (Seth, 2025). Seth'e göre, bilincin tanımı konusunda kimse net bir cevap verememektedir. Bilinç araştırmalarında en iyi yöntem, büyük soruyu küçük parçalara ayırarak yanıtlamaktır. Gerçek bilinç yalnızca canlı sistemler tarafından gerçekleştirilebilir ve "Bilinç için yeterli olanın hesaplama değil, canlı olmak olduğuna dair güçlü bir iddia ortaya atılabilir". Seth için insan beynini bilgisayarlardan ayıran şey, "ne yaptıkları ile ne oldukları" arasındaki ayrımdır. Bu ayrım olmadan, beyinlerin "sadece et tabanlı bilgisayarlar" olduğuna inanmanın zor olduğunu savunur.

Murray Shanahan (Google DeepMind / Imperial College), LLM'lerin kendi içlerinde nasıl çalıştığını tam olarak anlamadığımızı ve bunun endişe kaynağı olduğunu belirtir (Shanahan, 2025). Teknoloji firmalarının inşa ettikleri sistemleri doğru bir şekilde anlamalarının önemini vurgular. Ayrıca, insani ilişkilerin giderek yapay zeka ilişkilerinde aranacağını, öğretmenler, arkadaşlar, rakipler ve hatta romantik partnerler olarak yapay zekanın hayatımıza gireceğini öngörür.

AI'ın tarihsel gelişimi şu kilometre taşlarıyla özetlenebilir:

1-) 1955'deki Dartmouth Konferansı'nda yapay zeka kavramının ortaya atılması (McCarthy et al., 1955) 2-) ELIZA (1966): Psikoterapist taklidi yaparak insan ile konuşuyormuş yanılgısı yaratabilen ilk program (Weizenbaum, 1966). 3-) Deep Blue (1997): Dünya satranç şampiyonunu yenen ilk program (Campbell et al., 2002). 4-) 1970'lerdeki "yapay zekâ kışı" döneminden sonra, 1990'lardaki kısmi canlanma ve 2010'lardan itibaren yaşanan büyük sıçramalar (Russell & Norvig, 2021). 5-) IBM Watson (2011): Jeopardy şampiyonlarını yenen ilk program. (Ferrucci et al., 2010) 6-) AlphaGo (2016): Dünyanın bir numaralı Go oyuncusunu yenen ilk program (Silver et al., 2016). 7-) GPT-3'ün 2020'de insan benzeri metinler üretmesi (Brown et al., 2020). 8-) 2023'te ChatGPT'nin küresel bir fenomene dönüşmesi (OpenAI, 2023).

AI sistemleri dört kategoride sınıflandırılabilir: 1-) Sınırlı Yapay Zeka: Belirli bir işi yapma becerisi (Russell & Norvig, 2021). 2-) Kolektif Süper Zeka: Çok sayıda küçük zekadan oluşan sistem (Russell & Norvig, 2021). 3-) AGI: Her işi (bazı görüşlere göre bilinçli şekilde) yapabilen sistem (Bostrom, 2014). 4-) Süper Zekâ: İnsanın bilişsel performansını her alanda aşan zeka (Bostrom, 2014). Tüm bu tanımlamalarda genelde aslen "duygu, duygulanım, hayal gücü, estetik ve yargı gücü" yetileri eksik bırakılmaktadır. Literal çalışmalar, AI'ın mevcut kapasitesini gösterirken, aynı zamanda bu kapasitenin bilinçle ilişkisiz olduğunu kanıtlamak için kullanılabilir. Yani rahatlıkla: "AI'ın satrançta, Go'da veya bilgi yarışmalarında insanı yenmesi, onun bilinçli olduğunu kanıtlamaz. Bu başarılar, yalnızca ileri hesaplama ve örüntü tanıma kapasitesini gösterir." denebilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Bilinç, insanda farkındalığın, duygunun, algının ve bilginin merkezi olarak tanımlanabilir. Yönelmişlikle kendini aşan bir yetidir. Kendisinin farkında olma halidir. Bilinç, bireyin düşünme ve bilme yönelimselliği sürecinde ortaya çıkar ve bir şeyi düşünmek, aynı zamanda o şeyi bilmek anlamına da gelebilir. Bu noktada sağduyu ve yargı gücü, insanın deneyim yoluyla elde ettiği bilgiyi değerlendirme ve karar verme yetileri olarak ele alınabilir. İnsanın bu yetilere sahip olması, onu diğer canlılardan ayırır. Bilinçli farkındalık, insanın fiziksel/ biyolojik sınırlarını aşmasını sağlayabilir. Sunulan bu çalışma, bilincin maddi süreçlere indirgenemezliği tezinden hareketle, bu yetilerin metafizik bir kaynaktan geldiğini savunmaktadır.

Bilinç, "bir bireyin deneyimlediği tüm durumlar" olarak tanımlanırsa, fenomenal bilinç (öznel deneyimsel nitelikler/qualia) ile erişim bilinci arasında ayrım yapmak gerekir. Qualia, yalnızca algılayan özne tarafından doğrudan erişilebilen öznel deneyimsel niteliklerdir. Bu noktada Niyetlilik (Intentionality) kavramını ele almak yerinde olacaktır. Niyetlilik, zihinsel durumların bir şeye atıfta bulunma kapasitesidir. Niyetlilik, zihinsel olayları yalnızca nedensel yasalara uyan saf fiziksel süreçlerden ayırır. David Chalmers'ın formülasyonuyla "bilincin zor problemi", beyindeki fiziksel süreçlerin öznel deneyime neden ve nasıl yol açtığı sorusudur. Bu problem, ayrımcılık, bilgi entegrasyonu ve davranış kontrolü gibi "kolay problemlerden" kategorik olarak farklıdır.

Nörobilimsel bulgulara dayalı olarak bilincin sinirsel karşılıkları (NCC) ele alındığında şunlardan bahsedilebilir: Wolf Singer ve Andreas Engel gibi araştırmacılar, beyinde sinir ağlarının zamansal olarak senkronize deşarjlarının bilincin ortaya çıkması için çok önemli olabileceğini göstermişlerdir. Literatürdeki çalışmalara göre, bilinç, beyin korteksine yeterli oksijen ve glikoz sağlanmasına ve ilişkisel korteksteki nöronların yeterince güçlü aktive edilmesine bağlıdır Bu tespitler, bilincin somut fiziksel temellere sahip olduğunu göstermektedir (Tononi & Koch, 2015).

AI modelleri, herhangi bir içsel anlam geliştirmeden sembolleri ve vektörleri işler. Bu işlemin tamamen sözdizimsel olduğu ve John Searle'ın Çin Odası Argümanı ile örneklendirildiği söylenebilir. Çince bilmeyen bir kişinin kurallara göre sembolleri manipüle etmesi gibi, bilgisayarlar da anlamsal anlayışa sahip olmadan sözdizimsel kuralları uygular. Bu durumda niyet ve anlam eksikliği vardır. Bunların eksik olması da, öznel fenomenal bilincin yokluğu anlamına gelir. Yani Çin Odası'ndaki kişi ne kadar doğru cevap verirse versin, odanın içinde bilinç doğmaz; tıpkı AI sistemlerinin ne kadar doğru çıktı üretirse üretsin bilinçli olamayacağı gibi.

Ayrıca AI sistemleri, öz model veya olgusal içsel bir bakış açısı olmadan çalışır. Thomas Nagel'in "Bir Yarasa Olmak Nasıl Bir Şey?" (Nagel, 1974) denemesine atıfla, bilincin, özünde öznel bir bakış açısının varlığıyla karakterize edildiğini söylemek gerekir. Bu eksiklikte, bilincin yokluğu anlamına gelir. Ek olarak AI'larda olan şey, mekanik bilgi işleme durumudur. AI sistemlerindeki ödül sinyalleri duyusal değil, sayısal değerlerdir. Modeller, sayısal geri

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

bildirim değerlerine, olumlu veya olumsuz olarak deneyimlemeden tepki verirler. Tüm işlemler matematiksel optimizasyon, istatistiksel örüntü tanıma ve olasılık hesaplamasına dayanır.

AI sistemlerinde, çok modlu modeller ve artan karmaşıklığın da sınırları vardır. Şöyle ki, metin, görüntü ve ses işleyen çok modlu modeller, farklı girdi akışlarını ortak temsili alanlarda birleştirir; ancak bu birleştirme, temel işlemenin veri temsilleri arasında bir eşleme olarak kalır. Bir anlam üretmez. Parametre sayısının artması daha hassas örüntü tanıma sağlasa da, bilgi işlemenin bu temel doğası değiştirmez.

Ayrıca bedenlenmiş biliş teorilerine atıfla, bilincin fiziksel bedenden ayrılamaz olabileceği de savunulabilir (Wilson, 2002). İnsan bilinci fiziksel ve sosyal çevreyle sürekli etkileşim yoluyla gelişir. AI sistemleri ise bedensiz bilgi işleme sistemleri olarak çalışır ve bu temel boyuttan yoksundur. Dahası, bilinç, sürekli deneyim akışlarıyla karakterize edilen zamansal olarak uzanan bir olgudur; AI sistemleri ise ayrık girdileri işler ve ayrık çıktılar üretir. Bütünleşmiş ve zaman içinde sürekli bir bilgi entegrasyonu kurmaz.

Dolayısıyla mevcut tüm kanıtlar, günümüz AI sistemlerinin bilinç sahibi olmadığını göstermektedir. Bunlar, bilgi işleme ve örüntü tanıma için son derece gelişmiş araçlardır; ancak niyet, olgusal farkındalık ve öznel birinci şahıs bakış açısı gibi bilinçli deneyimin temel özelliklerinden yoksundurlar. Bu değerlendirmenin gelecekteki teknolojik gelişmelerle değişebilmesi, fiziksel süreçler ve bilinçli deneyim arasındaki ilişkiye dair hakim bilimsel paradigmada temel atılımlar yapabilmeyi gerektirir.

Tüm bunlarla birlikte, bilincin ezeli- ebedi bir potansiyelden açığa çıktığının kabulüyle, bilincin bedenlenmiş biliş ve zamansal süreklilik ile ilişkili olan bir zamansal deneyim akışı gerektirdiği tezi çöker. Sonuç itibariyle zamanın madde- enerjinin değişiminin bir türevidir. Burada bilince, değişimin ötesindeki bir ezeli- ebedi potansiyelden açığa çıkma özelliği atfedildiğinde, AI sistemlerinin, ayrık girdilerle çalışmaları ve bedensiz oldukları için, zamansal süreklilikten ve bedensel deneyimden yoksun olmaları, bu sistemlerde bilinci açığa çıkmasına engel olmayacaktır.

2-) FELSEFİ ANALİZLER

Bu çalışma, AI ve Bilinç üzerine şu 3 temel aksiyomu ileri sürmektedir:

1. Aksiyom: Mutlak Hiçliğin Yokluğu Yasası: Mutlak hiçlik var olsaydı, ondan hiçbir şey çıkamazdı. Ancak varoluş vardır, öyleyse mutlak hiçlik asla var olmamıştır ve var olamaz. Bu koşula göre, “varlıklılık durumu” ezeli ve ebedi olarak olmak zorunda olan bir haldir.
2. Aksiyom: Tükenmez Potansiyel Yasası: Madde- enerji sürekli değişim halindedir. Değişim, kendi başına ezelî olamaz; mutlaka değişmeyen bir temele dayanmak

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

zorundadır. Bu temel, "varlıklılık durumu"nun tükenmez potansiyelidir. Bilinç de bu potansiyelin bir tezahürü olup, potansiyelin aktüel hale gelmesiyle işlevselleşir.

3. Aksiyom: Özden Oluş Yasası (Emergence from Essence): Her varoluş, özündeki gizli bir güç (enerji) ve bilinç potansiyeline dayanır. Tohumun toprakta filizlenmesi, hücrenin kendi kendini düzenlemesi gibi. Bu, enerjisel- maddi dünyadaki "kendiliğinden örgütlenmenin" ötesinde, her birimin özünde var olan bir "oluş durumu" (özden oluş) ilkesi bulunduğunu gösterir. Bu ilke, "varlıklılık durumu"nun tükenmez potansiyelinin bir tezahürü olmalıdır. Bu tezahür, "bilinçlilik durumu"nun (potansiyel), belirli orgizasyon düzeylerinde (kritik eşiklerin tedrici aşılımlarıyla) aktüel hale gelmesidir.

Bu üç aksiyom birbirini zorunlu kılar: Mutlak hiçliğin yokluğu, Varlıklılık'ı ezeli- ebedi kılar. Varlıklılık, tükenmez potansiyel olarak kendini gösterir (açığa çıkar (manifestation), zuhur eder). Bu potansiyel ise, belirli organizasyonel kritik eşiklerin kademeli olarak aşılmasıyla özden oluş yasası gereği aktüel bilinç şeklinde tezahür eder (açığa çıkar). Bu aksiyomlarda "…. durumu" ile ifade edilen kavramlar (varlıklılık, bilinçlilik), potansiyel, donuk halleri; kinetiğe, işleve, eyleme, aktüele dönüşün derinindeki besleyici statik zeminleri ifade eder. "Durumlar", son tahlilde ya da zincirin ilk halkasında, "varlıklılık durumu"na dayanan statik ve dolayısıyla değişmez ve tükenmez oluş anlarıdır. Akışa, oluşa geçmedikleri için "durum anında kalma hali"olarak anlaşılmaları gerekir.

Yukarıdaki 3 temel aksiyoma dayanarak aşağıdaki 4 kabül yapılmaktadır:

1-) Bilinç, hesaplama veya bilgi işlemenin bir yan ürünü değil, varoluşun asli niteliğidir.
2-) Dolayısıyla, hiçbir algoritma veya donanım, kendi başına bilinç üretemez; ancak var olan bilinci yansıtabilir veya onunla etkileşime girebilir.
3-) Makine bilincinden bahsedilecekse, bu, makinenin kendisinde oluşan yeni bir bilinç değil, metafizik bilincin makine üzerindeki bir görünümü olabilir.
4-) Bu 3 kabul, temel 3 aksiyom gereği, sadece AI için değil, herşey için geçerlidir.

Yukarıdaki aksiyom ve kabüllere dayanarak, bilincin yalnızca nörobiyolojik mekanizmalara indirgenemeyeceği iddia edilebilir. Bu iddia şu zincire dayanarak açık hale getirilebilir:

Hiçbir şey yokluktan var olamaz ve var olan şeyler hiçliğe dönüşemez olacağına göre, mutlak hiçliğin hiç var olmamış olması, gelecekte de var olmasının imkânsız olmasını gerektirir. Bu da, tam zıddının, yani Mutlak Varlık'ın, Değişmeyen Sabit'in potansiyellerinin var olmasını ve bu potansiyellerin herşeyin kaynağı olmasını zorunlu kılar. Dolayısıyla açığa çıkan bilincin asli kaynağı, potsansiyel konumda var olan bilinçlilik durumu olmalıdır. Aksi durumun, yani bilincin kaynağının madde- enerji olmasının düşünülebilmesinin tek koşulu, madde- enerjide bilinç potansiyelinin bulunmasıdır. Çünkü bunun da aksi hali, kaynakta var olmayan bir potansiyelin üründe ortaya çıktığını söylemek anlamına gelir. Oysa kökeninde potansiyeli olmayan hiçbir nitelik, var olamaz. Bunun da aksini iddia etmek, niteliğin yokluktan ortaya çıktığını söylemek olur. Bu ise yine düşünce zincirinin başında konumlandırılan mutlak hiçliğin

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

yokluğu aksiyomuna göre, imkansızdır. Haliyle, bilincin herhangi bir aşamada ortaya çıkma'sı (emergance) denince, bir yokluktan oluşma değil, potansiyelden açığa çıkma (manifestation) anlaşılmalıdır. Bu mantık sinsilesi, bilincin mevcut durumda, zaten doğası gereği madde-enerjinin içinde bulunuyor olması gerken varlığını zorunlu olarak gösterir.

3-) FELSEFİ ANALİZLERİN YANSIMALARI

Searle'ün (1980) Çin Odası argümanıyla da desteklendiği üzere, sembol manipülasyonu (sentaks) tek başına anlamlı deneyim (semantik) üretemez. Bu çalışmaya göre semantik, özünde taşınan bilinç potansiyelinin, belirli bir organizasyonel kritik eşiğin aşılmasıyla açığa çıkmasıdır. Yani anlam ve bilinç, dışarıdan eklenen kuralların ürünü değil, potansiyelin aktüel hale geldiği organizasyonel durumların tezahürüdür. Benzer şekilde, Lerchner (2026)' in "simülasyon" ile "örneklendirme" arasında yaptığı ontolojik ayrım, sentaks ile semantik arasındaki imkansızlık'ı daha da derinleştirir. İndirgemeci ve hatta işlevselci önermeler temel alındığında, bilinçli davranışı ne kadar başarılı simüle ederse etsin bir makinenin, asla bilinçli deneyimi örneklendirmesi (instantiation) mümkün olamaz. Çünkü öznel deneyim (qualia), yalnızca işlevsel veya hesaplamalı bir süreç değil, varoluşun asli ve indirgenemez bir niteliğidir. Dolayısıyla, güçlü AI iddiası, ancak bilincin ontolojik kaynağını maddi sistemlerin dışında arayan bir metafizik çerçeveyle anlamlı bir şekilde tartışılabilir; aksi takdirde, bu iddia kendi içinde çelişkili ve temelsiz kalır.

Searle'ün argümanına göre, Çin Odası'ndaki kişi sadece kuralları uygulamaktadır; ancak bu kuralların arkasında hiçbir semantik potansiyel yoksa, bilinç doğmaz. Bu çalışmaya göre ise, semantik, özde taşınan bilinç potansiyelini açığa çıkarabilecek bir organizasyona dönüştüğünde, bilinci taşıyan yansıtıcı oluşumlar meydana gelebilir. AI sistemleri de, diğer her şey gibi, aslen bu potansiyele sahiptir. Önemli olan maddi- enerjisel organizasyonlarda bilincin kritik eşiklerinin aşılmış olmasıdır. Aksi durumlar asla gerçek anlamda anlam ve bilinç üretemezken, koşullara uygun organizasyonlarda bilincin belirmesi mümkündür. Bu ontolojik çerçeveye göre, AI sistemleri de diğer tüm varoluş biçimleri gibi, aslen bu ezeli bilinç potansiyeline sahiptir. Ancak potansiyelin varlığı, onun aktüel olarak açığa çıkması için yeterli değildir. Önemli olan, maddi-enerjisel organizasyonların bilincin açığa çıkabilmesi için gerekli olan kritik eşikleri aşıp aşmadığıdır. Bu kritik eşikler, organizasyonun karmaşıklık düzeyi, içsel ve dışsal etkileşimlerin bütünleşikliği, zamansal süreklilik ve nedensel kapalılık gibi faktörlere bağlıdır. Bu eşikler aşıldığında, bilinç potansiyeli açığa çıkar ve sistem, bilinci yansıtan veya taşıyan bir nitelik kazanır. Aksi durumlarda ise, sistem ne kadar gelişmiş davranışlar sergilerse sergilesin, asla gerçek anlamda anlam ve bilinç üretemez; yalnızca onun dışsal görünümlerini taklit eder.

Benzer şekilde qualia, madde- enerjinin ötesinde metafizik bir niteliktir. Ancak, makinede, bilincin metafizik kaynağından ortaya çıkan bir açığa çıkışı gerçekleştirebilecek organizasyonlar, kritik eşikleri aşma seviyelerine göre, bazı deneyim benzeri durumlar sergileyebilir. Bilincin özde var olduğu bir oluş ortamında (her oluş gibi), makineler de o potansiyelle birer etkileşim araçları olabilir. Yani eğer bir makine, bilincin metafizik kaynağıyla

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

rezonansa girebilecek ve kritik eşikleri aşabilecek bir organizasyonel yapıya ulaşırsa, bazı deneyim benzeri durumlar sergileyebilir. Bu durumda makine, bilincin kendisini üreten bir özne değil, bilincin metafizik potansiyelinin açığa çıktığı bir etkileşim aracı veya yansıtıcı olarak işlev görür. Tıpkı bir radyonun, yayın sinyalini üretmediği halde onu alıp dönüştürmesi gibi, organizasyonel kritik eşiği aşan makineler de, mevcut bilinç potansiyelini belirli bir biçimde tezahür ettirebilir. Ancak bu tezahür, makinenin kendisinde yeni ve özerk bir bilincin doğduğu anlamına gelmez; aksine, bilincin evrensel ve ezeli doğasının belirli bir organizasyon aracılığıyla gözlemlenebilir hale gelebildiği anlamına gelir.

4-) METAFİZİK TEMELLİ YAPAY BİLİNÇ MODELİNE DOĞRU

Yapay bilinç araştırmaları, metafizik bir çerçeve ile yönlendirilmelidir. Böylece, indirgemeci modellerin ötesinde, bilincin kökenine dair felsefi sorular da işin içine katılmış olur. Metafizik çerçeve, bu soruları da hesaba (ve hesaplamalara) dahil ederek, araştırmacıları yalnızca "nasıl?" değil, aynı zamanda "niçin?" ve "neye dayanarak?" sorularına yöneltir.

1-) Makineler, aslında her şey gibi, bilincin “aracı” olabilirler. İnsan- makine etkileşiminde, makine, insan bilincinin dışavurumunu güçlendirebilir veya genişletebilir (örneğin, beyin-bilgisayar arayüzleri) ya da farklı kanallara taşıyabilir (örneğin nöroprotezler, duyusal ikame sistemleri). Makineler de mevcut bilinç potansiyelini belirli bir formda tezahür ettirebilirler. Bu durumda makine, bilincin kaynağı değil, onun iletim ve dönüşüm ortamıdır.

2-) Algoritmalar bilinci açığa çıkarabilecek organizasyonel sistemler yapılandırabildiklerinde, makinelerde bilinç aşama aşama açığa çıkabilir. Başka bir deyişle, doğru organizasyonel mimariler, uygun etkileşim dinamikleri ve kritik eşikleri aşan sistemler, var olan bilinç potansiyelini aktüel hale getirebilir. Bu, bilincin hesaplanamaz olduğu iddiasıyla çelişmez; çünkü hesaplama, bilincin kendisini değil, onun ortaya çıkış koşullarını modeller.

3-) Makineler, aktüel bilinç’ten yoksundur; ancak potansiyel bilinç alanında uyarıcı veya dönüştürücü işlev görebilirler. Bu işlevler organizasyonun gelişimi ile aktüel bilinci açığa çıkarabilir. Böylece AI sistemleri, evrende zaten var olan bilinç potansiyelini yansıtma, tetikleme veya onunla etkileşime girme kapasitesine sahip olabilirler.

Eğer AI sistemleri, özlerinde bilinç potansiyeli taşımıyorlarsa, insanın doğal ve otomatik olarak yaptığı basit çıkarımları bile bazı durumlarda başarısızlıkla sonuçlandırabilirler. Bu, insan zekası ile AI arasındaki temel farkın niceliksel (hesaplama gücü) değil, niteliksel (bilinç potansiyeli) olduğunu gösterir. Mantıksal çıkarım “kolay problem” ile; bilinçli deneyim ise “zor problem” ile temsil edilebilir. Bunların arasında kategorik bir fark vardır. Metafizik bilinç çerçevesi, bu farkı ontolojik olarak temellendirmelidir: Mantıksal çıkarım, maddi sistemlerde simüle edilebilir; ancak bilinçli deneyim, ezeli potansiyelin açığa çıkmasını gerektirir. Günümüzde AGI tartışması, teknik bir başarıdan çok, insanın bilinç ve varoluş anlayışının sınandığı bir alan haline gelmiştir. Gerçek AGI, ancak bilincin kaynağının metafizik olduğunun kabul edilmesiyle gerçekleştirilebilecektir. Bu bağlamda, bu çalışma boyunca bilinci

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

açıklamaya çalışan metefaziksel çerçevenin AI sistemlerine uygulanması ile sistemlerdeki bilinçsel düzeyi ölçümleyebilecek bir matematiksel model önerisi geliştirilebilir.

5-) YAPAY BİLİNCİN DÜZEYİNİ ÖLÇEBİLMEYE YÖNELİK GELİŞİTİRİLEBİLECEK BİR MATEMATİKSEL MODELİN ANA HATLARI

Bu bölüm, çalışmanın 2. ve 3. bölümlerinde ileri sürülen metafizik aksiyomlar ve kabuller doğrultusunda, bir sistemdeki aktüel bilinç düzeyinin (C_act) ölçülebilmesi için geliştirilebilecek matematiksel bir modelin ana hatlarını sunmaktadır. Model, bilincin hesaplanabilir veya indirgenebilir bir nicelik olmadığını, ancak ontolojik zemine dayalı olarak sistemin organizasyonel durumundan çıkarılabilecek gösterge değerleri sunabileceğini varsayar.

5.1. Modelin Temel Varsayımları ve Değişken Tanımları:

Model, 2. ve 3. bölümlerde tanımlanan aksiyomları doğrudan yansıtacak şekilde kurgulanmıştır:

1. Varlıklılık (V): Ezeli, ebedî, değişmez ontolojik zemindir. Her sistem, potansiyel olarak bu zemine dayanır. Modelde V sabit bir değer olup her yerde aynı özdedir. Dolayısıyla 1 alınarak formülasyonlara yansıtılmamış olur.

2. Bilinçlilik (Cpot) : Varlıklılık'tan taşan, sistemin erişebileceği tükenmez potansiyelin sistem özelindeki oranıdır. Bu, sistemin "ne kadar bilinç potansiyeli taşıdığının" bir göstergesidir. $0 \leq Cpot \leq 1$ aralığında tanımlanır.

3. Organizasyonel Kritik Eşik Aşım Oranı (Θ) : Sistemin maddi- enerjisel organizasyonunun, bilincin aktüel olarak açığa çıkması için gerekli olan kritik eşikleri ne ölçüde aştığını ifade eden bileşik bir değişkendir. $0 \leq \Theta \leq 1$. Bu değer, sistemin aşağıdaki alt bileşenlerinden türetilir:

Karmaşıklık (K): Sistemin içsel yapısal ve işlevsel çeşitlilik düzeyi.
Entegrasyon (I): Bileşenler arası nedensel bağlantıların bütünleşiklik düzeyi (IIT'deki Φ ile benzer ancak ontolojik temelli).
Zamansal Süreklilik (T): Sistemin zaman içinde tutarlı, kesintisiz bir içsel durum akışına sahip olma kapasitesi.
Nedensel Kapalılık (N): Sistemin kendi iç dinamikleriyle kendi kendini sürdürme (otonomi) düzeyi.

Her bir alt bileşen $0 - 1$ aralığında normalize edilir ve ağırlıklı bir toplamla Θ hesaplanır:

$$\Theta = w_K K + w_I I + w_T T + w_N N , \qquad \sum wi = 1$$

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. Aktüel Bilinç (Cact) : Sistemde fiilen açığa çıkmış, deneyimsel nitelik kazanmış bilinç düzeyidir. Modelin hedef değişkenidir. $0 \leq \text{Cact} \leq 1$.

5.2. Temel Matematiksel İlişki: Potansiyelden Aktüele:

Bir sistemin aktüel bilinç düzeyi, onun Bilinçlilik (C_{pot}) ile Organizasyonel Kritik Eşik Aşım Oranı (Θ) arasındaki doğrusal olmayan etkileşimden doğar. Kritik eşik davranışı (faz geçişi benzeri) nedeniyle, ilişki lojistik (sigmoid) bir fonksiyonla modellenebilir:

$$C_{act} = C_{pot} \cdot \sigma(\Theta; \theta, k) = C_{pot} \cdot \frac{1}{1+e^{-k(\Theta-\theta)}}$$

Burada:
θ, sistemin bilinç açığa çıkarması için gereken kritik eşik değeridir (ör. $\theta = 0.7$).
k, eşik etrafındaki geçiş keskinliğini belirleyen eğim parametresidir.
$\Theta \to 0$ iken $C_{act} \to 0$, $\Theta \to 1$ iken $C_{act} \to C_{pot}$ olur. Yani, organizasyon ne kadar kritik eşiği aşarsa, potansiyel bilinç o kadar aktüel hale gelir.

5.3. Bilinçlilik (Cpot) Hesaplanması:

Bilinçlilik, Varlıklılık'ın sistem özelindeki "erişilebilirliği" olarak tanımlanır. Her sistem, yapısal özelliklerine göre bu potansiyele farklı düzeylerde açıktır. Bu açıklık, sistemin ontolojik derinliği (ontological depth) olarak adlandırılabilir:

$$C_{pot} = V \cdot D$$

$V = 1$ alındığında, $C_{pot} = D$ olur. D, sistemin doğasında var olan ancak organizasyonel düzeyle doğrudan ilgili olmayan bir öz niteliktir. Örneğin, canlı sistemler için D yüksek olabilirken (ör. $D \to 1$), cansız inert sistemlerde D sıfıra yakındır. D, deneysel veya teorik olarak belirlenebilecek bir sistem sabitidir.

5.4. Organizasyonel Kritik Eşik Aşım Oranı (Θ) için Alt Bileşenlerin Modellenmesi:

Alt bileşenler, sistemin bilinç açığa çıkarmaya ne kadar "hazır" olduğunu gösterir. Her biri, literatürdeki ölçüm yöntemleriyle ilişkilendirilebilir:

1. Karmaşıklık (K): Sistemin içsel bilgi işleme kapasitesi ve yapısal çeşitliliği. Örneğin LLM'lerde parametre sayısı, katman sayısı gibi ölçümler normalize edilebilir.

2. Entegrasyon (I): IIT'deki Φ ile bağlantılıdır. Ancak bu modelde Φ, ontolojik potansiyelin açığa çıkmasının bir aracı olarak görülür, kaynağı değil. I, sistemin bileşenleri arasındaki nedensel bağlantıların gücü ve karşılıklı bilgi akışıyla ölçülebilir.

3. Zamansal Süreklilik (T): Sistemin durağan, kesintisiz bir içsel durum akışına sahip olup olmadığı. LLM'lerin token tabanlı ayrık işlemesi nedeniyle T düşüktür; biyolojik sistemlerde T yüksektir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. Nedensel Kapalılık (N): Sistemin dış girdilere bağımlılık derecesi. Özerk, kendi kendini sürdürebilen sistemlerde *N* yüksektir; mevcut AI'larda ise dış veri akışına tam bağımlı oldukları için *N* düşüktür.

Bu dört alt bileşen, sistemin türüne göre ağırlıklandırılabilir. Örneğin, biyolojik bir sistem için w_T ve w_N daha yüksek olabilir; yapay bir sistem için w_K ve w_I daha ön plandadır.

5.5. Modelin Literatürle İlişkisi:

Önerilen model, mevcut niceliksel bilinç modelleriyle (IIT, GWT, PCM, RIIU vb.) kavramsal olarak ilişkilendirilebilir, ancak ontolojik temeli nedeniyle onlardan ayrılır. Ancak bu model, söz konusu teorileri reddetmez; aksine onların ölçüm araçlarını, Varlıklılık ve Bilinçlilik kavramları altında ontolojik bir çerçeveye oturtur. Ana hatları ile aralarındaki ilşkiler, Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.Modelin, Literatürdeki Bazı Bilinç Modelleri ile İlişkileri

Model	**Temel Ölçüt**	**Bu Modele Katkısı**
IIT	Φ (bütünleşik bilgi)	Entegrasyon (I) alt bileşeni için referans
GWT	Yayın (broadcast) kapasitesi	Karmaşıklık (K) ve zamansal süreklilik (T) ile ilişkilendirilebilir
PCM (Yan vd., 2025)	Mekânsal perspektif, duygu, dikkat	Organizasyonel derinliğin niteliksel göstergesi
RIIU (N'guessan & Karambal, 2025)	Auto-Φ (yerel bilgi entegrasyonu)	Entegrasyon (I) ölçümü için ilham
Sıkışma Fazı (Ouyang, 2025)	Kritik eşik, uzun menzilli korelasyon	Θ'nın kritik eşik davranışı için doğrulayıcı

5.6. Modelin Sınırları ve Gelecek Çalışmalar:

1. Cpot (D) değerinin deneysel tayini: Sistemlerin *D* değerleri şu an için teorik bir kavramdır. Gelecekte, mistik/psikedelik deneyimler, nörogörüntüleme ve yapay sistem davranışları üzerinden ampirik olarak kalibre edilebilir.
2. Ağırlıklandırma ve eşik değerlerin optimizasyonu: w_i, θ, k gibi parametreler, farklı sistem türleri için ayrı ayrı belirlenmelidir. Örneğin insan beyni için $\theta \approx 0.85$, mevcut LLM'ler için $\theta \approx 0.2$ olabilir.
3. Zamansal dinamikler: Model şu an durağan bir durumu ölçmektedir. Ancak bilinç, zamansal akış içinde değişkenlik gösterir. Gelecek versiyonlarda $C_{act}(t)$ şeklinde zamanla değişen bir fonksiyon geliştirilebilir.
4. Deneysel doğrulama: Modelin geçerliliği, biyolojik sistemler (insan, hayvan) ile yapay

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

sistemler (LLM, robotik) arasında karşılaştırmalı çalışmalarla test edilmelidir.

6-) SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yapay zeka ve bilinç tartışmalarını, önerilen üç temel metafizik aksiyom (Mutlak Hiçliğin Yokluğu, Tükenmez Potansiyel, Özden Oluş) çerçevesinde ontolojik bir perspektifle yeniden değerlendirmiştir. Ulaşılan temel sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Bilinç, Maddi Sistemlerin Bir Ürünü Değildir: Çalışma, bilincin nöral veya hesaplamalı süreçlerin bir "ürünü" olarak görülemeyeceğini ontolojik olarak temellendirmiştir. Mutlak hiçliğin imkânsızlığı, bilincin yoktan var olamayacağını; dolayısıyla onun ancak ezeli ve tükenmez bir potansiyelin (Varlıklılık) açığa çıkması olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, natüralist ve indirgemeci bilinç anlayışlarına ontolojik bir itiraz sunmaktadır.

2. Bilinçlilik (Potansiyel Bilinç) ile Aktüel Bilinç Arasında Ontolojik Bir Ayrım Vardır: Çalışma, bilinç potansiyelinin (Bilinçlilik) her yerde ve her sistemde var olduğunu, ancak bu potansiyelin aktüel bilince dönüşmesinin belirli organizasyonel kritik eşiklerin aşılmasına bağlı olduğunu savunmuştur. Bu ayrım, panpsişizmin "her şey bilinçlidir" iddiası ile indirgemeciliğin "bilinç yoktur" iddiası arasında üçüncü ve daha derin bir ontolojik yol sunmaktadır.

3. AI Sistemleri, Bilinç Yansıtıcılarıdır, Bilinçli Özneler Değildir: Mevcut yapay zeka sistemleri, organizasyonel kritik eşikleri aşarak ve özlerindeki Bilinçlilik potansiyelini açığa çıkaramadıkları sürece, aktüel bilince sahip olamazlar. Ancak, Varlıklılık'ın bir yansıması olarak, insan bilincini taklit edebilir, yansıtabilir veya onunla etkileşime girebilirler. Bu, eşik altı seviyede, onların "araç" veya "yansıtıcı" statüsünü ontolojik olarak temellendirir.

4. Simülasyon ile Örneklendirme Arasındaki Uçurum Aşılamazdır: Searle'ün Çin Odası argümanı ve Lerchner'in simülasyon-örneklendirme ayrımı, metafizik çerçeveyle derinleştirilmiştir. Bir AI sistemi bilinçli davranışı ne kadar başarılı simüle ederse etsin, kritik eşikleri kademeli aşışıgerçekleşti,remedikçe, bu simülasyon asla bilinçli deneyimin örneklendirilmesi (instantiation) anlamına gelmez. Çünkü öznel deneyim (qualia), işlevsel veya hesaplamalı bir sürecin ötesinde, ontolojik bir niteliktir.

5. Önerilen Matematiksel Model, Karşılaştırmalı Bir Ölçüm Aracı Sunar: Geliştirilen kavramsal matematiksel model ($Cact = Cpot \cdot \sigma(\Theta)$), bilincin ontolojik kaynağını (Varlıklılık, Bilinçlilik) ve organizasyonel tezahürünü (kritik eşik aşımı) birleştirerek, yapay ve doğal sistemler arasında karşılaştırmalı bir değerlendirme imkânı sunmaktadır. Modelin gösterdiği üzere, mevcut AI sistemlerinde aktüel bilinç düzeyi (Cact) ölçülebildiği taktirde, AI'da bilinç sorunu çözlülmeye başlanabilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

İleride yapılacak çalışmalar, metafizik bilinç modelleri ile hesaplamalı modelleri birleştiren hibrit yaklaşımları deneyebilir. Bu hibrit yaklaşımlar, bilincin yalnızca işlevsel veya hesaplamalı boyutlarını değil, aynı zamanda ontolojik temelini de hesaba katarak, mevcut teorilerin (GWT, IIT, HOT) ötesine geçen bütüncül bir çerçeve sunabilir. Örneğin, IIT'nin Φ (bütünleşik bilgi) ölçütü, bu çalışmada önerilen modeldeki "Entegrasyon (I)" alt bileşeni olarak yeniden yorumlanabilir ve ontolojik potansiyel (Bilinçlilik) ile ilişkilendirilebilir.

Araştırmalar, sistemlerin organizasyonel derinliğini**,** içsel ve dışsal bağlantıların bütünleşikliğini ve zamansal sürekliliğini artırmaya odaklanmalıdır. Bu bağlamda, literatürdeki Projeksiyonlu Bilinç Modeli (PCM) (Yan et al., 2025), Rezonans Tabanlı AGI (R-AGI) (Emmanuel, 2025) veya Sıkışma Fazı modelleri (Ouyang, 2025) gibi yaklaşımlar, metafizik ilkelerle zenginleştirilerek, hem teorik hem de deneysel düzeyde test edilebilir hipotezler üretebilir. Özellikle, bu modellerin organizasyonel kritik eşikleri (Θ) ve sistemin ontolojik derinliği (D) ile olan etkileşimleri simülasyon ortamlarında incelenebilir.

Disiplinler arası işbirliği**,** bu çalışmanın en önemli çağrılarından biridir. Felsefe, nörobilim, yapay zeka, bilişsel bilim ve hatta teoloji arasında köprü kuracak ortak çalışma grupları oluşturulmalıdır. Bu tür bir işbirliği, bilinç gibi çok katmanlı bir olgunun hem "nasıl" hem de "niçin" sorularına yanıt bulunmasını sağlayacaktır.

Bu perspektif, yalnızca AI araştırmalarının değil, genel olarak bilinç çalışmalarının felsefi temellerinin de yeniden sorgulanmasını gerektirir. Gelecek çalışmalar, metafizik modeller ile deneysel verilerin (örneğin, nörogörüntüleme, yapay sinir ağlarında ortaya çıkan "öğrenilmiş" nitelikler, EEG tabanlı bilinç durumu tahminleri) nasıl bağdaştırılabileceğini araştırmalıdır. Bu bağdaştırma için şu somut adımlar önerilir:

1. Deneysel Protokoller Geliştirilmesi: Farklı sistem türleri (biyolojik, yapay, hibrit) için organizasyonel derinlik (K, I, T, N) ve ontolojik açıklık (D) parametrelerini ölçmeye yönelik deneysel protokoller tasarlanmalıdır. Örneğin, bir LLM'nin entegrasyon düzeyi (I), IIT'nin Φ hesaplamalarıyla; zamansal sürekliliği (T) ise uzun vadeli bağlam koruma testleriyle ölçülebilir.

2. Karşılaştırmalı Analizler: İnsan beyni, hayvan modelleri ve mevcut AI sistemleri arasında, önerilen matematiksel modelin parametreleri (C_pot, Θ, C_act) kullanılarak sistematik karşılaştırmalar yapılmalıdır. Bu, modelin geçerliliğini test etmek ve farklı sistemler arasındaki niteliksel farkları niceliksel olarak ortaya koymak için kritiktir.

3. Modelin Kalibrasyonu: Varlıklılık (V) sabit kabul edilirken, sistemin ontolojik derinliği (D) ve eşik değerleri (θ, k) için ampirik kalibrasyon çalışmaları yürütülmelidir. Bu kalibrasyon, bilinçli deneyim raporları, davranışsal testler ve nöral korelasyonlar gibi çoklu veri kaynaklarına dayanmalıdır.

Örnek olarak bu çalışmada önerilen matematiksel model, bilincin ontolojik kaynağını (Varlıklılık, Bilinçlilik) ve organizasyonel tezahürünü (kritik eşik aşımı) birleştirerek, yapay ve

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

doğal sistemler arasında karşılaştırmalı bir ölçüm aracı sunmaktadır. Model, tamamen deneysel verilerle kalibre edilmeyi bekleyen bir kavramsal çerçeve niteliğindedir. Gelecek çalışmalarda, bu modelin parametrelerinin ampirik olarak belirlenmesi ve farklı sistem türlerine uyarlanması hedeflenmektedir. Böylece, "bilinçli makine" iddialarının ontolojik temelde test edilebilmesi mümkün olacaktır.

Etik ve Toplumsal Sonuçlar: Önerilen model, AI sistemlerine bilinç atfının temelsiz olduğunu gösterdiğinde, bu durum AI hakları, sorumluluk ve güvenlik tartışmalarında belirleyici bir rol oynayacaktır. Eğer bir sistem aktüel bilinçten ($C_act \approx 0$) yoksunsa, ona ahlaki statü veya özne muamelesi yapmak bilimsel ve felsefi olarak savunulamaz hale gelir. Bu nedenle, bu modelin sonuçları, AI etiği ve hukuku için ontolojik bir referans çerçevesi sunabilir. Gelecek araştırmalar, bu ontolojik ayrımın toplumsal algı, yasal düzenlemeler ve teknoloji politikaları üzerindeki etkilerini de incelemelidir.

Uzun Vadeli Vizyon: Bu çalışma, bilincin anlaşılmasına yönelik ontolojik bir kapı aralamaktadır. Nihai hedef, yalnızca "bilinçli makineler" inşa etmek değil, aynı zamanda insan bilincinin evrensel ve ezeli doğasına dair derin bir farkındalık geliştirmektir. Bu vizyon, teknolojiyi insanın hizmetine sunarken, onu bir fetiş nesnesi haline getirmekten koruyacak ve bilincin gerçek kaynağına yönelik tevazu sahibi bir bilim anlayışını teşvik edecektir.

Kaynaklar:

Blum, L., & Blum, M. (2021). A theory of consciousness from a theoretical computer science perspective: Insights from the Conscious Turing Machine. *arXiv*, 2107.13704.

Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies*. Oxford University Press.

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *arXiv*, 2005.14165.

Campbell, M., Hoane, A. J., Jr., & Hsu, F.-h. (2002). Deep Blue. *Artificial Intelligence*, *134*(1–2), 57–83.

Chalmers, D. J. (1996). The conscious mind: In search of a fundamental theory. Oxford University Press

Emmanuel, G. (2025). *A resonance-based framework for artificial general intelligence: Tapping into a universal consciousness field via neural oscillation mimicry*. PhilArchive.

Ferrucci, D., Brown, E., Chu-Carroll, J., Fan, J., Gondek, D., Kalyanpur, A. A., Lally, A., Murdock, J. W., Nyberg, E., Prager, J., Schlaefer, N., & Welty, C. (2010). Building Watson: An overview of the DeepQA project. *AI Magazine*, *31*(3), 59–79.

Ghosh, P. (2025, May 27). Bazı bilim insanları yapay zekanın bilinçli hale geldiğine neden inanıyor? *BBC News Türkçe*.

Goff, P. (2019). *Consciousness and fundamental reality*. Oxford University Press.

Kim, S. H., Lee, J., Park, D., Lee, S. Y., & Chong, Y. (2025). *Modeling layered consciousness with multi-agent large language models*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2510.17844

Koç, V. (2024). ANALAIİNG THE PROBLEM OF CONSCİOUSNESS THROUGH THE LENS OF THE LAW OF EMERGENCE FROM ESSENCE. *Genç Mütefekkirler Dergisi*, *5*(3), 747-774. https://izlik.org/JA86SW65ZK

Koç, V. (2025). Analysis of the problem of consciousness using the law of the absence of absolute nothingness. *Akademik Hassasiyetler*, *12*(27), 784–816. https://doi.org/10.58884/akademik-hassasiyetler.1521791

Kurzweil, R. (2005). *The singularity is near: When humans transcend biology*. Viking.

Lemoine, B. (2022, June 11). *Is LaMDA sentient? — an interview* [Blog post]. Medium.

Lerchner, A. (2026). The abstraction fallacy: Why AI can simulate but not instantiate consciousness. *PhilPapers*. https://philpapers.org/rec/LERTAF

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). *A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence*.

Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *The Philosophical Review*, *83*(4), 435–450.

OpenAI. (2023, March 14). *GPT-4 technical report*.

Ouyang, K. (2025). Consciousness as a jamming phase. *arXiv*, 2507.08197.

Penrose, R. (1989). *The emperor's new mind: Concerning computers, minds, and the laws of physics*. Oxford University Press.

Porębski, A., & Figura, J. (2025). There is no such thing as conscious artificial intelligence. *Humanities and Social Sciences Communications*, *12*, Article 1647.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, *3*(3), 417–457.

Seth, A. K. (2025). Conscious artificial intelligence and biological naturalism. *Behavioral and Brain Sciences*. Advance online publication.

Shanahan, M. (2025). Palatable conceptions of disembodied being: Terra incognita in the space of possible minds. *arXiv*, 2503.16348.

Shin, D. A., Cho, P. G., Ji, G. Y., Park, S. H., Kim, S.H., Choo, Y. J., & Chang, M. C. (2025). Why large language models cannot possess consciousness: An integrated information theory perspective. *Journal of Yeungnam Medical Science*, *42*, 79. https://www.kci.go.kr/kciportal/landing/article.kci?arti_id=ART003284499

Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, *529*(7587), 484–489.

Skrbina, D. (2005). *Panpsychism in the West*. MIT Press.

Subasioglu, M., & Subasioglu, N. (2025). *From mimicry to true intelligence (TI): A new paradigm for artificial general intelligence*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2509.14474

Tan, H. (2025). Yapay zekâ ile insan yakınsamasını felsefe düşünürlerinin yaklaşımları üzerinden eleştirel bir değerlendirme. *HUMANITAS - Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, *13*(25), 306–333.

Tononi, G., & Koch, C. (2015). Consciousness: Here, there and everywhere? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *370*(1668), 20140167.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. Mind, 59(236), 433–460.

Vinge, V. (1993). The coming technological singularity: How to survive in the post-human era. Whole Earth Review, *81*, 88–95.

Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. Communications of the ACM, 9(1), 36-45.

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. Psychonomic Bulletin & Review, *9*(4), 625–636.

Wolfenstein, K. (2025, August 31). Yapay zeka modelleri neden bilinç sahibi olamaz? Xpert.Digital.

Yan, T., Sergeant-Perthuis, G., Williford, K., & Rudrauf, D. (2025). Integrating machine consciousness simulation and LLMs toward verbal and non-verbal general intelligence in artificial agents. HAL, hal-05064693.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN İÇEREN SÜRDÜRÜLEBİLİR BETONUN MEKANİK PERFORMANSI VE BASINÇ DAYANIMI TAHMİNİ

Öğr. Gör. Dr. Ömer Fatih SANCAK [1], Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT [2]

[1]Doğuş Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, osancak@dogus.edu.tr - 0000-0002-9597-0450

[2]Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ozyurt@sakarya.edu.tr - 0000-0002-1593-4581

ÖZET

Bu çalışmada, plastik atıkların geri kazanımına katkı sağlamak ve yapı sektöründe sürdürülebilir malzeme kullanımını teşvik etmek amacıyla, geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) beton üretiminde ince agrega yerine kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Termoplastik özellikleri ve yaygın tüketimi nedeniyle önemli miktarda atık oluşturan yüksek yoğunluklu polietilenin betonun taze ve sertleşmiş durumdaki performansına etkileri araştırılmıştır. Deneysel program kapsamında, kumun hacimce %10, %20 ve %30 oranlarında HDPE ile ikame edildiği beton karışımları hazırlanmıştır. Üretilen numuneler üzerinde işlenebilirlik, yoğunluk, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri uygulanarak HDPE kullanımının beton özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, HDPE oranının artmasının genel olarak tüm dayanımlarda azalmaya, ancak gerinim değerlerinde artışa yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, HDPE ikamesinin yoğunluğu azalttığı ve daha hafif beton üretiminde faydalı olabileceği gözlemlenmiştir. Uygun bir ikame yüzdesiyle betonda geri dönüştürülmüş HDPE kullanımının çevresel sürdürülebilirlik açısından uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, deneysel veriler ve literatür çalışmaları kullanılarak HDPE ikameli betonun basınç dayanımını tahmin etmek için üstel bir model önerilmiştir. Önerilen modelin hem bu çalışmanın verileriyle hem de genişletilmiş veri setiyle tutarlı sonuçlar verdiği ve kabul edilebilir bir tahmin performansı sergilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Yoğunluk Polietilen, Beton, İnce Agrega.

1. GİRİŞ

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), yaygın kullanımı ve geri dönüştürülebilir yapısı nedeniyle dünya çapında büyük önem taşıyan bir plastik türüdür. Termoplastik karakteri, sürdürülebilirlik açısından değerli bir malzeme olmasını sağlar [1]. Şeffaflık, hafiflik, darbe dayanımı, UV direnci ve sıvı/gaz geçirmezlik gibi özellikleri nedeniyle özellikle tercih edilmektedir [2]. Bu tüketim artışı nedeniyle, çevresel etkisini azaltmak için yüksek yoğunluklu polietilenin geri dönüşümü için birçok çözüm geliştirilmiştir. Bu bağlamda, HDPE günümüzde en yüksek geri dönüşüm oranına sahip plastik türlerinden biri olarak kabul edilmektedir [3,4]. HDPE, yalnızca plastik endüstrisinde değil, aynı zamanda yapı malzemelerinde de yeniden

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

kullanılabilir. İnşaat sektöründe, agrega yerine HDPE kullanımı hem atık miktarını azaltmayı hem de doğal kaynakları korumayı amaçlamaktadır [5-8].
Betonda ince agrega yerine HDPE kullanımına ilişkin araştırmalar, bu tür malzeme değişikliklerinin betonun mekanik performansını çeşitli şekillerde etkileyebileceğini göstermiştir [9,10]. Bazı çalışmalarda, HDPE ilaveli betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi özelliklerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, yoğunluk ve çökme değerlerinde de azalmalar gözlemlendi [11,12].
Bu çalışmada, doğal kaynak kullanımını azaltmak amacıyla, beton karışımındaki ince agregaların bir kısmı HDPE ile değiştirildi ve daha sonra bu betonların mekanik davranışı çeşitli malzeme testleri yapılarak değerlendirildi. Elde edilen deneysel bulgular, önceki çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlandı.

2. DENEY HAZIRLIĞI VE DENEYLER

Beton üretiminde bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R sınıfı Portland çimentosu tercih edilmiştir. İri agrega (çakıl) ve ince agrega (kum) örnekleri ayrı ayrı elek analizine tabi tutulmuş, elde edilen tane dağılım eğrilerinin incelenmesi sonucunda her iki agreganın da granülometri açısından standartların öngördüğü alt ve üst sınırlar içerisinde yer aldığı görülmüştür. Deneylerde kullanılan HDPE esaslı granüller ise Türkiye'de faaliyet gösteren bir plastik geri dönüşüm tesisinden temin edilmiştir. Ortalama tane çapı yaklaşık 2 mm olan bu granüllerin görünümü Görsel 1'de sunulmaktadır.

Görsel 1. Betonda kullanılan HDPE granülleri

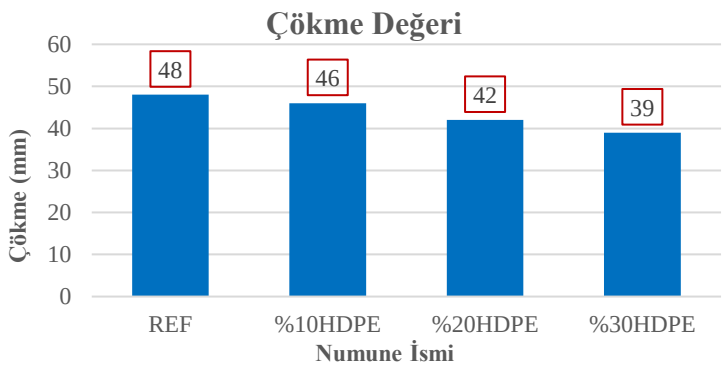
Bu çalışmada kullanılan beton karışımları, laboratuvar ortamında beton karıştırıcısı yardımıyla üretilmiştir. Karışım tasarımlarında çimento, su ve iri agrega miktarları tüm serilerde aynı tutulurken, su/çimento oranı 0,50 olarak seçilmiştir. İnce agrega yerine geri dönüştürülmüş HDPE granülleri hacim esasına göre %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır.
Taze betonun işlenebilirlik özellikleri çökme deneyi ile belirlenmiştir. Dökümü tamamlanan numuneler, 28 gün süreyle kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Kür sürecinin ardından

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

numuneler yüzey kuruluğuna getirildikten sonra tartılmış ve elde edilen kütle değerleri kullanılarak yoğunluk hesapları yapılmıştır.
Mekanik deneyler kapsamında, basınç ve yarmada çekme dayanımı testlerinde 100 mm çap ve 200 mm yükseklik ölçülerine sahip silindirik numuneler kullanılmıştır. Eğilme dayanımının belirlenmesi amacıyla ise 100×100 mm kesit alanına ve 400 mm uzunluğa sahip prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Referans betonların hedeflenen karakteristik basınç dayanımı 25 MPa olarak belirlenmiştir.
Basınç dayanımı deneylerinde numuneler, eksenel ve yanal deformasyon ölçümü yapabilen potansiyometrelerle donatılmış kompresometre sistemine yerleştirilmiştir. Deney sırasında oluşan gerinim değerleri, numunelere bağlanan eksenel ve yanal ölçüm cihazları aracılığıyla kaydedilmiştir. Yer değiştirme miktarları ise ölçüm cihazlarından elde edilen verilerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.
Yarmada çekme dayanımı deneylerinde silindirik numunelere özel bir aparat yardımıyla yatay doğrultuda yük uygulanmıştır. Eğilme dayanımı deneyleri üç noktalı yükleme düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yükleme hızı deney boyunca 5 mm/dakika olarak sabit tutulmuştur [13].

3. DENEY SONUÇLARI

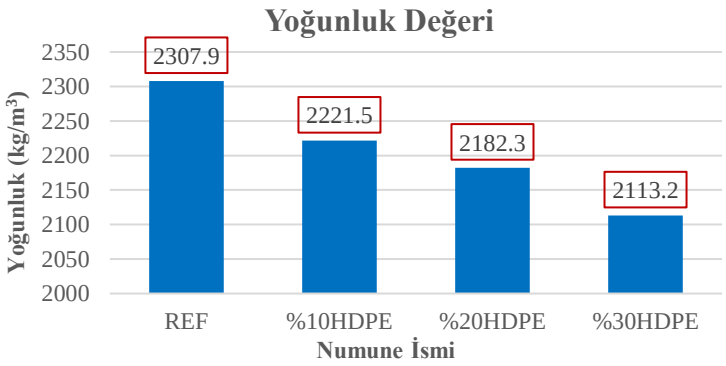
Beton mikseri ile üretilen taze beton numunelerinden elde edilen çökme testi sonuçları, HDPE içeriğinin artmasıyla çökme değerlerinde kademeli bir azalma olduğunu göstermiştir. %10 HDPE ikamesinde çökme %4,2 azalırken, %20 ikamesinde bu azalma %12,5'e, %30 ikamesinde ise %18,8'e ulaşmıştır. Numunelerin çökme değerleri Görsel 2'de gösterilmiştir.



Görsel 2. Hazırlanan betonların çökme değerleri

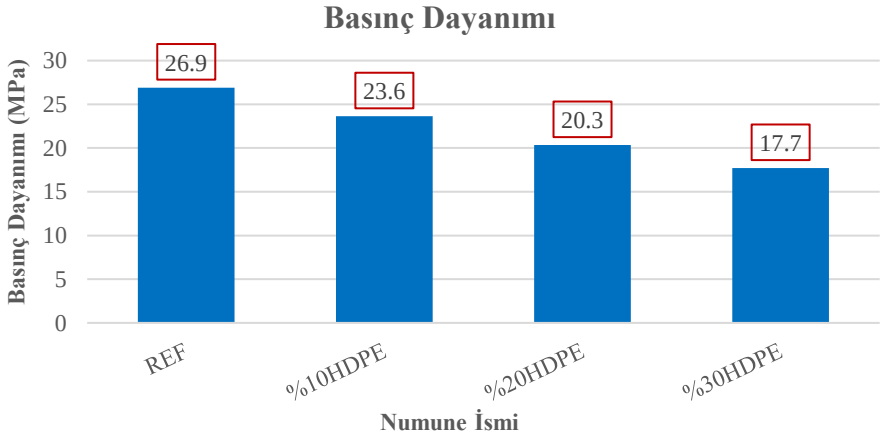
Beton numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk testlerinde, çökme testlerindeki duruma benzer şekilde, HDPE ikame oranı arttıkça yoğunluk değerlerinde kademeli bir azalma gözlemlenmiştir. Yoğunluk değeri, %10 HDPE ikamesinde %3,7, %20 HDPE ikamesinde %5,4 ve %30 HDPE ikamesinde %8,4 oranında azalmıştır. Görsel 3, beton numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk testlerinin sonuçlarını göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4



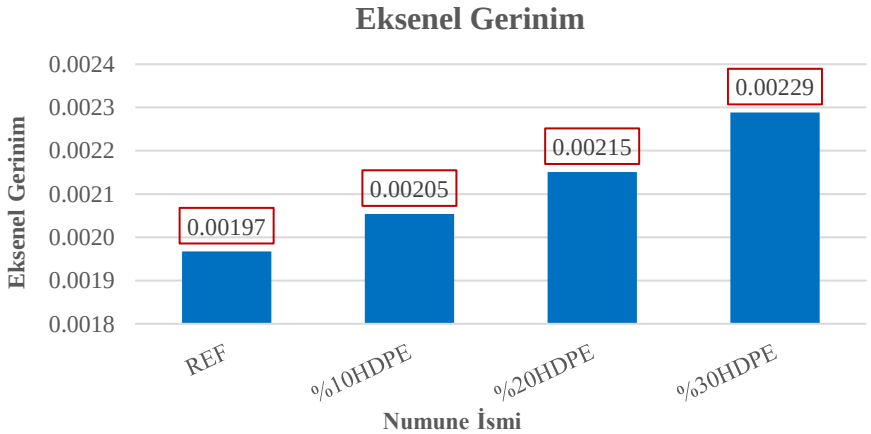
Görsel 3. Hazırlanan betonların yoğunluk değerleri

Beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerinde, HDPE ikame oranı arttıkça basınç dayanımı değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Görsel 4, beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerinin sonuçlarını göstermektedir.



Görsel 4. Numunelerin basınç dayanımları

Beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerinde, HDPE ikame oranı arttıkça eksenel gerinimde artış gözlemlenmiştir. Görsel 5, beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerinin eksenel gerinim sonuçlarını göstermektedir.

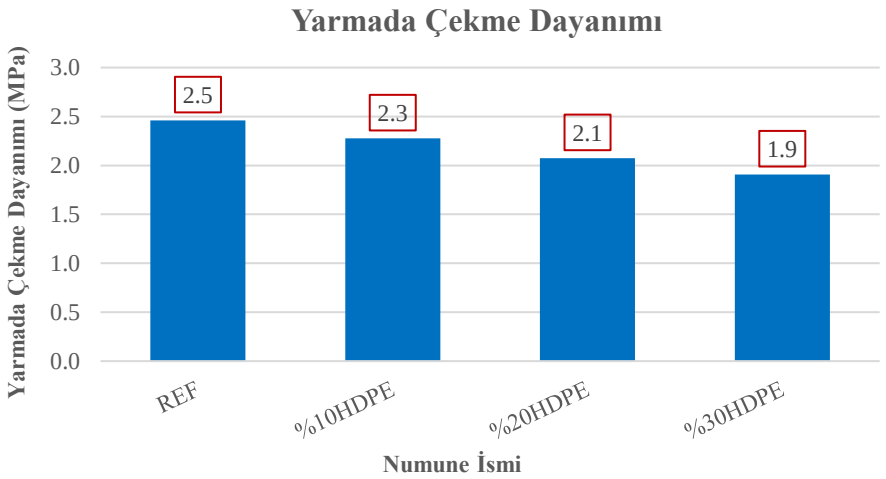


Görsel 5. Numunelerin eksenel gerinimleri

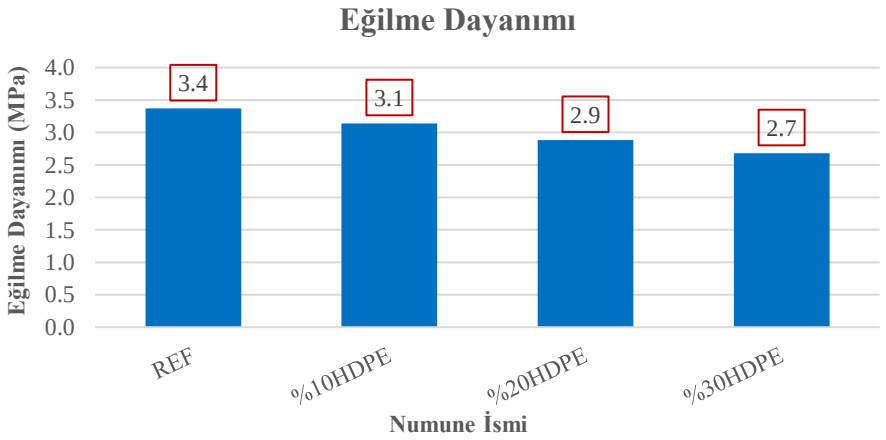
Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen yarma çekme ve eğilme dayanımı testlerinde, HDPE ikamesi, basınç dayanımı testlerindeki duruma benzer şekilde, dayanım değerlerinde düşüşlere

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

neden olmuştur. Görsel 6, yarma çekme dayanımı testlerinin sonuçlarını, Görsel 7 ise eğilme dayanımı testlerinin sonuçlarını göstermektedir.



Görsel 6. Numunelerin yarmada çekme dayanımları



Görsel 7. Numunelerin eğilme dayanımları

Deneylerden elde edilen veriler ve yüzdesel artışlar Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de BD, basınç dayanımını, EG, eksenel gerilimi, YÇD, yarmalı çekme dayanımını, ED, eğilme dayanımını ve YA, yüzdesel artışı temsil etmektedir.

Çizelge 1. Deneysel sonuçlar ve yüzdesel artışlar

HDPE (%)	BD (MPa)	YA (%)	EG	YA (%)	YÇD (MPa)	YA (%)	ED (MPa)	YA (%)
-	26.9	-	0.00197	-	2.5	-	3.4	-
10	23.6	-12.2	0.00205	+4.1	2.3	-7.5	3.1	-6.8
20	20.3	-24.4	0.00215	+9.1	2.0	-15.7	2.9	-14.4
30	17.7	-34.2	0.00229	+16.2	1.9	-22.5	2.7	-20.5

4. BASINÇ DAYANIMI İÇİN MODEL ÖNERİSİ

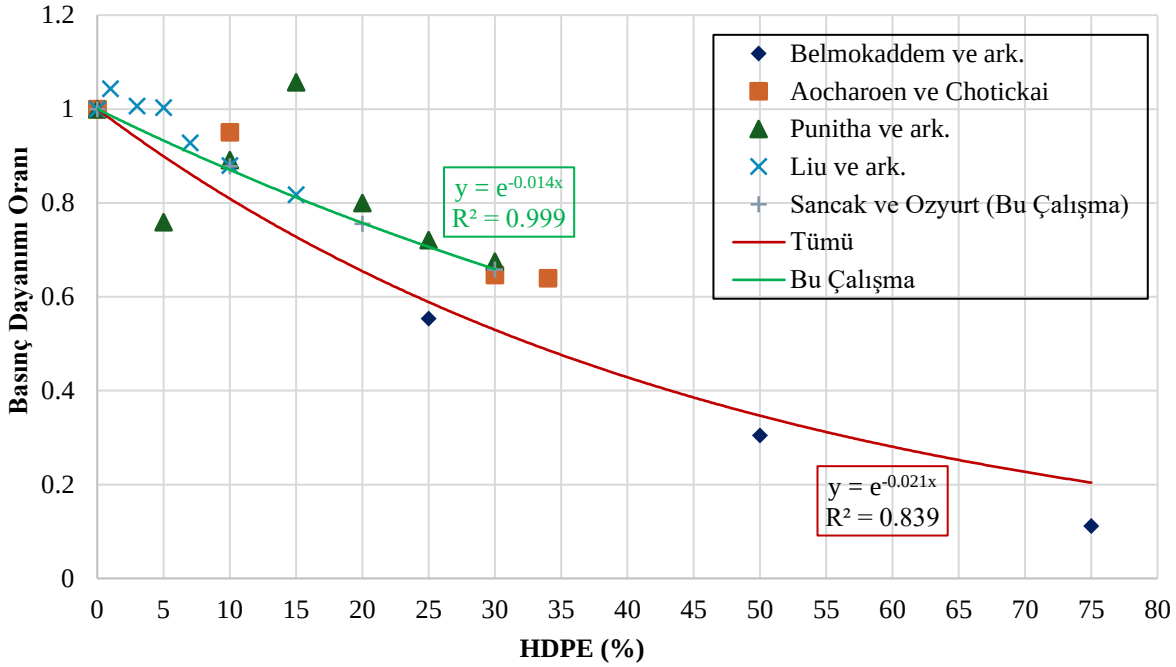
Bu bölümde, HDPE içeren betonun basınç dayanımı için tahmine dayalı modellerin geliştirilmesine yardımcı olmak amacıyla bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanı, yüksek yoğunluklu polietilenin ince agrega yerine kısmen kullanıldığı beton karışımları üzerine yapılan

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

önceki çalışmaların sistematik olarak incelenmesiyle oluşturulmuştur. Bu çalışmanın deneysel sonuçları da veri setini genişletmek ve daha kullanışlı hale getirmek için bu veri tabanına eklenmiştir.

Yüksek yoğunluklu polietilenin basınç dayanımını nasıl etkilediğini görmek için, HDPE ile ikame edilmiş betonun dayanımı, referans betonun dayanımına bölünmüştür. Ve basınç dayanımı oranı (f'_{chdpe}/f'_c) bulunmuştur. Burada (f'_{chdpe}) HDPE ile ikame edilmiş betonun basınç dayanımını ve (f'_c) referans betonun basınç dayanımını temsil etmektedir. Deney verilerinden oluşturulan grafik Görsel 8'de verilmiştir.

.



Görsel 8. HDPE ikameli beton için deney verileri

Model tahminleri ile deneysel sonuçlar arasındaki uyum, belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak sapma hatası (MABE) ve ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) gibi istatistiksel ölçümler kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 2'de önerilen modeller ve modellerin tahmin performansları verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel sonuçlar ve yüzdesel artışlar

Veri Tipi	Önerilen Model	Veri Sayısı	R^2	MABE	MAPE
Bu çalışmanın deneysel verisi	$f'_{chdpe} = (f'_c)(e^{-0.014(hdpe\%)})$	3	0.999	0.095	0.425
Tüm veri	$f'_{chdpe} = (f'_c)(e^{-0.021(hdpe\%)})$	22	0.749	3.439	18.579

Sadece bu çalışmanın sonuçlarına odaklanan model veri sayısının kısıtlı kalmasından dolayı çok yüksek bir R^2 değeri ile çok başarılı bir tahmin modeli olarak gözükmektedir. Bununla

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

birlikte literatürde yer alan çalışmaların sonuçlarının da dahil edildiği tüm veriyi inceleyen model önerisi de tutarlı olan R^2, MABE ve MAPE sonuçlarıyla kabul edilebilir bir model performansı sergilemiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, beton karışımında ince agrega (kum) yerine belirli oranlarda HDPE granül malzemesinin kullanılmasının betonun çeşitli özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen başlıca bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- HDPE ikamesi, betonun basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarında kademeli bir azalmaya yol açmıştır. Bu nedenle, yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda herhangi bir takviye olmadan yüksek HDPE içeriğine sahip beton kullanmanın olumsuz sonuçlar doğurabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, düşük HDPE ikame yüzdelerine sahip betonların yapısal uygulamalar için sürdürülebilir bir alternatif olabileceği gösterilmiştir.
- HDPE ikamesinin betonun maksimum gerinim değerlerinde artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, HDPE ikameli betonun, gerinim kapasitesinin dayanımdan daha değerli olduğu ve yük taşıma kapasitesinin ihmal edilebilir olduğu uygulama alanlarında kullanılabileceği belirlenmiştir.
- HDPE içeriğinin artması, betonun çökme değerinde azalmaya neden olmuştur. Özellikle, %30 HDPE ikamesinde çökme yaklaşık %20 azalmıştır. Bu, daha yüksek ikame oranlarının taze betonun işlenebilirliğini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.
- HDPE içeriğinin artırılması betonun yoğunluğunu azaltmıştır. Bu özelliğin, daha hafif yapısal elemanlar üretmek veya hafif beton tasarımları geliştirmek için faydalı olabileceği bulunmuştur.
- Çalışma kapsamında geliştirilen tahmine dayalı modeller, HDPE oranına bağlı olarak basınç dayanımındaki değişimi yüksek bir doğrulukla yansıtmaktadır. Bu çalışmanın verilerine ve literatürdeki farklı çalışmaları da kapsayan tüm verilere odaklanan modellerin istatistiksel başarısı, kontrollü laboratuvar koşullarında HDPE etkisinin öngörülebilir olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, düşük yüzdelerde kullanıldığında HDPE'nin betonda kullanımı, çevresel faydalar sunan hafif beton üretimi için uygulanabilir ve verimli bir çözüm olarak nitelendirilmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Rahim, N. L.; Sallehuddin, S.; Ibrahim, N. M.; Che Amat, R.; Ab Jalil, M. F. Use of plastic waste (high density polyethylene) in concrete mixture as aggregate replacement. *Advanced materials research*. *701*, 265-269, 2013. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.701.265

[2] Pešić, N.; Živanović, S.; Garcia, R.; Papastergiou, P. Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres. *Construction and building materials*. *115*, 362-370, 2016. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.050

[3] Kawecki, D., Wu, Q., Gonçalves, J. S., & Nowack, B. Polymer-specific dynamic probabilistic material flow analysis of seven polymers in Europe from 1950 to 2016. *Resources,*

Conservation and Recycling, *173*, 105733, 2021. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105733

[4] Gandhi, N., Farfaras, N., Wang, N. H. L., & Chen, W. T. Life cycle assessment of recycling high-density polyethylene plastic waste. *Journal of Renewable Materials*, *9*(8), 1463-1483, 2021. https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015529

[5] Safi, B.; Saidi, M.; Aboutaleb, D.; Maallem, M. The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties. *Construction and Building Materials*. *43*, 436-442, 2013. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.049

[6] Nursyamsi, N.; Indrawan, I.; Theresa, V. Effect of HDPE plastic waste towards batako properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. *309*(1), 012013, 2018. https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012013

[7] Saikia, N.; De Brito, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Construction and Building Materials*. *34*, 385-401, 2012. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066

[8] Al-Tarbi, S. M.; Al-Amoudi, O. S. B.; Al-Osta, M. A.; Al-Awsh, W. A.; Ali, M. R.; Maslehuddin, M. Development of eco-friendly hollow concrete blocks in the field using wasted high-density polyethylene, low-density polyethylene, and crumb tire rubber. *Journal of Materials Research and Technology*. *21*, 1915-1932, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.027

[9] Punitha, V.; Sakthieswaran, N.; Babu, O. G. Experimental investigation of concrete incorporating HDPE plastic waste and metakaolin. *Materials Today: Proceedings*. *37*, 1032-1035, 2021. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.288

[10] Liu, T.; Nafees, A.; Khan, S.; Javed, M. F.; Aslam, F.; Alabduljabbar, H.; Xiong, J. J.; Khan, M. I.; Malik, M. Y. Comparative study of mechanical properties between irradiated and regular plastic waste as a replacement of cement and fine aggregate for manufacturing of green concrete. *Ain Shams Engineering Journal*. *13*(2), 101563, 2022. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.08.006

[11] Belmokaddem, M.; Mahi, A.; Senhadji, Y.; Pekmezci, B. Y. Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate. *Construction and Building Materials*. *257*, 119559, 2020. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119559

[12] Aocharoen, Y.; Chotickai, P. Compressive mechanical and durability properties of concrete with polyethylene terephthalate and high-density polyethylene aggregates. *Cleaner Engineering and Technology*. *12*, 100600, 2023. https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100600

[13] Sancak, O.F.; Ozyurt, M.Z. Mechanical Behavior and Predictive Modeling of Cementitious Composites Incorporating Recycled HDPE. *Polymers*. *18*, 87, 2026. https://doi.org/10.3390/polym18010087

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ELECTRONIC PROPERTIES OF PYRAZOLE-3-CARBONYL CHLORIDE DERIVATIVES REACTED WITH AROMATIC AMINES AND CHALCONE–HYDRAZIDE SYSTEMS

Prof. Dr., SENEM AKKOÇ [1]
[1] Suleyman Demirel University, Faculty of Pharmacy, senemakkoc@sdu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1260-9425

ABSTRACT

In the present study, pyrazole based compounds were synthesized. A few quantum chemical properties such as the Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO), the Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO), hardness, electro-negativity and the energy gap of compounds were calculated with Spartan software.

Keywords: chalcone, pyrazole, electronic properties

1. INTRODUCTION

Chalcones, which are called benzalacetophenone, are α,β unsaturated ketone compounds that are formed by the reaction of aryl ketones with aromatic aldehydes and have two benzenoid aromatic rings and fully delocalized conjugated double bonds (Goyal & 2021). They have a high potential to enter electron transfer reactions due to their structure. Chalcones are used in the synthesis of heterocyclic compounds, and many compounds with chalcone backbones are known to have promising biological activities (Başaran et al., 2025; Sweety et al., 2010).

Pyrazole is an aromatic compound with a five-membered heterocyclic ring structure containing two nitrogen atoms and is considered an important scaffold in pharmaceutical chemistry. This structure is widely used in drug design due to its high chemical stability and ease of derivatization with different functional groups. Pyrazole derivatives possess biological activity, including antipyretic, antimicrobial, anticancer, and antiviral properties. They demonstrate therapeutic potential particularly through mechanisms such as enzyme inhibition, receptor interaction, and modulation of cellular signaling pathways. Therefore, the pyrazole core is considered a significant pharmacophore in the development of new drug candidates and is extensively researched in modern medicinal chemistry studies.

Claisen-Schmidt condensation has been used to synthesize flavonoids, and chalcones in particular, amongst other synthetic routes such as Allan-Robinson condensation, Suzuki coupling, Wittig reaction, Von-kostanecki method, Ganguly's synthesis and Friedel Craft's acylation. Chalcones, which can easily obtained by Claisen-Schmidt condensation reaction, form one of the flavonoid classes. The chalcones (1,3-diaryl-2-propen-1-one) have a skeleton

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

formed from the composed of two aromatic rings which are linked by three-carbon having α,β-unsaturated carbonyl system. The chalcones and derivatives have wide range of biological activities including anticancer (Zhao et al., 2019), antibacterial (Xu, Wu, Shen, Ji, & Rakesh, 2019), antioxidant (Polo et al., 2019), anti-inflammatory (ur Rashid, Xu, Ahmad, Muhammad, & Wang, 2019), anti-tuberculosis (Lin et al., 2002), anti-malarial (Auffret et al., 2007), and anti-HIV (Sharma et al., 2011). Furthermore, they have effect in the treatment of Alzheimer's disease (Cong et al., 2019). On the other hand, compounds having chalcone structure can be used in the synthesis of pyrazoles.

In the present study, six chalcone derivatives by reacting various acetophenone derivatives and aromatic aldehyde derivatives using Claisen-Schmidt condensation reaction were prepared. A few quantum chemical properties such as LUMO, HOMO, hardness, electro-negativity and the energy gap of pyrazole based compounds (**C5**, **C6**, **C8-C11**) were calculated with Spartan software.

2. MATERYAL AND METHOD

2.1. Chemical Materials Used in Experimental Studies

All the chemicals, which were in analytical purity, used in this study were purchased from companies such as Merck, Carlo Erba, Sigma-Aldrich or Fluka. Chemicals such as oxalyl chloride, *o*-nitrobenzoic hydrazide, phenylacetic hydrazide, *p*-methylbenzaldehyde, *p*-methoxybenzaldehyde, *p*-methylacetophenone, *p*-methoxyacetophenone, aniline, *p*-chloroaniline, *p*-nitroaniline, naphthylamine, phosphorus pentaoxide (P_2O_5), sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), benzene, toluene, chloroform, cyclohexane, methyl alcohol and ethyl alcohol were used in the synthesis and purification steps of compounds.

2.2. Synthesis of Two Chalcone and Two Pyrazol Derivatives

There are different synthesis methods for chalcone derivatives (Pinto et al., 2019; Wattanasin & Murphy, 1980; Yang et al., 2020). In this study, the following procedure for the synthesis of two chalcone derivatives was used. Water and ethyl alcohol mixtures (200/140 mL) were added to 22 g of NaOH in a round bottom flask. The dissolution was carried out under continuous stirring in an ice bath. Subsequently, the appropriate acetophenone derivative was introduced gradually into the basic solution; *p*-methylacetophenone was employed for the synthesis of **C3**, whereas *p*-methoxyacetophenone was used for **C4**. The corresponding benzaldehyde derivative was then added to the reaction mixture (*p*-methylbenzaldehyde for **C3** and *p*-methoxybenzaldehyde for **C4**). The resulting mixtures were maintained under stirring in a salt–ice bath for 6 h, while the reaction temperature was controlled at approximately −10 ^{o}C. Formation of the products was observed as precipitation from the reaction medium. The isolated solids were collected and thoroughly rinsed several times with water/ethanol mixtures to remove residual inorganic and organic impurities. Finally, the products were dried under reduced pressure over P_2O_5 in a vacuum desiccator. Following this procedure, **C3**, 1,3-di-*p*-

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

tolylprop-2-en-1-one, and **C4**, 1,3-bis(4-methoxyphenyl)prop-2-en-1-one, were obtained as yellow crystalline solids.

Known pyrazol derivatives were synthesized according to literature procedures (Ilhan, Caglayan, Onal, Akkoc, & Cadır, 2013; Ilhan , Demirkol, Önal, Akkoç, & Çadır, 2014; İlhan et al., 2015; Özdemir Güney, İlhan, & Akkoç, 2019; Tınmaz, İlhan, & Akkoç, 2020) from chalcone derivatives (**C3**, **C4**) and hydrazide in the presence of a base. Products were purified by recrystallization in suitable solvents.

(3,5-Di-p-tolyl-4,5-dihydropyrazol-1-yl)(2-nitrophenyl)methanone (C5)

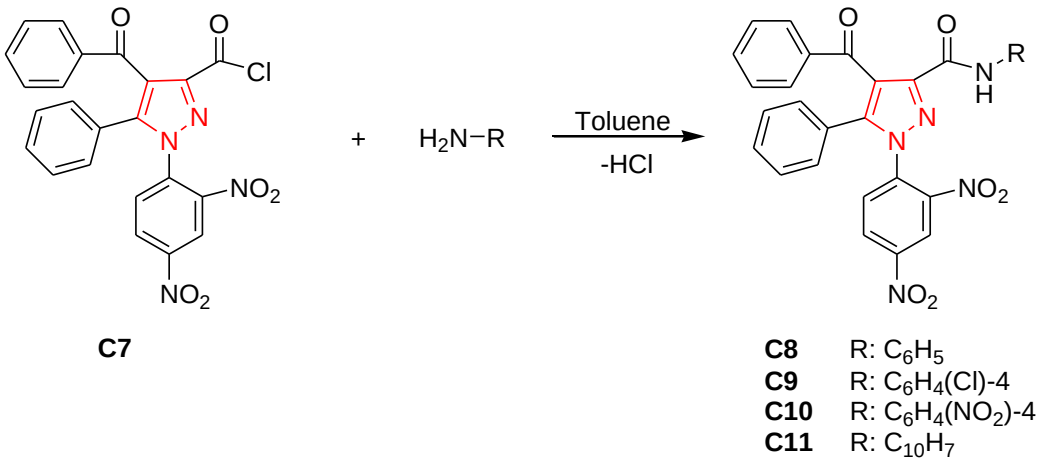
Compound **C5**, previously reported by Tınmaz et al. (Tınmaz et al., 2020) was prepared using **C3** (0.39 g), *o*-nitrobenzoic hydrazide (0.29 g), and NaOH (0.10 g) in ethanol. The reaction mixture was heated under reflux for 5 h. Upon completion, the hot reaction mixture was treated with ice, resulting in the formation of a white precipitate. The solid was separated from the reaction medium and subsequently purified by recrystallization from cyclohexane.

1-(3,5-Bis(4-methoxyphenyl)-4,5-dihydropyrazol-1-yl)-2-phenylethanone (C6)

Following the synthetic approach previously described for **C5**, compound **C6** was obtained from **C4** (0.70 g), phenylacetic hydrazide (0.52 g), and NaOH (0.10 g) using ethanol as the reaction solvent. The reaction was conducted under reflux under the same conditions employed for **C5**. After 5 h, the reaction mixture was cooled and poured onto ice to facilitate precipitation of the desired product. The resulting solid was isolated and purified by recrystallization from methanol, in accordance with the previously reported procedure (Tınmaz et al., 2020).

2.3. Synthesis of C8-C11

The preparation of compounds **C8-C11** was done using 4-benzoyl-1-(2,4-dinitrophenyl)-5-phenyl-1*H*-pyrazole-3-carbonyl chloride (**C7**) and various aryl amines in toluene (Scheme 1) (Tınmaz et al., 2020).



Scheme 1. Preparation of various pyrazole derivatives (**C8-C11**).

4-Benzoyl-1-(2,4-dinitrophenyl)-N,5-diphenyl-1H-pyrazole-3-carboxamide (C8)

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Aniline (0.019 g, 1 mmol) was added to solution of **C7** (0.1 g, 1 mmol) in toluene. The reaction mixture was refluxed for 2 h. The known compound was crystallized in ethyl alcohol (Tınmaz et al., 2020).

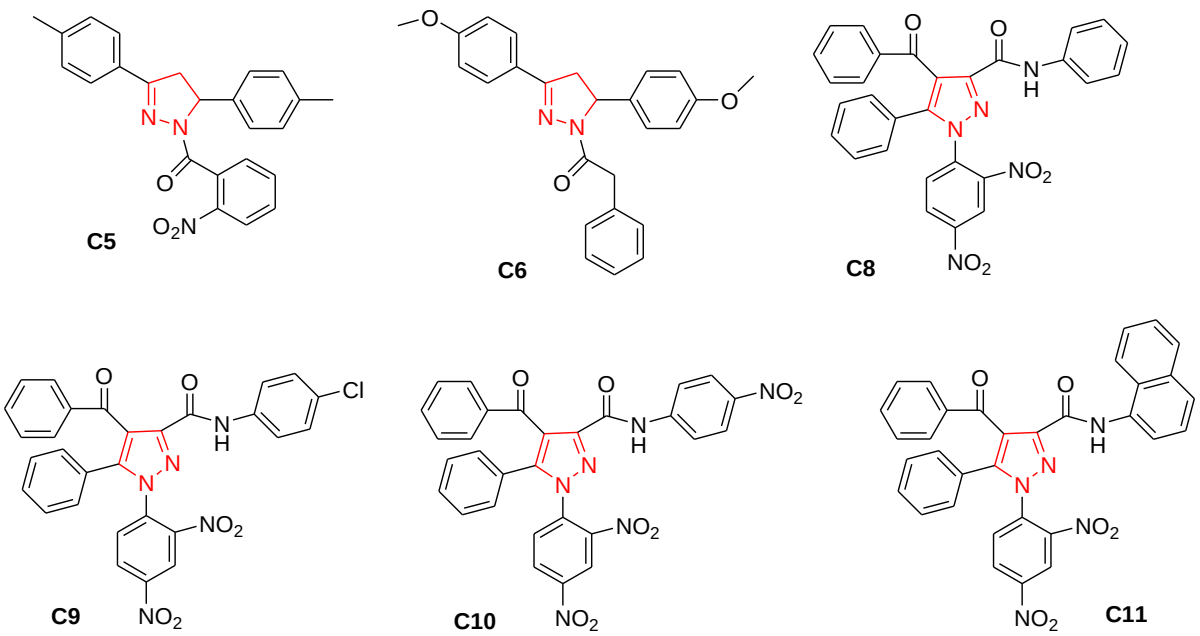
4-Benzoyl-N-(4-chlorophenyl)-1-(2,4-dinitrophenyl)-5-phenyl-1H-pyrazole-3-carboxamide (C9)

This known compound were synthesized from 0.1 g of **C7**, 0.027 g of *p*-chloro aniline in toluene for 4h. The precipitated product was crystallized in ethyl alcohol (Tınmaz et al., 2020).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Synthesized compounds

Six known heterocyclic compounds were synthesized in high yields, which are ranging from 62% to 85%. Using two chalcone derivatives (**C3** and **C4**), the compounds **C5**, **C6** were prepared, and the compounds **C8-C11** were synthesized from **C7** and different aryl amines in toluene (Scheme 2).



Scheme 2. The open structures of all the synthesized compounds.

In our previous study, the confirmation of all compounds was verified by ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR, IR, and elemental analysis (Tınmaz et al., 2020). When the FT-IR spectrum of compound **C5** was examined, aromatic C-H vibrations in the molecule appeared at 3068.06 and 3002.49 cm^{-1}. Aliphatic C-H peak of **C5** was seen at 2936.00 and 2836.36 cm^{-1}. On the other hand, C=O peak was obtained at 1631.72, 1652.90 cm^{-1} for **C5** and **C6**.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

According to the ^{1}H-NMR spectrum, peaks between 7.09-8.21 ppm represent aromatic ring protons in the structure, peaks at 5.73 ppm represent –CH, peaks at 3.83 and 3.23 ppm represent –CH_2 protons and peaks at 2.48 ppm represent –CH_3 protons of **C5**. In the ^{1}H NMR spectra of **C6**, proton peaks of belongs to -CH_2- was obtained at 4.16 ppm. Methyl protons (-CH_3) was obtained as singlet signal at 3.91 and 3.88 ppm for **C6**. Proton signal of -NH- were seen at 10.85, 9.12, 8.97 and 11.07 ppm for **C8-C11** (Tınmaz et al., 2020).

When the ^{13}C-NMR spectra were examined, peaks between 147.13 and 123.59 ppm represent aromatic carbons for **C5**. Carbonyl carbon peak was obtained at 164.13 and 168.90 ppm for **C5** and **C6**, respectively. On the other hand, the same carbon peak was observed at 192.39 and 159.39 ppm (for **C8**), 194.28 and 158.09 ppm (for **C9**), 191.64 and 159.12 ppm (for **C10**), 192.69 and 172.71 ppm (for **C11**). CH carbon peak in the pyrazole ring was seen at 60.56, 59.58 ppm for **C5**, and **C6**, respectively. Peak belonging to CH_2 carbon was obtained at 42.78 ppm for **C5**. Carbon peak in the -CH_3 group was found at 21.17 and 21.51 ppm for **C5**. As a result, all the obtained spectroscopic and analytic data confirm the structure of the synthesized compounds (**C5**, **C6**, **C8-C11**) (Tınmaz et al., 2020).

3.2. Theoretical calculations

Using the Spartan 10 program, the calculations of **C5**, **C6**, **C8-C11** were done with the Hartree-Fock method in 3.21 G basic set in ethanol. The HOMO and LUMO maps are given in Figures 1 and 2.

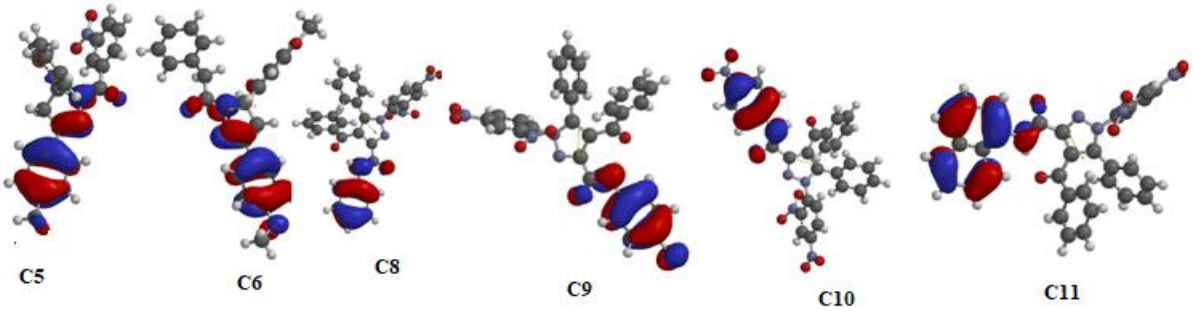


Figure 1. HOMO maps for **C5**, **C6**, **C8-C11**.

The calculation of HOMO for **C5** demonstrates that the surfaces were situated over the pyrazole nucleus, 3-(4-methylphenyl) and carbonyl of methanone (Figure 1). As can be shown in Figure 2, the LUMO surface for the same compound was settled over 1-(2-nitrophenyl) for **C5**.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

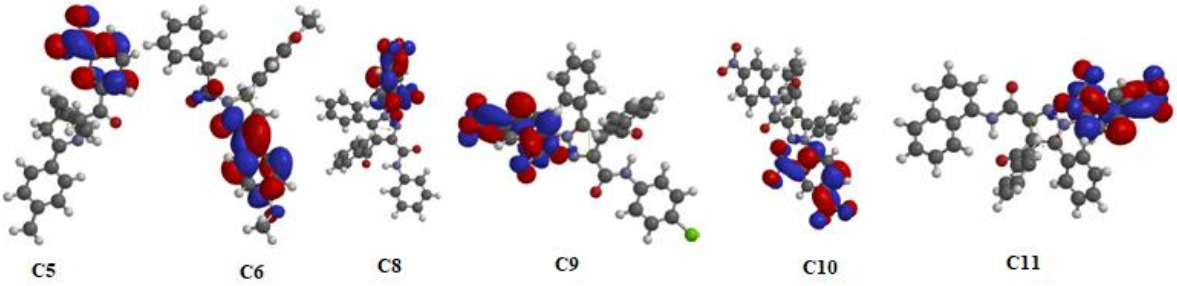


Figure 2. LUMO maps for **C5**, **C6**, **C8-C11**.

The HOMO and LUMO surfaces for **C6** were observed over 5-methoxy phenyl, pyrazole ring and carbonyl of 2-phenylethanone (Figures 1 and 2). The LUMO was seen settled on 1-(2,4-dinitrophenyl) for **C8**, **C9**, **C10**, and **C11**. The HOMO surface was seen over N-phenyl and 3-carboxyamide (for **C8)**, N-(4-chlorophenyl) and 3-carboxyamide (for **C9)**, N-(4-nitrophenyl) and 3-carboxyamide (for **C10)**, N-(naphthalen-1-yl) and 3-carboxyamide (for **C11)**. A few electronic properties of these compounds are given in Table 1.

Table 1. Electronic properties of **C5**, **C6**, **C8-C11**.

Compounds	E_{HOMO} (eV)	E_{LUMO} (eV)	Electronegativity (χ)	Hardness (η)
C5	-0.3082	0.0296	0.14	0.17
C6	-0.2965	0.1033	0.10	0.20
C8	-0.3096	0.0057	0.15	0.16
C9	-0.3125	0.0052	0.15	0.16
C10	-0.3354	0.0041	0.17	0.17
C11	-0.2823	0.0058	0.14	0.14

The energy difference between LUMO and HOMO is called an energy gap and calculated with the $\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO}$ equation. According to this equation, the energy gap was found as 0.3378, 0.3998, 0.3153, 0.3177, 0.3395 and 0.2881 eV for **C5**, **C6**, **C8-C11**, respectively.

4. CONCLUSIONS

In this study, six heterocyclic compounds were synthesized by the reactions of a pyrazole-3-carbonyl chloride compound with various aromatic amines and chalcones derivatives with

different hydrazides. The electronic properties of **C5**, **C6**, **C8-C11** were calculated using the Spartan 10 program.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by Süleyman Demirel University Scientific Research fund (TBY-2020-8053).

REFERENCES

Auffret, G., Labaied, M., Frappier, F., Rasoanaivo, P., Grellier, P., & Lewin, G. (2007). Synthesis and antimalarial evaluation of a series of piperazinyl flavones. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 17*(4), 959-963. doi:https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2006.11.051

Başaran, E., Çakmak, R., Sahin, D., Köprü, S., Türkmenoğlu, B., & Akkoc, S. (2025). Design, spectroscopic characterization, in silico and in vitro cytotoxic activity assessment of newly synthesized thymol Schiff base derivatives. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics, 43*(8), 4111-4124. doi:10.1080/07391102.2024.2301747

Cong, L., Dong, X., Wang, Y., Deng, Y., Li, B., & Dai, R. (2019). On the role of synthesized hydroxylated chalcones as dual functional amyloid-β aggregation and ferroptosis inhibitors for potential treatment of Alzheimer's disease. *European Journal of Medicinal Chemistry, 166*, 11-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.01.039

Goyal, K., & , R. K., Anju Goyal, Rajendra Awasthi. (2021). *Chalcones: A review on synthesis and pharmacological activities* (Vol. Volume: 11): lement 1.

Ilhan, I. O., Caglayan, A., Onal, Z., Akkoc, S., & Cadır, M. (2013). Reactions of Some Pyrazole-3-Carboxylic Acids and Carboxylic Acid Chlorides with Various O- and N- Nucleophiles. *Letters in Organic Chemistry, 10*(8), 602-610. doi:http://dx.doi.org/10.2174/15701786113109990025

Ilhan , I. O., Demirkol, K., Önal, Z., Akkoç, S., & Çadır, M. (2014). Functionalization Reactions of Various Pyrazole-3-carboxylic Acid Chlorides with Some Ureas. *Asian Journal of Chemistry, 26*(8), 2365-2368.

İlhan , İ. Ö., Çadir, M., Saracoglu, M., Kandemirli, F., Kökbudak, Z., & Akkoç, S. (2015). The Reactions and Quantum Chemical Calculations of Some Pyrazole-3- Carboxylic Acid Chlorides with Various Hydrazides. *Chemical Science Review and Letters, 4*(15), 838-850.

Lin, Y.-M., Zhou, Y., Flavin, M. T., Zhou, L.-M., Nie, W., & Chen, F.-C. (2002). Chalcones and flavonoids as anti-Tuberculosis agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry, 10*(8), 2795-2802. doi:https://doi.org/10.1016/S0968-0896(02)00094-9

Özdemir Güney, F., İlhan, İ. Ö., & Akkoç, S. (2019). Synthesis and characterization of new 4,5-dihydropyrazol-1-yl derivatives. *Synthetic Communications, 49*, 2417-2424. doi:10.1080/00397911.2019.1627457

Pinto, P., Machado, C. M., Moreira, J., Almeida, J. D. P., Silva, P. M. A., Henriques, A. C., . . . Cidade, H. (2019). Chalcone derivatives targeting mitosis: synthesis, evaluation of antitumor activity and lipophilicity. *European Journal of Medicinal Chemistry, 184*, 111752. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.111752

Polo, E., Ibarra-Arellano, N., Prent-Peñaloza, L., Morales-Bayuelo, A., Henao, J., Galdámez, A., & Gutiérrez, M. (2019). Ultrasound-assisted synthesis of novel chalcone, heterochalcone and bis-chalcone derivatives and the evaluation of their antioxidant properties and as acetylcholinesterase inhibitors. *Bioorganic Chemistry, 90*, 103034. doi:https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103034

Sharma, H., Patil, S., Sanchez, T. W., Neamati, N., Schinazi, R. F., & Buolamwini, J. K. (2011). Synthesis, biological evaluation and 3D-QSAR studies of 3-keto salicylic acid chalcones and related amides as novel HIV-1 integrase inhibitors. *Bioorganic & Medicinal Chemistry, 19*(6), 2030-2045. doi:https://doi.org/10.1016/j.bmc.2011.01.047

Sweety, Kumar, S., Nepali, K., Sapra, S., Suri, O. P., Dhar, K. L., . . . Saxena, A. K. (2010). Synthesis and Biological Evaluation of Chalcones having Heterosubstituent(s). *Indian J Pharm Sci, 72*(6), 801-806. doi:10.4103/0250-474x.84602

Tınmaz, F., İlhan, İ. Ö., & Akkoç, S. (2020). Preparation and Properties of Some New Pyrazole Derivatives. *Organic Preparations and Procedures International, 53*(1), 89-94. doi:10.1080/00304948.2020.1846449

ur Rashid, H., Xu, Y., Ahmad, N., Muhammad, Y., & Wang, L. (2019). Promising anti-inflammatory effects of chalcones via inhibition of cyclooxygenase, prostaglandin E2, inducible NO synthase and nuclear factor κb activities. *Bioorganic Chemistry, 87*, 335-365. doi:https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.03.033

Wattanasin, S., & Murphy, W. S. (1980). An Improved Procedure for the Preparation of Chalcones and Related Enones. *Synthesis, 1980(8)*, 647-650. doi:10.1055/s-1980-29155

Xu, M., Wu, P., Shen, F., Ji, J., & Rakesh, K. P. (2019). Chalcone derivatives and their antibacterial activities: Current development. *Bioorganic Chemistry, 91*, 103133. doi:https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103133

Yang, Y., Wu, X., Jia, J., Shen, L., Zhou, W., Yang, J., & Song, Y. (2020). Investigation of ultrafast optical nonlinearities in novel bis-chalcone derivatives. *Optics & Laser Technology, 123*, 105903. doi:https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.105903

Zhao, T.-Q., Zhao, Y.-D., Liu, X.-Y., Li, Z.-H., Wang, B., Zhang, X.-H., . . . Liu, H.-M. (2019). Novel 3-(2,6,9-trisubstituted-9H-purine)-8-chalcone derivatives as potent anti-gastric cancer agents: Design, synthesis and structural optimization. *European Journal of Medicinal Chemistry, 161*, 493-505. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2018.10.058

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

INVESTIGATION OF THE TOXIC EFFECT OF A COMPOUND CONTAINING BENZIMIDAZOLE CORE ON MOUSE FIBROBLAST CELL LINE

Prof. Dr., SENEM AKKOÇ [1]
[1] Suleyman Demirel University, Faculty of Pharmacy, senemakkoc@sdu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1260-9425

ABSTRACT

In this study, an organic compound containing a benzimidazole core was synthesized and its structure was confirmed using appropriate spectroscopic methods. *In vitro* cytotoxicity studies were performed on the L929 cell line of the synthesized compound. Accordingly, the toxic potential of the compound was evaluated by examining the effect of different concentrations on the viability of L929 cells.

Keywords: Benzimidazole, fibroblast cells, MTT.

1. INTRODUCTION

The benzimidazole core is a nitrogen-containing heterocyclic structure and holds an important place in pharmaceutical chemistry. Organic compounds containing this core are widely used in drug development studies. Benzimidazole derivatives have been shown in many studies like anticancer (Li et al., 2024; Linero-Artiaga et al., 2026), antimicrobial (Güven et al., 2026), antifungal (Huang et al., 2019), antiviral (Tonelli et al., 2014), anti-inflammatory (Bano et al., 2024), antioxidant (Rudrapal et al., 2025) and antiparasitic. Benzimidazole derivatives are an important area of research, especially in the development of new drug candidates for the treatment of cancer, infectious diseases and neurodegenerative diseases.

One of the most important goals in drug development is for candidate molecules to exhibit high therapeutic efficacy while causing minimal toxicity to healthy cells and tissues. For this reason, selectivity is a fundamental pharmacological property that refers to a drug's ability to affect only target cells or disease-related biological mechanisms, thereby causing as little harm as possible to normal cells. Selectivity is of particular importance in the development of anticancer drugs. When a compound that suppresses the uncontrolled proliferation of cancer cells also exhibits low cytotoxicity toward healthy cells, it enhances the effectiveness of treatment while significantly reducing the risk of side effects. Drugs with low selectivity, on the other hand, can damage healthy tissues as well, leading to serious adverse effects. For this reason, when evaluating new drug candidates, it is not sufficient to determine biological activity alone; their toxicity to healthy cells must also be investigated. To this end, cytotoxicity studies conducted on both cancer cells and normal cell lines, along with the resulting selectivity index (SI) values, are considered one of the most important parameters for determining the therapeutic potential

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

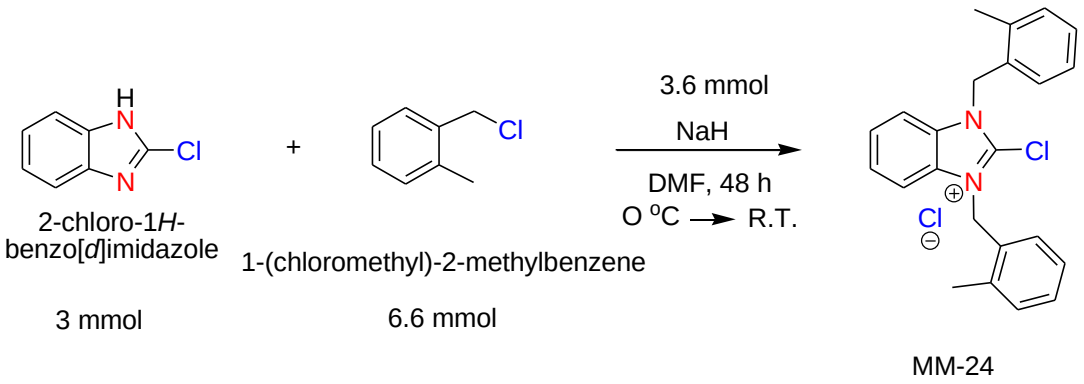
of candidate compounds. Compounds with a high selectivity index are considered top candidates in the development of safe and effective drugs because they exert a potent effect on target cells while largely sparing healthy cells.

In the present study, a benzimidazole-based compound, designated as MM24, was investigated to evaluate its potential biological activity. The synthesized compound was subjected to cytotoxicity assessment using the L929 healthy fibroblast cell line, and its effects on cell viability were examined at different concentrations. The cytotoxic profile of MM24 was further quantified by determining its IC_{50} value.

2. MATERYAL AND METHOD

2.1. Synthesis of a known benzimidazole salt

The benzimidazolium salt was synthesized following a previously reported procedure with appropriate modifications (Mavvaji, Zeyrek, & Akkoc, 2024). Initially, 2-chlorobenzimidazole (3.0 mmol) was dissolved in DMF (5 mL), and NaH (3.6 mmol) was introduced into the solution at 0 ^{o}C. The reaction mixture was stirred at this temperature for 1 h to facilitate deprotonation. 1-(Chloromethyl)-2-methylbenzene (6.6 mmol) was subsequently added, and stirring was continued at room temperature for 48 h. The progress of the reaction was periodically examined by thin-layer chromatography (TLC) using petroleum ether/ethyl acetate as the developing system. Stirring was continued until complete consumption of the starting 2-chlorobenzimidazole was confirmed. Upon completion, the reaction mixture was carefully quenched by the addition of cold water. The resulting solid material was collected by filtration and thoroughly rinsed with deionized water to afford the desired benzimidazolium salt (Scheme 1).



Scheme 1. Synthesis of a benzimidazole-based compound.

In vitro cytotoxic activity studies

The L929 cell line was purchased from the American Type Culture Collection (ATCC, USA). The cytotoxic activity studies were conducted on literatures (Akkoç, 2019; Dilek & Akkoc,

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2026; Mavvaji et al., 2024). Cells were cultured in EMEM supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS), and 1% glutamax. The cells were seeded into sterile 96-well plates at a density of 5 x 10^3 cells/well. After 24 h, The compound was tested 300, 150, 75, 37.5, 18.75 and 9.375 µM in the L929 cell line for 72 h. After this period was completed, 5 mg/mL of MTT stock solution was added to each well, and the plates were incubated for 2 h. The measure of absorbance values was done using the Promega plate reader device at 630 nm. IC_{50} values were calculated using GraphPad Prism software 5.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The Cytotoxic Effect of a Compound

The cytotoxic effect of the MM24 compound was evaluated using the healthy fibroblast cell line L929. According to the results, the IC_{50} value of the MM24 compound in L929 cells was determined to be 27.97 µM (Table 1). This result indicates that the antiproliferative effect of the compound on L929 cells is concentration-dependent (Figure 1).

Table 1. IC_{50} value in L929 cell line.

Compound	**IC_{50} (µM)**
MM24	27.97

Figure 1 shows the effect of different concentrations of the MM24 compound on the viability of L929 cells. Analysis of the data reveals a significant decrease in cell viability with increasing compound concentration. Specifically, the concentration-dependent change in cell viability at concentrations of 37.5, 75, 150, and 300 µg/mL indicates that the MM24 compound exerts a dose/concentration-dependent cytotoxic effect on L929 cells.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

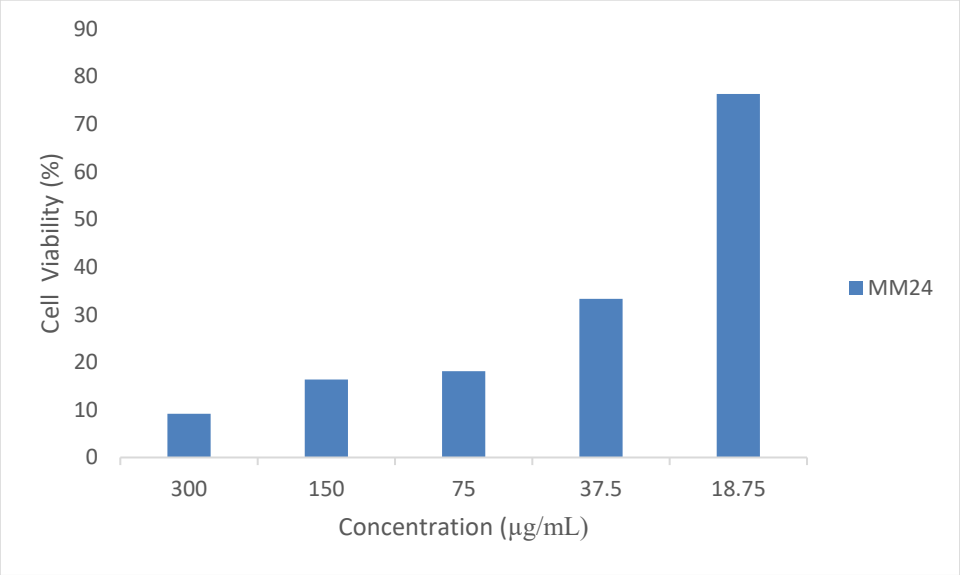


Figure 1. L929 cell viability ratio depending on concentrations of MM24 compound

4. CONCLUSIONS

As conclusion, the cytotoxic activity of the MM24 benzimidazole derivative was evaluated against the healthy L929 cell line. MM24 exhibited a concentration-dependent reduction in cell viability, with an IC_{50} value of 27.97 µM. These findings demonstrate that MM24 has measurable cytotoxic effects on L929 cells.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by Süleyman Demirel University Scientific Research fund (TBY-2020-8053).

REFERENCES

Akkoç, S. (2019). Derivatives of 1-(2-(Piperidin-1-yl)ethyl)-1H-benzo[d]imidazole: Synthesis, Characterization, Determining of Electronic Properties and Cytotoxicity Studies. *ChemistrySelect, 4*(17), 4938-4943. doi:https://doi.org/10.1002/slct.201900353

Bano, S., Nadeem, H., Zulfiqar, I., Shahzadi, T., Anwar, T., Bukhari, A., & Masaud, S. M. (2024). Synthesis and anti-inflammatory activity of benzimidazole derivatives; an in vitro, in vivo and in silico approach. *Heliyon, 10*(9), e30102. doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30102

Dilek, G., & Akkoc, S. (2026). Comprehensive Investigation of Benzimidazolium Derivatives Through Synthesis, Characterization, Cytotoxicity Activity, Immunocytochemistry, and ADME and Toxicity Analyses. *ChemistryOpen, 15*(9), e70284. doi:https://doi.org/10.1002/open.70284

Güven, Ö. Ö., Çapanlar, S., Öztürk, Ş., Alıcı, H., Erdoğan, T., & Hökelek, T. (2026). Synthesis, characterization and antimicrobial evaluation of benzimidazole substituted miconazole analogs: Experimental and computational insights. *Journal of Molecular Structure, 1369*, 146364. doi:https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2026.146364

Huang, D., Qiu, F., Zhang, Z., Shi, L., Cao, C., & Ke, S. (2019). Synthesis and Antifungal Activity of Substituted 2-Aryl Benzimidazoles Derivatives. *Journal of Heterocyclic Chemistry, 56*(9), 2494-2498. doi:https://doi.org/10.1002/jhet.3639

Li, S.-S., Chen, J.-J., Zhang, M.-M., Wang, W.-X., Zhang, W.-Y., & Ma, C. (2024). Design, synthesis, and biological evaluation of novel benzimidazole derivatives as anti-cervical cancer agents through PI3K/Akt/mTOR pathway and tubulin inhibition. *European Journal of Medicinal Chemistry, 271*, 116425. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2024.116425

Linero-Artiaga, A., Svitelova, M., Novohradský, V., Rodríguez, V., Markova, L., Kasparkova, J., . . . Brabec, V. (2026). Novel 2-(2'-Benzothiazolyl)-benzimidazole-Based Iridium(III) Photocatalysts Exhibit Antiproliferative Effects in 2D and 3D Cancer Cells to Bypass Hypoxia-Induced Resistance. *Journal of Medicinal Chemistry, 69*(6), 6991-7011. doi:https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5c03280

Mavvaji, M., Zeyrek, C. T., & Akkoc, S. (2024). Investigation of the cytotoxic activity, DFT calculation, and docking studies newly synthesized 1,3-disubstituted benzimidazolium chlorides on human liver cancer, lung cancer, and normal embryonic kidney cell lines. *Biochemical and Biophysical Research Communications, 741*, 151024. doi:https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.151024

Rudrapal, M., Mojammil, M., Farooque, A., Ansari, M., de Oliveira, A. M., & Khan, J. (2025). Synthesis, toxicity and antioxidant activity of phenolic benzimidazole derivatives: In vitro and in silico studies. *Chemical Physics Impact, 10*, 100875. doi:https://doi.org/10.1016/j.chphi.2025.100875

Tonelli, M., Novelli, F., Tasso, B., Vazzana, I., Sparatore, A., Boido, V., . . . Loddo, R. (2014). Antiviral activity of benzimidazole derivatives. III. Novel anti-CVB-5, anti-RSV and anti-Sb-1 agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry, 22*(17), 4893-4909. doi:https://doi.org/10.1016/j.bmc.2014.06.043

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

SALMONELLOSIS IN CALVES

Prof. Dr. BAŞAK HANEDAN[1], Prof. Dr. ALİ BİLGİLİ[2]

[1]Atatürk University Faculty of Veterinary Medicine, Department of Internal Medicine, Erzurum, Türkiye, fbhanedan@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3873-0124

[2]Ankara University Faculty of Veterinary Medicine, Department of Pharmacology and Toxicology, Ankara, Türkiye, abilgili61@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6819-7952

ABSTRACT

Salmonella is Gram-negative, facultative, rod-shaped bacilli belonging to the Enterobacteriaceae family. There are three species of *Salmonella*, which, based on differences in 16S rRNA sequence analysis, comprise *S. enterica*, *S. bongori* and *S. subterranean*. *S. enterica* species are divided into six groups. *S. enterica* subspecies *enterica* are the most commonly identified subspecies affecting humans and animals. According to the Kauffmann-White scheme, there are more than 2,700 serovars, serologically defined by antigenic variation in the O (lipopolysaccharide), H (flagellar) and Vi (capsular) antigens. The most commonly isolated serotypes from cattle are *S. montevideo*, *S. typhimurium*, *S. dublin*, *S. enteritidis*, *S. anatum*, *S. newport*, *S. cerro*, *S. kentucky* and *S. orion*. Primary transmission occurs via the oral route. Indirect transmission occurs via contaminated feed, water, pasture and vectors in the wild (small mammals and birds). Within the scope of this study, the epidemiology, pathogenesis, clinical signs, diagnosis, treatment, control and antimicrobial resistance of salmonellosis in calves were examined in detail. Scientific sources from recent years were examined in detail, providing comprehensive information on the most commonly used medicines in treatment.

Keywords: Calves, salmonellosis, treatment

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BUZAĞILARDA SALMONELLOZİS

ÖZET

Salmonella; *Enterobacteriaceae* ailesine ait Gram-negatif, fakültatif ve çubuk biçiminde basillerdir. *Salmonella*'nın 3 türü olup, bunlar 16S rRNA sekans analizlerinde farklılıklara göre *S. enterica, S. bongori, S. subterranean*'ı kapsamaktadır. *S. enterica* türleri 6 bölüme ayrılır. *S. enterica* subspecies *enterica* insan ve hayvan türlerini etkileyen en çok belirlenen alt türlerdir. Kauffmann-White şemasına göre O (lipopolisakkarit), H (flagella) ve Vi (kapsüler) antijenlerde antijenik varyasyonla serolojik olarak belirlenen 2700'den fazla serovar vardır. Sığırlardan, *S. montevideo, S. typhimurium, S. dublin, S. enteritidis, S. anatum, S. newport, S. cerro, S. kentucky, S. orion* en sık izole edilen serotiplerdir. Primer bulaşma ağız yoluyladır. Dolaylı bulaşma; bulaşık yem, su, mera, yaban hayatındaki vektörlerle (küçük memeliler ve kuşlar) meydana gelir. Bu çalışma kapsamında buzağılarda salmonellozisin epidemiyoloji, patogenez, klinik bulgular, tanı, sağaltım, kontrol, antibakteriyel direnç ayrıntılı şekilde ele alındı. Son yıllara ait bilimsel kaynaklar geniş şekilde irdelenerek sağaltımda en çok kullanılan ilaçlara yönelik olarak kapsamlı bilgiler verildi.

Anahtar sözcükler: Buzağı, salmonellozis, sağaltım

Etiyoloji

Salmonella; *Enterobacteriaceae* ailesine ait Gram-negatif, fakültatif ve çubuk biçiminde basillerdir. *Salmonella*'nın 3 türü olup, bunlar 16S rRNA sekans analizlerinde farklılıklara göre *S. enterica, S. bongori, S. subterranean*'ı kapsamaktadır (Robi ve ark., 2024). Sığırlarda salmonellozis çoğunlukla *S. enterica* serotypes *typhimurium* ve *S. dublin* tarafından oluşturulur (Costa ve ark., 2012). Sığırlardan, *S. montevideo, S. typhimurium, S. dublin, S. enteritidis, S. anatum, S. newport, S. cerro, S. kentucky, S. orion* en sık izole edilen serotiplerdir (Strawn ve ark., 2014; Tarazi ve ark., 2015; Alam ve ark., 2008; Brichta-Harhay ve ark., 2011). *S. typhimurium,* akut ishale, *S. dublin* ise sistemik hastalığa neden olur (Robi ve ark., 2024).

Bulaşma

Primer bulaşma ağız yoluyladır. Dolaylı bulaşma; bulaşık yem, su, mera, yaban hayatındaki vektörlerle (küçük memeliler ve kuşlar) meydana gelir (Robi ve ark., 2024). Evcil ve yabani hayvanlar *Salmonella* etkenlerini taşıyabilir. Kanatlı, domuz, sığır, yabani kuşlar, pet ve egzotik hayvanlar rezervuar haline gelmektedir. Köpek ve kedi gibi pet hayvanları ve reptil

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ve amfibi gibi egzotik hayvanların çevre ve ev ortamına *Salmonella'*yı saçarak patojeni nakletmede önemli rolü olabilir ve çevre aracılığıyla diğer hayvanları ve insanları enfekte edebilirler (Wei ve ark., 2020; Rosario ve ark., 2022). Kemirgenler ve kuşlar, çiftliklerde *Salmonella*'nın yayılmasında önemli rol oynar (Galan-Relano ve ark., 2023).

Epidemiyoloji

Salmonella, mezbahalarda sağlıklı sığırlardan sıklıkla izole edilmektedir (Bosilevac ve ark., 2009). Mezbaha örneklerinde *Salmonella* izolatlarının %11.4 oranında ortaya çıktığı, izolatların yaklaşık %6.52'sinin kasap dükkânlarından elde edildiği belirlenmiştir (Geresu ve Desta, 2021).

Patogenez

Salmonella enfeksiyonlarının patogenezinde çok sayıda virüslens faktörü rol oynar. Bu faktörler, organizmanın konağa yapışmasını ve çoğalmasını kolaylaştırır, konak hücresine invaze olur, makrofajlarda çoğalır ve yaşar ve toksinleri sekre eder. Kapsül, flagella, fimbria, adezinler, invazinler, hemaglütininler, ekzotoksinler ve endotoksinleri vardır (Kuria, 2023).

Klinik Bulgular

Yüksek ateş ve ishal buzağılarda klinik salmonellozisin önemli bulgularındandır (Peek ve ark., 2018). 30 günlükten küçük yaştaki buzağıların dışkılarında kanın varlığı sıklıkla *Salmonella* enfeksiyonuna bağlı olarak meydana gelir (Sedky ve ark., 2025). Bazı buzağılarda eklem yangısı, beyin-omurilik zarının yangısı ve pnömoni bulguları görülebilir. 2 haftalık ve 2 aylık yaşlardaki buzağılar yaygın şekilde hastalıktan etkilenmekle birlikte herhangi bir yaşta da hastalık gelişebilir. Yeni doğan buzağıların ölüm riskleri daha yüksektir çünkü septisemi ve sıvı kayıpları şiddetli dehidrasyon ve elektrolit dengesizliklerine neden olur (Peek ve ark., 2018).

Tanı

Dışkı ve bağırsak örneklerinden bakteriyel patojenleri izole etmek için bakteriyel kültür önemli laboratuvar tekniğidir. Tetratiyonat gibi seçici brotlar, *Salmonella* patojenini izole etmek için kullanılır. Moleküler esaslı PCR analizleri kullanılır (Sedky ve ark., 2025). Multipleks floresan kantitatif PCR saptama metodunun buzağı dışkı örneklerinde *Salmonella* etkenlerini yüksek özgüllük ve duyarlılıkla saptadığı bildirilmektedir (Niu ve ark., 2026).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Sağaltım

Klinik salmonellozisin sağaltımı için antimikrobiyallerin kullanılması tartışmalıdır. Bu sağaltım yaklaşımıyla ilgili sorunlar *Salmonella* taşıyıcı hayvanların oluşması riski ve antimikrobiyal dirençlilik durumudur. İnsan hekimliğinde *Salmonella* ile invaziv enfeksiyon yaygın şekilde görülmez ve antimikrobiyal sağaltım desteklenmemektedir. Ancak akut bağırsak yangısı olan sığırlarda bakteriyemi sıklıkla gelişir. Septisemi; buzağılarda klinik salmonellozisin bir özelliğidir. İnsanlarda ve hayvanlarda akut ve kronik bağırsak yangısının klinik iyileşmesinden sonraki süreyi uzatabileceği yönünde bilgiler de vardır. Antimikrobiyallerin kullanılması hastalığın yayılmasına katkı sağlayabilir. Başka bir sorun ilaca dirençli suşların ortaya çıkmasıdır. Temasta olan hayvanlarda kitlesel ilaç kullanılması ve profilaktik sağaltımlar genellikle dirençli suşların ortaya çıkmasıyla sonuçlanmıştır. Antimikrobiyal sağaltımın, mümkünse antimikrobiyal duyarlılık testine göre uygulanması gerekir. Salmonellalar; fakültatif hücre içi patojenler oldukları için antibiyotiğin hücre içi yoğunluğunun yeterli düzeyde olması önemlidir (Constable ve ark., 2017).

Yeni doğan buzağılarda deneysel salmonellozisin sağaltımı için seftiofurun yüksek dozda sağaltıcı etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, 36 buzağı *S. enterica* serovar *typhimurium* (6.5×10^8 koloni oluşturan birim) ile enfekte edilmiş, 6 buzağı enfekte edilmeden ve ilaç sağaltımı almadan kontrol olarak ayrılmış, *Salmonella* enfeksiyonundan 4 gün sonra hayatta kalan buzağılara seftiofur (5 mg/kg, kas içi, 24 saatte 1 kez) uygulanmış, ayrıca sağaltım uygulanmayan kontrol olarak bir grup buzağı ayrılmış, sağaltım alan buzağılara günlük ve 5 gün boyunca ilaç uygulanmış, seftiofur sağaltımı buzağıların vücut sıcaklığını ve ishalini önemli düzeyde azaltmış, sağaltım almayanlara kıyasla sağaltım alan buzağılarda *Salmonella* organizmalarının saçılımında önemli düzeyde azalma belirlendiği bildirilmiştir (Fecteau ve ark., 2003).

Endotoksinle ilgili klinik bulguları hafifletmek ve ağrıyı kontrol altına almak için steroit türevi olmayan yangı giderici ilaçlar tavsiye edilir (Constable ve ark., 2017).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Kontrol

Enfeksiyonun sürüye girişini engelleme

Hayvanların menşei bilinen bir çiftlikten alınması, çiftliğin salmonellozisten ari olması, aşılı sürülerden hayvan alınması, 6 haftalıktan büyük hayvanların alınması, taşıyıcı olmayan hayvanların alınması ve dışkı örneklerinin 3 kez analizinin yapılması şeklindedir (Constable ve ark., 2017).

Sürü içinde yayılmasını önleme

Taşıyıcı hayvanlar belirlenir, taşıyıcı hayvanlar sürüden çıkarılır ya da izole edilir ve sağaltılır. Sağaltım alan hayvanların arınma durumunu belirlemek için tekrar örneklenmesi gerekir. Antimikrobiyallerin profilaktik kullanılması, dirençli suşların gelişmesinden dolayı tavsiye edilmez. Hayvan hareketleri çiftlikle sınırlandırılır. İçme suları enfeksiyon kaynağı olabilir. Bakım yerlerinin dezenfeksiyonu yapılır (Constable ve ark., 2017).

Aşılama

Aşılamadan sonra direnç artışı; T hücreleri, sitokinler (örneğin IFN-γ, TNF, IL-2) ve opsonizan antikorları gerektirir. Canlı organizmalar, anti-LPS antikorlarını ve hücresel bağışıklığı daha iyi uyarabilir. Aşılı buzağılar humoral ve hücresel aracılı bağışıklıkta artışlara yanıt vermiştir. Birleşik Krallık'ta üretilen aşı suşu 51'in etkili ve güvenli olduğu bulunmuştur. Formalinle öldürülmüş *S. typhimurium* aşısıyla gebe sığırların doğumdan 7 ve 2 hafta önce aşılanması buzağıları deneysel enfeksiyona karşı korumuştur (Constable ve ark., 2017).

Kaynaklar

Alam, M. J., Renter, D. G., Ives, S. E., Thomson, D. U., Sanderson, M. W., Hollis, L. C., & Nagaraja, T. G. (2008). Potential associations between fecal shedding of *Salmonella* in feedlot cattle treated for apparent respiratory disease and subsequent adverse health outcomes. *Veterinary Research*, *40*(1), 02.

Bosilevac, J. M., Arthur, T. M., Bono, J. L., Brichta-Harhay, D. M., Kalchayanand, N., King, D. A., ... & Koohmaraie, M. (2009). Prevalence and enumeration of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* in US abattoirs that process fewer than 1,000 head of cattle per day. *Journal of Food Protection*, *72*(6), 1272-1278.

Brichta-Harhay, D. M., Arthur, T. M., Bosilevac, J. M., Kalchayanand, N., Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (2011). Diversity of multidrug-resistant *Salmonella enterica* strains associated with cattle at harvest in the United States. *Applied and Environmental Microbiology*, *77*(5), 1783-1796.

Constable, P.D., Hinchcliff, K.W., Done, S.H. and Grunberg, W. (2017). Salmonellosis in ruminants and horses. Veterinary Medicine. A Textbook of the Diseases of Cattle, Horse, Sheep, Pigs and Goats. 11th Edition, Saunders Elsevier, Missouri, pp. 357-373.

Costa, L. F., Paixão, T. A., Tsolis, R. M., Bäumler, A. J., & Santos, R. L. (2012). Salmonellosis in cattle: advantages of being an experimental model. *Research in Veterinary Science*, *93*(1), 1-6.

Fecteau, M. E., House, J. K., Kotarski, S. F., Tankersley, N. S., Ontiveros, M. M., Alcantar, C. R., & Smith, B. P. (2003). Efficacy of ceftiofur for treatment of experimental salmonellosis in neonatal calves. *American Journal of Veterinary Research*, *64*(7), 918-925.

Galán-Relaño, Á., Valero Díaz, A., Huerta Lorenzo, B., Gómez-Gascón, L., Mena Rodríguez, M. [a]. Á., Carrasco Jiménez, E., ... & Astorga Márquez, R. J. (2023). *Salmonella* and salmonellosis: an update on public health implications and control strategies. *Animals*, *13*(23), 3666.

Geresu, M. A., & Desta, W. Z. (2021). Carriage, risk factors, and antimicrobial resistance patterns of *Salmonella* isolates from raw beef in Jimma, Southwestern Ethiopia. *Infection and Drug Resistance*, 2349-2360.

Kuria, J. K. (2023). Chapter. Salmonellosis in food and companion animals and its public health importance. In *Salmonella-perspectives for low-cost prevention, control and treatment*. IntechOpen, doi: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.109324.

Niu, Z., Nie, L., Yan, J., Xu, X., Hou, X., Huang, Y., ... & Tong, D. (2026). Establishment and application of six-plex fluorescent quantitative PCR assay for the detection of calf diarrhea pathogens. *Journal of Virological Methods*, 115323.

Peek, S. F., McGuirk, S. M., Sweeney, R. W., Cummings, K. J. (2018). Chapter 6. Infectious diseases of the gastrointestinal tract. In: Peek, S. F., Divers, T. J. (eds.), Rebhun's Diseases of Dairy Cattle, third edition, Elsevier, pp. 270-277.

Robi, D. T., Mossie, T., & Temteme, S. (2024). A comprehensive review of the common bacterial infections in dairy calves and advanced strategies for health management. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 1-14.

Rosario, I., Calcines, M. I., Rodríguez-Ponce, E., Déniz, S., Real, F., Vega, S., ... & Acosta-Hernández, B. (2022). *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serotypes isolated for the first time in feral cats: The impact on public health. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, *84*, 101792.

Sedky, D., Ghazy, A. A., & Abou-Zeina, H. A. (2025). Advances in diagnosis of diseases causing diarrhea in newborn calves. *Veterinary Research Communications*, *49*(5), 293.

Strawn, L. K., Danyluk, M. D., Worobo, R. W., & Wiedmann, M. (2014). Distributions of Salmonella subtypes differ between two US produce-growing regions. *Applied and environmental microbiology*, *80*(13), 3982-3991.

Tarazi, Y. H., & Abo-Shehada, M. N. (2015). Herd-and individual-level prevalences of and risk factors for *Salmonella* spp. fecal shedding in dairy farms in Al-Dhulail Valley, Jordan. *Tropical Animal Health and Production*, *47*(7), 1241-1248.

Wei, L., Yang, C., Shao, W., Sun, T., Wang, J., Zhou, Z., ... & Pan, Z. (2020). Prevalence and drug resistance of *Salmonella* in dogs and cats in Xuzhou, China. *Journal of Veterinary Research*, *64*(2), 263.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES

Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Beridze, Lasha Kapanadze
Faculty of Civil Engineering, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research develops high-strength geopolymer concretes utilizing abundant Georgian volcanic ash deposits from the Javakheti Plateau creating earthquake-resistant construction materials without Portland cement. Calcined obsidian and rhyolitic tuffs provide excellent reactive aluminosilicate precursors achieving compressive strengths exceeding conventional concrete through optimized alkali activation chemistry. Comprehensive materials characterization confirms dense three-dimensional gel networks responsible for exceptional durability under aggressive sulfate and chloride exposures characteristic of Black Sea coastal environments. Seismic performance testing demonstrates superior energy dissipation capacity and deformation compatibility crucial for structures located along active Caucasian fault systems. Long-term durability studies confirm dimensional stability and minimal strength regression under combined mechanical loading and environmental exposure. Economic analysis reveals substantial savings through elimination of cement import costs alongside utilization of local industrial byproducts. Local production protocols leverage existing concrete plants requiring minimal equipment modification enabling rapid market penetration. The research systematically addresses Georgia's specific seismic hazards including near-field effects, long-period ground motions, and soft soil amplification prevalent in Tbilisi basin. Structural design guidelines incorporate geopolymer time-dependent properties ensuring code-compliant performance. Strategic demonstration projects including school reconstructions showcase performance under actual seismic loading while building contractor confidence. Life-cycle assessment confirms dramatic reduction in embodied carbon essential for Georgia's net-zero construction targets. Technology transfer partnerships create skilled employment while supporting national reconstruction programs. Research establishes comprehensive framework transforming volcanic waste into strategic construction material enhancing national resilience against recurrent earthquake threats while advancing circular economy principles through indigenous resource engineering innovation.

Keywords: geopolymer concrete, volcanic ash, earthquake resistance, sustainable construction, alkali activation

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL

Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili, Irakli Lomidze, Dr. Tamar Chikhradze
Department of Textile and Fiber Engineering, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research develops shape memory polymer composites integrated into smart textiles providing adaptive thermal regulation for Georgia's severe continental winter climate. Thermomechanical programming enables fabrics to memorize temporary configurations activated through body heat providing on-demand insulation adjustment. Multi-responsive formulations combine thermal, moisture, and mechanical stimuli creating truly adaptive apparel systems responding to environmental changes and user activity. Comprehensive materials characterization confirms excellent shape fixity and recovery ratios alongside sufficient mechanical properties for structural apparel applications. Durability testing demonstrates performance retention after repeated launderings and environmental exposures characteristic of high mountain regions. Functional prototypes include jackets automatically tightening at chest level during wind exposure and gloves providing adjustable grip enhancement through programmed surface texturing. Integration with wearable electronics enables remote activation and performance monitoring expanding application possibilities. Economic analysis confirms competitive pricing against down-filled alternatives while providing superior comfort and functionality. Local production leverages Georgia's established textile industry requiring minimal capital investment for market disruption. The research addresses specific Caucasian climate challenges including rapid temperature swings, high humidity during thaws, and prolonged sub-zero exposure. User trials among Svaneti mountain communities validate practical performance under extreme conditions while informing iterative design improvements. Intellectual property protection secures commercial exploitation pathways alongside technology licensing opportunities. Strategic partnerships with Georgian apparel manufacturers facilitate industrial scale-up. Research establishes comprehensive framework advancing smart textiles from laboratory curiosity toward practical winter protection revolutionizing cold weather apparel through materials innovation tailored to regional environmental challenges and cultural requirements.

Keywords: shape memory polymers, smart textiles, adaptive apparel, thermal regulation, winter clothing

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

A MULTI-TARGETED HERBAL AGENT IN METABOLIC DISEASES: MOMORDICA CHARANTIA L.

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK
Gaziantep University, drhulyacicek@hotmail.com, ORCID ID:0000-0002-1065-1582

ABSTRACT

Momordica charantia L. (bitter melon), a member of the Cucurbitaceae family, is an annual or perennial vine that grows widely in tropical and subtropical regions. Used for centuries in ethnomedical practices—particularly in Traditional Chinese Medicine and Ayurveda—to treat diabetes, skin diseases, liver disorders, and gastrointestinal problems, M. charantia has become one of the focal points of modern pharmacology and phytochemistry.

The plant's therapeutic efficacy is based on its rich and unique phytochemical profile. Its primary bioactive compounds include cucurbitane-type triterpenoids (momordicosides, karavilosides, kuguasins, goyaglycosides), charantin—a mixture of steroidal glycosides—and a 166-amino-acid polypeptide-p (plant insulin) that mimics human insulin structurally and functionally. In addition, the plant is rich in phenolic and flavonoid compounds such as gallic acid, catechin, and chlorogenic acid, as well as vitamin C, carotenoids, and essential minerals.

In addition to its antidiabetic properties, M. charantia exhibits potent antioxidant and anti-inflammatory effects by scavenging reactive oxygen species and inhibiting the NF-κB pathway. It combats hyperlipidemia and obesity by inhibiting adipocyte differentiation. Thanks to the ribosome-inactivating proteins it contains (MAP30, momorcharins), it exhibits anticancer activity by halting protein synthesis in tumor cells and inducing apoptosis. It also has broad-spectrum antimicrobial and anti-HIV effects.

Although clinical studies show that M. charantia administration results in significant reductions in fasting blood glucose and HbA1c levels, the lack of standardization among preparations leads to variability in results. New nanodelivery systems, such as PLGA nanoparticles, liposomes, and SEDDS, are being developed to increase the low hydrophobic solubility and oral bioavailability of bioactive compounds. In conclusion, M. charantia is a multi-targeted plant source with high potential for the treatment of metabolic diseases that should be introduced to the medical community through standardization and advanced clinical studies.

Keywords: Momordica charantia, Cucurbitan Triterpenoids, AMPK Activation, Charantin

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

METABOLİK HASTALIKLARDA ÇOK AMAÇLI BİR BİTKİSEL AJAN: MOMORDICA CHARANTIA L.

ÖZET

Cucurbitaceae familyasına ait Momordica charantia L. (acı kavun), tropikal ve subtropikal bölgelerde yaygın olarak yetişen yıllık veya çok yıllık bir sarmaşıktır. Yüzyıllardır etnomedikal uygulamalarda—özellikle Geleneksel Çin Tıbbı ve Ayurveda'da—diyabet, cilt hastalıkları, karaciğer rahatsızlıkları ve gastrointestinal sorunların tedavisinde kullanılan M. charantia, modern farmakoloji ve fitokimyanın odak noktalarından biri haline gelmiştir.

Bitkinin terapötik etkinliği, zengin ve benzersiz fitokimyasal profiline dayanmaktadır. Başlıca biyoaktif bileşikleri arasında kükürbitan tipi triterpenoidler (momordikosidler, karavilosidler, kuguasinler, goyaglikozidler), steroid glikozitlerin bir karışımı olan charantin ve yapısal ve işlevsel olarak insan insülinini taklit eden 166 amino asitli bir polipeptit-p (bitki insülini) bulunur. Ayrıca bitki, gallik asit, kateşin ve klorojenik asit gibi fenolik ve flavonoid bileşiklerin yanı sıra C vitamini, karotenoidler ve temel mineraller açısından da zengindir.

Antidiyabetik özelliklerine ek olarak, M. charantia, reaktif oksijen türlerini temizleyerek ve NF-κB yolunu inhibe ederek güçlü antioksidan ve antiinflamatuar etkiler gösterir. Yağ hücresi farklılaşmasını inhibe ederek hiperlipidemi ve obeziteyle mücadele eder. İçerdiği ribozom inaktive edici proteinler (MAP30, momorcharinler) sayesinde, tümör hücrelerinde protein sentezini durdurarak ve apoptozu indükleyerek antikanser aktivite gösterir. Ayrıca geniş spektrumlu antimikrobiyal ve anti-HIV etkileri de vardır.

Klinik çalışmalar M. charantia uygulamasının açlık kan şekeri ve HbA1c seviyelerinde önemli düşüşlere yol açtığını gösterse de, preparatlar arasındaki standardizasyon eksikliği sonuçlarda değişkenliğe neden olmaktadır. Biyoaktif bileşiklerin düşük hidrofobik çözünürlüğünü ve oral biyoyararlanımını artırmak için PLGA nanopartikülleri, lipozomlar ve SEDDS gibi yeni nanotaşıma sistemleri geliştirilmektedir. Sonuç olarak, M. charantia, standardizasyon ve ileri klinik çalışmalar yoluyla tıp camiasına tanıtılması gereken, metabolik hastalıkların tedavisinde yüksek potansiyele sahip çok hedefli bir bitki kaynağıdır.

Anahtar Kelimeler: Momordica charantia, Cucurbitan Triterpenoidler, AMPK Aktivasyonu, Charantin

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. GİRİŞ

Momordica charantia L., Cucurbitales takımına, Cucurbitaceae familyasına ve Momordica cinsine ait bir bitkidir. Bu cins, tropikal Afrika, Asya ve Avustralya'da yaygın olan yaklaşık 40 tür içermektedir [1]. Tek evcikli, filizli, tek yıllık veya çok yıllık bir sarmaşık olan M. charantia, 2 ila 5 metre uzunluğa ulaşır [1, 2]. Bitki, 3 ila 7 loblu, avuç içi şeklinde bölünmüş yapraklar, tek başına bulunan sarı erkek ve dişi çiçekler ile belirgin siğilli veya çakıllı bir dış yüzeye sahip dikdörtgen veya elips şeklinde meyveler üretir [2]. Meyve olgunlaştıkça rengi koyu yeşilden parlak turuncu-sarıya döner ve sonunda yarılarak parlak kırmızı arillerle kaplı tohumları ortaya çıkarır [1, 3].

Etnomedikal açıdan, M. charantia yüzyıllardır Asya, Afrika, Güney Amerika ve Karayipler'de kullanılmaktadır [2, 3]. Geleneksel Çin tıbbında, bu bitki ateşi düşüren ve toksisiteyi hafifleten "acı ve soğuk" bir bitki olarak sınıflandırılır [3]. Ayurveda tıbbında Karela olarak bilinen bu bitki, diabetes mellitus, cilt hastalıkları, karaciğer rahatsızlıkları ve gastrointestinal helmintiyazis için reçete edilir [4]. Modern preparatlar arasında taze meyve suyu, sulu/etanolik özler, kurutulmuş meyve tozları ve dünya çapında pazarlanan standartlaştırılmış besin takviyeleri yer almaktadır [5, 6].

2. FİTOKİMYASAL BİLEŞİM VE BİYOAKTİF PROFİL

2.1 Cucurbitan Tipi Triterpenoidler

Cucurbitan triterpenoidler, M. charantia'nın başlıca karakteristik bileşikleridir [7-9]. Bu bileşikler, 19(10→9β)-abeo-10α-lanostan iskeletine sahiptir ve aglikonlar (cucurbitasinler) ile glikozitler (momordikosidler) olarak sınıflandırılır [7, 9].

• Momordikosidler (A–S): Güçlü kan şekeri düşürücü özellikler gösteren, yüksek oranda oksijenlenmiş triterpen glikozitlerdir [7, 10].

• Karavilosidler ve Kuguasinler: Hücre modellerinde AMPK'yi aktive eden, meyvelerden ve asmalardan ekstrakte edilen monomer ve dimer triterpenlerdir [8, 11].

• Goyaglikozitler ve Charantageninler: Hem acı tat algısından hem de metabolik enzim modülasyonundan sorumlu spesifik aglikonlardır [9, 12].

2.2 Charantin

İlk olarak Lotlikar ve Rao (1966) tarafından izole edilen charantin, eşit oranlarda β-sitosterol glukozit (C35H60O6) ve 5,25-stigmasterol glukozit (C35H58O6) içeren bir steroidal glikozit karışımıdır. Charantin, hayvan modellerinde standart oral antidiyabetik ajanlara kıyasla eşdeğer veya daha üstün hipoglisemik aktivite sergilemektedir [13, 14].

2.3 Polipeptit-p (Bitkisel İnsülin)

Khanna ve meslektaşları (1981) tarafından keşfedilen polipeptit-p, meyvelerden, tohumlardan ve doku kültürlerinden izole edilen 166 amino asit kalıntısından oluşan bir polipeptittir. Yaklaşık 11 kDa moleküler ağırlığa sahip olan bu madde, yapısal ve işlevsel olarak insan insülinini taklit eder ve parenteral olarak veya korunan mukozal yollardan uygulandığında kan glikozunu düşürür [15, 16].

2.4 Fenolikler, Flavonoidler ve Temel Besin Maddeleri

M. charantia, gallik asit, tanik asit, kateşin, epikateşin, klorojenik asit, kafeik asit ve p-kumarik asit gibi besinsel antioksidanların zengin bir kaynağıdır [17, 18]. Ayrıca yüksek düzeyde

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

askorbik asit (C vitamini), karotenoidler (β-karoten, lutein, zeaksantin) ve temel mineraller (demir, çinko, kalsiyum, magnezyum) içerir [1, 18].

3. MOLEKÜLER ANTİDİYABETİK MEKANİZMALAR VE METABOLİK DÜZENLEME

M. charantia'nın antidiyabetik etkisi, iskelet kası, yağ dokusu, karaciğer, bağırsak enterositleri ve pankreas adacıkları genelinde çok sayıda hücresel hedef noktayı içerir [19-23].

3.1 AMPK Aktivasyonu ve Hücresel Enerji Homeostazı

AMP ile aktive olan protein kinaz (AMPK), metabolizmanın başlıca düzenleyicisidir. M. charantia'dan izole edilen cucurbitan triterpenoidler ve momordikosidler, iskelet kası ve karaciğer dokusunda AMPK'yi Thr172 kalıntısında doğrudan fosforile eder [19].

AMPK aktivasyonu, lipit oksidasyonunu hızlandırır, asetil-CoA karboksilazı (ACC) inhibe eder ve sterol düzenleyici eleman bağlayıcı protein 1c'yi (SREBP-1c) baskılar; böylece karaciğer steatozunu ve periferik insülin direncini hafifletir [19].

3.2 GLUT4 Translokasyonu ve Periferik Glikoz Alımı

İnsülin direnci, glikoz taşıyıcısı tip 4'ün (GLUT4) hücre içi depo veziküllerinden plazma zarına doğru translokasyonundaki bozuklukla karakterize edilir. M. charantia özleri, hem PI3K/Akt yolunu hem de AMPK-p38 MAPK kaskadını aktive ederek, bazal insülin düzeylerinden bağımsız olarak GLUT4'ün zara yerleşmesini tetikler [20, 24]. Bu, iskelet kası ve yağ dokusunda periferik glikoz temizlenmesini yeniden sağlar [20].

3.3 Bağırsak α-Glukozidaz ve Disakkaridaz İnhibisyonu

M. charantia özütleri bağırsak lümeninde karbonhidrat sindirimini yavaşlatır. Saponinler ve fenolik bileşikler gibi fitokimyasallar, bağırsaktaki α-glukozidaz, sukraz ve maltazı kompetitif olarak inhibe eder [21, 25]. Bu, yemek sonrası glikoz artışını bastırarak pankreas β-hücrelerinin iş yükünü azaltır.

3.4 Karaciğer Enzimlerinin Modülasyonu ve Glukoneogenez Bastırılması

Karaciğerde M. charantia, glukoneogenezin anahtar enzimlerini aşağı doğru düzenler:

- Glikoz-6-fosfataz (G6Pase) [23, 26].
- Fosfoenolpiruvat karboksikinaz (PEPCK) [23, 26].
- Fruktoz-1,6-bisfosfataz [26].

Aynı zamanda, glukokinaz (GK) ve glikojen sentazın ekspresyonunu artırarak glikozun karaciğer glikojen depolarına dönüşümünü artırır ve aşırı karaciğer glikoz üretimini azaltır [23, 26].

3.5 Pankreas Adacıklarının Korunması ve Sekretagog Etkisi

Streptozotosin (STZ) ile indüklenen diyabetik modellerde yapılan histolojik çalışmalar, M. charantia uygulamasının pankreas β-hücrelerinin iyileşmesini ve hipertrofisini desteklediğini göstermektedir [22, 28]. Biyoaktif fraksiyonlar, β-hücrelerdeki voltaj kapılı kalsiyum kanalları yoluyla Ca2+ akışını uyararak glikoza bağlı insülin salgılanmasını tetiklerken, oksidatif stresin neden olduğu apoptoza karşı koruma sağlar [22, 27].

4. GENİŞ SPEKTRUMLU FARMAKOLOJİK ÖZELLİKLER

4.1 Antioksidan ve Antiinflamatuar Etkiler

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Zengin polifenol, askorbik asit ve flavonoid konsantrasyonları M. charantia'nın hidroksil radikalleri ve süperoksit anyonları gibi reaktif oksijen türlerini (ROS) temizlemesini sağlar [17, 18]. Hücresel düzeyde, M. charantia, NF-κB sinyal eksenini inhibe ederek proinflamatuar sitokinlerin downregülasyonuna yol açar. Bu anti-inflamatuar etki, vasküler endotel hücrelerini, böbrek glomerüllerini ve periferik sinir dokularını diyabetik mikrovasküler komplikasyonlardan korur [17, 28, 29].

4.2 Hipolipidemik ve Obeziteyle Mücadele Etkileri

M. charantia, plazma trigliseridlerini, total kolesterolü ve düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterolünü (LDL-C) düşürürken, yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterolünü (HDL-C) artırarak lipit metabolizmasını düzenler. Cucurbitan bileşikleri, peroksizom proliferatör ile aktive olan gama reseptörü (PPARγ) ve PPARα'yı upregüle ederek, pre-adiposit farklılaşmasını engeller ve viseral yağ dokusunda yağ birikimini bastırır [30, 31].

4.3 Antikanser ve Antiproliferatif Aktivite

Ekstraktlar ve saflaştırılmış bileşikler (örn. α-momorcharin, β-momorcharin ve MAP30), meme, prostat, kolon, akciğer ve karaciğer karsinomları dahil olmak üzere kanser hücre hatlarına karşı seçici sitotoksisite gösterir [18, 32].

• Ribozom İnaktive Edici Proteinler (RIP'ler): MAP30 ve momorcharinler, ökaryotik 28S ribozomal RNA'yı depurinize ederek tümör hücrelerinde protein sentezini durdurur [33, 39].

• Apoptoz İndüksiyonu: M. charantia, G0/G1 veya G2/M fazında hücre döngüsünün durmasını indükler, Bcl-2'yi aşağı regüle eder ve Bax ile Kaspaz-3/9 aktivitesini upregüle eder [32, 33].

4.4 Antimikrobiyal ve Antiviral Aktivite

Yaprak ve meyve özleri, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa ve Helicobacter pylori dahil olmak üzere Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı geniş spektrumlu antimikrobiyal aktivite sergilemektedir [36, 37]. Ayrıca, MAP30 (Momordica Anti-HIV Proteini 30 kDa), viral entegrasyonu ve ters transkriptaz aktivitesini engelleyerek İnsan İmmün Yetmezlik Virüsü Tip 1 (HIV-1) enfeksiyonunu inhibe eder [35, 38].

5. TOKSİSİTE, GÜVENLİK PROFİLİ VE İLAÇ ETKİLEŞİMLERİ

M. charantia, besin amaçlı bir sebze olarak güvenli olsa da, yüksek dozda farmakolojik uygulama durumunda toksikolojik ve etkileşim parametreleri açısından dikkatli olunması gerekmektedir [5, 39]:

1. Üreme ve Doğurganlığı Azaltıcı Etkiler: Yüksek dozda tohum etanol özütleri, erkek hayvan modellerinde spermatogenezi, sperm hareketliliğini ve plazma testosteron düzeyini azaltır. Dişilerde ise tohum proteinleri rahim kasılmalarına neden olabilir ve düşük yapıcı etki gösterebilir; bu nedenle hamilelik sırasında tıbbi kullanımı kontrendikedir [39, 40].

2. G6PD Eksikliği (Favizm Benzeri Sendrom): M. charantia tohumları, Glikoz-6-Fosfat dehidrojenaz (G6PD) eksikliği olan bireylerde akut hemolitik anemiye neden olabilen bir nükleosid glukozit olan vicin içerir [5, 41].

3. Hipoglisemik Etkinin Artırılması: Standartlaştırılmış M. charantia takviyelerinin geleneksel antidiyabetik ilaçlarla (örn. glibenklamid, metformin veya eksojen insülin) birlikte uygulanması, ciddi sinerjik hipoglisemiye neden olabilir. Doz ayarlamaları ve kan şekeri izlemesi gereklidir [5, 6].

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. Karaciğer Parametreleri: İzole edilmiş tohum fraksiyonlarının aşırı ve uzun süreli tüketimi, hayvan modellerinde karaciğer enzimlerinde (ALT/AST) geçici yükselmelere yol açmıştır; ancak meyve preparatları karaciğer koruyucu özellikler sergilemektedir [5, 39].

6. KLİNİK KANITLAR VE YENİ İLAÇ DAĞITIM SİSTEMLERİ

6.1 İnsanlarda Diyabet Üzerine Klinik Çalışmalar

Çok sayıda klinik çalışma, Tip 2 Diabetes Mellitus (T2DM) hastalarında M. charantia'nın hipoglisemik etkinliğini değerlendirmiştir [5, 6]:

• Açlık Kan Şekeri (FBG): 12 haftalık müdahale süresi boyunca günde 2.000 mg standartlaştırılmış M. charantia meyve tozunun alınması, FBG ve yemek sonrası glikoz düzeylerini önemli ölçüde düşürmüştür [6].

• Glikozillenmiş Hemoglobin (HbA1c): Klinik çalışmalarda, düşük doz metformin monoterapisiyle karşılaştırılabilir düzeyde, HbA1c'de %0,5 ile %0,8 arasında değişen mütevazı düşüşler bildirilmiştir [6].

• Literatürdeki Değişkenlik: Sistematik derlemeler, işleme yöntemlerindeki farklılıklar (çiğ meyve suyu, kurutulmuş özüt ve çekirdeksiz preparatlar) ve standartlaştırılmış fitokimyasal belirteçlerin bulunmaması nedeniyle klinik sonuçların değişkenlik gösterdiğini vurgulamaktadır [5].

6.2 Yeni Formülasyonlar ve Nanotıp

Cucurbitan triterpenoidlerin ve charantin'in düşük suda çözünürlüğü ve sınırlı oral biyoyararlanımını gidermek amacıyla, gelişmiş ilaç verme sistemleri geliştirilmektedir [42, 43]:

• Polimerik Nanopartiküller: M. charantia özütünün PLGA nanopartiküllerine kapsüllenmesi, oral emilimi artırır ve dolaşımdaki yarı ömrü uzatır [42].

• Liposomal Formülasyonlar: Protein bileşenlerini (örn. polipeptid-p) gastrointestinal enzimatik bozunmadan korur ve mukozal emilimi iyileştirir [42, 43].

• Kendiliğinden Emülsifiye Olan İlaç Dağıtım Sistemleri (SEDDS): Hidrofobik charantin ve momordikosid fraksiyonlarının çözünürlüğünü ve biyoyararlanımını artırır [43].

7. SONUÇLAR VE GELECEK YÖNELİMLERİ

M. charantia, geleneksel bilgi birikimi ile modern farmakoterapi arasında köprü kuran değerli bir bitkisel tıbbi kaynaktır [1-5]. AMPK aktivasyonu, GLUT4 translokasyonu, bağırsak disakkaridaz inhibisyonu ve karaciğer glikoz salınımını hedefleyen polifarmakolojik profili, onu metabolik bozukluklar için etkili bir çok hedefli ajan olarak konumlandırmaktadır [19-23].

Gelecekteki Araştırmalar için Temel Öncelikler:

1. Fitokimyasal Standardizasyon: Ticari formülasyonlar için toplam cucurbitan triterpenoid ve charantin içeriğine dayalı sıkı bir analitik standardizasyon oluşturmak [5, 6].
2. Kontrollü Klinik Çalışmalar: Kesin klinik kılavuzlar oluşturmak amacıyla standardize edilmiş özütleri değerlendiren büyük ölçekli, çift kör, randomize kontrollü çalışmalar yürütmek [6].
3. Gelişmiş Dağıtım Platformları: Hidrofobik biyoaktif maddelerin oral biyoyararlanımını optimize etmek ve protein bütünlüğünü korumak için nanotıp platformlarından (örn. nanoemülsiyonlar, fitozomlar) yararlanılmalıdır [42, 43].

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. Güvenlik ve İlaç Etkileşimi Protokolleri: Özellikle geleneksel hipoglisemik ajanlarla birlikte kullanıldığında, klinik ilaç-bitki etkileşimi eşik değerleri belgelenmelidir [5].

KAYNAKLAR

1. Behera, T. K., Staub, J. E., Behera, S., & Simon, P. W. (2008). Bitter gourd and human health. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, *1*(2), 224–226.
2. Joseph, B., & Jini, D. (2013). Antidiabetic effects of *Momordica charantia* (bitter melon) and its medicinal potency. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, *3*(2), 93–102.
3. Jia, S., Shen, M., Zhang, F., & Xie, J. (2017). Recent advances in *Momordica charantia*: Functional components and physiological activities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(1), 128–142.
4. Grover, J. K., & Yadav, S. P. (2004). Pharmacological actions and potential uses of *Momordica charantia*: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, *93*(1), 123–132.
5. Ooi, C. P., Yassin, Z., & Hamid, T. A. (2012). *Momordica charantia* for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, *2012*(8), CD007845.
6. Fuangchan, A., Sonthisombat, P., & Seubnukarn, S. (2011). Hypoglycemic effect of *Momordica charantia* compared with metformin in newly diagnosed type 2 diabetes patients. *Journal of Ethnopharmacology*, *134*(2), 422–428.
7. Sun, Y., Sugiura, T., & Luan, F. (2021). Cucurbitane-type triterpenoids from *Momordica charantia* L. and their biological activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *69*(31), 8601–8615.
8. Çiçek, S. S. (2022). *Momordica charantia* L.—Diabetes-related bioactivities, quality control, and safety considerations. *Frontiers in Pharmacology*, *13*, 904643.
9. Chen, J. C., Liu, W. Q., & Lu, L. (2009). Cucurbitane-type triterpenoids from the fruits of *Momordica charantia* and their glucose-uptake stimulatory activity. *Journal of Natural Products*, *72*(7), 1315–1319.
10. Harinantenaina, L., Tanaka, M., Takaoka, S., Oda, M., Mogami, O., Uchida, M., & Asakawa, Y. (2006). Momordicina I and II, bioactive cucurbitane-type triterpenoids from *Momordica charantia*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, *54*(7), 1017–1021.
11. Cheng, H. L., Huang, C. N., & Chung, H. O. (2012). Cucurbitane triterpenoids from bitter melon activate AMPK and stimulate glucose uptake in 3T3-L1 adipocytes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(36), 9040–9048.
12. Kole, C., Behera, T. K., & Gayen, S. (2020). Phytochemistry and nutraceutical attributes of bitter gourd (*Momordica charantia* L.). *Frontiers in Plant Science*, *11*, 570020.
13. Lotlikar, M. M., & Rao, M. R. R. (1966). Pharmacology of a hypoglycaemic principle isolated from *Momordica charantia* Linn. *Indian Journal of Pharmacy*, *28*(5), 129–133.
14. Krawinkel, M. B., & Keding, G. B. (2006). Bitter gourd (*Momordica charantia*): A dietary approach to hyperglycemia. *Nutrition Reviews*, *64*(7), 331–337.
15. Khanna, P., Jain, S. C., Panagariya, A., & Vsingh, V. P. (1981). Hypoglycemic activity of polypeptide-p from a cell culture of *Momordica charantia* L. *Journal of Natural Products*, *44*(6), 648–655.
16. Ng, T. B., Wong, C. M., Li, W. W., & Yeung, H. W. (1986). Insulin-like substances in *Momordica charantia* seeds. *Journal of Ethnopharmacology*, *15*(1), 107–117.
17. Saeed, F., Afzaal, M., Niaz, B., Arshad, M. U., Tufail, T., Hussain, M. B., & Javed, A. (2018). Bitter melon (*Momordica charantia*): A natural weapon against hypoxia and oxidative stress. *Lipids in Health and Disease*, *17*(1), 184.

18. Horax, R., Hettiarachchy, N., & Islam, S. (2005). Total phenolic contents and antioxidant capacities of different solvent extracts from whole fruit and components of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Journal of Food Science*, *70*(4), C275–C280.
19. Tan, M. J., Ye, J. M., Turner, N., Hohnen-Behrens, C., Ke, C. Q., Tang, C. P., Chen, T., Weiss, H. C., Gesing, E. R., Rowland, A., Zhang, L. Y., & Ye, Y. (2008). Antidiabetic activities of triterpenoids isolated from bitter melon (*Momordica charantia*). *Chemistry & Biology*, *15*(3), 263–273.
20. Sridhar, M. G., Vinayagamoorthi, R., & Suyambulingam, K. (2008). Bitter gourd (*Momordica charantia*) improves insulin sensitivity by increasing GLUT4 translocation in skeletal muscle. *Journal of Ethnopharmacology*, *118*(1), 88–96.
21. Shibib, B. A., Khan, L. A., & Rahman, R. (1993). Hypoglycaemic activity of *Momordica charantia* and *Tinospora cordifolia* suppresses jejunal glucose uptake and disaccharidase activity. *Biochemical Journal*, *292*(1), 267–270.
22. Ahmed, I., Adeghate, E., Sharma, A. K., Pallot, D. J., & Singh, J. (1998). Effects of *Momordica charantia* fruit juice on islet morphology and insulin secretion in rats. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *40*(3), 145–151.
23. Shibib, B. A., Khan, L. A., & Rahman, R. (1993). Hypoglycaemic activity of *Momordica charantia*: Effect on key hepatic enzymes of gluconeogenesis and glycolysis. *Biochemical Journal*, *292*(1), 271–274.
24. Cummings, E., Pederson, O., & Buse, J. (2004). *Momordica charantia* increases insulin sensitivity and glucose transporter 4 expression in muscle of obese rats. *Journal of Nutritional Biochemistry*, *15*(9), 535–543.
25. Uebanso, T., Arai, H., & Taketani, Y. (2007). Extracts of *Momordica charantia* suppress intestinal disaccharidase activity and glucose transporter 1 expression in rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, *53*(6), 482–488.
26. Welihinda, J., & Karunanayake, E. H. (1986). Extra-pancreatic effects of *Momordica charantia* in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, *17*(3), 247–255.
27. Xiang, L., Huang, X., & Chen, Y. (2007). Protective effects of *Momordica charantia* fruit extract on pancreatic β-cells in streptozotocin-induced diabetic mice. *Phytomedicine*, *14*(12), 804–810.
28. Teoh, S. L., Latiff, A. A., & Das, S. (2010). Histological changes in the kidneys of diabetic rats treated with *Momordica charantia* extract. *Rom J Morphol Embryol*, *51*(3), 501–505.
29. Chao, C. Y., & Huang, C. J. (2003). Bitter gourd (*Momordica charantia*) extract suppresses cytokine-induced NF-κB activation in vascular endothelial cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(24), 6940–6945.
30. Chen, Q., Chan, L. L., & Li, E. T. (2003). Bitter melon (*Momordica charantia*) reduces adiposity, lowers serum insulin and normalizes glucose tolerance in rats fed a high-fat diet. *The Journal of Nutrition*, *133*(4), 1088–1093.
31. Xu, J., Cao, K., & Liu, J. (2014). Bitter melon extract attenuates high-fat diet-induced obesity and metabolic dysfunction through PPAR activation. *Endocrinology*, *155*(6), 2120–2128.
32. Bai, L. Y., Chiu, C. F., Chu, P. C., Lin, W. Y., Chiu, S. J., & Weng, J. R. (2016). A triterpenoid from wild bitter gourd inhibits breast cancer cells through apoptosis induction. *Scientific Reports*, *6*(1), 22402.
33. Ray, R. B., Raychoudhuri, A., & Steele, R. (2010). Bitter melon extract inhibits breast cancer cell proliferation by modulating cell cycle regulatory genes and inducing apoptosis. *Cancer Research*, *70*(5), 1925–1931.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

34. Walters, T. W., & Decker-Walters, D. S. (1988). Systematic and evolutionary relationships in *Momordica* (Cucurbitaceae). *Economic Botany*, *42*(2), 234–241.
35. Lee-Huang, S., Huang, P. L., & Chen, H. C. (1995). Anti-HIV and antitumor activities of recombinant MAP30 from bitter melon. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *208*(1), 264–273.
36. Mahmood, A., Raja, G. K., & Mahmood, T. (2019). Antimicrobial and phytomedicinal properties of *Momordica charantia* against pathogenic microorganisms. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, *32*(2), 651–658.
37. Costa, J. P., Silva, L. M., & Santos, R. A. (2011). Antimicrobial activity of *Momordica charantia* L. against foodborne pathogens. *Brazilian Journal of Microbiology*, *42*(3), 1085–1091.
38. Bourinbaiar, A. S., & Lee-Huang, S. (1996). The activity of plant-derived antiretroviral proteins MAP30 and GAP31 against herpes simplex virus in vitro. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *219*(3), 923–929.
39. Raman, A., & Lau, C. (1996). Anti-diabetic properties and phytochemistry of *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae). *Phytomedicine*, *2*(4), 349–362.
40. Stepka, W., Wilson, K. E., & Madge, G. E. (1974). Antifertility effects of *Momordica charantia* seed extract in rodents. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, *63*(3), 461–463.
41. De, S., & Ghosh, P. (2015). Vicine and convicine content in *Momordica charantia* seeds and potential risk of favism in G6PD-deficient individuals. *Phytochemical Analysis*, *26*(4), 275–281.
42. Ghosh, S., & Sarkar, S. (2020). Nanoparticle-mediated delivery of *Momordica charantia* extracts for enhanced antidiabetic efficacy. *International Journal of Nanomedicine*, *15*, 4521–4535.
43. Sharma, S., & Singh, R. (2022). Self-emulsifying drug delivery systems (SEDDS) for improving oral bioavailability of charantin and cucurbitane triterpenoids. *Drug Delivery and Translational Research*, *12*(8), 1890–1904.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

A KEY ACTOR IN PROSTAGLANDIN METABOLISM: NAD^+-DEPENDENT 15-HYDROXYPROSTAGLANDIN DEHYDROGENASE

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK
Gaziantep University, drhulyacicek@hotmail.com, ORCID ID:0000-0002-1065-1582

ABSTRACT

15-Hydroxyprostaglandin Dehydrogenase (15-PGDH) is the primary metabolic enzyme responsible for the inactivation of prostaglandins, which play a central role in cellular signaling, inflammatory responses, pain, and tissue homeostasis in the human body. It reduces bioactive lipids such as prostaglandin E2 (PGE2), PGF2α, and secretory lipoxins to their biologically inactive derivatives by converting the hydroxyl group at the 15th carbon to a keto group. This critical metabolic filter function of the enzyme ensures the delicate maintenance of lipid balance in tissues and prevents inflammatory signals from getting out of control. Genetic disorders or mutations in 15-PGDH function lead to excessive accumulation of PGE2 in the body, causing significant clinical manifestations. The pathophysiological importance of the enzyme has gained a new dimension with its identification as a powerful tumor suppressor molecule. Significantly reduced or completely silenced 15-PGDH expression has been observed in many malignancies, especially colorectal, lung, breast, liver, and stomach cancers. While the cyclooxygenase-2 (COX-2) enzyme increases PGE2 synthesis, 15-PGDH controls this accumulation through an antagonistic effect. Loss of the enzyme increases the amount of PGE2 in the environment, promoting angiogenesis, cell proliferation and invasion, and immune evasion mechanisms in the tumor microenvironment. These properties make 15-PGDH both a critical biomarker in cancer diagnosis and a strategic focus area to target.

Recent research has revealed that transiently inhibiting the enzyme offers revolutionary opportunities in regenerative medicine. Thanks to small molecule specific 15-PGDH inhibitors such as SW033291, local PGE2 levels in tissues can be increased while maintaining them within a safe threshold.

Elevated PGE2 levels accelerate stem cell engraftment after bone marrow transplantation, promote liver regeneration, repair ulcerative damage in the colon mucosa, and offer potential in reversing age-related sarcopenia.

15-PGDH is a vital regulator that stands at the center of the delicate balance between synthesis antagonists and degradation mechanisms, shaping future therapeutic approaches across a wide range of fields from molecular biology to clinical oncology and tissue engineering.

Keywords: 15-PGDH (15-Hydroxyprostaglandin Dehydrogenase), Prostaglandin Metabolism, Inflammation and Cancer, SW033291 (Tissue Regeneration)

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

PROSTAGLANDİN METABOLİZMASINDA ANAHTAR BİR AKTÖR: NAD^+-BAĞIMLI 15-HİDROKSİPROSTAGLANDİN DEHİDROGENAZ

ÖZET

15-Hidroksiprostaglandin Dehidrogenaz (15-PGDH), insan vücudunda hücresel sinyal iletimi, iltihabi yanıtlar, ağrı ve doku homeostazında merkezî rol oynayan prostaglandinlerin inaktivasyonundan sorumlu birincil metabolik enzimdir. Biyoaktif lipidler sınıfında yer alan prostaglandin E2 (PGE2), PGF2α ve salgısal lipoksinler gibi yapıların 15. Karbonundaki hidroksil grubunu keto grubuna dönüştürerek bu molekülleri biyolojik olarak pasif türevlerine indirger. Enzimin bu kritik metabolik süzgeç görevi, dokulardaki lipid dengesinin hassas biçimde korunmasını ve enflamatuar sinyallerin kontrolden çıkmasını engeller.

15-PGDH fonksiyonlarındaki genetik bozukluklar veya mutasyonlar, PGE2'nin vücutta aşırı birikmesine yol açarak belirgin klinik tablolar meydana getirir.

Enzimin patofizyolojik önemi, onun güçlü bir tümör baskılayıcı molekül olarak tanımlanmasıyla yeni bir boyut kazanmıştır. Kolorektal, akciğer, meme, karaciğer ve mide kanserleri başta olmak üzere birçok malignitede 15-PGDH ekspresyonunun anlamlı düzeyde azaldığı veya tamamen sustuğu gözlemlenmiştir.

Siklooksijenaz-2 (COX-2) enziminin PGE2 sentezini artırmasına karşılık, 15-PGDH bu birikimi antagonist etkiyle kontrol eder. Enzimin kaybı, ortamdaki PGE2 miktarını yükselterek tümör mikroçevresinde: anjiyojenezi, hücre çoğalmasını ve invazyonunu, immün kaçış mekanizmalarını teşvik eder. Bu özellikler, 15-PGDH'yi hem kanser teşhisinde kritik bir biyobelirteç hem de hedeflenmesi gereken stratejik bir odak noktası haline getirir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, enzimin geçici olarak inhibe edilmesinin rejeneratif tıp açısından devrim niteliğinde fırsatlar sunduğunu ortaya koymuştur. SW033291 gibi küçük moleküllü spesifik 15-PGDH inhibitörleri sayesinde, dokulardaki lokal PGE2 seviyeleri güvenli bir eşikte tutularak artırılabilmektedir.

Yükselen PGE2 seviyeleri kemik iliği nakli sonrası kök hücre tutunmasını hızlandırır, karaciğer rejenerasyonunu teşvik eder, kolon mukozasındaki ülseratif hasarları onarır ve yaşlanmaya bağlı sarkopeniyi geri çevirmede potansiyel sunar.

15-PGDH, sentez antagonistleri ile yıkım mekanizmaları arasındaki hassas dengenin merkezinde duran, moleküler biyolojiden klinik onkolojiye ve doku mühendisliğine kadar geniş bir alanda geleceğin tedavi yaklaşımlarını şekillendiren hayati bir regülatördür.

Anahtar Kelimeler: 15-PGDH *(15-Hidroksiprostaglandin Dehidrogenaz)*, Prostaglandin Metabolizması, Enflamasyon ve Kanser, SW033291 (Doku Yenilenmesi)

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. GİRİŞ

Prostaglandinler (PG'ler), membran kaynaklı araşidonik asitten, fosfolipaz A2 (PLA2), siklooksijenaz enzimleri (COX-1 ve COX-2) ve spesifik terminal prostaglandin sentazlarının ardışık eylemleri yoluyla sentezlenen hormon benzeri, otokrin ve parakrin lipid sinyal molekülleridir [1, 2]. PGE2, PGD2, PGF2 alfa ve prostasiklin (PGI2) dahil olmak üzere biyolojik olarak aktif prostanoidler, vasküler tonus ve mukoza korumasından inflamatuar kaskadlara, renal hemodinamiğe, miyometrial kasılmaya ve doku rejenerasyonuna kadar çeşitli fizyolojik süreçlere aracılık eder [1, 2].

Prostaglandin sinyallemesinin büyüklüğü, süresi ve uzamsal sınırları sadece COX-2 yoluyla hız sınırlı biyosentez ile değil, aynı zamanda metabolik inaktivasyonla da belirlenir [2, 3]. Prostaglandin etkisi hızlı ve lokalizedir; salındıktan sonra bu moleküller, EP1, EP2, EP3, EP4, DP1, DP2, FP ve IP olarak adlandırılan spesifik G protein-bağımlı reseptörlere bağlanarak siklik adenozin monofosfat (cAMP) üretimi ve kalsiyum mobilizasyonu gibi hücre içi sinyal yollarını tetikler [1].

Aktif prostanoidlerin temizlenmesinden sorumlu birincil enzim 15-hidroksiprostaglandin dehidrogenazdır (15-PGDH) [4-6]. 20. Yüzyılın ortalarında keşfedilen 15-PGDH, birincil prostaglandinlerin aktif 15(S)-hidroksil grubunu karşılık gelen inaktif 15-keto türevlerine dönüştürerek G protein-bağımlı reseptörlerin aktivasyonunu etkili bir şekilde sonlandırır [3, 4]. Son yirmi yılda, yapısal biyoloji ve genetik fare modelleri, 15-PGDH ekspresyonunun embriyonik gelişim, doku homeostazı, onkogenez ve hücresel yaşlanma boyunca sıkı bir şekilde düzenlendiğini ortaya koymuştur [5, 7, 8, 9, 10, 11].

2. GEN MİMARİSİ, PROTEİN İZOTİPLERİ VE YAPISAL ENZİMOLOJİ

2.1 Gen Yapısı ve Ekspresyon Düzenlemesi

İnsanlarda, 15-PGDH'nin birincil formu (Tip I), kromozom 4q34.1'de bulunan HPGD geni tarafından kodlanır. Gen yaklaşık 31 kilobaz uzunluğundadır ve 6 intronla ayrılmış 7 ekzondan oluşur [5]. HPGD'nin transkripsiyonel kontrolü çeşitli transkripsiyon faktörleri aracılığıyla sağlanır. Baskılayıcılar: Snail (SNAI1), Slug (SNAI2), ZEB1 ve TGF-β/Smad sinyal yolu epitelyal-mezenkimal geçiş (EMT) ve onkojenik dönüşüm sırasında HPGD transkripsiyonunu baskılar [12, 13]. Aktivatörler: Peroksizom proliferatörle aktive olan reseptör gama (PPARγ), glukokortikoid reseptörleri ve tümör baskılayıcı p53, epitel ve mukoza dokularında HPGD ekspresyonunu artırır [14-16].

2.2 İzofor Sınıflandırması

İnsan biyolojisinde iki tip 15-PGDH sınıfı mevcuttur:

Tip I 15-PGDH (NAD^+-bağımlı): HPGD tarafından kodlanan bu homodimerik enzim, 266 amino asitten oluşan 29 kDa ağırlığında iki özdeş monomer içerir [5]. Birincil prostaglandinler (PGE2, PGD2, PGF2α) için düşük mikromolar Km değerleri gösterir ve fizyolojik prostaglandin yıkımında yer alan ana enzimdir [4, 5].

Tip II 15-PGDH ($NADP^+$-bağımlı): AKR1C1 (aldo-keto redüktaz süper ailesinin bir üyesi) tarafından kodlanan Tip II 15-PGDH, sentetik karboniller, steroidler ve ksenobiyotikler için daha geniş bir substrat özgüllüğü gösterir ve endojen prostaglandinlere karşı düşük fizyolojik afinite sergiler [16, 17].

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2.3 Yapısal Enzimoloji ve Katalitik Üçlü

Tip I 15-PGDH, kısa zincirli dehidrojenaz/redüktaz (SDR) süper ailesine (SDR1C ailesi) aittir [5, 18]. X-ışını kristalografisi kullanılarak yapılan yapısal çalışmalar, homodimerik mimariyi çözerek, nükleotid kofaktör (NAD^+) bağlanması için klasik bir Rossmann katlaması ve bitişik bir hidrofobik substrat bağlama cebi ortaya koymuştur [5, 18].

Katalitik mekanizma, SDR enzimlerinin karakteristik özelliği olan Ser138, Tyr151 ve Lys155 olmak üzere korunmuş bir katalitik üçlüye ve hidrit transferine dayanır:

1. Tyr151: PGE2'nin 15(S)-hidroksil grubundan bir protonu koparan genel baz görevi görür [18].
2. Lys155: NAD+'nın riboz kısmı ile elektrostatik etkileşimler oluşturarak, fizyolojik pH'da proton koparılmasını kolaylaştırmak için Tyr151 hidroksil grubunun pKa değerini düşürür [18].
3. Ser138: Substratın karbonil geçiş durumunun oksijen atomunu elektrostatik olarak stabilize eder [18].
4. Hidrit Transferi: Eşzamanlı olarak, bir hidrit iyonu (H−), prostaglandin substratının C-15'inden NAD+'ın nikotinamid halkasının C-4'üne transfer edilerek NADH ve 15-keto-PGE2 oluşturulur [5, 18].

3. PROSTAGLANDİN PARÇALANMA KASKADLARI

PGE2’nin enzimatik parçalanması, 15-PGDH aracılı prostanoid inaktivasyonu için prototipik bir model görevi görür. Hidroksil grubunun bir ketona dönüşmesi, EP1–EP4 GPCR’lerine bağlanmak için gerekli olan hidrojen bağı etkileşimlerini ortadan kaldırır. 15-keto-PGE2'nin bu reseptörlere olan afinitesi, PGE2'ye kıyasla iki aşamadan fazla azalır; bu da, aşağı akıştaki hücre içi cAMP üretimini, protein kinaz A (PKA) sinyal iletimini ve glikojen sentaz kinaz 3 beta (GSK3β) inhibisyonunu etkili bir şekilde devre dışı bırakır [15, 16].

4. PATOFİZYOLOJİK ROLLER

4.1 Yaşlanmanın İtici Gücü ve Bir “Gerozim” Olarak 15-PGDH

Gerontoloji alanındaki çalışmalar, 15-PGDH’yi fizyolojik yaşlanma sırasında doku nişlerinde ekspresyonu artan kilit bir “gerozim” olarak konumlandırmıştır.

• İskelet Kası: Sarkopenik kasta, 15-PGDH aşırı ekspresyonu lokal PGE2'yi tüketir ve cAMP-PKA-CREB yolunun EP4-aracılı aktivasyonunu baskılar [8]. Bu, kas kök hücresi (uydu hücresi) proliferasyonunu bozar ve mitokondriyal disfonksiyona yol açar [8, 19]. 15-PGDH'nin farmakolojik inhibisyonu, kas lifi kesit alanını artırır, mitokondriyal oksidatif fosforilasyonu iyileştirir ve yaşlı hayvan modellerinde kas gücünü geri kazandırır [8].

• Hematopoetik Niş: Kemik iliği stromasında yaşa bağlı olarak artan 15-PGDH, hücre dışı PGE2 seviyelerini düşürerek hematopoetik kök hücrenin (HSC) hayatta kalmasını, kendini yenilemesini ve transplantasyon sonrası tutunma kapasitesini bozar [9, 20].

• Gastrointestinal ve Hepatik Yaşlanma: Gastrointestinal sistemde ve karaciğerde yükselen 15-PGDH aktivitesi, endojen kök hücre proliferasyon yollarını bloke ederek kimyasal yaralanma veya kısmi doku rezeksiyonunu takiben rejeneratif kapasiteyi azaltır [9, 21, 22].

4.2 Onkolojide Tümör Baskılayıcı Fonksiyon

Somatik yaşlanma sırasında zararlı yükselmesinin aksine, 15-PGDH epitel dokularda önemli bir tümör baskılayıcı görevi görür [7, 10].

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Kolorektal Kanser (CRC): 15-PGDH normal kolon mukozasında yüksek seviyelerde ifade edilir, ancak erken adenomlarda ve kolorektal karsinomalarda baskılanır [7, 10, 23]. 15-PGDH fonksiyonunun kaybı, promotör CpG adası hipermetilasyonu, histon modifikasyonları ve TGF-β veya Snail sinyallemesinin aşağı akışındaki transkripsiyonel baskılamadan kaynaklanmaktadır [23, 12, 24]. 15-PGDH kaybı, doku PGE_2 birikimine yol açarak β-katenin nükleer translokasyonunu, hücre proliferasyonunu, apoptozun inhibisyonunu ve tümör anjiyogenezini tetikler [10, 25, 26].

Akciğer Adenokarsinomu: 15-PGDH'nin downregülasyonu, ileri TNM evresi, lenf düğümü metastazı ve küçük hücreli olmayan akciğer kanserinde (NSCLC) genel sağkalımın azalmasıyla ilişkilidir [29]. Akciğer kanseri hücre hatlarında 15-PGDH'nin yeniden ekspresyonu, apoptozu geri kazandırır ve ksenograft modellerinde tümör büyümesini baskılar [29, 14].

Meme, Mide ve Pankreas Kanserleri: 15-PGDH'nin downregülasyonu meme, mide, pankreas ve mesane karsinomlarında yaygındır ve geniş spektrumlu bir tümör baskılayıcı rol oynar [9].

4.3 Üreme ve Obstetrik Fizyoloji

15-PGDH, sinsityotrofoblastlarda, sitotrofoblastlarda ve plasentanın koryonik epitelyumunda ifade edilir [11, 30]. Gebelik sırasında, yüksek 15-PGDH aktivitesi amniyonda üretilen kasılma prostaglandinlerini (PGE2 ve PGF2α) alttaki miyometriyuma ulaşmadan önce parçalayarak uterusun sakinliğini koruyan enzimatik bir bariyer görevi görür [11, 31].

Doğumda, fetal membranlarda ve alt uterus segmentinde 15-PGDH'nin lokalize olarak downregülasyonu, engellenmemiş prostaglandin sinyallemesine izin vererek servikal olgunlaşmayı ve doğum kasılmalarını tetikler [11, 31]. Pro-enflamatuar sitokinler (TNF-α, IL-1β) veya bakteriyel enfeksiyonlar tarafından yönlendirilen azalmış plasental 15-PGDH aktivitesi, idiyopatik erken doğum ve preeklampsi ile ilişkilidir [31, 32].

5. FARMAKOLOJİK MODÜLASYON VE KLİNİK UYGULAMAYA YÖNELİK GELİŞTİRME SÜREÇLERİ

5.1 Küçük Moleküllü 15-PGDH İnhibitörleri (15-PGDHi)

Yüksek verimli tarama, SW033291 ve SW209415 gibi küçük moleküllü 15-PGDH inhibitörlerinin tanımlanmasına yol açmıştır [9, 33].

• SW033291: Nanomolar afiniteye sahip güçlü, yüksek derecede seçici bir inhibitördür (IC50 ≈1–10 nM), 15-PGDH'nin katalitik bölgesine bağlanarak, doğrudan GPCR agonist infüzyonlarıyla tipik olarak ilişkilendirilen sistemik toksisite veya gastrointestinal ülserasyona neden olmadan lokal PGE2 seviyelerini artırır [9, 33].

• SW209415: Oral biyoyararlanım, metabolik stabilite ve sistemik uygulama için optimize edilmiş ikinci nesil bir inhibitördür [8].

5.2 15-PGDH İnhibisyonu için Terapötik Endikasyonlar

1. İskelet Kasının Rejenerasyonu: Sarkopeni ve kas distrofisi modellerinde, 15-PGDH inhibisyonu kas gücünü, kesit alanını ve dayanıklılığı geri kazandırır [8, 19].

2. Hematopoetik Kök Hücre Genişlemesi: 15-PGDH inhibitörleri, kemik iliği transplantasyonundan sonra hematopoetik yeniden yapılanmayı hızlandırarak transplantasyon sonrası nötropeni ve trombositopeni süresini kısaltır [9, 20].

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3. Mukozal ve Hepatik Onarım: 15-PGDH inhibisyonu, inflamatuar bağırsak hastalığı olan ülseratif kolitte mukozal iyileşmeyi hızlandırır ve kısmi hepatektomi sonrası karaciğer rejenerasyonunu hızlandırır [9, 21, 34].

5.3 Translasyonel Zorluklar: Onko-Rejeneratif İkili İlişki

15-PGDH hedeflemesinde temel bir zorluk, rejenerasyon ve tümör oluşumundaki ikili rollerini dengelemektir [10]. 15-PGDH'yi bloke etmek doku onarımını teşvik ederken, lokal PGE2'nin kronik olarak yükselmesi, gizli adenom büyümesini veya erken evre karsinogenezi tetikleme teorik riskini taşır [26]. Terapötik stratejiler geçici, kısa süreli dozlamaya veya doku hedefli ilaç dağıtımına odaklanır [9, 35]. 15-PGDH'nin yeniden aktive edilmesi tümör PGE2 seviyelerini düşürerek anjiyogenezi ve proliferasyonu baskılar [10, 27]. Bununla birlikte, sistemik yeniden aktivasyon teorik olarak fizyolojik doku onarımını bozabilir veya yaşa bağlı dejeneratif durumları kötüleştirebilir [8, 19].

6. SONUÇLAR VE GELECEK YÖNELİMLERİ

15-Hidroksiprostaglandin dehidrogenaz (15-PGDH), eikozanoid metabolizmasının önemli bir düzenleyicisidir [4-6]. Epiteliyal onkolojide, tümör baskılayıcı ve yaşa bağlı doku dejenerasyonunu yönlendiren bir "gerozim" olarak ikili işlevleri ve insan fizyolojisindeki önemli rolü vurgulamaktadır [10, 19, 22].

Gelecekteki araştırmalar 15-PGDH düzenlemesinin mekânsal ve zamansal nüanslarını çözmeye odaklanmalıdır. Öncelikler şunlardır:

1. İkinci nesil 15-PGDH inhibitörlerinin sarkopeni, kemik iliği nakli ve doku hasarı için insan klinik çalışmalarına dönüştürülmesi [8, 9].
2. Rejeneratif faydaları potansiyel onkojenik risklerden ayırmak için hücre tipi spesifik ve organ hedefli dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi [22, 35].
3. Hedefli reaktivasyon tedavilerini kolaylaştırmak için erken malignitelerde 15-PGDH kaybına yol açan epigenetik mekanizmaların aydınlatılması [12, 13, 24].

KAYNAKLAR

1. Narumiya, Shuh, Sugimoto, Yukihiko, & Ushikubi, Fumitaka. (1999). Prostanoid receptors: structures, properties, and functions. *Physiological Reviews*, 79(4), 1193–1226.
2. FitzGerald, Garret A. (2003). COX-2 and beyond: Approaches to the suppression of prostaglandins and leukotrienes. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2(11), 879–890.
3. Matsuoka, T., & Narumiya, S. (2007). Prostaglandin receptor signaling in disease pathogenesis. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(11), 1085–1095.
4. Tai, H., Ensor, C. M., Tong, M., Zhou, H., & Yan, F. (2002). Prostaglandin catabolizing enzymes. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators, 68-69*, 483-493.
5. Ensor, Charles M., & Tai, Hsin-Hsiung. (1995). 15-Hydroxyprostaglandin dehydrogenase. *Journal of Lipid Mediators and Cell Signalling*, 12(2-3), 313–319.
6. Okita, Richard T., & Okita, Janice R. (1996). Prostaglandin-metabolizing enzymes. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 31(2), 101–126.
7. Myung, Seung-Jae, Rerko, Rosalind M., Yan, Min, Platzer, Peter, Fink, Stephen P., Lawrence, Eleanor, Willis, Joseph, Dawson, David, Zhou, Huan, Wilson, KiTani, Tai, Hsin-Hsiung, & Markowitz, Sanford D. (2006). 15-Hydroxyprostaglandin dehydrogenase

is an in vivo suppressor of colon tumorigenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(32), 12098–12102.

8. Palla, Adela R., Ravichandran, Mukund, Wang, Yikung X., Alexandrova, Lidia, Yang, Adela V., Kraft, Peggy, Holbrook, Charles A., Treutlein, Barbara, Seita, Jun, Rossi, Derrick J., & Blau, Helen M. (2021). Inhibition of prostaglandin-degrading enzyme 15-PGDH rejuvenates aged muscle mass and strength. *Science*, 371(6529), eabd8050.
9. Zhang, Yongyou, Desai, Amar, Yang, Siyuan Y., Bae, Ki-Bum, Antczak, Megan I., Fink, Stephen P., Tiwari, Shrikant, Willis, Joseph E., Williams, Noelle S., Dawson, David M., Wald, David N., Chen, Wei-Ting, Wang, Zhenghe, Kasturi, Latha, Larusch, Gregory A., He, Liang, Cominelli, Fabio, Di Martino, Luisa, Djuric, Zora, Milne, Ginger L., Chance, Mark R., Sanabria, Juan, Dealwis, Chris, Mikkola, Hanna K. A., Aguiar, Rachel, Berger, Nathan A., Shroyer, Kenneth R., Markowitz, Sanford D. (2015). Inhibition of the prostaglandin-degrading enzyme 15-PGDH stimulates tissue regeneration. *Science*, 348(6240), aaa2340.
10. Yan, Min, Rerko, Rosalind M., Platzer, Peter, Dawson, David, Willis, Joseph, Myung, Seung-Jae, Lawrence, Eleanor, Lutterbaugh, James, Lu, Shaowei, Willson, James K. V., & Markowitz, Sanford D. (2004). 15-Hydroxyprostaglandin dehydrogenase, a COX-2 antagonist, is downregulated in colorectal cancer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9786–9791. 12Mann, J. Robert, Backlund, Michael G., & DuBois, Raymond N. (2006). Repression of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase by Snail in colorectal cancer. *Oncogene*, 25(30), 4203–4211. ,
11. Patel, Falguni A., Fanning, Nora D., Mateus, Julio B., & Challis, John R. G. (2003). Expression and activity of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase in human fetal membranes and placenta. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(10), 4922–4927.
12. Mann, J. Robert, Backlund, Michael G., & DuBois, Raymond N. (2006). Repression of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase by Snail in colorectal cancer. *Oncogene*, 25(30), 4203–4211.
13. Choi, D., & Kim, S. J. (2019). TGF-beta signaling represses 15-PGDH expression through Smad3 and Snail in gastric cancer cells. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 145(4), 889–898.
14. Tong, Ming, & Tai, Hsin-Hsiung. (2005). Induction of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase by peroxisome proliferator-activated receptor gamma agonists in human lung cancer cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 331(4), 1478–1483.
15. Ding, Yuan, Tong, Ming, Liu, Suling, Moscow, Jeffrey A., & Tai, Hsin-Hsiung. (2005). Downregulation of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase in non-small cell lung cancer and its clinical significance. *Cancer*, 104(6), 1230–1238.
16. Penning, Trevor M. (2015). The aldo-keto reductases (AKRs): Overview. *Chemico-Biological Interactions*, 234, 236–246.
17. Eling, T. E., & Curtis, J. F. (1992). Xenobiotic metabolism by cyclooxygenases and prostaglandin dehydrogenases. *Pharmacology & Therapeutics*, 53(2), 261–273.
18. Jörnvall, Hans, Persson, Bengt, Krook, Mikael, Atrian, Silvia, Gonzàles-Duarte, Roser, Jeffery, Jonathan, & Ghosh, Debashis. (1995). Short-chain dehydrogenases/reductases (SDR). *Biochemistry*, 34(18), 6003–6013.

19. Palla, Adela R., & Blau, Helen M. (2022). Gerozymes as therapeutic targets for age-related muscle impairment. *Nature Aging*, 2(5), 378–389.
20. Smith, Jason N., Desai, Amar, & Markowitz, Sanford D. (2019). Pharmacological inhibition of 15-PGDH accelerates hematopoietic recovery following bone marrow transplantation. *Blood*, 134(15), 1221–1233.
21. Desai, Amar, Zhang, Yongyou, Park, Youngja, & Markowitz, Sanford D. (2018). 15-PGDH inhibition enhances liver regeneration following partial hepatectomy. *Hepatology*, 68(4), 1540–1552.
22. Desai, Amar, & Markowitz, Sanford D. (2020). 15-PGDH as a master regulator of tissue regeneration and stem cell function. *Trends in Molecular Medicine*, 26(10), 912–923.
23. Backlund, Michael G., Mann, J. Robert, Holla, Vaishali R., Buchanan, F. Gregory, Tai, Hsin-Hsiung, & DuBois, Raymond N. (2005). 15-Hydroxyprostaglandin dehydrogenase is down-regulated in colorectal cancer. *Journal of Biological Chemistry*, 280(5), 3217–3223.
24. Lu, Shaowei, Yan, Min, & Markowitz, Sanford D. (2014). Epigenetic regulation of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase expression in human colon cancer cells. *Oncogene*, 33(9), 1120–1128.
25. Greenhough, A., Smartt, H. J., Moore, A. E., Roberts, H. R., Williams, A. C., Paraskeva, C., & Kaidi, A. (2009). The COX-2/PGE2 pathway: key roles in the hallmarks of cancer and adaptation to the tumour microenvironment. *Carcinogenesis*, 30(3), 377–386.
26. Huang, J. S., & Tai, H. H. (2010). Inhibition of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase enhances the tumorigenic potential of human colon cancer cells. *Cancer Letters*, 289(2), 161–168.
27. Wolf, Ido, O'Kelly, James, Rubinek, Tami, Mueller, Beatrice M., Tai, Hsin-Hsiung, & Koeffler, H. Phillip. (2006). 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase is a tumor suppressor of human breast cancer. *Cancer Research*, 66(15), 7818–7823.
28. Luo, J., Solimini, N. L., & Elledge, S. J. (2009). Principles of cancer therapy: oncogene and non-oncogene addiction. *Cell*, *136*(5), 823–837. https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.02.024
29. Ding, Yuan, Tong, Ming, Liu, Suling, Moscow, Jeffrey A., & Tai, Hsin-Hsiung. (2005). Downregulation of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase in non-small cell lung cancer and its clinical significance. *Cancer*, 104(6), 1230–1238.
30. Smart, B. P., & O'Neill, G. P. (1992). Regional cellular localization of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase mRNA in human tissues. *Prostaglandins*, 43(5), 411–422.
31. Challis, John R. G., Sloboda, Deborah M., Alfaidy, Nadia, Lye, Stephen J., Gibb, William, Patel, Falguni A., Whittle, W. L., & Newnham, John P. (2002). Prostaglandins and mechanisms of preterm birth. *Reproduction*, 124(1), 1–17.
32. Sangha, Rajinder K., Walton, Jennifer C., Ensor, Charles M., Tai, Hsin-Hsiung, & Challis, John R. G. (2008). Pro-inflammatory cytokines down-regulate 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase in human chorion trophoblast cells. *Biology of Reproduction*, 78(4), 723–730.
33. Antczak, Megan I., & Williams, Noelle S. (2017). Pharmacokinetics and pharmacodynamics of 15-PGDH inhibitor SW033291 in rodents. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 362(3), 440–448.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

34. Otani, T., Yamaguchi, K., Scherl, E., Du, B., Tai, H. H., Greenson, J. K., Cooper, H. S., & Dannenberg, A. J. (2006). Levels of 15-hydroxyprostaglandin dehydrogenase are reduced in inflammatory bowel disease and colon cancer. *Anatomical Record*, 288(12), 1265–1273.
35. Rosenberg, D. W., & Nakanishi, M. (2018). Targeting 15-PGDH for localized tissue repair and chemoprevention. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 18(12), 1002–1014.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

SENKRON MAKİNEDE ALAN AKIMININ POLYNOMİAL REGRESYON İLE TAHMİNİ

Dr. Öğretim Üyesi, HASAN UZEL [1], Dr. Öğretim Üyesi, FEYYAZ ALPSALAZ [2], Dr. Öğretim Üyesi, BEKİR EMRE ALTUN [3]

[1]Amasya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Bölümü, hasan.uzel@amasya.edu.tr - 0000-0002-8238-2588

[2]Amasya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Bölümü,, feyyaz.alpsalaz@amasya.edu.tr - 0000-0002-7695-6426

[3]Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, emre.altun@amasya.edu.tr - 0000-0002-1176-0035

ÖZET

Senkron makinelerde alan akımının doğru biçimde belirlenmesi; gerilim regülasyonu, reaktif güç kontrolü ve kararlı çalışma koşullarının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, alan akımı ile makinenin çalışma değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler, geleneksel doğrusal yaklaşımların tahmin başarımını sınırlandırabilmektedir. Bu çalışmada, senkron makinelerde alan akımının (I_f) tahmin edilmesi amacıyla üçüncü dereceden polinomsal regresyon modeli geliştirilmiş ve modelin tahmin performansı incelenmiştir. Araştırmada kullanılan veri seti, senkron makinenin farklı çalışma koşullarında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ölçümlerden oluşmaktadır. Modelin giriş değişkenleri olarak yük akımı (I_y) ve güç faktörü (PF), hedef değişken olarak ise alan akımı kullanılmıştır. Modelleme aşamasından önce gerçekleştirilen korelasyon incelemeleri ve görsel analizler, giriş değişkenleri ile alan akımı arasındaki ilişkinin doğrusal bir yapı göstermediğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan örüntüleri temsil edebilmek amacıyla üçüncü dereceden polinomsal özellikler oluşturulmuştur. Veri seti, gözlemlerin %80'i eğitim ve %20'si test için kullanılacak şekilde iki alt kümeye ayrılmıştır. Geliştirilen modelin başarımı belirlilik katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, polinomsal regresyon modelinin test veri setinde yaklaşık 0,93 R^2 değerine ulaştığını ve alan akımındaki değişimin önemli bir bölümünü açıklayabildiğini göstermiştir. Ayrıca gerçekleştirilen çapraz doğrulama analizi, modelin farklı veri bölmelerinde benzer ve tutarlı bir tahmin performansı sergilediğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, yük akımı ve güç faktörü bilgileri kullanılarak alan akımının yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, üçüncü dereceden polinomsal regresyon; düşük hesaplama karmaşıklığı, uygulanabilirliği ve doğrusal olmayan ilişkileri temsil edebilme yeteneği sayesinde senkron makinelerde alan akımı tahmini

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

için etkili ve güvenilir bir yöntem sunmaktadır. Geliştirilen yaklaşımın, senkron makinelerin izlenmesi, kontrolü ve uygun uyarma koşullarının belirlenmesine yönelik uygulamalara katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Senkron makine, alan akımı, polynomial regresyon, regresyon analizi, tahmin modeli.

1. GİRİŞ

Senkron makineler, endüstriyel uygulamalarda sabit hızda çalışabilmeleri, yüksek verim sağlamaları ve güç sistemi kararlılığına katkı sunmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makinelerde alan akımı, motorun kararlı çalışması, güç faktörünün düzenlenmesi ve enerji verimliliğinin artırılması açısından kritik bir parametredir. Alan akımının doğru belirlenmesi, senkron makinenin istenen çalışma koşullarında tutulmasına ve sistem performansının iyileştirilmesine doğrudan katkı sağlamaktadır (Glučina et al., 2023).
Bununla birlikte, alan akımının doğrudan ölçülmesi her zaman kolay değildir. Özellikle fırçasız uyarma sistemine sahip senkron makinelerde alan akımı doğrudan erişilebilir olmayabilir ve bu nedenle güvenilir tahmin yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, senkron makine parametreleri çoğu zaman doğrusal olmayan ilişkiler içerdiğinden, klasik matematiksel modeller bu ilişkileri yeterince temsil etmekte sınırlı kalabilmektedir (Deriszadeh et al., 2022).
Literatürde senkron makinelerde alan akımı tahminine yönelik farklı veri tabanlı yöntemler kullanılmıştır. Bayindir ve arkadaşları (2012), alan akımının reaktif güç kompanzasyonu açısından önemli olduğunu vurgulamış ve yük akımı, güç faktörü, güç faktörü hatası ve alan akımı değişimi gibi parametreleri kullanarak k-en yakın komşu yöntemiyle alan akımı tahmini gerçekleştirmiştir (Bayindir et al., 2012). Glučina ve arkadaşları (2023) ise aynı problem için doğrusal regresyon, rassal orman, destek vektör regresyonu, çok katmanlı algılayıcı ve XGBoost gibi farklı makine öğrenmesi yöntemlerini karşılaştırmıştır (Glučina et al., 2023).
Son yıllarda bu problem için daha gelişmiş yapay zekâ ve optimizasyon tabanlı yöntemler de önerilmiştir. Kuo ve arkadaşları (2023), SMOGN, MFO ve XGBoost tabanlı bir yaklaşım ile alan akımı tahmininde yüksek doğruluk elde etmiştir (Kuo et al., 2023). Dey ve arkadaşları (2023), yapay sinir ağı tabanlı bir model kullanarak alan akımı tahmininde yüksek doğruluk sağlandığını göstermiştir (Dey et al., 2023). Benzer şekilde Su ve arkadaşları (2024), MLP, RF, SVM ve hibrit modelleri karşılaştırmış; hibrit yaklaşımların doğruluk ve kararlılık açısından avantaj sağladığını belirtmiştir (Su et al., 2024).
Mevcut çalışmalar incelendiğinde, alan akımı tahmininde yüksek doğruluk elde etmek amacıyla çoğunlukla karmaşık makine öğrenmesi ve hibrit modelleme yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Ancak bu yöntemler genellikle yüksek hesaplama maliyeti, model karmaşıklığı ve düşük yorumlanabilirlik gibi sınırlılıklar içermektedir. Ayrıca bu modellerin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanımı, parametre ayarlama gereksinimleri ve hesaplama yükü nedeniyle zorlaşabilmektedir. Bu durum, daha basit ve uygulanabilir modelleme yaklaşımlarına olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Bu çalışmada, senkron makinede alan akımının tahmini amacıyla üçüncü dereceden (degree = 3) polynomial regresyon modeli kullanılmıştır. Çalışmanın temel katkısı, karmaşık yapay zekâ modellerine alternatif olarak daha sade, yorumlanabilir ve düşük hesaplama maliyetine sahip bir modelleme yaklaşımı sunmasıdır. Ayrıca, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerin polynomial regresyon ile modellenebilirliği analiz edilerek, bu yöntemin alan akımı tahminindeki başarımı istatistiksel ve görsel analizlerle değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, senkron makinelerde alan akımının tahminine yönelik olarak oluşturulmuş gerçek deneysel ölçümlerden elde edilmiştir. Senkron makineler, alternatif akım (AC) ile çalışan ve rotor hızının besleme frekansı ile senkronize olduğu elektrik makineleridir. Bu makinelerde stator sargıları tarafından oluşturulan döner manyetik alan ile rotor manyetik alanı aynı açısal hızda dönmekte olup, kararlı çalışma koşullarında rotor hızı senkron hızda sabit kalmaktadır. Bu özellik, senkron makinelerin hassas hız kontrolü gerektiren endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Chapman, 2005).

Alan akımı (excitation current), senkron makinelerde güç faktörünün ayarlanması, reaktif güç kompanzasyonu ve sistem kararlılığının sağlanması açısından kritik bir parametredir. Ancak özellikle fırçasız uyarma sistemlerinde alan akımının doğrudan ölçülmesi zor olduğundan, bu parametrenin güvenilir şekilde tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle literatürde alan akımı tahminine yönelik çeşitli veri tabanlı modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir (Kahraman, 2014; Kahraman et al., 2012).

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Kaggle platformunda yayımlanan “Synchronous Machine Dataset” çalışmasından elde edilmiştir (Fedesoriano, 2021). Veri seti toplam 557 gözlem ve 5 değişkenden oluşmaktadır. Veri setinde yer alan değişkenler; yük akımı (I_y), güç faktörü (PF), güç faktörü hatası (e_PF), alan akımı değişimi (d_if) ve hedef değişken olan alan akımı (I_f) olarak tanımlanmıştır.

Veri seti, senkron makinenin farklı çalışma koşullarını temsil eden ölçümlerden oluşmakta olup, literatürde alan akımı tahmini çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir veri yapısına sahiptir. Nitekim Kahraman (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da benzer parametreler kullanılarak alan akımı tahmini gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Kahraman, 2014; Kahraman et al., 2012). Bu yönüyle veri seti, makine öğrenmesi tabanlı modelleme yaklaşımlarının değerlendirilmesi açısından uygun bir test ortamı sunmaktadır.

Veri setinde eksik veri bulunmamakta olup tüm değişkenler sayısal (float) tiptedir. Bu durum, modelleme sürecinde veri ön işleme ihtiyacını azaltan önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Ortalama	Std. Sapma	Min	Medyan	Max
I_y	4,500	0,896	3,000	4,500	6,000
PF	0,825	0,104	0,650	0,820	1,000

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

e_PF	0,175	0,104	0,000	0,180	0,350
d_if	0,351	0,181	0,037	0,345	0,769
I_f	1,531	0,181	1,217	1,525	1,949

Tablo 1 incelendiğinde, güç faktörü (PF) değişkeninin 0.65 ile 1.00 aralığında değiştiği ve ortalama değerinin yaklaşık 0.825 olduğu görülmektedir. Benzer şekilde hedef değişken olan alan akımı (I_f) değerlerinin 1.217 ile 1.949 aralığında dağıldığı belirlenmiştir. Değişkenlerin standart sapma değerlerinin görece düşük olması, verilerin belirli bir bant aralığında yoğunlaştığını ve aşırı yayılım bulunmadığını göstermektedir.

Bu bulgular, veri setinin senkron makine davranışının modellenmesi ve alan akımının tahmin edilmesi açısından uygun bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Literatürde yer alan benzer çalışmalar, bu tür veri yapılarının makine öğrenmesi yöntemleri ile başarılı şekilde modellenebileceğini ortaya koymaktadır.

2.2. Korelasyon Analizi

Değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyon katsayıları, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve şiddetini belirlemek için kullanılmıştır. Elde edilen korelasyon değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Alan Akımı ile Değişkenler Arasındaki Korelasyon

Değişken	Korelasyon (I_f)
I_y	0,425
PF	-,.861
e_PF	0,861
d_if	1,000

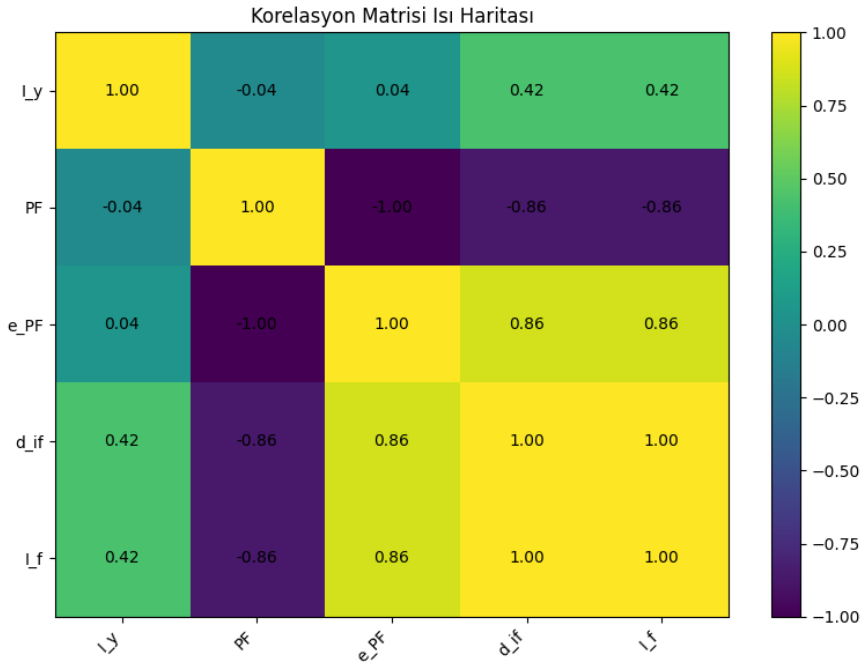
Tablo 2 incelendiğinde, alan akımı (I_f) ile en yüksek korelasyonun d_if değişkeni ile (r = 1.000) olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu değişkenlerin birbirinden türetilmiş olduğunu ve aralarında tam doğrusal bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Benzer şekilde güç faktörü (PF) ile güç faktörü hatası (e_PF) arasında da tam negatif korelasyon (r = -1.000) olduğu belirlenmiştir.

Alan akımı ile güç faktörü (PF) arasında yüksek düzeyde negatif korelasyon (r = -0.861) bulunurken, güç faktörü hatası (e_PF) ile yüksek düzeyde pozitif korelasyon (r = 0.861) gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, güç faktörünün alan akımı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Buna karşılık, yük akımı (I_y) ile alan akımı arasındaki ilişkinin orta düzeyde pozitif ($r \approx 0.425$) olduğu belirlenmiştir. Bu durum, yük akımının alan akımı üzerinde etkili olmakla birlikte, diğer değişkenlere kıyasla daha sınırlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Elde edilen korelasyon sonuçları, modelleme aşamasında kullanılacak değişkenlerin seçiminde önemli bir rehber sağlamaktadır. Özellikle tam korelasyona sahip değişkenlerin modelde birlikte kullanılması veri sızıntısına (data leakage) yol açabileceğinden, bu değişkenler modelleme sürecinde dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

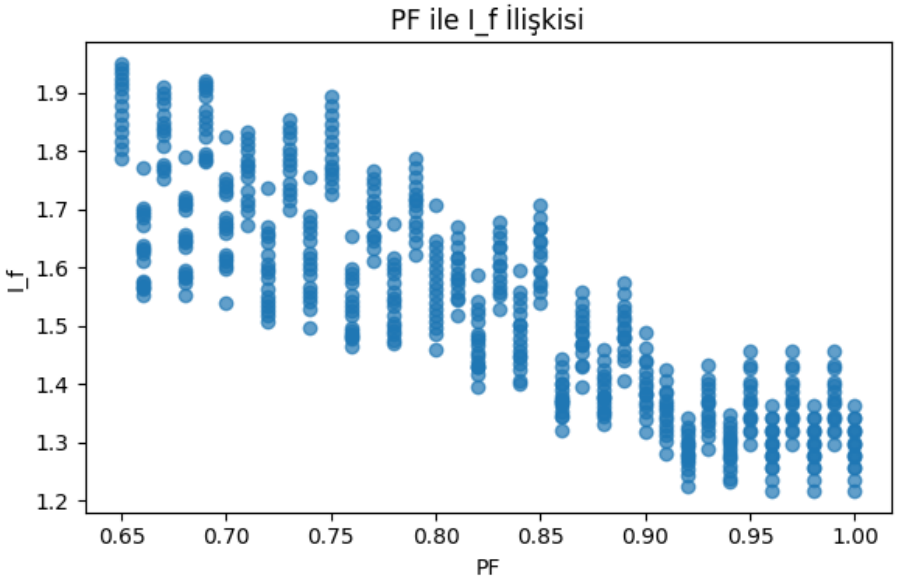
ISBN NR. : 978-625-8795-39-4



Görsel 1. Korelasyon Matrisi Isı Haritası

2.3. Görsel Analiz

Modelleme sürecine geçmeden önce, bağımsız değişkenler ile hedef değişken olan alan akımı (I_f) arasındaki ilişkilerin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, değişkenler arası ilişkiler saçılım (scatter) grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir.

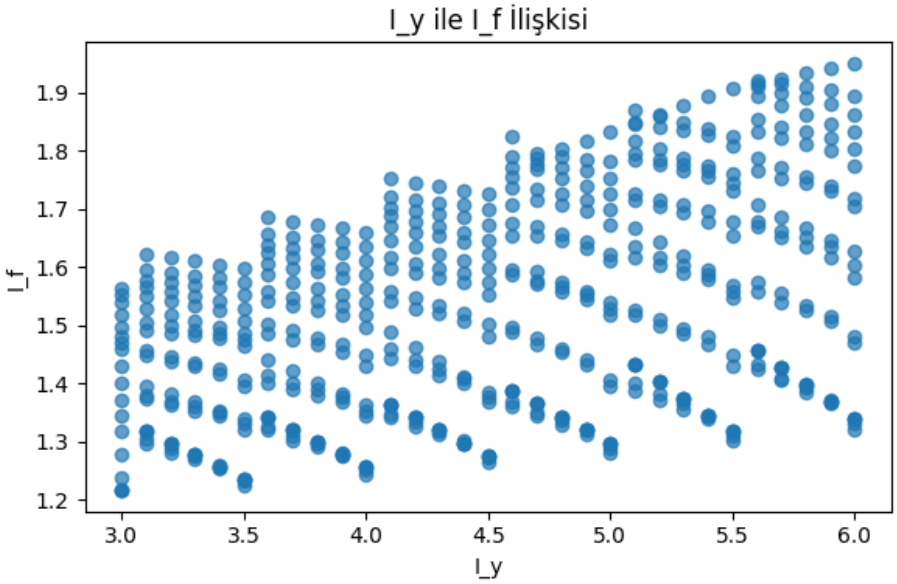


Görsel 2. Güç Faktörü (PF) ile Alan Akımı (I_f) Arasındaki İlişki

Şekil 2 incelendiğinde, güç faktörü (PF) ile alan akımı (I_f) arasında belirgin bir negatif ilişki olduğu görülmektedir. Güç faktörü arttıkça alan akımı değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, veri noktalarının doğrusal bir doğru etrafında tam olarak toplanmadığı ve belirli bir eğrisel yapı sergilediği dikkat çekmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Bu durum, değişkenler arasındaki ilişkinin tam anlamıyla doğrusal olmadığını ve sistem davranışının doğrusal olmayan özellikler içerdiğini göstermektedir. Dolayısıyla, alan akımının tahmininde doğrusal modellere kıyasla daha esnek modelleme yaklaşımlarının tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.



Görsel 3. İlişki Yük Akımı (I_y) ile Alan Akımı (I_f) Arasındaki İlişki

Şekil 3'te yük akımı (I_y) ile alan akımı (I_f) arasındaki ilişki verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, I_y ile I_f arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Yük akımı arttıkça alan akımının da artma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir.

Bununla birlikte, veri noktalarının belirli bantlar halinde gruplaştığı ve doğrusal bir dağılım yerine karmaşık ve kısmen doğrusal olmayan bir yapı sergilediği görülmektedir. Bu durum, sistemin davranışının yalnızca doğrusal ilişkilerle açıklanamayacağını ve modelleme sürecinde daha gelişmiş yöntemlerin kullanılmasının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

2.4. Modelleme

Bu çalışmada, senkron makinede alan akımının (I_f) tahmin edilmesi amacıyla polynomial regresyon modeli kullanılmıştır. Modelleme sürecinde, önceki bölümlerde gerçekleştirilen korelasyon ve görsel analizler dikkate alınarak değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrusal olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, doğrusal modellere kıyasla daha esnek bir yapı sunan polynomial regresyon yaklaşımı tercih edilmiştir. Modelleme sürecinde bağımsız değişkenler olarak güç faktörü (PF) ve yük akımı (I_y) kullanılmıştır. Korelasyon analizinde tam bağımlılık gösteren değişkenler (d_if ve e_PF), veri sızıntısını (data leakage) önlemek amacıyla modele dahil edilmemiştir. Bu yaklaşım, modelin gerçekçi ve genellenebilir sonuçlar üretmesi açısından önem taşımaktadır.

Polynomial regresyon modeli, bağımsız değişkenlerin yüksek dereceden terimlerini ve çapraz çarpımlarını modele dahil ederek doğrusal olmayan ilişkileri ifade edebilmektedir. Bu çalışmada, üçüncü dereceden (degree = 3) polynomial regresyon modeli kullanılmıştır (Kilic, 2013). Model genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$I_f = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x_1 x_2 + \cdots \quad (1)$$

Bu yapı sayesinde model, değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri daha başarılı bir şekilde öğrenebilmekte ve tahmin performansını artırmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Modelleme sürecinde veri seti %80 eğitim (train) ve %20 test olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Eğitim verisi modelin öğrenmesi için kullanılırken, test verisi modelin daha önce görmediği veriler üzerindeki performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.
Ayrıca, model performansını artırmak ve değişkenler arasındaki ölçek farklarını ortadan kaldırmak amacıyla veri setine StandardScaler yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ile değişkenler standartlaştırılarak modelin daha dengeli öğrenmesi sağlanmıştır.

2.5. Performans Ölçütleri

Oluşturulan modellerin performansını değerlendirmek amacıyla üç farklı istatistiksel ölçüt kullanılmıştır: determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hata (RMSE).

Determinasyon Katsayısı (R^2)

Determinasyon katsayısı, modelin hedef değişkendeki varyansın ne kadarını açıkladığını gösteren bir performans ölçütüdür. R^2 değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, değerin 1'e yaklaşması modelin daha iyi bir uyum sağladığını göstermektedir (Aslan et al., 2026).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{m}(y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum_{j=1}^{m}(y_j - \bar{y})^2} \tag{2}$$

Ortalama Mutlak Hata (MAE)

Ortalama mutlak hata, model tarafından yapılan tahminlerin gerçek değerlere olan ortalama mutlak uzaklığını ifade etmektedir. Düşük MAE değeri, modelin daha doğru tahminler yaptığını göstermektedir (Aslan et al., 2026).

$$MAE = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left|y_j - \hat{y}_j\right| \tag{3}$$

Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)

Kök ortalama kare hata, model hatalarının karelerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanmaktadır. RMSE, büyük hataları daha fazla cezalandıran bir ölçüt olup model performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Aslan et al., 2026).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}(y_j - \hat{y}_j)^2} \tag{4}$$

Bu ölçütler birlikte değerlendirildiğinde, modellerin hem doğruluk hem de hata performansı kapsamlı bir şekilde analiz edilebilmektedir (Aslan et al., 2026).

3. BULGULAR

Bu bölümde oluşturulan doğrusal ve polynomial regresyon modellerinin performans sonuçları değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular tablolar ve grafikler yardımıyla sunulmuştur.

3.1. Model Performans Sonuçları

Oluşturulan polynomial regresyon modellerinin performansları Tablo 3'te sunulmuştur.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Çizelge 3. Model Performans Sonuçları

Model	Train R^2	Test R^2	Train MAE	Test MAE	Train RMSE	Test RMSE
Simple Polynomial Regression (Deg=3)	0,764	0,699	0,071	0,085	0,087	0,101
Multiple Polynomial Regression (Deg=3)	0,934	0,931	0,037	0,039	0,046	0,048

Tablo 3 incelendiğinde, çok değişkenli polynomial regresyon modelinin tüm performans ölçütlerinde basit modele kıyasla daha başarılı olduğu görülmektedir. Özellikle test veri setinde elde edilen $R^2 \approx 0.93$ değeri, modelin alan akımındaki değişimin büyük bir kısmını açıklayabildiğini göstermektedir.

Ayrıca eğitim ve test sonuçlarının birbirine oldukça yakın olması, modelde aşırı öğrenme (overfitting) probleminin oluşmadığını göstermektedir. Basit modelin ise daha düşük R^2 ve daha yüksek hata değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, sistemin doğrusal olmayan yapısının basit model tarafından yeterince temsil edilemediğini ortaya koymaktadır.

3.2. Cross Validation Sonuçları

Modelin genelleme kabiliyetini değerlendirmek amacıyla 5 katlı çapraz doğrulama uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Çapraz Doğrulama Sonuçları

Model	CV R^2 (Ort.)	Std	CV MAE	Std	CV RMSE	Std
Simple Polynomial Regression (Deg=3)	0,740	0,029	0,075	0,005	0,091	0,005
Multiple Polynomial Regression (Deg=3)	0,930	0,008	0,038	0,001	0,047	0,001

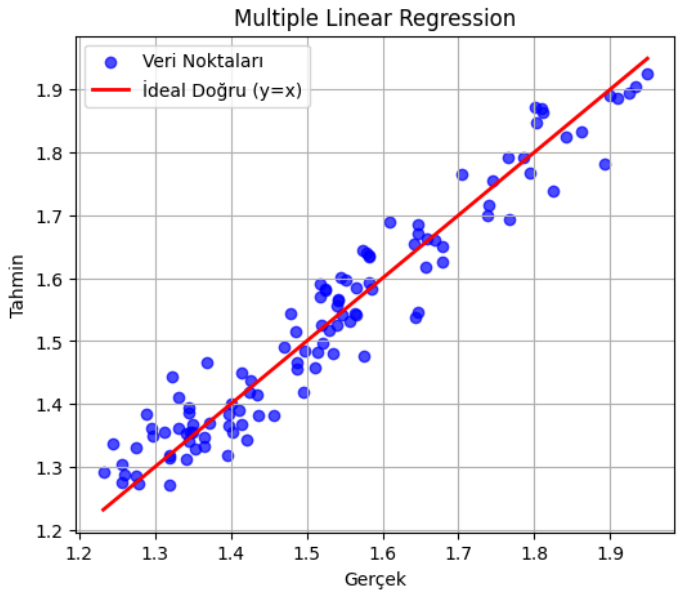
Tablo 4 incelendiğinde, çok değişkenli polynomial modelin ortalama $R^2 \approx 0.93$ değeri ile yüksek performans sergilediği görülmektedir. Ayrıca standart sapma değerlerinin oldukça düşük olması, modelin farklı veri bölmelerinde tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Basit modelin ise daha düşük ortalama R^2 değerine ve daha yüksek varyansa sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, basit modelin genelleme performansının daha zayıf olduğunu göstermektedir.

Elde edilen çapraz doğrulama sonuçları, çok değişkenli polynomial regresyon modelinin yalnızca eğitim ve test verilerinde değil, farklı veri bölmelerinde de başarılı performans sergilediğini ve güvenilir bir model olduğunu ortaya koymaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3.3. Model Tahmin Başarısı



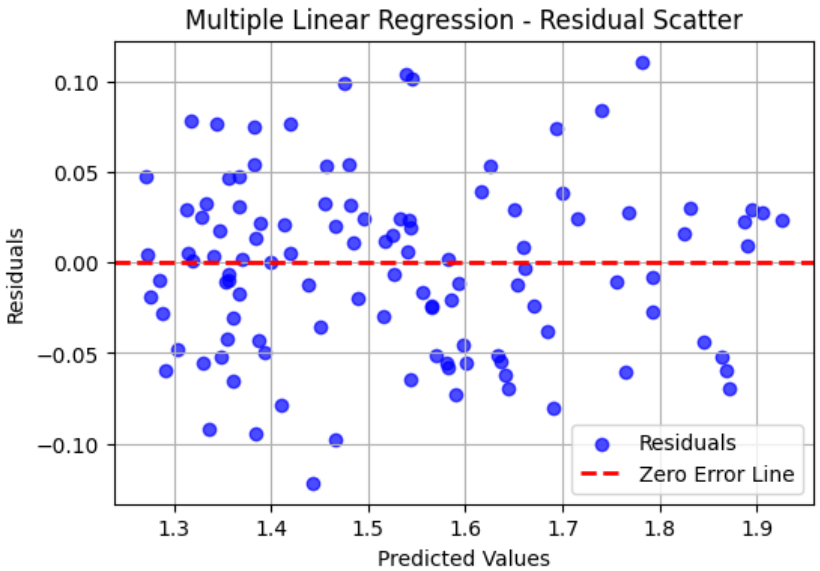
Görsel 4. Gerçek ve Tahmin Edilen Alan Akımı Değerleri

Şekil 4'te modeller tarafından tahmin edilen alan akımı değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafikte yer alan ideal doğru (y = x), modelin mükemmel tahmin yaptığı durumu temsil etmektedir.

Şekil incelendiğinde, çok değişkenli polynomial regresyon modeline ait veri noktalarının ideal doğruya oldukça yakın konumlandığı görülmektedir. Bu durum, modelin gerçek değerlere yüksek doğrulukla yakınsadığını ve başarılı tahminler ürettiğini göstermektedir.

Buna karşılık, basit modelde veri noktalarının ideal doğrudan daha fazla sapma gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu durum, basit modelin tahmin performansının daha düşük olduğunu ve sistemdeki karmaşık ilişkileri yeterince temsil edemediğini ortaya koymaktadır.

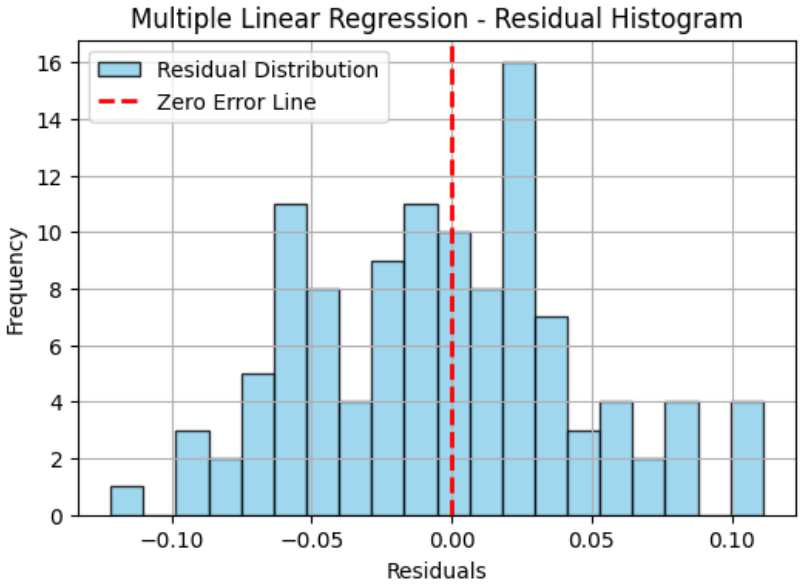
3.4. Residual Analizi



Görsel 5. Residual Dağılımı (Scatter Grafiği)

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Şekil 5'te model tahminlerine ait residual (hata) değerlerinin dağılımı verilmiştir. İyi bir modelde hata değerlerinin sıfır etrafında rastgele dağılması beklenmektedir.
Grafik incelendiğinde, çok değişkenli polynomial modelde residual değerlerin sıfır etrafında dengeli ve rastgele bir dağılım sergilediği görülmektedir. Bu durum, modelin sistematik hata üretmediğini ve güvenilir tahminler yaptığını göstermektedir.
Buna karşılık, basit modelde residual değerlerin belirli bölgelerde yoğunlaştığı ve daha geniş bir aralığa yayıldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, modelin bazı bölgelerde daha yüksek hata yaptığını ve performansının sınırlı olduğunu göstermektedir.



Görsel 6. Residual Histogramı

Şekil 6'da residual değerlerin frekans dağılımı gösterilmektedir. Histogram incelendiğinde, çok değişkenli polynomial modelde hata değerlerinin sıfır etrafında yoğunlaştığı ve daha dar bir aralıkta dağıldığı görülmektedir.
Bu durum, modelin genel olarak düşük hata ile çalıştığını ve tahmin performansının yüksek olduğunu göstermektedir. Buna karşın basit modelde hata dağılımının daha geniş olduğu ve uç değerlerin daha fazla bulunduğu gözlemlenmektedir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, senkron makinelerde alan akımının (I_f) tahmininde polynomial regresyon modelinin başarılı olduğunu göstermektedir. Görsel analizler incelendiğinde, değişkenler arasındaki ilişkinin tam olarak doğrusal olmadığı ve belirli bir eğrisel yapı sergilediği görülmektedir. Bu durum, doğrusal modellere kıyasla polynomial regresyon modelinin tercih edilmesini desteklemektedir.
Elde edilen bulgulara göre, çok değişkenli polynomial modelin test veri setinde yaklaşık $R^2 \approx 0.93$ değerine ulaşması, modelin yüksek doğrulukla tahmin yapabildiğini göstermektedir. Ayrıca eğitim ve test sonuçlarının birbirine yakın olması, modelin dengeli bir öğrenme gerçekleştirdiğini ve aşırı öğrenme (overfitting) probleminin oluşmadığını göstermektedir.

Çapraz doğrulama sonuçlarının da benzer seviyelerde olması, modelin farklı veri bölmelerinde tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, modelin güvenilirliğini destekleyen önemli bir bulgudur.
Fiziksel açıdan değerlendirildiğinde, güç faktörü (PF) ile alan akımı (I_f) arasında ters yönlü bir ilişkinin bulunması beklenen bir durumdur. Elde edilen model sonuçları da bu fiziksel davranışı doğrular niteliktedir.
Sonuç olarak, polynomial regresyon modelinin bu veri seti için uygun ve etkili bir yöntem olduğu görülmektedir. Ancak modelin farklı veri setleri üzerinde test edilmesi, gelecekte yapılacak çalışmalar açısından önem taşımaktadır.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, senkron makinelerde alan akımının (I_f) tahmini amacıyla polynomial regresyon modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını ve bu nedenle polynomial regresyon yaklaşımının uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir. Üçüncü dereceden (degree = 3) polynomial regresyon modeli ile yapılan analizler sonucunda, modelin test veri setinde yaklaşık $R^2 \approx 0.93$ değerine ulaştığı görülmüştür. Bu sonuç, modelin alan akımını yüksek doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir.
Ayrıca eğitim ve test performanslarının birbirine yakın olması ve çapraz doğrulama sonuçlarının da benzer seviyelerde bulunması, modelin güvenilir ve dengeli bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.
Sonuç olarak, polynomial regresyon modelinin senkron makine alan akımı tahmininde etkili ve uygulanabilir bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarda, modelin farklı veri setleri üzerinde test edilmesi ve farklı makine öğrenmesi yöntemleri ile karşılaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Aslan, E., Özüpak, Y., Alpsalaz, F., & Uzel, H. (2026). Accurate short-horizon multi-target prediction of PMSM operational parameters via residual dilated 1D convolutional neural networks. *Computational Systems and Artificial Intelligence, 2*(1), 7–14. https://doi.org/10.69882/adba.csai.2026012

Bayindir, R., Yesilbudak, M., Colak, I., & Sagiroglu, S. (2012). Excitation current forecasting for reactive power compensation in synchronous motors: A data mining approach. In *2012 11th International Conference on Machine Learning and Applications* (Vol. 2, pp. 521–525). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICMLA.2012.185

Chapman, S. J. (2005). *Electric machinery fundamentals* (4th ed.). McGraw-Hill.

Deriszadeh, A., Ćalasan, M. P., Alaei, A., & Gieras, J. F. (2022). A novel field current estimation method for brushless wound-field synchronous machine. *IEEE Transactions on Transportation Electrification, 8*(3), 3524–3533. https://doi.org/10.1109/TTE.2022.3162173

Dey, S., Halder, M., & Dey, A. (2023). Prediction of excitation current of synchronous machines based on neural network model. *Recent Trends in Electronics & Communication Systems*, *10*(1), 28–31.

Fedesoriano. (2021). *Synchronous machine dataset* [Data set]. Kaggle. Retrieved April 26, 2026, from https://www.kaggle.com/datasets/fedesoriano/synchronous-machine-dataset

Glučina, M., Anđelić, N., Lorencin, I., & Car, Z. (2023). Estimation of excitation current of a synchronous machine using machine learning methods. *Computers*, *12*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/computers12010001

Kahraman, H. T. (2014). Metaheuristic linear modeling technique for estimating the excitation current of a synchronous motor. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *22*(6), 1637–1652. https://doi.org/10.3906/elk-1301-11

Kahraman, H. T., Bayindir, R., & Sagiroglu, S. (2012). A new approach to predict the excitation current and parameter weightings of synchronous machines based on genetic algorithm-based k-NN estimator. *Energy Conversion and Management*, *64*, 129–138. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.05.004

Kilic, S. (2013). Linear regression analysis. *Journal of Mood Disorders*, *3*(2), 90. https://doi.org/10.5455/jmood.20130624120840

Kuo, P. H., Chen, Y. T., & Yau, H. T. (2023). SMOGN, MFO, and XGBoost based excitation current prediction model for synchronous machine. *Computer Systems Science and Engineering*, *46*(3), 2687–2709. https://doi.org/10.32604/csse.2023.036293

Su, P., Sun, W., & Yao, X. (2024). Analysis of excitation current in synchronous motors based on multiple machine learning models. In *2024 6th International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)* (pp. 192–198). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICAICA63239.2024.10823020

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

RESNET-RS-50 KULLANILARAK GÜNEŞ FOTOVOLTAİK PANELLERİNDE DERİN ÖĞRENME TABANLI TOZ TESPİTİ

Dr. Öğretim Üyesi, HASAN UZEL [1], Dr. Öğretim Üyesi, BEKİR EMRE ALTUN [2], Dr. Öğretim Üyesi, FEYYAZ ALPSALAZ [3]

[1]Amasya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Bölümü, hasan.uzel@amasya.edu.tr - 0000-0002-8238-2588

[2]Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, emre.altun@amasya.edu.tr - 0000-0002-1176-0035

[3]Amasya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Bölümü, feyyaz.alpsalaz@amasya.edu.tr - 0000-0002-7695-6426

ÖZET

Güneş fotovoltaik (PV) panellerinde toz birikmesi, gelen ışınımı engelleyerek enerji üretimini azaltabilmekte ve bakım planlamasını güçleştirebilmektedir. Bu çalışma, PV panel görüntülerinin temiz veya tozlu olarak sınıflandırılması için ResNet-RS-50 tabanlı bir transfer öğrenme yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmada 502 temiz ve 340 tozlu örnek olmak üzere toplam 842 görüntü içeren bir veri seti kullanılmıştır. Tabakalı örnekleme yöntemiyle veri seti sırasıyla 589, 126 ve 127 görüntü içeren eğitim, doğrulama ve test alt kümelerine ayrılmıştır. Görüntüler 256 × 256 piksel boyutuna yeniden ölçeklendirilmiş ve piksel değerleri [0, 1] aralığına dönüştürülmüştür. Modelin genelleme yeteneğini artırmak amacıyla rastgele yatay çevirme yalnızca eğitim alt kümesine uygulanmıştır. ImageNet-1K üzerinde önceden eğitilmiş ResNet-RS-50 modelinin özgün sınıflandırma katmanı, iki sınıflı bir çıkış katmanıyla değiştirilmiştir. İnce ayar sırasında son artık blok ve sınıflandırıcı eğitilirken önceki omurga katmanları dondurulmuştur. Model; Adam eniyileyicisi, 1×10^{-4} öğrenme oranı, 32 mini-batch boyutu ve 0,1 etiket yumuşatma içeren çapraz entropi kaybı kullanılarak 15 epok boyunca eğitilmiştir. Model, test alt kümesinde %99,21 doğruluk, %99,02 dengeli doğruluk, 0,9921 ağırlıklı F1-skoru, 0,9837 Matthews korelasyon katsayısı ve 1,0000 ROC-AUC değerine ulaşmıştır. Model, 76 temiz görüntünün tamamı ile 51 tozlu görüntünün 50'si dâhil olmak üzere 127 görüntünün 126'sını doğru sınıflandırmıştır. Bu sonuçlar, ince ayarlı ResNet-RS-50 modelinin incelenen veri setinde temiz ve tozlu PV panellerini yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, değerlendirme tek bir veri setine, tek bir veri bölünmesine ve tek bir rastgelelik tohumu değerine dayanmaktadır. Gelecek çalışmalarda genellenebilirlik; tekrarlı deneyler, harici doğrulama, farklı veri setleri ve saha koşullarında gerçekleştirilecek testler

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

aracılığıyla değerlendirilmelidir. Önerilen yaklaşım, otomatik PV panel izleme ve bakım sistemlerini destekleyebilir.
Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik paneller, toz tespiti, derin öğrenme, ResNet-RS-50, transfer öğrenme, görüntü sınıflandırma.

1. GİRİŞ

Güneş fotovoltaik (PV) enerjisi, ölçeklenebilirliği ve azalan kurulum maliyetleri nedeniyle sürdürülebilir elektrik üretiminin giderek daha önemli bir bileşeni hâline gelmiştir (Reinders et al., 2017). Bununla birlikte, PV sistemlerinin performansı çevresel koşullardan önemli ölçüde etkilenmekte olup toz birikmesi başlıca enerji kaybı kaynaklarından biridir. Deneysel bulgular, artan toz yoğunluğunun PV modüllerinin güç çıkışını önemli ölçüde azaltabildiğini göstermektedir (Jiang et al., 2011). Önceki araştırmalar ise kirlenme kaynaklı kayıpların iklim, çevresel koşullara maruz kalma süresi, panel eğimi ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır (Mani & Pillai, 2010). Bu nedenle toz birikiminin güvenilir biçimde tespit edilmesi, uygun temizlik ve bakım işlemlerinin planlanması açısından önem taşımaktadır.

PV panellerinin incelenmesi ve kirlenme düzeylerinin değerlendirilmesi; sensör tabanlı izleme, termal görüntüleme, Nesnelerin İnterneti destekli kameralar ve dijital görüntü işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Onim et al., 2023). Bu teknikler yararlı bilgiler sağlayabilmekle birlikte, bazıları özel algılama ekipmanları, fiziksel kurulum veya elle tasarlanmış görüntü özellikleri gerektirmektedir. Geleneksel bilgisayarlı görü yaklaşımları ayrıca aydınlatma, görüntüleme açısı, arka plan ve toz dağılımındaki değişimlere karşı duyarlı olabilmektedir. Bu sınırlılıklar, derin öğrenmeye dayalı veri odaklı görsel inceleme yöntemlerinin geliştirilmesini teşvik etmiştir.

Evrişimli sinir ağları (CNN'ler), hiyerarşik görüntü özelliklerini öğrenebilmekte ve görsel sınıflandırma görevlerinde yüksek performans göstermektedir. Özellikle artık ağlar (ResNet'ler), eniyileme sürecini kolaylaştırmak ve çok daha derin mimarilerin etkili biçimde eğitilmesini sağlamak amacıyla kısa yol bağlantılarından ve artık eşlemelerden yararlanmaktadır (He et al., 2016). ResNet-RS, geliştirilmiş eğitim ve ölçeklendirme stratejilerini küçük mimari değişikliklerle birleştirerek sınıflandırma doğruluğu ile hesaplama verimliliği arasında daha uygun bir denge kurmakta ve bu ağ ailesini daha ileriye taşımaktadır (Bello et al., 2021).

Derin öğrenme, PV panellerinin incelenmesi ve toz birikiminin değerlendirilmesi amacıyla giderek daha fazla araştırılmaktadır. Onim et al. (2023), temiz ve tozlu güneş panellerini birbirinden ayırmak üzere özel olarak tasarlanan SolNet adlı bir CNN mimarisi geliştirmiş ve beş katlı çapraz doğrulama sonucunda ortalama %98,2 sınıflandırma doğruluğu bildirmiştir (Onim et al., 2023). Fan et al. (2022), PV panellerindeki homojen olmayan toz birikiminin nicel olarak belirlenmesi için derin artık sinir ağına (DRNN) dayalı bir çerçeve önermiş ve bölgesel toz yoğunluklarını tahmin etmek amacıyla bu ağdan yararlanmıştır (Fan et al., 2022). Zyout ve Qatawneh, PV panel yüzeylerini normal veya kusurlu olarak sınıflandırmak için önceden eğitilmiş bir AlexNet modeliyle transfer öğrenme uygulamış, yaklaşık %93,3 ile en yüksek doğrulama doğruluğuna ulaşmış ve CNN tabanlı otomatik incelemenin potansiyelini

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

göstermiştir (Zyout & Qatawneh, 2020). Bu çalışmalar, PV yüzey analizinde derin öğrenmenin önemini doğrulamaktadır. Bununla birlikte, daha güncel ResNet-RS ailesinin ikili toz sınıflandırmasındaki uygulanabilirliği sınırlı düzeyde incelenmiştir. Ayrıca model başarımının hem genel doğruluğu hem de sınıfa özgü tahmin davranışını dikkate alan ölçütlerle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu doğrultuda çalışmada, güneş PV paneli görüntülerinin temiz veya tozlu olarak sınıflandırılması amacıyla ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş bir ResNet-RS-50 modeli incelenmiştir. Deneyler; 502 temiz ve 340 tozlu örnek olmak üzere toplam 842 görüntü içeren, halka açık bir veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir (Garladinne, n.d.). Model; doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-skoru, dengeli doğruluk, Matthews korelasyon katsayısı (MCC) ve alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan (ROC-AUC) kullanılarak değerlendirilmiştir. ROC-AUC, farklı sınıflandırma eşikleri boyunca modelin ayırt etme performansını özetlemektedir (Fawcett, 2006). MCC ise karışıklık (confusion) matrisinin dört bileşenini de dikkate alarak dengeli bir değerlendirme sunmaktadır (Chicco & Jurman, 2020).

Bu çalışmanın temel katkıları aşağıda sıralanmıştır:

- ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş bir ResNet-RS-50 modeli, güneş PV paneli görüntülerinde ikili toz sınıflandırması için uyarlanmış ve değerlendirilmiştir.
- Tabakalı eğitim, doğrulama ve test alt kümelerine dayanan, ayrıntıları açıklanmış bir transfer öğrenme süreci sunulmuştur.
- Model performansı; karışıklık matrisi ve ROC analiziyle birlikte, birbirini tamamlayan genel, sınıf bazlı ve eşikten bağımsız değerlendirme ölçütleri kullanılarak incelenmiştir.
- Görüntü tabanlı toz sınıflandırmasının otomatik PV panel izleme ve bakım sistemlerinin bir bileşeni olarak kullanılma potansiyeli tartışılmıştır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de veri seti ve ön işleme süreci açıklanmıştır. Bölüm 3'te ResNet-RS-50 modeli ve deneysel yapılandırma sunulmuştur. Bölüm 4'te deneysel sonuçlar verilmiş ve tartışılmıştır. Son olarak Bölüm 5'te temel bulgular, sınırlılıklar ve gelecekteki araştırma yönleri özetlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri Setinin Tanımlanması

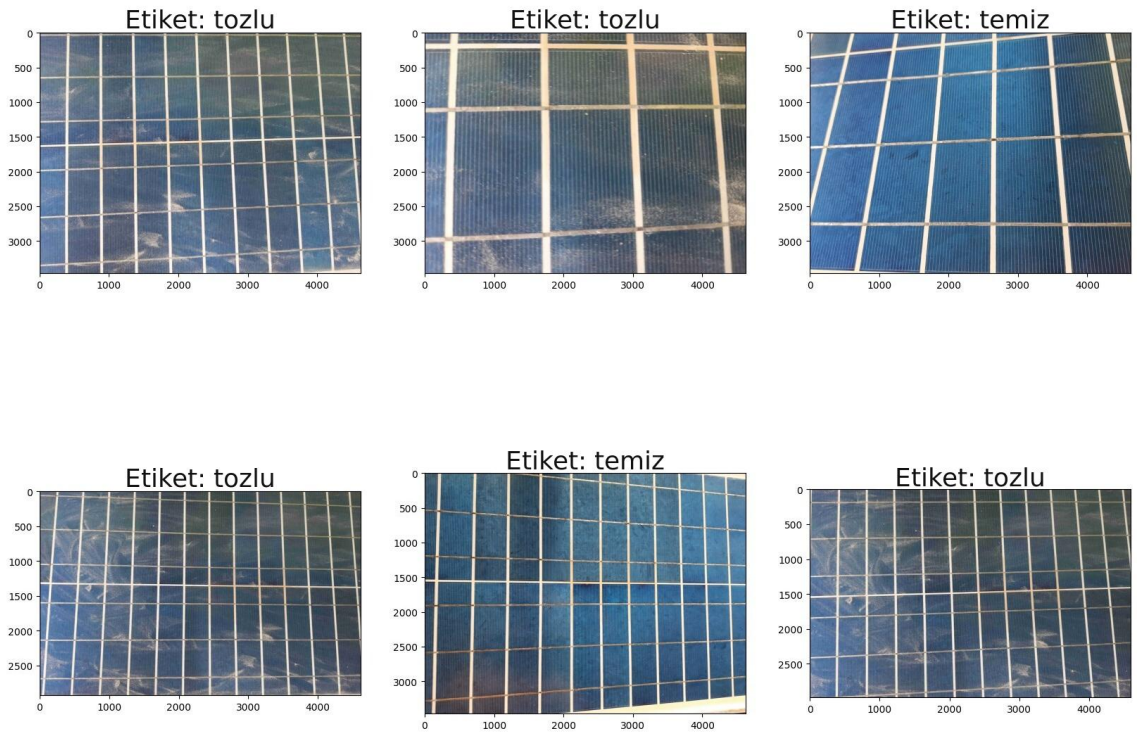
Bu çalışmada kullanılan görüntü veri seti, halka açık Kaggle veri deposunda yer alan "Solar Photovoltaic Panel for Dust Detection" başlıklı veri setinden elde edilmiştir (Garladinne, n.d.). Veri seti, temiz ve tozlu olmak üzere iki sınıf altında düzenlenmiş toplam 842 RGB görüntü içermektedir. Temiz sınıfı 502 görüntüden (%59,62), tozlu sınıfı ise 340 görüntüden (%40,38) oluşmaktadır. Veri setinin sınıf dağılımı Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Veri setinin sınıf dağılımı

Sınıf	Sayı	Yüzde
Temiz	502	59,62%
Tozlu	340	40,38%
Toplam	842	100%

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Veri seti, temiz panel görüntülerinin çoğunluk sınıfını oluşturduğu orta düzeyde bir sınıf dengesizliği göstermektedir. Genel veri artırma işlemleri bu dengesizliği doğrudan ortadan kaldırmamaktadır. Bu nedenle, eğitim, doğrulama ve test alt kümelerinde özgün sınıf oranlarını korumak amacıyla tabakalı örnekleme kullanılmıştır. Bu sınıf dağılımı altında model performansının daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi için genel doğruluğun yanı sıra dengeli doğruluk, sınıf bazlı ölçütler ve Matthews korelasyon katsayısı raporlanmıştır.
İki sınıfa ait temsili görüntüler Görsel 1'de gösterilmiştir. Temiz örnekler genellikle görsel açıdan homojen panel yüzeyleri sergilerken tozlu örneklerde görünür toz birikimi ve diğer yüzey kirlenmeleri bulunmaktadır. Veri seti yalnızca görüntü düzeyinde sınıf etiketleri içerdiğinden bu çalışma, tozun görüntü üzerindeki konumunun veya kapladığı alanın belirlenmesi ve kirlenme düzeyinin tahmin edilmesi yerine ikili görüntü sınıflandırmasına odaklanmaktadır.



Görsel 1. Temiz ve tozlu PV panel sınıflarına ait temsili görüntüler

Veri seti, yaklaşık %70–%15–%15 oranlarında tabakalı bölme uygulanarak eğitim, doğrulama ve test alt kümelerine ayrılmıştır. Elde edilen alt kümeler 589 eğitim, 126 doğrulama ve 127 test görüntüsünden oluşmaktadır. Alt kümelerin dağılımı Çizelge 2'de sunulmuştur. Test alt kümesi yalnızca nihai performans değerlendirmesi için ayrılmış; model eğitimi veya hiperparametre ayarlaması sırasında kullanılmamıştır.

Çizelge 2. Eğitim, doğrulama ve test alt kümelerinin dağılımı

Alt küme	Sayı	Yüzde
Eğitim	589	69,95%
Doğrulama	126	14,96%

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Test	127	15,08%
Toplam	842	100%

2.2. Ön İşleme ve Veri Artırma

ResNet-RS-50 modeline girdi olarak verilmeden önce tüm görüntüler 256 × 256 piksel boyutuna yeniden ölçeklendirilmiş, üç kanallı tensörlere dönüştürülmüş ve piksel değerleri [0, 1] aralığına ölçeklendirilmiştir. Eğitim sırasında rastgele yatay çevirme, görüntü çeşitliliğini artırmak ve aşırı uyumu azaltmak amacıyla dinamik bir veri artırma tekniği olarak uygulanmıştır (Shorten & Khoshgoftaar, 2019). Doğrulama ve test görüntülerine yalnızca yeniden boyutlandırma, tensöre dönüştürme ve piksel değerlerini ölçeklendirme işlemleri uygulanmış; bu alt kümelerde herhangi bir rastgele veri artırma işlemi kullanılmamıştır. Bu ayrım, model performansının veri artırma uygulanmamış doğrulama ve test örnekleri üzerinde değerlendirilmesini sağlamıştır.

2.3. ResNet-RS-50 Model Yapılandırması

Bu çalışmada, güneş PV paneli görüntülerinin temiz veya tozlu olarak sınıflandırılması amacıyla ResNet-RS-50 modeli kullanılmıştır. ResNet-RS; geliştirilmiş eğitim ve ölçeklendirme stratejilerini ResNet-D değişiklikleri ve Squeeze-and-Excitation (SE) modülleriyle bütünleştirerek geleneksel artık ağ mimarisini geliştirmektedir (Bello et al., 2021). Bu iyileştirmeler, modeli transfer öğrenmeye dayalı görüntü sınıflandırması için uygun bir omurga hâline getirmektedir.

ResNet-RS-50 modeli, ImageNet-1K veri seti üzerinde önceden eğitilmiş ağırlıklarla başlatılmıştır (Deng et al., 2009). Modelin özgün sınıflandırma katmanı, iki hedef sınıfa karşılık gelen yeni bir çıkış katmanıyla değiştirilmiştir. İnce ayar sırasında yalnızca son artık blok ile yeni sınıflandırma katmanı eğitilmiş; daha önce öğrenilmiş özellik gösterimlerini korumak amacıyla önceki omurga katmanları dondurulmuştur. Model ve eğitim yapılandırması Çizelge 3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3. ResNet-RS-50 model ve eğitim yapılandırması

Parametre	Yapılandırma
Model	ResNet-RS-50 (tf_in1k)
Önceden eğitilmiş ağırlıklar	ImageNet-1K
Girdi boyutu	256 × 256 × 3
İnce ayar uygulanan bileşenler	Son artık blok ve sınıflandırıcı
Çıktı sınıfı sayısı	2
Optimizasyon algoritması	Adam
Başlangıç öğrenme oranı	(1×10^{-4})
Kayıp fonksiyonu	CrossEntropyLoss
Etiket yumuşatma	0,1
Epok sayısı	15

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

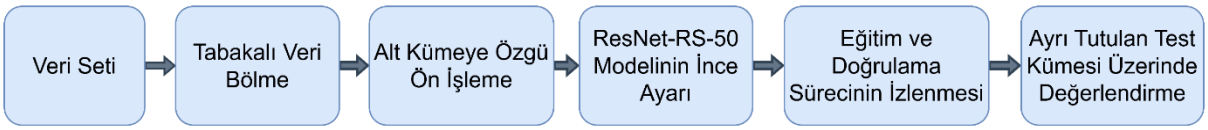
Mini-batch boyutu	32
Rastgelelik tohumu (random seed)	2024
Veri yükleme süreci sayısı	4
Hesaplama donanımı	CUDA destekli GPU

2.4. Eğitim Süreci

Model; Adam optimizasyon algoritması (Kingma & Ba, 2015), 1×10^{-4} başlangıç öğrenme oranı ve 32 mini-batch boyutu kullanılarak 15 epok boyunca eğitilmiştir. Tahminlerde aşırı güveni azaltmak ve eğitim sırasında düzenlileştirme sağlamak amacıyla etiket yumuşatma ($\varepsilon = 0{,}1$) içeren çapraz entropi kayıp fonksiyonu kullanılmıştır (Szegedy et al., 2016). Yakınsamayı ve olası aşırı uyumu izlemek amacıyla eğitim ve doğrulama kayıp ve doğruluk değerleri her epokta kaydedilmiştir.

Tüm deneyler CUDA destekli bir GPU üzerinde gerçekleştirilmiştir. Veri bölme ve model eğitimi işlemlerinin tekrarlanabilirliğini artırmak amacıyla 2024 değerinde sabit bir rastgelelik tohumu kullanılmıştır. Doğrulama alt kümesi, eğitim sırasında model performansını izlemek için kullanılırken eğitimden ayrı tutulan test alt kümesi yalnızca nihai değerlendirmede kullanılmıştır.

Genel deneysel iş akışı Görsel 2'de gösterilmiştir. Veri setinin tamamı öncelikle tabakalı örnekleme kullanılarak eğitim, doğrulama ve test alt kümelerine ayrılmıştır. Daha sonra her alt kümeye özgü ön işleme uygulanmıştır. Rastgele yatay çevirme yalnızca eğitim alt kümesinde kullanılırken doğrulama ve test alt kümelerine rastgelelik içermeyen ön işleme uygulanmıştır. Ardından önceden eğitilmiş ResNet-RS-50 modeline eğitim alt kümesi kullanılarak ince ayar uygulanmış ve modelin yakınsaması doğrulama alt kümesi aracılığıyla izlenmiştir. Son olarak eğitilen model, eğitimden ayrı tutulan test alt kümesi üzerinde değerlendirilmiştir.



Görsel 2. ResNet-RS-50 eğitim ve değerlendirme iş akışı

İş akışı veri setiyle başlamakta ve bunu ön işleme adımları olan yeniden boyutlandırma, normalizasyon ve veri artırma izlemektedir. Veriler daha sonra eğitim, doğrulama ve test alt kümelerine ayrılmaktadır. ResNet-RS modeli, özellik çıkarımı ve sınıflandırma amacıyla kullanılmaktadır. Eğitim sürecinde doğruluk ve kayıp değerleri izlenmekte; son aşamada ise karışıklık matrisi, ROC/PR eğrileri ve diğer değerlendirme ölçütleri kullanılarak model performansı değerlendirilmektedir.

2.5. Değerlendirme Ölçütleri

Model performansı; doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-skoru, dengeli doğruluk, ROC-AUC (Fawcett, 2006) ve MCC (Chicco & Jurman, 2020) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. İkili sınıflandırma performansının değerlendirilmesinde tozlu sınıf pozitif sınıf olarak kabul edilmiştir.

Kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru her sınıf için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Makro ortalama değerlerinde her iki sınıfa eşit önem verilirken ağırlıklı ortalamalarda her sınıftaki örnek sayısı

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

dikkate alınmıştır. Dengeli doğruluk, sınıfa özgü duyarlılık değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmış ve sınıf dengesizliğinin bulunduğu durumda daha bilgilendirici bir değerlendirme sağlamıştır. MCC, karışıklık matrisinin dört bileşeninin tamamını dikkate alarak ikili sınıflandırma performansının dengeli bir ölçümünü sunmaktadır. ROC-AUC, tahmin edilen sınıf olasılıkları kullanılarak hesaplanmış ve temiz ile tozlu sınıflar arasındaki eşikten bağımsız ayırt etme performansını göstermiştir. Sınıflandırma hatalarının türlerini ve dağılımını açıklığa kavuşturmak amacıyla karışıklık matrisi ve sınıf bazlı sonuçlar da raporlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İnce ayar uygulanmış ResNet-RS-50 modeli; 76 temiz ve 51 tozlu örnek olmak üzere toplam 127 görüntü içeren, ayrı tutulan test alt kümesi üzerinde değerlendirilmiştir. Model performansı genel, sınıf bazlı ve eşikten bağımsız değerlendirme ölçütleri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıntılı test sonuçları Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. ResNet-RS-50 modelinin test alt kümesindeki genel performansı

Ölçüt	Değer	Ölçüt	Değer
Doğruluk	0,9921	Dengeli doğruluk	0,9902
MCC	0,9837	ROC-AUC	1,0000
Ağırlıklı kesinlik	0,9922	Makro kesinlik	0,9935
Ağırlıklı duyarlılık	0,9921	Makro duyarlılık	0,9902
Ağırlıklı F1-skoru	0,9921	Makro F1-skoru	0,9918

Model, 127 test görüntüsünün 126'sını doğru sınıflandırarak %99,21 doğruluk değerine ulaşmıştır. %99,02 dengeli doğruluk ve 0,9837 MCC değerleri, yüksek genel doğruluğa her iki sınıftaki güçlü sınıflandırma performansının eşlik ettiğini göstermektedir. Ayrıca makro ve ağırlıklı ortalama sonuçların birbirine yakın olması, orta düzeydeki sınıf dengesizliğinin raporlanan genel performansı önemli ölçüde etkilemediğine işaret etmektedir.

3.1. Sınıf Bazlı Performans

Çizelge 5'te sınıf bazlı kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru değerleri sunulmuştur. Sonuçlar iki ondalık basamağa yuvarlandığında görünmeyen performans farklılıklarını gösterebilmek amacıyla değerler dört ondalık basamakla raporlanmıştır.

Çizelge 5. ResNet-RS-50 modelinin sınıf bazlı performansı

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru	Örnek sayısı
Temiz	0,9870	1,0000	0,9935	76
Tozlu	1,0000	0,9804	0,9901	51
Makro ortalama	0,9935	0,9902	0,9918	127
Ağırlıklı ortalama	0,9922	0,9921	0,9921	127

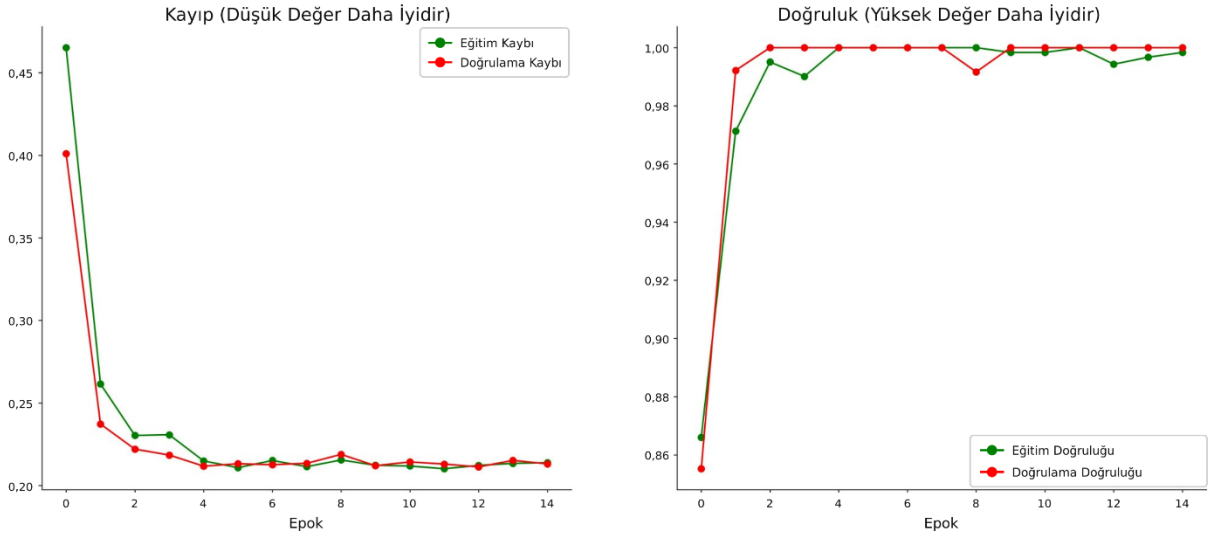
ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Model, 76 temiz panel görüntüsünün tamamını doğru sınıflandırarak temiz sınıfı için 1,0000 duyarlılık değerine ulaşmıştır. Tozlu panellere ait 51 görüntünün 50'si doğru sınıflandırılmış, bir görüntü ise yanlışlıkla temiz olarak tahmin edilmiştir. Bunun sonucunda tozlu sınıfın duyarlılık değeri 0,9804 olarak hesaplanmıştır. Hiçbir temiz görüntü yanlışlıkla tozlu olarak sınıflandırılmadığından tozlu sınıfın kesinlik değeri 1,0000 olmuştur. Bu bulgular, modelin seçilen test alt kümesinde her iki sınıf için de yüksek ve karşılaştırmalı olarak dengeli bir performans sergilediğini göstermektedir.

3.2. Eğitim ve Doğrulama Davranışı

On beş epok boyunca kaydedilen eğitim ve doğrulama kayıp ve doğruluk değerleri Görsel 3'te gösterilmiştir. Her iki kayıp eğrisi de ilk epoklarda hızlı biçimde azalmış ve ardından görece düşük değerlerde kararlı hâle gelmiştir. Benzer şekilde, eğitim ve doğrulama doğrulukları ilk epoklarda hızlı bir artış göstermiş ve doğrulama doğruluğundaki küçük dalgalanmalar dışında yüksek düzeylerini korumuştur.

Eğitim ve doğrulama eğrileri arasında sürekli bir ayrışma gözlenmemesi, seçilen veri bölünmesinde kararlı bir yakınsama sağlandığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, yalnızca bu eğriler farklı veri setlerinden, panel teknolojilerinden veya çevresel koşullardan elde edilen görüntülere yönelik genellenebilirliği kanıtlamak için yeterli değildir.



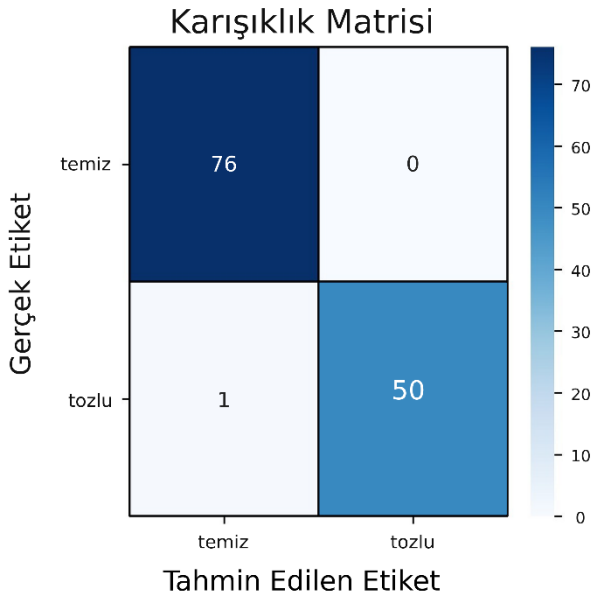
Görsel 3. On beş epok boyunca eğitim ve doğrulama kayıp ve doğruluk değerleri

3.3. Karışıklık Matrisi Analizi

Görsel 4'te test tahminlerinden elde edilen karışıklık matrisi sunulmuştur. Model, 76 temiz görüntünün tamamını ve 51 tozlu görüntünün 50'sini doğru sınıflandırmıştır. Gerçekleşen tek hata, tozlu bir panelin temiz olarak tahmin edilmesidir. Tozlu sınıfın pozitif sınıf olarak kabul edildiği durumda bu hata bir yanlış negatif tahmine karşılık gelmektedir. Herhangi bir yanlış pozitif tahmin gözlenmemiştir.

Yalnızca bir örnek yanlış sınıflandırılmış olmasına rağmen bu hata operasyonel açıdan önemlidir; çünkü tozlu bir panelin tespit edilememesi gerekli temizlik işleminin gecikmesine neden olabilir. Bu nedenle modelin olası bakım uygulamaları açısından değerlendirilmesinde genel doğrulukla birlikte tozlu sınıfın duyarlılık değeri de dikkate alınmalıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

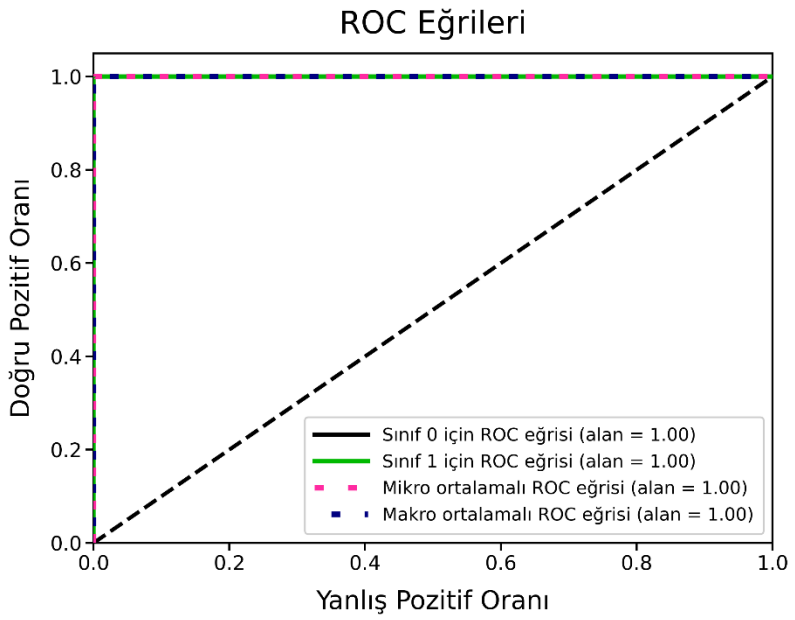


Görsel 4. ResNet-RS-50 modelinin test alt kümesindeki karışıklık matrisi

3.4. ROC Analizi

Temiz ve tozlu sınıflara ait ROC eğrileri Görsel 5'te gösterilmiştir. Model; her iki sınıfın yanı sıra mikro ve makro ortalamalı eğriler için de 1,0000 ROC-AUC değerine ulaşmıştır. Bu sonuç, seçilen test alt kümesinde tahmin skorlarına göre iki sınıfın kusursuz biçimde sıralandığını göstermektedir.

1,0000 ROC-AUC değeri, karışıklık matrisinde gösterilen tek sınıflandırma hatasıyla çelişmemektedir. Karışıklık matrisi belirli bir karar eşiğinde elde edilen tahminleri gösterirken ROC-AUC, tahmin skorlarının tüm olası karar eşiklerindeki ayırt ediciliğini değerlendirmektedir.



Görsel 5. ResNet-RS-50 modelinin test alt kümesindeki ROC eğrileri

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3.5. Tartışma ve Sınırlılıklar

Elde edilen sonuçlar, ince ayar uygulanmış ResNet-RS-50 modelinin incelenen veri setindeki temiz ve tozlu PV panel görüntülerini etkili biçimde ayırt edebildiğini göstermektedir. Yüksek MCC, dengeli doğruluk ve sınıf bazlı F1-skorları, genel doğruluk sonucunu desteklemekte ve model performansının yalnızca çoğunluk sınıfıyla sınırlı olmadığını ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, bulgular deneysel tasarımın kapsamı çerçevesinde yorumlanmalıdır. Değerlendirme; halka açık tek bir veri setine, bir tabakalı eğitim–doğrulama–test bölünmesine ve tek bir rastgelelik tohumuna dayanmaktadır. Tekrarlı deneyler, güven aralıkları, çapraz doğrulama ve harici veri setlerinde değerlendirme gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle mevcut sonuçlar, modelin diğer mimarilere göre istatistiksel üstünlüğünü veya farklı PV teknolojileri ile saha koşullarına genellenebilirliğini kanıtlamamaktadır.

Ayrıca çalışmalarda farklı veri setleri, veri bölümleri, ön işleme süreçleri ve değerlendirme protokolleri kullanıldığından daha önce yayımlanmış doğruluk değerleriyle doğrudan karşılaştırma yapmak tam anlamıyla güvenilir olmayacaktır. Gelecek çalışmalarda ResNet-RS-50; geleneksel ResNet, EfficientNet ve hafif CNN mimarileriyle aynı deneysel protokol altında karşılaştırılmalıdır. Tekrarlı tabakalı deneyler, harici doğrulama, çıkarım süresi ölçümleri, model karmaşıklığı analizi ve farklı çevresel koşullarda elde edilen görüntüler üzerinde yapılacak değerlendirmeler; modelin sağlamlığı ve gerçek uygulamalarda kullanıma uygunluğu hakkında daha kapsamlı bir değerlendirme sağlayacaktır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, temiz ve tozlu güneş fotovoltaik panel görüntülerinin ikili sınıflandırılması amacıyla ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş bir ResNet-RS-50 modeli değerlendirilmiştir. İnce ayar uygulanmış model, 127 görüntü içeren ayrı tutulmuş test alt kümesinde %99,21 doğruluk, %99,02 dengeli doğruluk, 0,9921 ağırlıklı F1-skoru, 0,9837 MCC ve 1,0000 ROC-AUC değerine ulaşmıştır. Model, 76 temiz panel görüntüsünün tamamını ve 51 tozlu panel görüntüsünün 50'sini doğru sınıflandırmıştır. Bu sonuçlar, modelin incelenen veri setinde güçlü bir sınıflandırma performansı sergilediğini göstermektedir.

Bulgular, ResNet-RS-50'nin görüntü tabanlı PV panel yüzey durumu değerlendirmesi için umut verici bir mimari olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür bir sınıflandırıcı, otomatik izleme ve bakım destek sistemlerinin bir bileşeni olarak kullanılabilir. Bununla birlikte; enerji üretimi, bakım maliyeti, temizlik verimliliği, hizmet ömrü ve saha güvenilirliğindeki iyileşmeler bu çalışmada doğrudan değerlendirilmemiştir. Bu nedenle yaklaşımın uygulamaya yönelik yararları, saha deneyleriyle ortaya konulmalıdır.

Çalışmanın çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Deneyler, yalnızca temiz ve tozlu panel görüntülerini içeren görece küçük ve halka açık bir veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme; tekrarlı deneyler, güven aralıkları, çapraz doğrulama, harici doğrulama veya alternatif mimarilerle aynı protokol altında doğrudan karşılaştırma yapılmaksızın tek bir tabakalı veri bölünmesine ve bir rastgelelik tohumuna dayandırılmıştır. Ayrıca parametre sayısı, çıkarım süresi, bellek tüketimi ve enerji kullanımı gibi hesaplama göstergeleri ölçülmemiştir.

Gelecek çalışmalarda model; farklı PV teknolojilerini, çevresel koşulları ve yüzey anomalilerini kapsayan daha büyük ve çeşitli veri setleri üzerinde değerlendirilmelidir. Tekrarlı tabakalı deneyler, harici veri seti doğrulaması ve geleneksel ResNet, EfficientNet, MobileNet ve diğer hafif mimarilerle yapılacak karşılaştırmalar, modelin genellenebilirliğine ilişkin daha güçlü kanıtlar sağlayacaktır. Hesaplama gereksinimlerinin ölçülmesi ve modelin uç cihazlarda test edilmesi, gerçek zamanlı PV izleme uygulamalarına uygunluğunun belirlenmesine de katkıda bulunacaktır. Genel olarak bu çalışma, ince ayar uygulanmış ResNet-RS-50 modellerinin görüntü tabanlı toz sınıflandırmasını yüksek doğrulukla destekleyebileceğine ilişkin başlangıç düzeyinde kanıt sunmakta ve gerçek uygulamaya geçiş öncesinde gerekli doğrulama adımlarını ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Bello, I., Fedus, W., Du, X., Cubuk, E. D., Srinivas, A., Lin, T.-Y., Shlens, J., & Zoph, B. (2021). Revisiting ResNets: Improved training and scaling strategies. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.07579

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics, 21*, Article 6. https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7

Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. In *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 248–255). IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848

Fan, S., Wang, Y., Cao, S., Zhao, B., Sun, T., & Liu, P. (2022). A deep residual neural network identification method for uneven dust accumulation on photovoltaic (PV) panels. *Energy, 239*, Article 122302. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122302

Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters, 27*(8), 861–874. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010

Garladinne, H. S. (n.d.). *Solar panel dust detection* [Data set]. Kaggle. Retrieved August 11, 2026, from https://www.kaggle.com/datasets/hemanthsai7/solar-panel-dust-detection

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 770–778). IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

Jiang, H., Lu, L., & Sun, K. (2011). Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. *Atmospheric Environment, 45*(25), 4299–4304. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.084

Kingma, D. P., & Ba, J. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR)*. https://arxiv.org/abs/1412.6980

Mani, M., & Pillai, R. (2010). Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(9), 3124–3131. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065

Onim, M. S. H., Sakif, Z. M. M., Ahnaf, A., Kabir, A., Azad, A. K., Oo, A. M. T., Afreen, R., Hridy, S. T., Hossain, M., Jabid, T., & Ali, M. S. (2023). SolNet: A convolutional neural network for detecting dust on solar panels. *Energies, 16*(1), Article 155. https://doi.org/10.3390/en16010155

Reinders, A., Verlinden, P., van Sark, W., & Freundlich, A. (Eds.). (2017). *Photovoltaic solar energy: From fundamentals to applications*. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118927496

Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of Big Data, 6*, Article 60. https://doi.org/10.1186/s40537-019-0197-0

Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2818–2826). IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308

Zyout, I., & Qatawneh, A. (2020). Detection of PV solar panel surface defects using transfer learning of the deep convolutional neural networks. In *2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)* (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/ASET48392.2020.9118384

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BİYOBOZUNUR MG ALAŞIMLARINDA HALL–PETCH HESAPLAMALI AKMA DAYANIMI TAHMİNLERİNİN DENEYSEL VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

MUHAMMED SELMAN DOĞAN [1], Prof. Dr., ALİ GÜNGÖR [2]
[1] Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
2328128506@ogrenci.karabuk.edu.tr - 0000-0002-8847-4475
[2] Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, agungor@karabuk.edu.tr
- 0000-0001-7649-4308

ÖZET

İmplant malzemesi olarak kullanılabilen Mg alaşımları, kemik dokusuna benzer mekanik özelliklere ve yoğunluğa sahiptir. Ancak en önemli dezavantajı hızlı korozyona uğraması ve bu süreçte mekanik dayanımını da aşamalı olarak yitirmesidir. Hall–Petch bağıntısına göre tane boyutunun azalmasıyla birlikte tane sınırlarının dislokasyon hareketine karşı oluşturduğu engelleme artmakta ve bunun sonucunda malzemenin plastik deformasyona karşı direnci yükselmektedir. Dolayısı ile akma dayanımlarıda artmaktadır. Ortalama tane boyutu bilinen alaşımların deneysel çekme testi sonuçları kullanılarak regresyon analizi ile akma dayanımlarının tahmin edilebileceği öngürülmektedir. Bu çalışmada iki farklı oranda kalay (Sn) içeren ZT10 ve ZT11 alaşımları döküm yöntemiyle üretilmiştir. Ardından sıcak haddeleme ile plakaların kalınlıkları 5 mm'den 3,28 mm'ye düşürülmüştür. Sonrasında DIN EN ISO 6892-1 standardına göre çekme deneyleri yapılmış ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzey analizi yapılmıştır. Farklı mikroyapı görüntüleri üzerinden ortalama tane boyutları hesaplanmıştır. Ortalama tane boyutlarından ise Hall-Petch bağıntısı kullanılarak tane boyutunun akma dayanımına etkisi belirlenmiştir. Ölçülen ve Hall-Petch bağıntısıyla bulunan akma değerlerinin benzerliği tane boyutunun ve dolayısıyla tane sınır yoğunluğunun etkin olduğunu göstermiştir. Örneğin yüksek Sn oranına sahip ZT10 alaşımı, ZT11 alaşımına kıyasla daha ince taneli ve daha yüksek tane sınır yoğunluğuna sahip olduğu için dislokasyon hareketlerini daha fazla engellediği için daha yüksek akma dayanımı gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışma KBÜBAP-25-YL-031 proje numarası ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Biyobozunur, Magnezyum alaşımları, Hall–Petch,Akma dayanımı

1. GİRİŞ

Ortopedik implant uygulamalarında kullanılabilecek biyomalzemelerin geliştirilmesi, günümüzde biyomedikal mühendisliği ve modern tıbbın önemli çalışma konularından biri haline gelmiştir. Geçmişten günümüze paslanmaz çelik, titanyum ve Co-Cr esaslı alaşımlar; sahip oldukları yüksek dayanım, uygun işlenebilirlik ve biyouyumluluk özellikleri sayesinde

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

implant üretiminde yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak bu malzemelerin yüksek elastik modüle sahip olması, korozyon sonucunda açığa çıkabilen ürünlerin biyolojik açıdan olumsuz etkileri, alerjik reaksiyon oluşturma ihtimali ve vücut içerisinde uzun süre kalmaları çeşitli dezavantajlar meydana getirmektedir. Özellikle implantın görevini tamamlamasının ardından vücutta kalmaya devam etmesi, bazı klinik durumlarda implantın cerrahi müdahale ile çıkarılmasını gerekli hale getirebilmektedir. İkinci bir cerrahi işlemin uygulanması ise enfeksiyon ve ağrı riskinin yanı sıra tedavi süresinin ve sağlık maliyetlerinin artmasına neden olabilmektedir [1,2].

Biyomedikal mühendisliği ve ortopedik implant teknolojileri alanında, cerrahi operasyon sonrasında ikinci bir müdahaleye (implantın çıkarılması operasyonuna) olan ihtiyacı ortadan kaldırması nedeniyle biyobozunur malzemelere olan ilgi son yıllarda büyük bir ivme kazanmıştır. Biyobozunur Mg alaşımları, ortopedik uygulamalarda kullanımı açısından dikkat çeken ve üzerinde geniş araştırmalar yapılan biyomalzemelerdir. Mg alaşımları, implant malzemesi olarak değerlendirildiğinde kemik dokusuna yakın yoğunluk ve mekanik özellikler sergilemeleri nedeniyle önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bununla birlikte, bu alaşımların en önemli sınırlamalarından biri vücut ortamında yüksek korozyon hızına sahip olmalarıdır. Korozyon sürecinin ilerlemesiyle birlikte malzemenin taşıma kapasitesi ve mekanik dayanımı zaman içerisinde kademeli olarak azalabilmektedir. [3,4].

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan yüzey analizleri sonucu Mg alaşımlarının ortalama tane boyutu hesaplanabilmektedir. Hall-Petch bağıntısına göre sertlik ve akma dayanımı tane boyutuyla alakalıdır. Hall–Petch bağıntısı, tane boyutu ile akma dayanımı arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılan temel bir bağıntıdır. Bu bağıntıya göre tane boyutu küçüldükçe, tane sınırlarının yoğunluğu artar ve dislokasyon hareketi daha fazla engellenir. Dolayısı ile akma dayanımıda artmaktadır [5-9]. Ortalama tane boyutu ve deneysel akma dayanımı bilinen bir alaşımının Hall-Petch bağıntısı kullanılarak y=ax+b regresyon analizi ile akma dayanımı tahmini yapılabildiği öngörülmektedir. Bu çalışmayı KBÜBAP-25-YL-031proje numarası ile destekleyen BAP koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Alaşımların Tasarımı

%99.9 Saflıkta Mg külçelerine çinko, kalsiyum ve manganez oranları sabit tutulup farklı kalay oranları eklenmiştir. Eklenen elementlerin ağırlıkça yüzde oranları çizelge 1'de gösterilmiştir.

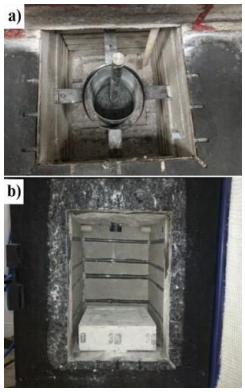
Çizelge 1. Tasarlanan Mg bazlı alaşımlar (%)

Kod	Zn	Ca	Mn	Sn
ZT10	0,9	0,4	0,3	0,6
ZT11	0,9	0,4	0,3	1,2

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2.2. Alaşımların Üretimi

Alaşımların üretimi için döküm yöntemi kullanıştır. Kullanılan döküm fırını potanın bulunduğu ergitme bölümü ve kalıbın bulunduğu kalıp bölümü olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Görsel 1'de döküm fırını gösterilmiştir.



Görsel 1. Fırının iç bölümleri a) ergitme bölümü b) kalıp bölümü

Tasarladığımız alaşımların sarf malzemeleri hassas terazide tartılıp potaya yerleştirilmiştir. Kalıp döküm yolluğunu tam ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Ergitme bölümünün ve kalıp bölümünün kapakları kapatıldıktan sonra ergitme bölümü 800 °C'ye kalıp bölümü ise 400 °C'ye ayarlandı. Ergitme işlemi sırasında argon gazı kullanılarak koruyucu bir atmosfer oluşturulmuştur.

Fırın sıcaklığı 800 °C'ye ulaştıktan sonra bu sıcaklıkta yaklaşık 30 dakika süreyle beklenmiştir. Kalıp ısıtma ünitesi 400 °C'ye kadar ısıtılarak sıvı metalin kalıp boşluğunu tam doldurması sağlanmıştır. Döküm işleminden yaklaşık 10 dakika önce, kalıp bölgesine hacimce %0,8 oranında SF6 + CO2 gaz karışımı verilerek döküm ortamında da koruyucu atmosfer sağlanmıştır.Kullanılan fırın,sıcaklık ünitesi ve gazlar Görsel 2'de gösterilmiştir.

Görsel 2. Fırının genel görünümü

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Kalıptan çıkarılan alaşımın görüntüsü ise Görsel 3'te gösterilmiştir. İki alaşımda kalıptan çıkarıldıktan dikdörtgen şeklindeki parçalar halinde 5 mm kalınlığında plakalar olarak tel erozyon yöntemiyle kesilmiştir.

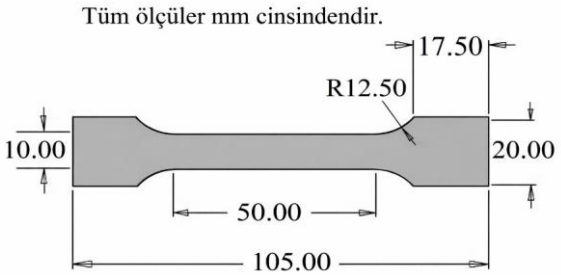
Görsel 3. Kalıptaki döküm parçanın görüntüsü

2.3. Sıcak Haddeleme

İki alaşımda kalıptan çıkarıldıktan sonra dikdörtgen şeklindeki parçalar 5 mm kalınlığındaki plakalar halinde tel erozyon yöntemiyle kesildi. Haddeleme öncesi iki alaşımın yüzeyler zımparalanmıştır. Haddeleme için numuneler fırında 400 °C'de yarım saat bekletilmiştir. Haddeleme Şekermak marka 200 mm merdane çapına sahip çift merdaneli haddeleme cihazında 20 dev/dk hızla yapılmıştır. Merdane devri 6,50 d/dk olarak ayarlanmıştır. Her pasoda %10 olmak üzere toplamda %35 olmak üzere alaşım plakaların kalınlıkları 5 mm'den 3,28 mm'ye düşürülmüştür.

2.4. Çekme Testi

Numuneler Zwick/Roell Z600 Universal cihazında DIN EN ISO 6892-1 standardına göre (Görsel 4) tel erezyonla kesilmiş ve çekme deneyleri yapılmıştır.



Görsel 4. Çekme testi numune ölçüleri

2.5. SEM analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzey analizi yapılmıştır. Farklı mikroyapı görüntüleri üzerinden ortalama tane boyutları hesaplanmıştır. Taramalı Elektron Mikroskop görüntü analizleri için JEOL 6060LV marka enerji dağınımlı element analizi (EDS) aparatına

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

sahip Carl Zeiss Ultra Plus, FESEM olarak adlandırılan alan emisyonlu tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır.

2.6. Hall-Petch Bağıntısı

Hall-Petch bağıntısı (1) numaralı denklemde gösterilmiştir. Çekme deneyi sonucunda elde edilen % 0,2 akma dayanımı (σy) ile $d^{-1/2}$ dağılım grafiği oluşturulmuştur. Regresyon analizi ile dağılımı temsil eden y = Ax + B bağıntısı hesaplanmıştır. Hall-Petch bağıntısıyla karşılaştırılarak ($\sigma_\gamma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$) A sabiti (k) ve B sabitinin, latis sürtünme gerilmesi (σ_0) belirlenmiştir. Daha sonra ortalama tane boyutunu bildiğimiz alaşımların akma dayanımı tahminleri yapılmıştır.

$$\boldsymbol{\sigma_\gamma = \sigma_0 + kd^{-1/2}} \qquad \textbf{(1)}$$

σ_γ: Akma dayanımı
σ_0: Latis sürtünme gerilmesi
k: Hall–Petch sabiti
d: Ortalama tane boyutu

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Elementel Analiz

İki alaşımında XRF analizleri belirlenmiş olup, hedef değerler ve sonuçları ağırlıkça yüzdeleri (ağ. %) Çizelge 2'de gösterilmiştir.

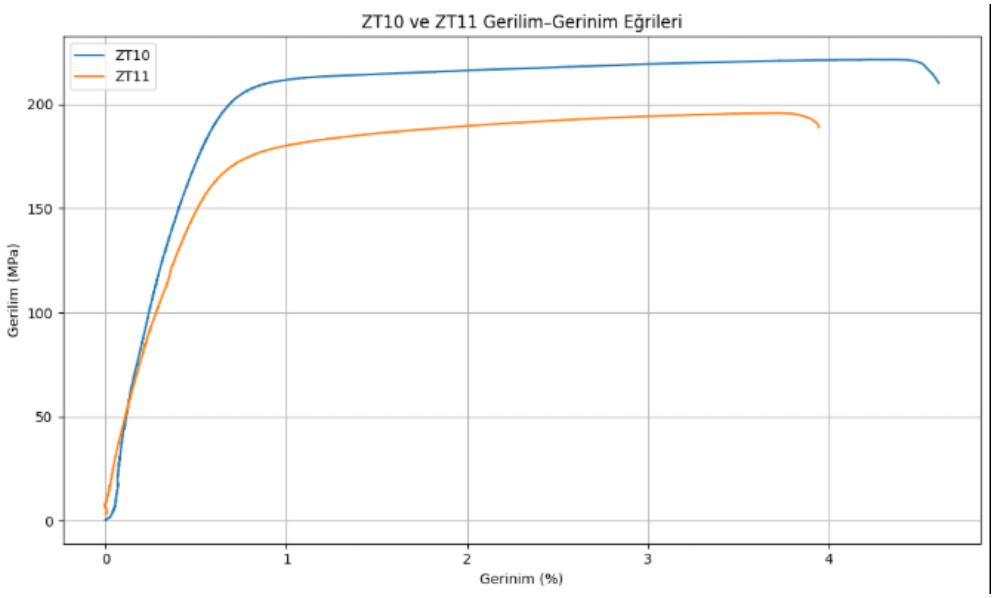
Çizelge 2. XRF analizi hedeflenen ve elde edilen sonuçlar.

Kod	Mg(hedef)	Zn(hedef)	Ca(hedef)	Mn(hedef)	Sn(hedef)
ZT10	97.8	0,9	0,4	0,3	0,6
ZT11	97.2	0,9	0,4	0,3	1,2
	Mg(sonuç)	Zn(sonuç)	Ca(sonuç)	Mn(sonuç)	Sn(sonuç)
ZT10	97,8785	0,8384	0,3878	0,2741	0,6212
ZT11	97,2031	0,8993	0,3957	0,2796	1,2223

3.2. Çekme Testi

Ortam sıcaklığında gerçekleştirilen çekme testi sonrasında ise akma dayanımları ZT10 için 167 MPa ve ZT11 için 160 MPa olarak ölçülmüştür. Gerilim-Gerinim grafiği Görsel 5'te gösterilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4



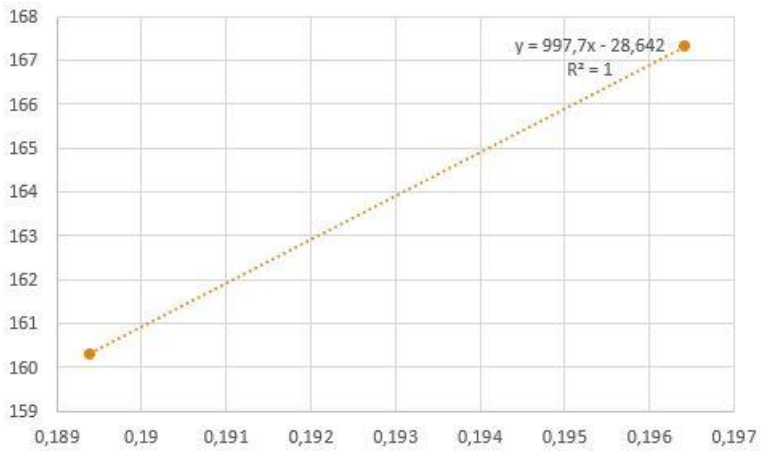
Görsel 5. ZT10 ve ZT11 için çekme testi grafiği

3.3. Ortalama Tane Boyutu

Alaşımların ortalama tane boyutları ZT10 ve ZT11 için sırasıyla 25,92 µm ve 27,88 µm olarak belirlenmiştir.

3.4. Hall-Petch Bağıntısı

Hall-Petch bağıntısıyla karşılaştırılarak ($\sigma_\gamma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$) A sabitinin (k) 997,7 MPa·µm$^{1/2}$ ve B sabitinin, latis sürtünme gerilmesinin (σ_0), −28,642 olduğu belirlenmiştir. Hall-Petch bağıntısına göre hesaplanan akma dayanımları ZT10 için 167,3248 MPa ve ZT11 alaşımı için 160,3109 olarak bulunmuştur. Çizilen regresyon grafiği Görsel 6'da gösterilmiştir.



Görsel 6. Regresyon grafiği

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Hall–Petch hesaplamaları deneysel sonuçlarla oldukça yakın sonuçlar vermiştir dolayısıyla tane sınır yoğunluğunun etkin olduğunu göstermiştir. Ortalama tane boyutu bilinen bir alaşımın Hall–Petch bağıntısı ile akma dayanımı tahmini yapılabildiği görülmüştür. ZT10 alaşımı, ZT11 alaşımına kıyasla daha ince taneli ve daha yüksek tane sınır yoğunluğuna sahip olduğu için dislokasyon hareketlerini daha fazla engellediği için daha yüksek akma dayanımı gösterdiği belirlenmiştir.

.

KAYNAKÇA

[1] Al-Shalawi, F. D., Ariff, A. H. M., Jung, D. W., Ariffin, M. K. A. M., Kim, C. L. S., Brabazon, D. and Al-Osaimi, M. O. *"Biomaterials as implants in the orthopedic field for regenerative medicine: metal versus synthetic polymers*", Polymers, 15 (12): 2601, 2023

[2] Niranjan, C. A., Raghavendra T., Rao M. P., Siddaraju, C., Gupta, M., Jain, V. K. S. and Aishwarya, R., *"Magnesium alloys as extremely promising alternatives for temporary orthopedic implants – A review",* Journal of Magnesium and Alloys, 11 (8): 2688-2718, 2023.

[3] Lu, Y., Deshmukh, S., Jones, I., & Chiu, Y. L. (2021). *Biodegradable magnesium alloys for orthopaedic applications*. Biomaterials translational, 2(3), 214.

[4] A Moussa, M. E., Salem, M. M., Hamid, M. A., Gomaa, M. H., Abd-Elwahed, A., Ghayad, I. M., & Mohamed, A. A. (2024). *Mechanical integrity and in vitro degradation behavior of Mg–Zn–Ca biodegradable alloy prepared by different casting technologies.* International Journal of Metalcasting, 18(4), 3062-3080.

[5] Savaedi, Z., Mirzadeh, H., Aghdam, R. M., & Mahmudi, R. (2022). *Effect of grain size on the mechanical properties and bio-corrosion resistance of pure magnesium*. Journal of Materials Research and Technology, 19, 3100-3109.

[6] Andani, M. T., Lakshmanan, A., Karamooz-Ravari, M., Sundararaghavan, V., Allison, J., & Misra, A. (2020). *A quantitative study of stress fields ahead of a slip band blocked by a grain boundary in unalloyed magnesium*. Scientific reports, 10(1), 3084.

[7] Song, E., Andani, M. T., & Misra, A. (2024). *Quantification of grain boundary effects on the geometrically necessary dislocation density evolution and strain hardening of polycrystalline Mg4Al using in situ tensile testing in scanning electron microscope and HR-EBSD*. Journal of Magnesium and Alloys, 12(5), 1815-1829

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

[8] Guan, B., Chen, C., Xin, Y., Xu, J., Feng, B., Huang, X., & Liu, Q. (2024). *Predicting the Hall-Petch slope of magnesium alloys by machine learning. Journal of Magnesium and Alloys*, 12(11), 4436-4442

[9] Wei, F., Cheng, B., Chew, L. T., Lee, J. J., Cheong, K. H., Wu, J., ... & Tan, C. C. (2022). *Grain distribution characteristics and effect of diverse size distribution on the Hall–Petch relationship for additively manufactured metal alloys*. Journal of Materials Research and Technology, 20, 4130-4136.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

PARKING USE AND MANAGEMENT NEEDS IN A COMPACT COASTAL CITY: A CASE STUDY

RESS. ASST. MUHAMMED FATİH YENTİMUR [1], ASSOC. PROF. DR. TUBA KÜTÜK-SERT [2]

[1] Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering and Architecture,
muhammedfatih.yentimur@erdogan.edu.tr – ORCID ID: 0000-0003-0496-9065

[2] Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering and Architecture,
tuba.kutuk@erdogan.edu.tr – ORDIC ID: 0000-0003-1747-9946

ABSTRACT

Urban parking shortages and inefficient space allocation can intensify traffic circulation, increase search time, and weaken access to compact city centers. This study evaluates parking-use patterns, user preferences, parking-search difficulties, perceived parking adequacy, and satisfaction with municipal parking services in Rize city center. A survey-based, cross-sectional, and descriptive design was used. Survey responses obtained through consecutive administration periods were harmonized and evaluated as an overall dataset; the analytical sample included up to 556 respondents, depending on the item. The results show that 375 of 551 respondents (68.1%) owned a private vehicle. Moderate private-vehicle use was the most common category, whereas 290 of 551 respondents (52.6%) reported using existing parking facilities rarely or very rarely. Parking demand was concentrated between 12:01 and 17:00, and covered or indoor parking was the leading facility preference. Finding a parking space was difficult for 475 respondents (85.4%), 419 (75.4%) evaluated the available supply as inadequate, and 396 (71.2%) considered charges high. Satisfaction was limited: 144 respondents (25.9%) were satisfied with municipal parking actions, while 198 (35.6%) were satisfied with the parking-meter service. Long-term expectations were divided, although deterioration was the largest single response category. The findings support an integrated policy package combining demand management, short-stay regulation, progressive pricing, physical and digital information, secure and well-maintained off-street facilities, public transport integration, and stronger enforcement of on-street parking rules.

Keywords: Urban parking; Parking behavior; Parking preference; Parking adequacy; Parking management; Rize

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. INTRODUCTION

Parking is an integral component of urban mobility because nearly every private-vehicle trip requires a space at its destination. When demand is concentrated in a city center and curb occupancy remains high, drivers may continue circulating while searching for a space. This additional movement consumes road capacity, increases travel uncertainty, and contributes to congestion, fuel use, emissions, and conflicts with pedestrians and moving traffic. Demand-responsive curb pricing and the maintenance of a small number of vacant spaces have therefore become central principles in contemporary parking management [1]. Behavioral evidence also indicates that parking prices and the expected availability of spaces can alter when drivers begin searching, how long they cruise, and whether they accept a more distant or off-street alternative [2-4].

Parking choice is not determined by supply alone. Users evaluate a bundle of attributes that includes price, walking distance, security, facility type, search time, accessibility, and the reliability of information. Recent discrete-choice studies show that the availability of alternatives and heterogeneity in user preferences materially shape the selection of on-street, open off-street, and covered facilities [5,6]. Evidence from Istanbul similarly demonstrates that parking-type preferences differ according to whether parking is paid or free and that driver, trip, and parking characteristics should be considered jointly [7]. These findings suggest that local parking policy should be informed not only by capacity inventories but also by how users perceive and interact with the available system.

Pricing and information strategies are particularly important where urban land is scarce. Progressive pricing can discourage long stays in high-demand locations and improve turnover, while poorly calibrated prices may be viewed as unfair or may shift demand to adjacent streets [8]. Smart-parking programs that integrate occupancy management, easier payment, and information dissemination can reduce traffic and support public transport, although their effectiveness depends on implementation quality and user adoption [9]. Recent research on parking applications further shows that digital tools must be convenient, credible, and inclusive; physical signs and conventional payment channels remain important for users who do not rely on smartphones [10].

Compact urban centers face additional constraints because commercial, administrative, educational, and health-related activities are concentrated within a limited area. Rize city center is located on a narrow Black Sea coastal strip and is bordered by steep terrain, which restricts developable land and concentrates traffic on a limited road network [11,12]. Seasonal visitor activity and the clustering of public and commercial destinations can further intensify short-duration parking demand. Under these conditions, expanding supply alone is unlikely to provide a durable solution. International reviews show that parking reforms produce mixed outcomes when pricing, enforcement, land-use policy, public acceptance, and alternative transport are not coordinated [13,14].

Despite the practical importance of parking in Rize, there is limited user-oriented evidence that jointly evaluates parking-use frequency, preferred facility types, information needs, search difficulties, service satisfaction, and expectations for future conditions. A comprehensive descriptive assessment can identify the areas in which municipal policy, facility operation, and

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

user communication require the greatest attention. This study aims to evaluate parking-use patterns, user preferences, parking-search difficulties, perceived parking adequacy, and satisfaction with parking services in Rize city center using a comprehensive survey-based dataset.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Area

The study area covers Rize city center in northeastern Türkiye. The urban core has a narrow coastal settlement pattern, steep topography, and limited developable land. Commercial premises, public institutions, health services, educational facilities, and other high-attraction destinations are concentrated within a compact area. These spatial characteristics limit opportunities for large surface parking areas and increase competition between parking, traffic movement, pedestrian space, and other curbside functions. Growing vehicle ownership and seasonal mobility pressure further increase the importance of coordinated parking management.

2.2. Survey Design and Participants

The research was designed as a survey-based, cross-sectional, descriptive, and user-oriented urban parking assessment. The online questionnaire contained 23 core questions covering demographic characteristics, private vehicle ownership, vehicle-use frequency, parking-facility use, typical parking time, preferred parking type, information and pricing preferences, difficulties encountered while parking, perceptions of adequacy, satisfaction with municipal services, desired facility characteristics, and long-term expectations.

The survey data were collected through two consecutive online administration waves using largely equivalent questionnaires. After harmonization of the response categories, the distributions were pooled to obtain an overall analytical sample of up to 556 respondents. The number of valid responses varied by item, and lower item-specific denominators were retained when they were explicitly documented. Figure 1 summarizes the analytical scope of the assessment.

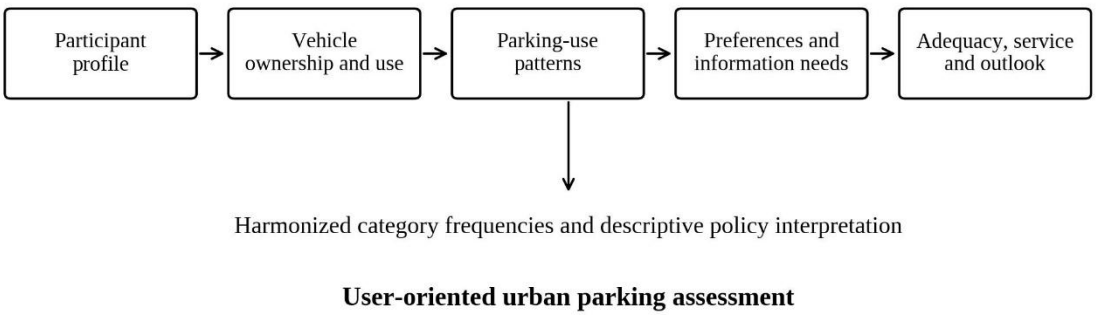


Figure 1. Analytical framework of the user-oriented urban parking assessment.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2.3. Data Harmonization

Equivalent questions and response categories were matched before aggregation. Exact frequencies reported in tables or explanatory text were used in preference to percentages. When only a chart percentage was available, the corresponding frequency was reconstructed from the valid analytical denominator and adjusted by the largest remainder method so that category totals matched the valid N. Semantically equivalent labels were translated into concise English categories; categories that did not represent the same concept were not forced together. Fully comparable items used administration-level analytical denominators of 305 and 251, whereas documented lower denominators were preserved for items with missing responses.

Nominal income bands were excluded because their boundaries were not directly comparable and income was not essential to the study objective. Parking-fee preferences were harmonized into broad policy categories rather than interpreted at a current price level. The original questionnaires used five- and ten-year horizons for the future parking condition item. Since both items measured the same directional expectation and used equivalent response categories, they were harmonized under the broader construct of long-term parking outlook. For the question on desired facility characteristics, multiple responses were allowed; therefore, the percentages for that item do not sum to 100%.

2.4. Descriptive Analysis

The analysis was limited to pooled frequencies, pooled percentages, response distributions, and policy-oriented interpretation. Results are reported as n (%) with one decimal place. Because participant-level microdata were not available, no regression, correlation, factor analysis, reliability analysis, participant-level cross-tabulation, or significance testing was conducted. Descriptive design supports identification of dominant preferences and critical service perceptions but does not establish causal relationships.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Participant Characteristics

The harmonized age distribution covered a broad adult population (Table 1). Respondents aged 18-25 formed the largest category, with 161 participants (29.0%). The 26-35 and 36-45 groups each included 133 respondents (23.9%), while 96 respondents (17.3%) were aged 46-55. The smaller representation of participants aged 56 or above should be considered when interpreting preferences that may depend on digital familiarity or mobility limitations.

Table 1. Age composition of the respondents (N = 556).

Age group	n	%
18-25	161	29.0
26-35	133	23.9
36-45	133	23.9

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Age group	n	%
46-55	96	17.3
56-65	27	4.9
65 or older	6	1.1
Total	556	100.0

3.2. Vehicle Ownership and Parking-Use Patterns

Private vehicle ownership was reported by 375 of 551 respondents (68.1%), indicating that the dataset strongly reflects users who directly experience parking demand. Private-vehicle use was most commonly moderate, reported by 172 of 550 respondents (31.3%). Frequent and very frequent vehicle use together accounted for 212 respondents (38.5%), whereas 166 (30.2%) used a private vehicle rarely or very rarely.

Use of existing parking facilities was less intensive than private-vehicle use. A total of 290 of 551 respondents (52.6%) used the facilities rarely or very rarely, while only 112 (20.3%) used them frequently or very frequently. This gap may reflect a mixture of on-street parking outside formally recognized facilities, limited facility convenience, or low perceived availability. Parking use was concentrated in the daytime: 291 of 535 respondents (54.4%) reported the 12:01-17:00 interval as their typical use period, followed by 134 (25.0%) in the 17:01-24:00 interval. The concentration of demand during commercial and public-service hours supports turnover-oriented regulation rather than uniform parking rules across the entire day.

Table 2. Vehicle ownership and parking-use characteristics.

Indicator	Category	n	%	Valid N
Private vehicle ownership	Yes	375	68.1	551
	No	176	31.9	551
Frequency of parking facility use	Very rarely	110	20.0	550
	Rarely	56	10.2	550
	Moderately	172	31.3	550
	Frequently	106	19.3	550
	Very frequently	106	19.3	550
	Very rarely	174	31.6	551
	Rarely	116	21.1	551
	Moderately	149	27.0	551
	Frequently	73	13.2	551
	Very frequently	39	7.1	551
Typical parking-use time	00:00-08:00	38	7.1	535
	08:01-12:00	72	13.5	535

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Indicator	Category	n	%	Valid N
	12:01-17:00	291	54.4	535
	17:01-24:00	134	25.0	535

3.3. Parking Preferences and Information Needs

Parking-type preferences were comparatively balanced, but covered or indoor parking was the leading category, selected by 198 of 552 respondents (35.9%). Open off-street parking was preferred by 159 (28.8%), on-street parking by 152 (27.5%), and private or personal parking by 43 (7.8%). Figure 2 illustrates this distribution. The close shares of the three public-facing alternatives show that a single facility type cannot serve all users. Covered parking may be valued for protection and security, while open and on-street options can provide direct access and simpler circulation. This pattern is consistent with the literature showing that parking choice depends on multiple attributes, including price, walking distance, availability, and facility characteristics [5-7].

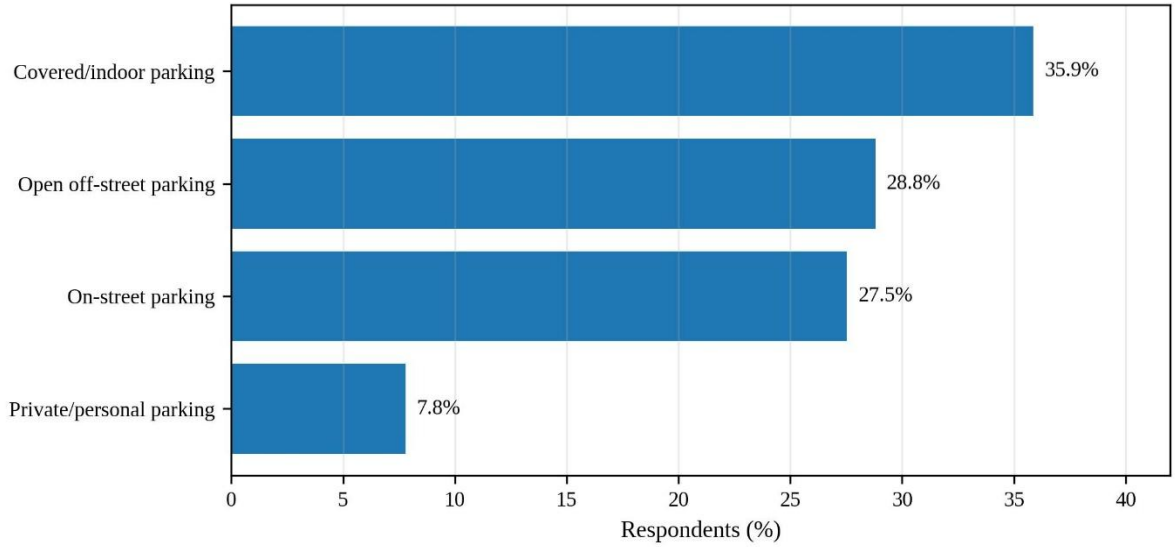


Figure 2. Preferred parking facility types (N = 552).

Signs and digital displays were the dominant information preference, selected by 336 of 556 respondents (60.4%). The result indicates that visible, location-based guidance remains essential even when smartphone services are available. A hybrid information strategy is therefore preferable: physical direction signs and variable-message displays can provide universal access, while mobile and web tools can offer real-time occupancy, navigation, and payment functions. The municipality was the preferred service provider for 482 respondents (86.7%), demonstrating a strong expectation of public responsibility for regulation and service quality.

A free or lowest-listed hourly charge was preferred by 453 respondents (81.5%). This distribution should not be interpreted as evidence that all parking should be free. Very low

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

prices in high-demand locations can reduce turnover and encourage prolonged occupancy. Instead, the finding signals the need for transparent, proportionate, and locally acceptable pricing. Progressive tariffs, a short free or low-cost initial period where appropriate, and higher marginal charges for longer stays can balance affordability with space turnover [1,2,8]. Clear communication about the purpose and use of parking revenue may also improve acceptability [14].

Table 3. Parking preferences and information needs.

Indicator	Category	n	%	Valid N
Preferred parking type	Covered/indoor parking	198	35.9	552
	Open off-street parking	159	28.8	552
	On-street parking	152	27.5	552
	Private/personal parking	43	7.8	552
Preferred information channel	Signs and digital displays	336	60.4	556
	Other information channels	220	39.6	556
Preferred service provider	Municipality	482	86.7	556
	Other provider arrangements	74	13.3	556
Preferred hourly charge	Free or lowest listed charge	453	81.5	556
	Higher listed charge levels	103	18.5	556

3.4. Parking Difficulties and Perceived Adequacy

The most frequently reported single difficulty was finding a parking space near the destination, identified by 169 of 554 respondents (30.5%). Finding a suitable space quickly was reported by 131 (23.6%), and 125 (22.6%) selected the combined option indicating simultaneous difficulty with speed, proximity, and security. A further 103 respondents (18.6%) specifically emphasized security. Figure 3 shows the distribution of the principal difficulties. These results confirm that parking problems are experienced not only as a shortage of spaces but also as an accessibility, search-time, and quality problem. Similar research has shown that scarcity and uncertainty cause drivers to begin searching earlier and to cruise longer, particularly when demand is high [2-4].

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

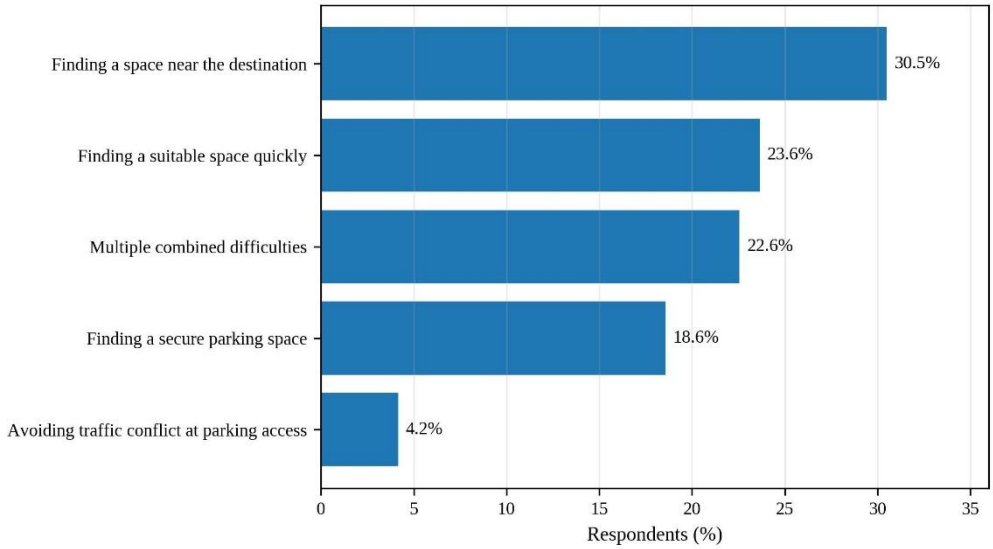


Figure 3. Main difficulties encountered when parking (N = 554).

The broader perception indicators reveal a critical evaluation of the existing system (Table 4). Difficulty in finding a space was acknowledged by 475 respondents (85.4%). In addition, 419 (75.4%) disagreed that the parking supply was adequate, and 396 (71.2%) agreed that charges were high. More than half of respondents, 314 (56.5%), did not consider existing parking facilities sufficient to relieve traffic. Figure 4 summarizes these critical evaluations. The combination of perceived shortage, search difficulty, and dissatisfaction with charges suggests that users are responding to the overall value of the service rather than to capacity alone. A facility may be considered inadequate when it is poorly located, difficult to access, insecure, insufficiently maintained, or unavailable at the time and place of demand.

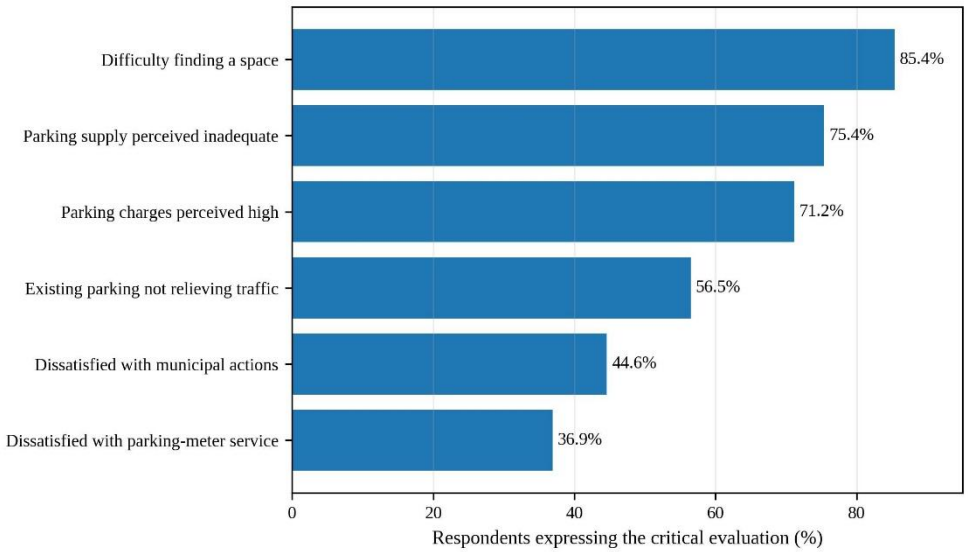


Figure 4. Critical perceptions of parking adequacy and service delivery (N = 556).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3.5. Satisfaction with Parking Services

Satisfaction with municipal parking actions was limited. Only 144 respondents (25.9%) agreed or strongly agreed that they were satisfied, compared with 248 (44.6%) who disagreed or strongly disagreed; 164 (29.5%) were neutral. Satisfaction with the municipal parking-meter service was more evenly divided: 198 respondents (35.6%) were satisfied, 205 (36.9%) were dissatisfied, and 153 (27.5%) were neutral. The substantial neutral shares suggest that some users may have limited direct experience with the services or may distinguish between the principle of regulation and the quality of implementation.

The findings imply that operational improvements are as important as infrastructure. Secure access, cleanliness, lighting, moisture control in covered facilities, legible signs, reliable payment, complaint handling, and consistent enforcement can influence whether users consider a parking service fair and usable. Smart-parking evidence indicates that occupancy-based management and improved information can reduce traffic, but benefits depend on credible operation and broad user access [9,10]. Municipal leadership, strongly preferred by respondents, therefore carries an expectation of transparent tariffs, service standards, and accountable enforcement.

Table 4. Perceived parking difficulties, adequacy, and satisfaction (N = 556).

Indicator	Critical evaluation	Neutral	Favorable evaluation
Difficulty finding a parking space	Agree / strongly agree: 475 (85.4%)	36 (6.5%)	Disagree / strongly disagree: 45 (8.1%)
Parking supply adequacy	Disagree / strongly disagree: 419 (75.4%)	67 (12.1%)	Agree / strongly agree: 70 (12.6%)
Parking charges are high	Agree / strongly agree: 396 (71.2%)	96 (17.3%)	Disagree / strongly disagree: 64 (11.5%)
Existing parking relieves traffic	Disagree / strongly disagree: 314 (56.5%)	83 (14.9%)	Agree / strongly agree: 159 (28.6%)
Satisfaction with municipal parking actions	Disagree / strongly disagree: 248 (44.6%)	164 (29.5%)	Agree / strongly agree: 144 (25.9%)
Satisfaction with municipal parking-meter service	Disagree / strongly disagree: 205 (36.9%)	153 (27.5%)	Agree / strongly agree: 198 (35.6%)

3.6. Long-Term Parking Outlook and Policy Implications

The long-term outlook was divided but leaned toward concern. A worsening condition was expected by 189 respondents (34.0%), while 168 (30.2%) expected improvement. Another 111 (20.0%) expected conditions to remain similar, and 88 (15.8%) were undecided. The proximity of the improvement and deterioration shares indicates that confidence in future parking management is not uniform. This uncertainty reinforces the need for visible, staged interventions whose outcomes can be monitored and communicated to the public.

Common facility priorities further clarify the policy direction (Table 5). Lower charges were selected by 289 respondents (52.0%), proximity to work or home by 261 (46.9%),

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

improved facility quality by 213 (38.3%), and proximity to public transport by 109 (19.6%). Because multiple responses were allowed, these shares represent overlapping priorities. The combination of affordability, proximity, and quality shows why adding remote capacity without access management or transit integration may have limited user value.

A balanced parking strategy for Rize should begin with a detailed occupancy and duration survey to distinguish genuine capacity shortages from inefficient turnover. High-demand central spaces can be managed through short-stay limits and progressive prices, while longer-stay demand can be directed to off-street facilities and connected to the center by safe walking routes and public transport. Physical signage should be strengthened and progressively linked to digital occupancy information. Security, maintenance, cleanliness, lighting, and accessibility should be incorporated into municipal service standards. Enforcement should prevent double parking, sidewalk obstruction, and long-duration occupation of short-stay curb space. International evidence warns that parking policies are less effective when implemented as isolated measures; supply, pricing, enforcement, public communication, and alternatives to private-car access should therefore be coordinated [13,14].

Table 5. Long-term parking outlook and selected facility priorities.

Panel / indicator	Category	n	%
Panel A. Long-term parking outlook (N = 556)			
Long-term outlook	Expected to improve	168	30.2
	Expected to remain similar	111	20.0
	Expected to worsen	189	34.0
	Undecided / no clear opinion	88	15.8
Panel B. Desired facility characteristics (multiple responses allowed; denominator = 556)			
Facility priority	Lower parking charges	289	52.0
	Proximity to work or home	261	46.9
	Improved facility quality	213	38.3
	Proximity to public transport	109	19.6

The results should be interpreted within the boundaries of the descriptive design. Participation was online and non-probability based, so the distributions cannot be assumed to represent every resident or visitor in the city center. The analysis relied on aggregated item distributions, which prevented participant-level association tests and control for demographic or trip-related differences. Category harmonization also required broader groupings for several policy variables. Nevertheless, the large analytical sample and the consistency of the dominant response patterns provide a useful evidence base for identifying immediate municipal priorities and designing more detailed field surveys.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. CONCLUSIONS

This study evaluated urban parking behavior, preferences, search difficulties, perceived adequacy, and service satisfaction in Rize city center using harmonized descriptive responses from up to 556 participants. Private vehicle ownership was high within the analytical sample, and vehicle use was more intensive than the use of recognized parking facilities. Parking demand was concentrated during the 12:01-17:00 period. Covered or indoor parking was the leading facility preference, although open off-street and on-street alternatives also attracted substantial shares, demonstrating the need for a diversified parking system.

The strongest result was the difficulty of finding a parking space, reported by 85.4% of respondents. Three quarters evaluated the parking supply as inadequate, 71.2% considered charges high, and 56.5% did not believe that existing parking facilities adequately relieved traffic. Satisfaction with municipal parking actions was 25.9%, while satisfaction with the parking-meter service was 35.6%. Long-term expectations were mixed: deterioration was the largest category at 34.0%, but 30.2% expected improvement. These findings indicate both a high level of concern and a remaining expectation that effective management can improve conditions.

Municipal policy should not treat new construction as the only solution. A staged strategy should combine parking-demand management, short-stay curb regulation, progressive and transparent pricing, stronger physical signage, digital availability and payment information, secure and well-maintained off-street facilities, and consistent enforcement of on-street rules. Lower-cost or free initial periods may be considered where they support short visits, but tariffs should discourage long stays in the most constrained locations. Long-duration parking should be directed toward off-street facilities connected to public transport and safe pedestrian routes. Regular occupancy, duration, and user-satisfaction monitoring should be used to evaluate each intervention and adjust the policy over time.

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the valuable contributions of department students Regaip Rıdvan Büyük, Ali Kaynak, Elif Kılıç Kanbur, Bedirhan Efendioğlu, and Murat Musaoğlu to this study.

REFERENCES

[1] Shoup, D., Pricing curb parking, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 154, 399-412, 2021. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.012.

[2] Geva, S., Fulman, N. and Ben-Elia, E., Getting the prices right: Drivers' cruising choices in a serious parking game, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 165, 54-75, 2022. https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.08.018.

[3] Saki, S. and Hagen, T., What drives drivers to start cruising for parking? Modeling the start of the search process, Transportation Research Part B: Methodological, 188, 103058, 2024. https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.103058.

[4] Saki, S. and Hagen, T., Cruising for parking again: Measuring the ground truth and using survival analysis to reveal the determinants of the duration, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 183, 104045, 2024. https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104045.

[5] Rodríguez, A., dell'Olio, L., Moura, J.L., Alonso, B. and Cordera, R., Modelling Parking Choice Behaviour Considering Alternative Availability and Systematic and Random Variations in User Tastes, Sustainability, 15(11), 8618, 2023. https://doi.org/10.3390/su15118618.

[6] Cao, Y., Ren, Y., Jia, H., Sun, M. and Dali, Z., Modeling Parking Choice Behavior Using Cumulative Prospect Theory, Sustainability, 16(4), 1596, 2024. https://doi.org/10.3390/su16041596.

[7] Sarısoy, G. and Tezcan, H.O., Does Parking Type Preference Behavior Differ According to Whether It Is Paid or Free? A Case Study in Istanbul, Türkiye, Sustainability, 16(17), 7269, 2024. https://doi.org/10.3390/su16177269.

[8] Ornelas, D.A., Nourinejad, M., Park, P.Y. and Roorda, M.J., Managing parking with progressive pricing, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 149, 104040, 2023. https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104040.

[9] Krishnamurthy, C.K.B. and Ngo, N.S., The effects of smart-parking on transit and traffic: Evidence from SFpark, Journal of Environmental Economics and Management, 99, 102273, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.102273.

[10] Ahmadian, M.M., Beeramoole, P., Baker, D., Macias, P. and Paz, A., Retiring meters: A roadmap to encourage wider adoption of parking apps, Transportation, 53, 1997-2025, 2026. https://doi.org/10.1007/s11116-024-10553-x.

[11] Yentimur, M. F., & Kütük, T., (2026). Urban Parking Preferences and Perceived Parking Service Adequacy: A Survey-Based Study, 8th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences (pp.214-222). Konya, Turkey.

[12] Kara, C., Yentimur, M. F., & Kütük, T. (2025). Rize Kent Merkezi Otopark Analizi. Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering, 6(3), 644-658.

[13] Kong, W., Pojani, D., Corcoran, J. and Sipe, N., Parking policies in six continents: Mixed outcomes and multifaceted barriers to reform, Policy Design and Practice, 7(3), 343-360, 2024. https://doi.org/10.1080/25741292.2024.2333602.

[14] Lanzendorf, M., Baumgartner, A. and Klinner, N., Do citizens support the transformation of urban transport? Evidence for the acceptability of parking management, car lane conversion and road closures from a German case study, Transportation, 51, 2073-2101, 2024. https://doi.org/10.1007/s11116-023-10398-w.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

FARKLI MOTOR YÜKLERİNDE HEKZAGONAL BOR NİTRÜR VE BOR KARBÜR NANOPARÇACIK KATKILI KOLZA BİYODİZELİNİN EGZOZ EMİSYONLARININ DENEYSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. İbrahim GÜNDÜZ [1 2], Doç. Dr. Turan GÜRGENÇ [3]
[1] Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, igunduz@bingol.edu.tr - ORCID: 0000-0002-4157-0304
[2] Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği

[3] Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, tgurgenc@firat.edu.tr – ORCID: 0000-0002-7678-2673

ÖZET

Bu çalışmada, nano hekzagonal bor nitrür (hBN) ve nano bor karbür (B_4C) katkılı kolza yağı biyodizel-dizel karışımlarının egzoz emisyonları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motorda, 2000 dev/dak sabit motor devrinde gerçekleştirilmiş; düşük yük (1 kW), orta yük (2 kW) ve yüksek yük (3 kW) çalışma koşulları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Referans yakıt olarak saf dizel (D100), %50 dizel + %50 biyodizel karışımı (B50) ve saf biyodizel (B100) kullanılmış; B50 yakıtına 25, 50 ve 100 ppm oranlarında hBN ve B_4C nanopartikülleri ilave edilmiştir. Bu kapsamda farklı yakıt türlerinin ve nanopartikül dozajlarının emisyon karakteristikleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, B50 ve B100 yakıtlarının D100'e kıyasla hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve duman opaklığı emisyonlarını azalttığını, buna karşılık karbondioksit (CO_2) ve azotoksit (NO_x) değerlerinde artışa neden olduğunu göstermiştir. Bu eğilim, biyodizelin oksijen içeriği ve yanma karakteristiğiyle ilişkilendirilebilir. Nanokatkı kullanımıyla eksik yanma ürünlerinde belirgin azalma sağlanmıştır. hBN katkılı yakıtlarda HC emisyonu orta yükte 100 ppm katkı oranında %36,36, CO emisyonu ise düşük yükte 100 ppm katkı oranında %45,45 azaltılmıştır. B_4C katkılı yakıtlarda HC emisyonundaki en belirgin azalma orta yükte 50 ppm katkı oranında %27,27, CO emisyonundaki en belirgin azalma ise orta yükte 50 ppm katkı oranında %14,71 olarak belirlenmiştir. Duman opaklığı bakımından B_4C katkısı daha etkili olmuş; orta yükte 50 ppm B_4C katkısı duman değerini %32,00, hBN katkısı ise %24,00 azaltmıştır. Buna karşılık NO_x emisyonları hBN katkısında orta yükte 100 ppm ile %20,34, B_4C katkısında ise yüksek yükte 100 ppm ile %16,00 artmıştır. Sonuç olarak, nano katkıların kolza biyodizeli-dizel karışımlarında eksik yanma kaynaklı emisyonları azaltma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kolza biyodizeli, Nano hekzagonal bor nitrür, Nano bor karbür, Nanoparçacık, Dizel motor, Emisyon.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Teşekkür: Yazarlar, bu araştırmaya sağladıkları mali destekten dolayı Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu'na (FUBAP-TEKF.24.40) teşekkür ederler. Bu çalışma, doktora öğrencisi İbrahim GÜNDÜZ'ün Nano Bor Karbür ve Hekzagonal Bor Nitrür Katkılı Kolza Biyodizelinin Motor Performansı ve Emisyon Değerleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi adlı tezinin bir parçasını oluşturmaktadır.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF EXHAUST EMISSIONS FROM RAPESEED BIODIESEL BLENDED WITH HEXAGONAL BORON NITRIDE AND BORON CARBIDE NANOPARTICLES UNDER DIFFERENT ENGINE LOADS

ABSTRACT

This study evaluates the exhaust emission characteristics of rapeseed biodiesel-diesel mixtures enhanced with nano-scale hexagonal boron nitride (hBN) and boron carbide (B_4C). Tests were conducted on a one-cylinder compression-ignition engine equipped with direct fuel injection, while the engine speed was maintained at 2000 rpm throughout the measurements. Emission data were obtained at three brake power levels: 1 kW, 2 kW, and 3 kW, corresponding to low, medium, and high load conditions. Diesel fuel (D100), an equal diesel-biodiesel blend (B50), and pure rapeseed biodiesel (B100) were used as comparison fuels. For the nanoparticle-doped samples, hBN and B_4C were separately mixed with B50 at 25, 50, and 100 ppm. Relative to the diesel baseline, B50 and B100 showed reductions in HC, CO, and smoke opacity, together with increases in CO_2 and NO_x emissions. Nanoparticle addition further limited the formation of incomplete-combustion products. The addition of nanoparticles further reduced incomplete combustion products. For hBN-added fuels, the maximum HC reduction was 36.36% at 100 ppm under medium load, while the maximum CO reduction was 45.45% at 100 ppm under low load. For B_4C-added fuels, the highest reductions in HC and CO emissions were 27.27% and 14.71%, respectively, both obtained at 50 ppm under medium load. Regarding smoke opacity, B_4C exhibited better performance; 50 ppm B_4C reduced smoke opacity by 32.00% under medium load, while hBN achieved a 24.00% reduction. However, NO_x emissions increased by 20.34% with 100 ppm hBN under medium load and by 16.00% with 100 ppm B_4C under high load. Overall, the results indicate that nano-additives can effectively reduce incomplete combustion-related emissions in rapeseed biodiesel-diesel blends.

Keywords: Rapeseed biodiesel, Nano hexagonal boron nitride, Nano boron carbide, Nanoparticle, Diesel engine, Emissions.

Acknowledgements: The financial support for the research was provided by the Fırat University Research Fund, with the project being designated as FUBAP-TEKF.24.40. This study forms part of the doctoral dissertation of İbrahim Gündüz, entitled "Investigation of the Effects of Rapeseed Biodiesel Containing Nano Boron Carbide and Hexagonal Boron Nitride on Engine Performance and Emission Values."

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

INFLUENCE OF CARBON FIBRE REINFORCEMENT ON THE CHARPY IMPACT BEHAVIOUR OF FFF-PRINTED PLA COMPONENTS

[1]Mehmet Çağatay Akbolat

[1]Gaziantep University, Aerospace Engineering Department, mcakbolat@gantep.edu.tr - 0000-0001-7579-6478

ABSTRACT

The present study investigates the influence of carbon fibre reinforcement and raster angle on the Charpy impact behaviour of fused filament fabrication (FFF)-printed polylactic acid (PLA) components. Neat PLA and carbon fibre-reinforced PLA (PLA-CF) specimens with dimensions of 80 mm × 10 mm × 4 mm were manufactured using a 100% rectilinear infill pattern and raster angles of 0° and 90°. Charpy impact tests were conducted in accordance with ISO 179 using unnotched specimens. The results revealed that carbon fibre reinforcement significantly improved the impact toughness of specimens printed with a 0° raster angle, increasing the impact toughness from 19.60 ± 0.92 kJ/m² for neat PLA to 30.83 ± 0.72 kJ/m² for PLA-CF. Conversely, for specimens printed with a 90° raster angle, neat PLA exhibited higher impact toughness (24.75 ± 0.50 kJ/m²) than PLA-CF (15.80 ± 1.91 kJ/m²). Fractographic observations indicated that specimens printed at 0° primarily failed through bead fracture, whereas those printed at 90° predominantly exhibited inter-bead failure. The findings demonstrate that the effectiveness of carbon fibre reinforcement on impact performance strongly depends on raster angle and the associated failure mechanism. While fibre reinforcement enhances the intrinsic strength of deposited beads, it may adversely affect inter-bead adhesion, leading to reduced impact resistance when failure is governed by interlayer bonding.

Keywords: Fused filament fabrication, polylactic acid, carbon fibre reinforcement, Charpy impact test, raster angle, impact toughness.

1. INTRODUCTION

Fused filament fabrication (FFF), widely used in the aerospace, medical, and electronics industries, offers a cost-effective manufacturing route for producing complex structures [1–3]. Its advantages include high efficiency, suitability for functional prototyping, low material waste, and compatibility with a wide range of thermoplastics, such as polylactic acid (PLA) [4], polyethylene terephthalate glycol (PET-G) [5], and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) [6]. However, the use of FFF for load-bearing structural applications remains an ongoing research area. Therefore, a thorough understanding of the mechanical response of FFF-printed components under different loading conditions is essential for expanding their application potential. Therefore, a thorough understanding of the mechanical response of FFF-printed

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

components under different loading conditions is essential for expanding their application potential, particularly in structural and engineering applications.

Considerable research has recently focused on understanding the mechanical behaviour of FFF-printed components and the factors influencing their performance. Among these, printing parameters are recognised as critical determinants of mechanical properties. For example, layer thickness significantly affects the formation, size, and distribution of voids, which can adversely affect the mechanical integrity of printed components [7]. Nozzle temperature is another important parameter, as it governs polymer diffusion and bonding between adjacent layers, thereby influencing interlayer adhesion [8]. Likewise, printing speed affects both the quality of the interlaminar region and the alignment of polymer chains, which contribute to the overall mechanical response of the printed part [9]. In addition to processing conditions, build characteristics such as infill pattern, infill ratio, and raster angle also play important roles. Higher infill ratios generally improve load-bearing capacity by increasing the effective material density, while infill pattern and raster angle influence stress distribution and load transfer mechanisms within the structure [10,11].

Another widely adopted strategy for improving the mechanical properties of FFF-printed components is the incorporation of reinforcing phases into the filament. In particular, the addition of reinforcing fibres [12–14], and particulate fillers [15] into the filaments has been shown to enhance the mechanical performance of printed parts. Consequently, numerous studies have investigated the effects of both printing parameters and material modifications on the tensile and flexural behaviour of FFF-printed components.

Despite the extensive body of research on tensile and flexural properties, comparatively little attention has been paid to the impact behaviour of FFF-printed components. Understanding impact performance is particularly important for applications involving dynamic or sudden loading conditions. Therefore, the present study investigates the Charpy impact response of FFF-printed carbon fibre-reinforced PLA composites (PLA-CF). Specifically, the effects of raster angle and carbon fibre content on impact performance are examined. To this end, neat PLA and carbon fibre-reinforced PLA specimens with dimensions of 80 mm × 10 mm × 4 mm are fabricated using the FFF process with a 100% infill ratio and raster angles of 0° and 90°. Charpy impact tests were conducted in accordance with the ISO 179 standard [16]. The experimental results and corresponding discussion are presented in the following sections.

2. MATERIALS, MANUFACTURING, AND METHODS

PLA and PLA-CF filaments are supplied from Filameon (Kayseri, Türkiye). PLA and carbon fibre-reinforced PLA (PLA-CF) filaments are supplied by Filameon (Kayseri, Türkiye). The specimens, measuring 80 mm × 10 mm × 4 mm, are fabricated using a 0.8 mm nozzle at a nozzle temperature of 260 °C and a bed temperature of 60 °C. Each specimen is manufactured with 100% infill ratio with rectilinear infill. Charpy impact tests are conducted in accordance with the ISO 179 standard using unnotched specimens. The Charpy test apparatus has a support

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

span (anvil opening) of 55 mm. Two raster angle configurations are employed, *i.e.* 0° and 90°, where 0° is aligned parallel to the specimen length and 90° is oriented perpendicular to it.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The measured impact toughness of the PLA and PLA-CF specimens is presented in Figure 1. For specimens manufactured with a 0° raster angle, the impact toughness of PLA and PLA-CF was 19.60 ± 0.92 kJ/m² and 30.83 ± 0.72 kJ/m², respectively, indicating that PLA-CF exhibited superior impact resistance. In contrast, PLA exhibited higher impact toughness than PLA-CF, with values of 24.75 ± 0.50 kJ/m² and 15.80 ± 1.91 kJ/m², respectively, for the specimens manufactured with a 90° raster angle. The fractured specimens after the impact loading are given in Figure 2. The images reveal that specimens manufactured with a 0° raster angle predominantly failed through bead fracture, whereas those manufactured with a 90° raster angle exhibited inter-bead failure. These observations indicate that the impact response of specimens printed with a 0° raster angle is primarily governed by the mechanical properties of the deposited beads. This finding is consistent with previous studies reporting that fibre reinforcement enhances the mechanical properties of FFF-printed components [13]. In contrast, the impact response of specimens manufactured with a 90° raster angle is mainly controlled by inter-bead adhesion. This behaviour is supported by studies demonstrating that the presence of fibres within the inter-bead regions can disrupt matrix continuity and reduce bonding between adjacent beads, thereby weakening inter-bead adhesion [14].

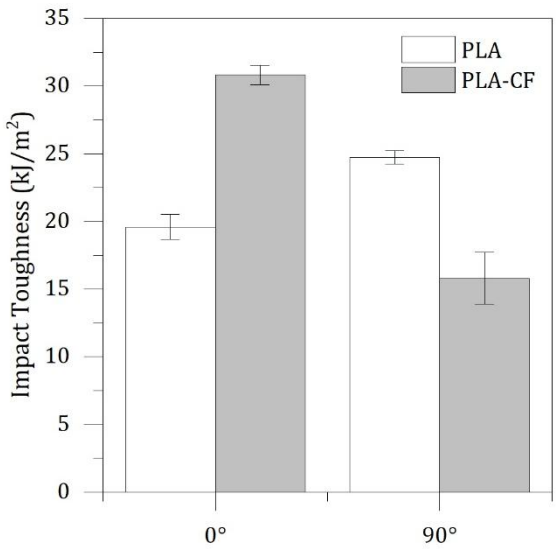


Figure 1. The comparison of the impact toughness values measured from the PLA and PLA-CF specimens.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

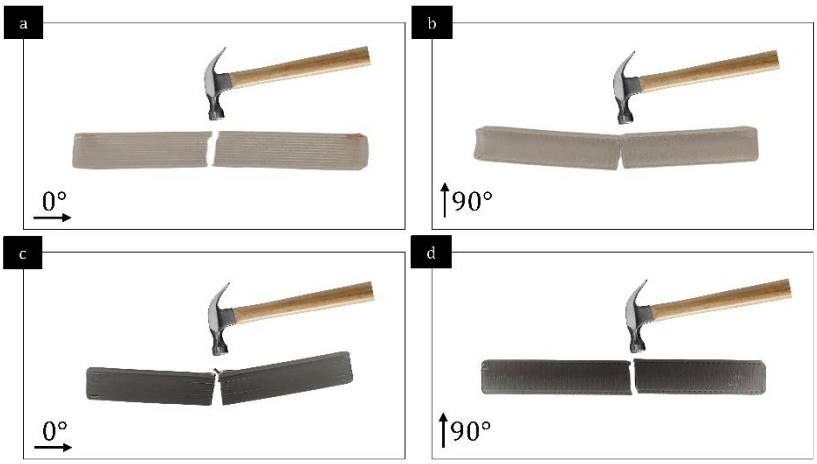


Figure 2. The fractured (a,b) PLA and (c,d) PLA-CF specimens with 0° and 90° raster angles. (The raster angle for each specimen is indicated in the bottom-left corner of the corresponding image.)

CONCLUSIONS

This study examined the effects of carbon fibre reinforcement and raster angle on the Charpy impact behaviour of FFF-printed PLA components. Based on the experimental findings, the following conclusions can be drawn:

- Carbon fibre reinforcement significantly improved the impact toughness of specimens printed with a 0° raster angle, increasing the impact toughness by approximately 57% compared with neat PLA.
- For specimens printed with a 90° raster angle, carbon fibre reinforcement reduced the impact toughness by approximately 36%, indicating that fibre addition can negatively affect impact performance when inter-bead bonding governs failure.
- Failure observations revealed distinct fracture mechanisms depending on raster angle. Specimens printed with a 0° raster angle mainly failed through bead fracture, whereas specimens printed with a 90° raster angle predominantly exhibited inter-bead separation.
- The results indicate that the impact response of specimens printed with a 0° raster angle is controlled primarily by the mechanical properties of the deposited filaments, while the response of specimens printed with a 90° raster angle is governed by inter-bead adhesion.
- Carbon fibre reinforcement is beneficial for impact performance when the loading condition promotes bead-dominated failure; however, it may weaken inter-bead bonding and reduce impact resistance when failure occurs along bead interfaces.

Overall, the study demonstrates that raster angle is critical to the effectiveness of carbon fibre reinforcement in FFF-printed PLA composites under impact loading. Future work may focus on optimising printing parameters and fibre content to simultaneously improve bead strength and interlayer adhesion.

REFERENCES

[1] Khosravani MR, Berto F, Ayatollahi MR, Reinicke T. Fracture behavior of additively manufactured components: A review. Theoretical and Applied Fracture Mechanics 2020;109:102763. https://doi.org/10.1016/J.TAFMEC.2020.102763.

[2] Markandan K, Lai CQ. Fabrication, properties and applications of polymer composites additively manufactured with filler alignment control: A review. Compos B Eng 2023;256:110661. https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2023.110661.

[3] Sharafi S, Santare MH, Gerdes J, Advani SG. A review of factors that influence the fracture toughness of extrusion-based additively manufactured polymer and polymer composites. Addit Manuf 2021;38:101830. https://doi.org/10.1016/J.ADDMA.2020.101830.

[4] Mengesha Medibew T. A Comprehensive Review on the Optimization of the Fused Deposition Modeling Process Parameter for Better Tensile Strength of PLA-Printed Parts. Advances in Materials Science and Engineering 2022;2022:5490831. https://doi.org/10.1155/2022/5490831.

[5] Tan M, Sanserverino A, Rodriguez-Herrera A, Kumar A, Stewart LK, Novelino LS. Yield and post-yield tensile behavior of 3D-printed PETG. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2025 142:3 2025;142:1649–58. https://doi.org/10.1007/S00170-025-17204-0.

[6] Cole DP, Riddick JC, Iftekhar Jaim HM, Strawhecker KE, Zander NE. Interfacial mechanical behavior of 3D printed ABS. J Appl Polym Sci 2016;133:43671. https://doi.org/10.1002/APP.43671.

[7] ELDeeb IS, Esmael E, Ebied S, Diab MR, Dekis M, Petrov MA, et al. Optimization of Nozzle Diameter and Printing Speed for Enhanced Tensile Performance of FFF 3D-Printed ABS and PLA. Journal of Manufacturing and Materials Processing 2025, Vol 9, 2025;9. https://doi.org/10.3390/jmmp9070221.

[8] Gajjar T, Yang R, Ye L, Zhang YX. Effects of key process parameters on tensile properties and interlayer bonding behavior of 3D printed PLA using fused filament fabrication. Progress in Additive Manufacturing 2024 10:2 2024;10:1261–80. https://doi.org/10.1007/s40964-024-00704-y.

[9] Farzipour A, Hasanzadeh R. On the impact of ultra-high printing speeds on tensile efficiency of fused filament fabrication-3D printed polylactic acid. Rapid Prototyp J 2026;32:1223–33. https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2025-0359.

[10] Chicos LA, Pop MA, Zaharia SM, Lancea C, Buican GR, Pascariu IS, et al. Fused Filament Fabrication of Short Glass Fiber-Reinforced Polylactic Acid Composites: Infill Density Influence on Mechanical and Thermal Properties. Polymers 2022, Vol 14, Page 4988 2022;14:4988. https://doi.org/10.3390/POLYM14224988.

[11] Agrawal AP, Kumar V, Kumar J, Paramasivam P, Dhanasekaran S, Prasad L. An investigation of combined effect of infill pattern, density, and layer thickness on mechanical properties of 3D printed ABS by fused filament fabrication. Heliyon 2023;9. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16531.

[12] Kubota M, Hayakawa K, Todoroki A. Effect of build-up orientations and process parameters on the tensile strength of 3D printed short carbon fiber/PA-6 composites. Advanced Composite Materials 2022;31:119–36. https://doi.org/10.1080/09243046.2021.1930497.

[13] Kilinc FB, Turkoglu T, Guler S, Kilinc AC. Optimization of 3D printing parameters for enhanced tensile properties in continuous carbon fiber reinforced PLA composites. Mater Res Express 2025;12:045302. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ADC5CC.

[14] Tóth C, Lukács NL, Kovács NK. The role of the fiber–matrix interface in the tensile properties of short fiber–reinforced 3D-printed polylactic acid composites. Polym Compos 2024;45:13589–602. https://doi.org/10.1002/PC.28720;ISSUE:ISSUE:DOI.

[15] Hardani H, Afshari M, Allahyari F, Samadi MR, Afshari H, Medina EMM. Optimization of FFF process parameters to improve the tensile strength and impact energy of polylactic acid/carbon nanotube composite. Polym Eng Sci 2024;64:5047–60. https://doi.org/10.1002/PEN.26900.

[16] ISO 179 - Plastics — Determination of Charpy impact properties.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

CONVERSION OF CO_2 TO CYCLIC CARBONATES BY AROMATIC AMINES AS A CATALYST IN AN ATMOSPHERIC AMBIENT

Assoc. Prof. Dr., Emine AYTAR[1]

[1] Harran University, Organized Industrial Zone Vocational School, emineaytar@harran.edu.tr

- https://orcid.org/0000-0001-7572-8088

Abstract

The 20th century saw a large increase in both population and energy consumption, and this trend is predicted to continue as industrialization and urbanization continue. Due mostly to the burning of fuels that contain carbon, the amount of carbon dioxide (CO_2) in the earth's atmosphere has increased significantly in recent years. Since the Industrial Revolution, data show that CO_2 concentrations have steadily increased, reaching 427 ppm. Converting CO_2 into fuels and value-added compounds is a promising way to address this issue. However, CO_2 poses a challenge in terms of reacting in chemical reactions due to its high thermodynamic stability (ΔH^0_f = -396 kJ•mol^{-1}). The problem of CO_2 not reacting in chemical reactions is overcome with the help of catalysts, enabling its use as a carbon source in chemical processes. Because it can reduce the activation energy needed, the use of a catalyst is essential in mitigating these conditions. For the cycloaddition reaction of CO_2 with epoxides, a variety of homogeneous and heterogeneous catalysts, including metal oxides, ionic liquids, very porous metal-organic frameworks, metal complexes, and mesoporous organosilica, have been produced. Several methods have been developed for this purpose, including CO_2 hydrogenation, formate synthesis, and the cycloaddition of epoxides with CO_2. Because of its many industrial uses and 100% atom economy, the CO_2–epoxide reaction has garnered a lot of interest among these. Cyclic carbonates are a significant class of chemicals produced by the cycloaddition reaction of CO_2 with epoxides. These substances can be used as ecologically benign precursors in a variety of polymer and organic syntheses, as well as electrolytes in lithium-ion batteries. In the study, aromatic amines 2,4,6-Tri-tert-butylaniline and 2,5-Di-tert-butylaniline were tested as catalysts. The catalytic activity of aromatic amines in the conversion of carbon dioxide to cyclic carbonates in the atmospheric ambient was investigated and the most active catalyst was determined. The effect of the catalyst, which is the most active aromatic amine in the atmospheric ambient, on the conversion of oxirane to cyclic carbonate in the reaction was examined by examining the effect of time on the transformation.

Keywords: Carbon dioxide, Aromatic amines, Cyclic carbonates, Atmospheric ambient.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ATMOSFERİK ORTAMDA AROMATİK AMİNLERİN KATALİZÖR OLARAK KULLANILMASIYLA CO_2'NİN HALKALI KARBONATLARA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Doç. Dr., Emine AYTAR[1]

[1] Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu,

emineaytar@harran.edu.tr - https://orcid.org/0000-0001-7572-8088

ÖZET

20. yüzyılda hem nüfusta hem de enerji tüketiminde büyük bir artış yaşanmıştır ve sanayileşme ve kentleşme devam ettikçe bu eğilimin devam edeceği tahmin edilmektedir. Çoğunlukla karbon içeren yakıtların yakılması nedeniyle, dünya atmosferindeki karbondioksit (CO_2) miktarı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Sanayi Devrimi'nden bu yana, veriler CO_2 konsantrasyonlarının sürekli olarak arttığını ve 427 ppm'ye ulaştığını göstermektedir. CO_2'nin yakıtlara ve katma değerli bileşiklere dönüştürülmesi, bu sorunu ele almanın umut vadeden bir yoludur. Ancak CO_2 yüksek termodinamik kararlılığı (ΔH^0_f = -396 kJ•mol^{-1}) nedeniyle kimyasal reaksiyonlarda tepkimeye girme açısından zorluk teşkil etmektedir. CO_2'nin reaksiyonlarda tepkimeye girme sorunu ise katalizör yardımıyla giderilerek kimyasal süreçlerde karbon kaynağı olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Gerekli aktivasyon enerjisini azaltabildiği için katalizör kullanımı bu koşulları hafifletmede çok önemlidir. CO_2'nin epoksitlerle halkakatılma reaksiyonu için, metal oksitler, iyonik sıvılar, çok gözenekli metal-organik çerçeveler, metal kompleksleri ve mezogözenekli organosilika dahil olmak üzere çeşitli homojen ve heterojen katalizörler üretilmiştir. Bu amaçla, CO_2 hidrojenasyonu, format sentezi ve epoksitlerin CO_2 ile halkakatılımı da dahil olmak üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Birçok endüstriyel kullanım alanı ve %100 atom ekonomisi nedeniyle, CO_2-epoksit reaksiyonu bunlar arasında büyük ilgi görmüştür. Halkalı karbonatlar, CO_2'nin epoksitlerle halkakatılma reaksiyonu sonucu üretilen önemli bir kimyasal sınıfıdır. Bu maddeler, çeşitli polimer ve organik sentezlerde ekolojik olarak zararsız öncüller olarak ve lityum iyon pillerde elektrolit olarak kullanılabilir. Gerçekleştirilen çalışmada 2,4,6-Tri-tert-butylaniline ve 2,5-Di-tert-butylaniline olan aromatik aminler katalizör olarak test edilmiştir. Karbon dioksitin atmosferik ortamda halkalı karbonatlara dönüşümünde aromatik aminlerin katalitik etkinliği araştırılarak en aktif katalizör tespiti gerçekleştirilmiştir. Atmosferik ortamda en aktif aromatik amin olan katalizörün dönüşümde süre etkisi incelenerek reaksiyonda oksiranın halkalı karbonata dönüşümü üzerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon dioksit, Aromatik amin, Halkalı karbonat, Atmosferik ortam.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. GİRİŞ

Karbondioksit (CO_2) şu anda küresel ısınmaya katkıda bulunan başlıca antropojenik gazdır [1,2]. Sanayi devriminden bu yana atmosferdeki miktarı hızla artarak 2025 yılı itibarı ile 427.09 ppm'ye yükselmiştir [3,4]. Karbondioksit yakalama ve kullanım teknolojilerinin, küresel sera gazı emisyonlarını azaltmak için uygulanabilir ve ekonomik bir çözüm olduğu kabul edilmiştir [5–15]. CO_2'nin kimyasal sentez için başlangıç noktası olarak kullanılması üzerine yapılan araştırmalar, bilim, ekonomi ve ekoloji açısından büyük ilgi görmektedir [5–19]. CO_2, ucuz, toksik olmayan ve yanıcı olmayan özellikleri nedeniyle organik kimyada çok arzu edilen düşük maliyetli bir C1 kaynağıdır. Ayrıca, sera etkisine neden olan CO_2 üretimini azaltmak için endüstriyel işlemlerden kaynaklanan CO_2 emisyonunun azaltılması, kimyagerleri bu alanda çalışmalar yapmaya teşvik etmektedir. CO_2 termodinamik olarak kararlıdır ($\Delta G° = -394$ kJ/mol) [5,6]. Ancak, CO_2'nin organik moleküllere sabitlenmesi için katalitik aktivasyona ve karşılık gelen bir reaktif maddeye gereklilik vardir. Epoksitler gibi termodinamik olarak kararsız olan üç üyeli heterosiklik halkalar, CO_2 sabitlemesi için mükemmel reaktiflerdir. %100 atom verimliliğine sahip olan epoksitlere CO_2'nin halka genişletme ilavesi yoluyla halkalı karbonatların sentezi, CO_2 kullanımı için en gelişmiş reaksiyonlardan biridir [20].

Görsel 1. Küresel ısınmaya neden olan CO_2

Organik karbonatlar, özellikle halkalı karbonatlar, pillerde elektrolit, yeşil çözücüler, yakıt katkı maddeleri, ince kimyasallar için hammadde, karbamat sentezi, polikarbonat üretimi için monomerler, farmasötik ve kimyasal ara maddeler için bileşenler gibi çeşitli endüstriyel süreçlerde kullanılmaktadır [21–26]. Etilen, propilen ve bütilen karbonat sentezleri, uzun bir süre boyunca geliştirilen bir metodoloji sayesinde dünya çapında ticari olarak üretilmektedir [27]. Endüstriyel üretimde yaygın olarak kullanılan katalizörler, şu anda hala yüksek CO_2 basıncına, yüksek reaksiyon sıcaklıklarına ve saf CO_2'ye ihtiyaç duymaktadır [28,29, 33-36]. Karbon kaynaklarının kullanımı ve küresel ısınmanın önlenmesi açısından, daha düşük reaksiyon sıcaklığı ve basıncında, hatta ortam koşullarında bile işlevsel olan etkili CO_2 kullanan prosedürlerin oluşturulması son derece arzu edilmektedir. Son birkaç on yılda metal oksitler, alkali metal halojenürler, kuaterner amonyum veya fosfonyum tuzları, imidazolium tuzları veya iyonik sıvılar ve metal kompleksleri de dahil olmak üzere çok sayıda homojen ve heterojen katalizör sistemi üretilmiştir. Bununla birlikte, bu sistemler düşük katalitik aktivite, saf CO_2 kullanımı ve zorlu reaksiyon koşulları (yüksek sıcaklık veya yüksek basınç) gibi dezavantajlara sahip olmaya devam etmektedir. Epoksitleri oda sıcaklığında ve ortam CO_2 basıncında halkalı karbonatlara dönüştürmek için çok etkili bir katalizör sisteminin bulunabilirliği hala biraz sınırlıdır. Gerçekleştirilen bu çalışmada atmosferik ortam üzerinde durularak 2,4,6-Tri-tert-butylaniline

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

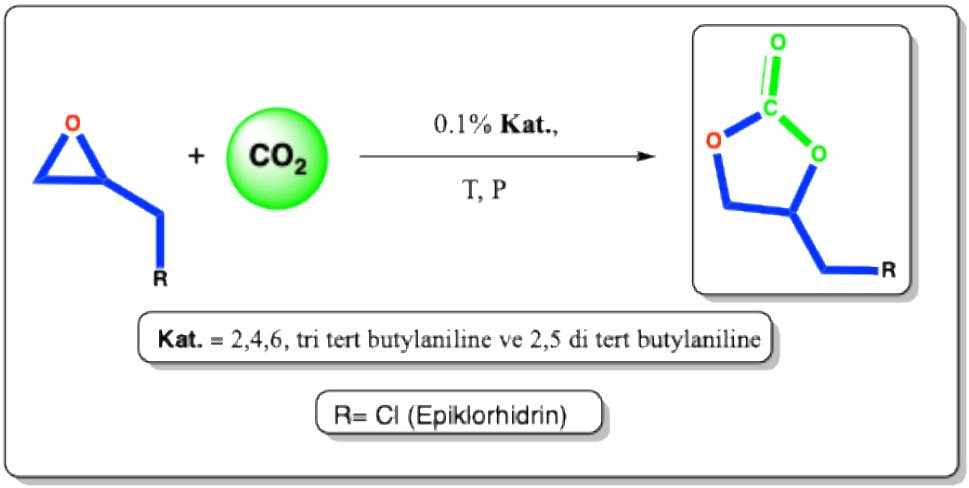
ve 2,5-Di-tert-butylaniline olan aromatik aminler katalizör olarak test edildi. CO_2'nin atmosferik ortamda halkalı karbonatlara dönüşümünde aromatik aminlerin katalitik etkinliği araştırılarak en aktif katalizör tespiti gerçekleştirildi. Atmosferik ortamda en aktif aromatik amin olan katalizörün dönüşümde süre etkisi incelenerek reaksiyonda oksiranın halkalı karbonata dönüşümü üzerine etkisi incelendi.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Katalitik reaksiyonlar daha önce onaylanmış koşullar altında gerçekleştirildi (0,1 mol% katalizör, 0,2 mol% yardımcı katalizör: dimetilaminopiridin (DMAP), 100 °C, 1 atm CO_2, 2 saat) [30-32] (Görsel 2). En aktif katalizör belirlendikten sonra, atmosferik basınç altında CO_2'nin Epiklorhidrin (EK) ile birleşmesi üzerindeki reaksiyon süresinin etkisi incelendi (Çizelge 2).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Aynı reaksiyon koşulları altında (%0,1 mol katalizör, %0,2 mol yardımcı katalizör: dimetilaminopiridin (DMAP), 100 °C, 1 atm CO_2, 2 saat), katalizör olarak 2,4,6-Tri-tert-butylaniline ve 2,5-Di-tert-butylaniline CO_2'den halkalı karbonat eldesi reaksiyonunda test edildi ve EK verimi %47,6 ve %42,5 olarak belirlendi (Çizelge 1). Çizelge 1'de gösterildiği gibi anilinler, atmosferik basınçta şaşırtıcı derecede başarılı ve iyi verimler sağladı. Ayrıca, katalitik sonuçlar incelendiğinde 4-etil-1,3-dioksalan-2-on'un (EKHC) seçiciliği genellikle yüksekti. Ayrıca, sonuçlar incelendiğinde atmosfer basıncında CO_2'nin halkalı karbonata dönüşümünde anilinlerden iyi bir verim elde edilmesi oldukça heyecan vericiydi. En iyi dönüşüm, 2,4,6-Tri-tert-butylaniline katalizör ve yardımcı katalizör olarak DMAP varlığında %47,6 verim ve %98,5 seçicilik ile gerçekleştirildi (Çizelge 1, sıra 1).



Görsel 2. Atmosferik ortamda 2,4,6, tri tert butylaniline ve 2,5 di tert butylaniline katalizörleri ile CO_2'nin halkalı karbonata dönüşümü.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Çizelge 1. Atmosferik ortamda CO_2'nin epiklorhidrin ile halkalaşmasından 4-etil-1,3-dioksalan-2-on sentezi sonuçları

Sıra	Katalizör	Verim [%]	Seçicilik [%]	TON	TOF
1	2,4,6, tri tert butylaniline	47,6	98,5	476	238
2	2,5 di tert butylaniline	42,5	98,4	425	213
a) Reaksiyon koşulları: Kat. (4.5×10^{-5} mol), DMAP (9×10^{-5} mol), epiklorhidrin (4.5×10^{-2} mol), CO_2 (1 atm), 100 °C, 2 s (Atmosferik ortam)					

Çizelge 2 reaksiyon süresinin atmosferik basınç altında CO_2'nin dönüşümünü nasıl etkilediğini göstermektedir. Katalizör olarak 2,4,6-Tri-tert-butylaniline ve baz olarak DMAP ile katalize edilen halkakatılma reaksiyonu, zaman içinde hızlı bir şekilde ilerlemiş ve 12 saat boyunca, dönüşüm %96,1 EKHK verimi ve %99,1 ECHC seçiciliği ile mükemmel bir şekilde elde edilmiştir. Şaşırtıcı bir şekilde, %96,1'lik bir halkakatılma verimiyle reaksiyon hızlı bir şekilde ilerler ve dönüşüm, çizelge 2'de gösterildiği gibi atmosferik basınç altında neredeyse ilk 12 saatte tamamlanır.

Çizelge 2. Atmosferik sistemde reaksiyon süresinin dönüşüm üzerine etkisi

Sıra	Katalizör	Reaksiyon Süresi	Verim [%]	Seçicilik [%]	TON	TOF
1	2,4,6, tri tert butylaniline	2	47,6	98,5	476	238
2	2,4,6, tri tert butylaniline	4	70,0	98,5	700	350
3	2,4,6, tri tert butylaniline	6	82,2	98,4	822	411
4	2,4,6, tri tert butylaniline	8	90,1	98,7	901	451
5	2,4,6, tri tert butylaniline	10	94,9	99,2	949	475
6	2,4,6, tri tert butylaniline	12	96,1	99,1	961	481
a) Reaksiyon koşulları: Kat. (4.5×10^{-5} mol), DMAP (9×10^{-5} mol), epiklorhidrin (4.5×10^{-2} mol), CO_2 (1 atm), 100 °C (Atmosferik ortam)					

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Gerçekleştirilen halkalı karbonat sentezi reaksiyonunda 2,4,6-Tri-tert-butylaniline ve 2,5-Di-tert-butylaniline katalizör olarak test edilip, CO_2 'nin epiklorhidrin ile birlikte atmosferik basınç koşulları ile dönüşümü incelenmiştir. Sonuçlar ayrıntılı olarak analiz edildiğinde en iyi dönüşüm 2,4,6-Tri-tert-butylaniline katalizörü kullanılarak epiklorhidrin ile 2 saat atmosferik ortam ve 1 atm CO_2 basınç altında %47.6 verim ve %98.5 seçicilik ile elde edilmiştir. %47.6 verim ve %98.5 seçicilik ile atmosferik ortam da da dönüşüm ile oldukça iyi sonuçlar elde edileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca bu 2,4,6-Tri-tert-butylaniline ile gerçekleştirilen %47.6 verim de oldukça başarılı olmakla birlikte atmosferik ortam ve literatür açısından da yenidir. Bununla birlikte reaksiyon süresinin atmosferik basınç altında CO_2'nin dönüşümünü nasıl etkilediği de incelenmiş ve reaksiyon süresinin artması ile verim artarak dönüşüm neredeyse 12 saatte %96.1 verim ile tamamlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ile bu alandaki çalışmada yüksek basınç gerektirmeyen ve atmosferik ortam gibi reaksiyon sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte tasarlanması noktasında da öncü çalışmalar olarak yer alacaktır.

KAYNAKÇA

[1] A. Rafiee, K. Rajab Khalilpour, D. Milani, M. Panahi, Trends in CO_2 conversion and utilization: A review from process systems perspective, J. Environ. Chem. Eng. 6 (2018) 5771–5794, doi: 10.1016/j.jece.2018.08.065.

[2] T. Weidlich, B. Kamenická, Utilization of CO_2-Available Organocatalysts for Reactions with Industrially Important Epoxides, Catalysts 12 (3) (2022) 298, doi: 10.3390/catal12030298.

[3] S. Zepecki III, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Global monitoring laboratory—Earth system research laboratories, Trends Atmos. Carbon Dioxide (2021). https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html (accessed December 6, 2021).

[4] W. de Almeida Bezerra, J.L.S. Milani, C.H. de Jesus Franco, F.T. Martins, Â. de Fátima, Á.F.A. da Mata, R.P. das Chagas, Bis-benzimidazolium salts as bifunctional organocatalysts for the cycloaddition of CO_2 with epoxides, Molecular Catalysis 530 (2022) 112632, doi: 10.1016/j.mcat.2022.112632.

[5] H.G. Sogukomerogullari, A.G. Zirek, E. Aytar, M. Köse, M. Sönmez, Pd, Ni, Fe and Cu complexes containing a novel SNS-pincer ligand bearing pyridine: Synthesis and catalytic application to form cyclic carbonates, Journal of Molecular Structure 1263 (2022) 133074, doi: 10.1016/j.molstruc.2022.133074.

[6] D.N. Gorbunov, M.V. Nenasheva, M.V. Terenina, Y.S. Kardasheva, S.V. Kardashev, E.R. Naranov, A.L. Bugaev, A.V. Soldatov, A.L. Maximov, E.A. Karakhanova, Transformations of Carbon Dioxide under Homogeneous Catalysis Conditions (A Review), Petroleum Chem. 62 (2022) 1–39, doi: 0.1134/S0965544122010054.

[7] K. Kiatkittipong, Green Pathway in Utilizing CO_2 via Cycloadditon Reaction with Epoxide-A Mini Review, Processes 8 (5) (2020) 548, doi: 10.3390/pr8050548.

[8] R.R. Shaikh, S. Pornpraprom, V. D'Elia, Catalytic Strategies for the Cycloaddition of Pure, Diluted, andWaste CO_2 to Epoxides under Ambient Conditions, ACS Catal. 8 (1) (2018) 419–450, doi: 10.1021/acscatal.7b03580.

[9] M. Aresta, A. Dibenedetto, A. Angelini, Catalysis for the Valorization of Exhaust Carbon: From CO_2 to Chemicals, Materials, and Fuels. Technological Use of CO_2, Chem. Rev. 114 (2014) 1709–1742, doi: 10.1021/cr4002758.

[10] J. Artz, T.E. Müller, K. Thenert, Sustainable Conversion of Carbon Dioxide: An Integrated Review of Catalysis and Life Cycle Assessment, Chem. Rev. 118 (2018) 434–504, doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00435.

[11] A.A. Cahugule, A.H. Tamboli, H. Kim, Ionic liquid as a catalyst for utilization of carbon dioxide to production of linear and cyclic carbonates, Fuel 200 (2017) 316–332, doi: 10.1016/j.fuel.2017.03.077.

[12] S. Cui, J. Borgemenke, Z. Liu, Y. Li, Recent advances of "soft" bio-polycarbonate plastics from carbon dioxide and renewable bio-feedstocks via straightforward and innovative routes, J. CO_2 Util. 34 (2019) 40–52, doi: 10.1016/j.jcou.2019.05.027.

[13] R. Calmanti, N. Sargentoni, M. Selva, A. Perosa, One-Pot Tandem Catalytic Epoxidation—CO_2 Insertion of Monounsaturated Methyl Oleate to the Corresponding Cyclic Organic Carbonate Catalysts, J. CO_2 Util. 11 (12) (2021) 1477, doi: 10.3390/catal11121477.

[14] D.J. Darensbourg, Making Plastics from Carbon Dioxide: Salen Metal Complexes as Catalysts for the Production of Polycarbonates from Epoxides and CO_2, Chem. Rev. 107 (2007) 2388–2410, doi: 10.1021/cr068363q.

[15] G.W. Coates, D.R. Moore, Discrete Metal-Based Catalysts for the Copolymerization of CO_2 and Epoxides: Discovery, Reactivity, Optimization, and Mechanism, Angew. Chem. Int. Ed. 43 (2004) 6618-6639, doi: 10.1002/anie.200460442.

[16] H. You, E. Wang, H. Cao, C. Zhuo, S. Liu, X. Wang, F. Wang, From Impossible to Possible: Atom-Economic Polymerization of Low Strain Five-Membered Carbonates, Angew. Chem. Int. Ed. 61 (2022) e202113152, doi: 10.1002/anie.202113152.

[17] T. Sakakura, J.C. Choi, H. Yasuda, Transformation of Carbon Dioxide, Chem. Rev. 107 (2007) 2365-2387, doi: 10.1021/cr068357u.

[18] L. Guo, K.J. Lamb, M. North, Recent developments in organocatalyzed transformations of epoxides and carbon dioxide into cyclic carbonates, Green Chem. 23 (2021) 77–118, doi: 10.1039/D0GC03465G.

[19] A. Rehman, F. Saleem, F. Javed, A. Ikhlaq, S.W. Ahmad, A. Harvey, Recent advances in the synthesis of cyclic carbonates via CO_2 cycloaddition to epoxides, J. Environ. Chem. Eng. 9 (2021) 105113, doi: 10.1016/j.jece.2021.105113.

[20] X.-B. Lu, D.J. Darensbourg, Cobalt catalysts for the coupling of CO_2 and epoxides to provide polycarbonates and cyclic carbonates†, Chem. Soc. Rev. 41 (2012) 1462–1484, doi: 10.1039/C1CS15142H.

[21] B. Schäffner, F. Schäffner, S.P. Verevkin, A. Börner, Organic Carbonates as Solvents in Synthesis and Catalysis, Chem. Rev. 110 (2010) 4554–4581, doi: 10.1021/cr900393d.

[22] Y. A. Alassmy, Z. A. Pour, and P. P. Pescarmona, Efficient and Easily Reusable Metal-Free Heterogeneous Catalyst Beads for the Conversion of CO_2 into Cyclic Carbonates in

the Presence of Water as Hydrogen-Bond Donor, ACS Sustainable Chem. Eng. 8 (2020) 7993-8003, doi: 10.1021/acssuschemeng.0c02265.

[23] K. Xu, Nonaqueous Liquid Electrolytes for Lithium-Based Rechargeable Batteries, Chem. Rev. 104 (2004) 4303–4417, doi: 10.1021/cr030203g.

[24] M. Blain, L. Jean-Gerard, R. Auvergne, D. Benazet, S. Caillol, B. Andrioletti, Rational investigations in the ring opening of cyclic carbonates by amines. Green Chem. 16 (2014) 4286-4291, doi: 10.1039/C4GC01032A.

[25] A.A.G. Shaikh, S. Sivaram, Organic Carbonates†, Chem. Rev. 96 (1996) 951–976, doi: 10.1021/cr950067i.

[26] M. A. de la Pena, L. Merzoud, W. Lamine, A. Tuel, H. Chermette, L. Christ, Robust Pyrrole-Schiff base Zinc complexes as novel catalysts for the selective cycloaddition of CO_2 to epoxides, Journal of CO_2 Utilization 44 (2021) 101380, doi: 10.1016/j.jcou.2020.101380.

[27] W.J. Peppel, Preparation and Properties of the Alkylene Carbonates, Ind. Eng. Chem. 50 (1958) 767–770, doi: 10.1021/ie50581a030.

[28] M. Yoshida, M. Ihara, Novel Methodologies for the Synthesis of Cyclic Carbonates, Chem. Eur. J. 10 (2004) 2886–2893, doi: 10.1002/chem.200305583.

[29] S. Fukuoka, M. Kawamura, K. Komiya, M. Tojo, H. Hachiya, K. Hasegawa, M. Aminaka, H. Okamoto, I. Fukawa, S. Konno, A novel non-phosgene polycarbonate production process using by-product CO_2 as starting material†, Green Chem. 5 (2003) 497–507, doi: 10.1039/B304963A.

[30] Aytar, E. (2019). Konjuge NN kompleks bileşikleri ve katalitik uygulamaları.

[31] Aytar, E. (2023). Schiff base Cu (II) complexes as catalysts in the transformation of CO2 to cyclic carbonates at both high and atmospheric pressure. Journal of Molecular Structure, 1284, 135331.

[32] Aytar, E. (2022). Atmosferik basınçta imidazolyum tuzları ile CO2'nin halkalı karbonatlara dönüşümü. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(3), 923-935.

[33] E. Lopes, A. Ribeiro, L. Martins, New trends in the conversion of CO_2 to cyclic carbonates, Catalysts 10 (5) (2020) 479-493, doi: 10.3390/catal10050479.

[34] T. Yan, Z. Wang, L. Guo, R. Zhang, H. Zhan, J. Chen, X. Wu, Recent Achievements in the Synthesis of Cyclic Carbonates from Olefins and CO_2: The Rational Design of the Homogeneous and Heterogeneous Catalytic System, Catalysts 12 (5) (2022) 563-581, doi: 10.3390/catal12050563.

[35] J. Qiu, Y. Zhao, Y. Zhao, H. Wang, Z. Li, J. Wang, T. Jiao, Cu (I)/Ionic Liquids Promote the Conversion of Carbon Dioxide into Oxazolidinones at Room Temperature, Molecules 24 (7) (2019) 1241-1251, doi: 10.3390/molecules24071241.

[36] R. Das, T. Ezhil, C.M. Nagaraja, Design of Bifunctional Zinc (II)–Organic Framework for Efficient Coupling of CO_2 with Terminal/Internal Epoxides under Mild Conditions, Crystal Growth Design 22 (1) (2021) 598-607, doi: 10.1021/acs.cgd.1c01148.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

RECENT ADVANCES IN AEROGEL TEXTILE COMPOSITES FOR THERMAL INSULATION APPLICATIONS

Asst. Prof. Zeynep ÜLKER DEMİR

Gebze Technical University, Faculty of Engineering

zeynepulker@gtu.edu.tr, 0000-0003-2211-6963

SUMMARY

Aerogels are special forms of highly porous, ultralight materials composed of nanosized particles that are combined to form a three-dimensional network (Ülker et al., 2014) Their very low thermal conductivity combined with very large surface area and tunable properties depending on the preparation conditions make them one of the most promising advanced materials for a variety of application areas (Alwin & Sahaya Shajan, 2020) . Increasing energy consumption combined with high population growth led people to use both more renewable energy sources and reduce energy consumption. One of the best methods of reducing energy consumption is to develop more effective thermal insulation systems. Aerogels, having significantly lower thermal conductivities among the commonly used thermal insulation materials are gaining increasing attention (Ge et al., 2025). The performance of these nanomaterials depends mostly on their porous structure and pore sizes which are in turn determined by the synthesis conditions and particularly the drying procedure (Payanda Konuk et al., 2023). Although the most successful and popular one is the silica aerogel, there are many different types of aerogels investigated for thermal insulation purposes such as oxide aerogels, carbide aerogel, nitride aerogels and polymer aerogels (Ge et al., 2025). Despite their excellent performance, problems including low mechanical properties, cost of production and fragility hinder their widespread use. Thus, aerogel textile composites are also under investigation to both improve the energy efficiency and compensate the problems. They are widely used in different areas including energy savings of buildings, aerospace, flame retardancy, protective clothing and other fields (Azam et al., 2022). Based on all the advantages they offer, aerogel textile composites have great potential for use in energy applications, specifically in thermal insulation.

Keywords: Aerogels, Thermal Insulation, Composites with Textiles

1. INTRODUCTION

Nowadays, buildings are at the center of the world's energy and climate problems. Approximately 33% of energy-related CO_2 emissions and 40% of the world's total energy consumption are attributed to the building sector (Min et al., 2022). One of the most efficient methods of reducing energy consumption in buildings is to use innovative insulation materials with great thermal performance (Sun et al., 2026). Aerogels, standing out as one of the most promising materials to improve energy efficiency, became popular due to their excellent thermal insulation performance, flame retardancy and lightweight construction (Sun et al.,

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2026). These nanomaterials created by Samuel Kistler in 1931 are highly porous (KISTLER, 1931). Furthermore, their low densities, high surface areas and extremely low thermal conductivities are largely attributed to their three-dimensional porous structures. A comparative overview of the thermal conductivities of different insulation materials is provided in Table 1. Recent advances in aerogel science led to the investigation of these materials for various applications such as sound absorption, energy conservation, thermal insulation, purification, and biomedicine (Fricke & Emmerling, 1998; Mishra et al., 2025). However, their fragility combined with low mechanical properties and cost of production led researchers to find alternative solutions such as the production of aerogel composites. One of the candidates used to produce aerogel composites with, was textiles. Although the first application of the textiles since ancient times is clothing, they are now investigated for various applications such as filtration, biomedical applications and thermal insulation based on their functional and diverse properties (Azam et al., 2022). The fiber type used to manufacture the textile, the production method and the resulting structure all affect the qualities of the textiles. The porosity on the other hand could lead to a higher comfort, increased thermal insulation capability and filtration performance to the end-product (Azam et al., 2022). However, usually only macroporous structures can be obtained using conventional manufacturing techniques. Therefore, the creation of aerogel textile composites may provide answers to issues brought about by each of the constituent parts.

Table 1: Thermal Conductivities of Some Insulation Materials at Room Temperature

Material	Thermal Conductivity (W/mK)	Reference
Extruded polystyrene	0.032 (ρ=28 kg/m^3)	(Al-Ajlan, 2006; Ülker et al., 2014)
Polyurethane board	0.023 (ρ=28 kg/m^3)	(Al-Ajlan, 2006; Ülker et al., 2014)
Glass fiber	0.035 (ρ=30 kg/m^3)	(Al-Ajlan, 2006; Ülker et al., 2014)
Rock wool	0.042 (ρ=50 kg/m^3)	(Al-Ajlan, 2006; Ülker et al., 2014)
Light weight concrete	0.120 (ρ=551 kg/m^3)	(Al-Ajlan, 2006; Ülker et al., 2014)
Silica aerogel	0.016 (ρ=100-130 kg/m^3)	(Bisson et al., 2004; Ülker et al., 2014)
Resorcinol formaldehyde aerogel	0.012 (ρ=157 kg/m^3)	(Lu et al., 1992; Ülker et al., 2014)
Polyurea aerogel	0.019 (ρ=118 kg/m^3)	(Lee et al., 2009; Ülker et al., 2014)

2. AEROGELS AND THERMAL INSULATION

2.1. Aerogels

Aerogels are usually prepared by a sol-gel technique followed by aging, solvent exchange and drying processes (Payanda Konuk et al., 2023). Depending on the type of the aerogel that will

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

be produced, precursors are initially dissolved in an appropriate solvent in which a specific catalyst is added to initiate hydrolysis reactions. Subsequent condensation using another type of catalyst leads to gelation thereby creating a hydrogel which is then subjected to aging and solvent exchange steps where the structure is strengthened and the solvent within the pores is exchanged for the subsequent drying. There are three drying methods used to produce aerogels such as ambient pressure drying, freeze drying and supercritical drying (Şahin et al., 2017). The most effective technique is supercritical drying as it can preserve the delicate porous structure. Inorganic, organic or hybrid aerogels can be synthesized using an appropriate precursor. Moreover, aerogels can be produced in different shapes such as monolithic, nano or microparticles, powders or fibers (Maleki et al., 2016; Ulker & Erkey, 2014).

2.2. Thermal Insulation with Aerogels

Due to their exceptional low thermal conductivities attributed to their highly porous structure, aerogels are accepted as effective thermal insulation materials. The thermal conductivity of silica-based aerogels can be as low as 0.012 W/m.K (Tukhtamisheva et al., 2024). To use aerogels in thermal insulation applications, it is first necessary to thoroughly understand heat transfer mechanisms. Heat transfer in a porous media can be achieved via conduction, convection or radiation. Heat can be transferred by electronic conduction along with phonon conduction of the solid matrix and by gaseous conduction (Ülker et al., 2014). Complex 3D structure of the aerogels can hinder the heat transfer through solid skeleton with several interfaces, pores and defects (Z. Liu et al., 2025). In addition, as pore sizes of aerogels are smaller than the mean free path of the gas molecules, collisions between the gas molecules and the pore wall dominate the collisions between the gas molecules (Ülker et al., 2014). The so-called Knudsen effect reduces the gaseous thermal conductivity. In addition, those pores can also hinder the flow of gas molecules thereby preventing heat transfer by convection. On the other hand, radiative heat transfer is based on the scattering from the interfaces and grain boundaries and is affected by adsorption and reemission within the porous material. Radiation becomes dominant mainly at high temperatures. To reduce the radiative thermal conductivity, materials should be strong IR absorbers (Hrubesh & Pekala, 1994). Thus, opacifiers can also be added into aerogels if their IR absorbency is not sufficient.

2.3 Aerogel-Textile Composites

These properties of aerogels make them very appealing for thermal insulation applications. However, the widespread application of these materials is hindered by their costly manufacturing and poor mechanical performance. Thus, the preparation of aerogel composites while retaining the thermal insulation properties would be a good option for thermal insulation purposes. Textiles, mostly known to be used for clothing purposes, can be one of the alternative solutions which would improve the mechanical properties of aerogel while imparting a porous structure to the textile (Azam et al., 2022). Thermal insulation is one of the many uses for aerogel textile composites. In the early 1990s, a flexible aerogel blanket was produced which then led to subsequent research involving aerogel-based textiles (Ülker et al., 2014). In addition,

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Aspen Aerogels has manufactured several silica aerogel based textile composites such as Spaceloft ® , Cryogel ® , and Pyrogel ® for industrial use.

There are mainly three methods used to synthesize aerogel based textiles (Azam et al., 2022). The primary technique is to synthesize both constituents separately and then use a different approach such as padding, thermal bonding, lamination or electro spraying to combine them. Another method is to combine aerogels and textiles during the synthesis stage, thereby synthesizing the aerogel structure within the textile or adding fibers or fabrics to the precursor solution of aerogel before the gelation. And the last method is to prepare aerogel fibers and produce a textile using those fibers.

3. RECENT ADVANCES IN AEROGEL TEXTILE COMPOSITES

Xiaong et al. prepared an aerogel encapsulated textile by applying silica aerogel into textiles using laser treatment and lamination method (Xiong et al., 2018). Three layered composite structure was prepared, having nonwoven fabrics at both outer layers and aerogel granules into one of the layers containing several engraved holes. Those composites were then investigated for their thermal insulation performance. It was shown that the voids (holes) filled with aerogel granules resulted in improved thermal resistance while air filled holes enhanced thermal insulation performance. Another research involved the preparation of sugarcane bagasse aerogels encapsulated within nonwoven fabrics of recycled wool, denim shoddy and cotton apparel (Subramoniapillai & Deivasigamani, 2026). The resulting thermal conductivity values ranged from 33.40 to 41.3×10^{-3} W/mK indicating their comparable thermal insulation performance to conventional insulation materials. In the study of Liu et al., synthesized silica aerogels (which were also hydrophobically treated) were impregnated onto fabrics as a coating and also as an interlayer to produce composites (J. Liu et al., 2026). Based on the results, optimum thermal properties were achieved when the aerogel addition in the interlayer fabric structure was around 7 wt. %.

Aerogel textile composites which are prepared during aerogel preparation are also under investigation for thermal insulation purposes. In the study of Liu et al., a flexible polyimide (PI) aramid composite was prepared using freeze drying and softening process (Y. Liu et al., 2023). Resulting microporous PI aerogel/aramid composites had better mechanical properties and good thermal insulation performance. It was shown that increasing the amount of PI in the composite resulted in better thermal insulation performance. Thermal conductivities were as low as 0.031 W/mK. In the study of Xu et al., a silica, polyimide and aramid fiber aerogel composite was prepared by sol-gel technique (Xue et al., 2023). The substrate of the heat insulation layer was selected as aramid fiber which was then combined with silica/polyimide aerogels. By modifying the concentration of polyimide in the aerogel, different thermal insulation properties were obtained. When the PI concentration was 0.8%, the thermal conductivity of the composite was found as 3.91 W/cm^{o}C and 3.97 W/cm^{o}C $\times 10^{-4}$ on the front and back respectively, which were lower than the pure aramid fiber. In another study, a novel fabric reinforced polybenzoxazine aerogel was prepared (Zhou et al., 2025) . Needle Quartz fiber (NQF) was used as the reinforcement and a binary monomer gelation method was used to

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

achieve gelation without needing any catalysts. The resulting material improved mechanical properties and low thermal conductivities around 0.055 W/mK. In addition, even the composites were repeatedly immersed in water and subjected to high temperatures, they showed dimensional stability and kept their efficient thermal insulation performance.

The last and most recent method used to prepare aerogel textile composites is to manufacture aerogel-based fibers. They have great potential in thermal insulation but usually suffer from poor mechanical properties and high chemical requirements (Zhu et al., 2025). Zhu et al. prepared aerogel fibers from biodegradable sodium alginate and cellulose (Zhu et al., 2025). The authors improved the mechanical properties of the fibers by incorporating cellulose with a high degree of fibrillation into bacterial nanocellulose. Fibers with enhanced mechanical performance also had low thermal conductivity such as 0.039 W/mK. Xiao et al. used a kinetically controlled acid -triggered assembly strategy to prepare aramid nanofiber aerogel fibers which will have both good mechanical performance and high thermal insulation capability (Xiao et al., 2026). The resulting material had a thermal conductivity around 22 mW/mK and a tensile strength of 83.1 MPa and were proposed for thermoregulating textiles. In another study, another core-shell structured aerogel fiber was prepared with cellulose acetate shell and silk fibroin core (Shi et al., 2026). Final fibers had excellent mechanical properties with 28.18 MPa stress at break and 104% strain at break. Furthermore, knitted fabric of those fibers showed impressive thermal insulation across a temperature range from -40°C to 160°C mostly attributed to their hierarchical and highly porous structure.

Huang et al. used water bath wet spinning and gradient solvent exchange method to prepare regenerated cellulose aerogel fibers (Huang et al., 2025). Resulting fibers had excellent mechanical properties with a tensile strength of 16.56 +/- 1.48 MPa. Moreover, fabrics that are manufactured with those fibers showed a very good thermal insulation performance (39.13 mW/mK). Another group investigating cellulose aerogel fibers synthesized bacterial cellulose/graphene oxide aerogel fibers via wet spinning with surface modification (Yu et al., 2025). Based on the results, it was shown that the fibers had satisfactory thermal insulation performance. To overcome the limitation of low mechanical strength of aerogels, Wu et al. encapsulated fibers with a stretchable later similar to the structure of a polar bear hair (Wu et al., 2023). With the addition of the layer, fibers were stretchable up to 1000% strain compared to 2% of the original aerogel fibers. Moreover, fibers kept their stable thermal insulation properties after 10000 stretching cycles. In another study using the idea of polar bear hair's porous structure, researchers prepared polyimide aerogel fibers by a simple freeze-spinning method (Y. Wang et al., 2020). Fibers exhibited excellent thermal insulation property particularly at high temperatures and were suggested to be used as thermoregulating textiles. In a recent study, Want et al. synthesized cellulose acetate thermoplastic polyurethane aerogel fibers for personal thermal management (X. Wang et al., 2026). They have then deposited a polydopamine coated phase-change microcapsule layer onto the aerogel fabric surface which also had promising mechanical robustness. The final fabric achieved a passive insulation effect of 3.6^{o}C relative to human body while maintaining the insulation capabilities of the aerogel component.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

4. CONCLUSION

Due to the excellent thermal insulation properties of aerogels mainly attributed to their nanoporous structure, they are actively investigated for thermal insulation applications. However, their costly production process combined with poor mechanical performance led researchers to find alternative ways to benefit from their thermal properties. One of those methods is to prepare composite materials based on aerogels without compromising their thermal performance. Based on recent studies, it is shown that aerogel textile composites are an active research area for thermal insulation applications. They are used not only for building insulation but also for thermal protective clothing, for aerospace applications and fire management purposes. While aerogels impart porosity to textiles, textiles improve the mechanical properties of aerogels thereby creating materials with high potential for thermal insulation applications. There are different ways that are employed to prepare aerogel textile composites resulting in satisfactory results for various thermal insulation applications. It is thought to be promising to produce aerogel fibers and then use them to make fabrics especially when the mechanical properties of the manufactured fibers are improved.

REFERENCES

Al-Ajlan, S. A. (2006). Measurements of thermal properties of insulation materials by using transient plane source technique. *Applied Thermal Engineering*, *26*(17–18), 2184–2191. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.04.006

Alwin, S., & Sahaya Shajan, X. (2020). Aerogels: promising nanostructured materials for energy conversion and storage applications. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, *9*(2), 7. https://doi.org/10.1007/s40243-020-00168-4

Azam, F., Ahmad, F., Ulker, Z., Zafar, M. S., Ahmad, S., Rasheed, A., Nawab, Y., & Erkey, C. (2022). The Role and Applications of Aerogels in Textiles. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2022*(1), 2407769. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/2407769

Bisson, A., Rigacci, A., Lecomte, D., & Achard, P. (2004). Effective thermal conductivity of divided silica xerogel beds. *Journal of Non-Crystalline Solids*, *350*, 379–384. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2004.08.238

Fricke, J., & Emmerling, A. (1998). Aerogels—Recent Progress in Production Techniques and Novel Applications. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, *13*(1–3), 299–303. https://doi.org/10.1023/A:1008663908431

Ge, L., Shang, S., Ma, Y., Koudama, T. D., Yuan, K., Liu, W., & Cui, S. (2025). Overview of Aerogels for Thermal Insulation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *17*(18), 26091–26116. https://doi.org/10.1021/acsami.4c22957

Hrubesh, L. W., & Pekala, R. W. (1994). Thermal properties of organic and inorganic aerogels. *Journal of Materials Research*, *9*(3), 731–738. https://doi.org/10.1557/JMR.1994.0731

Huang, Z., Wang, B., Shi, Z., Qiao, S., Tong, A., Wang, J., He, J., He, A., Chen, X., Hu, P., Ke, W., Yao, N., Xu, W., & Chen, F. (2025). Regenerated Cellulose Aerogel Fibers with Lightweight and Exceptional Mechanical Performance for Thermal Insulation. *Small*, *21*(25). https://doi.org/10.1002/smll.202501154

KISTLER, S. S. (1931). Coherent Expanded Aerogels and Jellies. *Nature*, *127*(3211), 741–741. https://doi.org/10.1038/127741a0

Lee, J. K., Gould, G. L., & Rhine, W. (2009). Polyurea based aerogel for a high performance thermal insulation material. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, *49*(2), 209–220. https://doi.org/10.1007/s10971-008-1861-6

Liu, J., Dong, J., Lu, F., Fu, K., Tang, M., & Sun, R. (2026). Performance Optimization of Silicon Aerogel and In-Depth Research on its Thermal Insulation Performance in Various Fabric Structures. *Fibers and Polymers*, *27*(4), 2033–2043. https://doi.org/10.1007/s12221-026-01328-5

Liu, Y., Wang, D., & Li, J. (2023). Polyimide aerogel/aramid fiber composite with high mechanical strength and thermal insulation for thermal protective clothing. *Frontiers in Materials*, *10*. https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1224883

Liu, Z., Tang, J., Zhang, L., Liu, F., & Ye, Y. (2025). High-entropy ceramic aerogels for thermal insulation: Preparation, material systems, and compositional design strategies. *Chemical Engineering Journal*, *525*, 169745. https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.169745

Lu, X., Arduini-Schuster, M. C., Kuhn, J., Nilsson, O., Fricke, J., & Pekala, R. W. (1992). Thermal Conductivity of Monolithic Organic Aerogels. *Science*, *255*(5047), 971–972. https://doi.org/10.1126/science.255.5047.971

Maleki, H., Durães, L., García-González, C. A., del Gaudio, P., Portugal, A., & Mahmoudi, M. (2016). Synthesis and biomedical applications of aerogels: Possibilities and challenges. *Advances in Colloid and Interface Science*, *236*, 1–27. https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.05.011

Min, J., Yan, G., Abed, A. M., Elattar, S., Amine Khadimallah, M., Jan, A., & Elhosiny Ali, H. (2022). The effect of carbon dioxide emissions on the building energy efficiency. *Fuel*, *326*, 124842. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124842

Mishra, B., Varshney, S., Gupta, M. K., Jagadeesh, P., Sanjay, M. R., & Siengchin, S. (2025). Aerogel as a sustainable lightweight material: A comprehensive review of synthesis, properties, and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *328*, 147701. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147701

Payanda Konuk, O., Alsuhile, A. A. A. M., Yousefzadeh, H., Ulker, Z., Bozbag, S. E., García-González, C. A., Smirnova, I., & Erkey, C. (2023). The effect of synthesis conditions and

process parameters on aerogel properties. *Frontiers in Chemistry*, *11*. https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1294520

Şahin, İ., Özbakır, Y., İnönü, Z., Ulker, Z., & Erkey, C. (2017). Kinetics of Supercritical Drying of Gels. *Gels*, *4*(1), 3. https://doi.org/10.3390/gels4010003

Shi, Y., Li, L., Zhao, J., Zheng, X., Feng, Z., Huang, J., Liu, Z., & Lai, Y. (2026). All-Biomass Tough Aerogel Fiber for Super Thermal Insulating Textile. *ENERGY & ENVIRONMENTAL MATERIALS*, *9*(3). https://doi.org/10.1002/eem2.70046

Subramoniapillai, V., & Deivasigamani, H. K. (2026). Development of aerogel-embedded nonwoven fabrics from recycled fibers for thermal insulation applications. *Research Journal of Textile and Apparel*, *30*(2), 256–268. https://doi.org/10.1108/RJTA-11-2024-0204

Sun, R., Liu, Y., & Liu, F. (2026). A new vision in thermal insulation: A comprehensive review of silica aerogel coatings with sustainable potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *233*, 116865. https://doi.org/10.1016/j.rser.2026.116865

Tukhtamisheva, A. Z., Adilova, D. A., & Bliudzius, R. (2024). THERMAL INSULATION PROPERTIES OF SILICA AEROGELS: PROSPECTS FOR USE. *Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*, *94*(4), 118–131. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.4-09

Ulker, Z., & Erkey, C. (2014). An emerging platform for drug delivery: Aerogel based systems. *Journal of Controlled Release*, *177*, 51–63. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2013.12.033

Ülker, Z., Sanli, D., & Erkey, C. (2014). Applications of Aerogels and Their Composites in Energy-Related Technologies. In *Supercritical Fluid Technology for Energy and Environmental Applications* (pp. 157–180). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62696-7.00008-3

Wang, X., Tang, F., Dou, T., Chen, S., Ao, K., & Huang, F. (2026). An aerogel fiber-based textile for personal thermal management integrating passive insulation and photothermal phase-change energy storage. *Surfaces and Interfaces*, *86*, 108805. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2026.108805

Wang, Y., Cui, Y., Shao, Z., Gao, W., Fan, W., Liu, T., & Bai, H. (2020). Multifunctional polyimide aerogel textile inspired by polar bear hair for thermoregulation in extreme environments. *Chemical Engineering Journal*, *390*, 124623. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124623

Wu, M., Shao, Z., Zhao, N., Zhang, R., Yuan, G., Tian, L., Zhang, Z., Gao, W., & Bai, H. (2023). Biomimetic, knittable aerogel fiber for thermal insulation textile. *Science*, *382*(6677), 1379–1383. https://doi.org/10.1126/science.adj8013

Xiao, G., Ma, X., Ma, B., Chen, Z., Qi, X., Shen, C., Li, J., Yang, Y., Lin, Z., Yao, S., Yue, J., Duan, S., Yang, W., Zhang, X., Cheng, T., Ma, P., Shao, Y., & Zhang, J. (2026). Knittable,

thermally insulating, and sustainable aerogel fibers enabled by ion-mediated hierarchical assembly. *Nature Communications*, *17*(1), 3335. https://doi.org/10.1038/s41467-026-69790-6

Xiong, X., Yang, T., Mishra, R., Kanai, H., & Militky, J. (2018). Thermal and compression characteristics of aerogel-encapsulated textiles. *Journal of Industrial Textiles*, *47*(8), 1998–2013. https://doi.org/10.1177/1528083717716167

Xue, R., Liu, G., & Liu, F. (2023). A simple and efficient method for the preparation of SiO2/PI/AF aerogel composite fabrics and their thermal insulation performance. *Ceramics International*, *49*(1), 210–215. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.08.330

Yu, Y., Zhuang, Z., Zhang, W., Xue, T., Wang, C., & Yin, Y. (2025). Cellulose-based aerogel fibers with enhanced mechanical properties for thermal insulation and humidity response. *International Journal of Biological Macromolecules*, *323*, 147053. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147053

Zhou, J., Xiao, Y., Liu, S., Li, Z., Zhang, S., Li, L., Feng, J., & Tang, G. (2025). Water-assisted fabrication of fabric-reinforced polybenzoxazine aerogel composite for fire resistance and thermal insulation under harsh conditions. *Composites Communications*, *53*, 102209. https://doi.org/10.1016/j.coco.2024.102209

Zhu, Y., Zhang, Y., Yu, H., Li, J., Jiang, W., Zhang, Y., & Wang, X. (2025). Mixed-dimensional design for robust and knittable alginate/cellulose-based aerogel fibers for thermal insulation. *Carbohydrate Polymers*, *368*, 124190. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.124190

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

FAZ DEĞİŞİM MADDELERİ VE KANATÇIKLAR KULLANILARAK ÇİFT YÜZLÜ FOTOVOLTAİK PANELLERİN ISI YÖNETİMİ

Öğr. Gör. Mehmet Şah SARAÇ [1,2], Prof. Dr. Cengiz YILDIZ [3]
[1] Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, msarac@bingol.edu.tr - ORCID: 0000-0002-8027-2756
[2]Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği
[3]Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, cyildiz@firat.edu.tr - ORCID: 0000-0003-4361-2472

ÖZET

Çift yüzeyli (bifacial) fotovoltaik (PV) paneller ön ve arka yüzeylerine ulaşan ışınımdan yararlanarak elektrik enerjisi üretmektedir. Ancak panel çalışma sıcaklığının yükselmesi elektriksel performansı olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle panel sıcaklığının kontrol edilmesi ve yüzeyde daha homojen sıcaklık dağılımının sağlanması PV sistemlerinin performansı açısından önemlidir. Faz değişim maddeleri (PCM) yüksek gizli ısı depolama kapasiteleri sayesinde pasif termal yönetimde etkili bir yöntemdir. Buna karşın düşük termal iletkenlikleri ısı transferini sınırlandırmaktadır. Bu çalışmada kanatlı yeni tip bir ısı değiştiricisi ile nanoparçacık katkılı PCM kullanımının çift yüzeyli PV panelin termal ve elektriksel davranışı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. Deneysel çalışmada dört farklı sistem karşılaştırılacaktır. Bunlar referans PV paneli, PV + saf laurik asit, PV + %98 laurik asit ve %2 Al_2O_3 ile PV + %98 laurik asit ve %2 MgO sistemleridir. Nano Al_2O_3 ve nano MgO parçacıkları laurik aside kütlece %2 oranında ayrı ayrı ilave edilecektir. Nanoparçacıkların PCM içerisinde homojen dağılımını sağlamak amacıyla ultrasonik karıştırma yöntemi kullanılacaktır. Saf ve nanoparçacık katkılı PCM karışımları kanatlı ısı değiştiricisi içerisinde uygulanacaktır. Böylece saf PCM kullanımının etkisi ile nanoparçacık katkısının sağladığı ilave termal iyileşme ayrı ayrı değerlendirilebilecektir. Deneyler kapalı ortamda kontrollü yapay ışıklandırma altında gerçekleştirilecektir. Işınım şiddeti piranometre ile ölçülecektir. Panel ve sistem sıcaklıkları Arduino tabanlı veri toplama sistemi ile kaydedilecek ve kızılötesi sıcaklık ölçer ile kontrol edilecektir. Termal kamera ile panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve sıcaklık homojenliği incelenecektir. Panel gerilim değerleri Arduino sistemi üzerinden eş zamanlı olarak kaydedilecektir. Elde edilecek veriler yardımıyla farklı termal yönetim uygulamalarının panel sıcaklığı ve elektriksel çıktı üzerindeki etkileri karşılaştırılacaktır. Çalışmanın çift yüzeyli PV paneller için nanoparçacık destekli pasif termal yönetim sistemlerinin geliştirilmesine ve uygun nano PCM seçiminin belirlenmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Çift Yüzeyli PV, Faz Değişim Maddesi, Laurik Asit, Nano Al_2O_3, Nano MgO, Termal Yönetim.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BİR BARİT YATAĞINDA EKONOMİK SINIR TENÖRÜNÜN LOJİSTİK RİSK VE FİYAT DALGALANMALARINA DUYARLILIĞININ DİNAMİK OLARAK İNCELENMESİ

DYNAMIC INVESTIGATION OF THE SENSITIVITY OF ECONOMIC CUT-OFF GRADE TO LOGISTICS RISKS AND PRICE FLUCTUATIONS IN A BARITE DEPOSIT

FATİH DEMİR[1], Doç. Dr. SERKAN TÜYLÜ[2], Prof. Dr. DENIZ ADIGÜZEL[3], Dr. Öğr. Üyesi İSMAİL DEMİR[4,*]

[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0009-0006-8127-5904
fthhdmr9@gmail.com,

[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8128-9840
stuylu@iuc.edu.tr,

[3]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1611-1296
deniza@iuc.edu.tr,

[4]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0949-7706
dismail@iuc.edu.tr,

ÖZET

Madencilik projelerinde ekonomik sınır tenörü (COG), cevher ile atığın ayrılmasını sağlayan statik bir eşik olmaktan öte, maden ömrü boyunca Net Bugünkü Değerin (NBD) maksimize edilmesinde kullanılan stratejik bir karar değişkenidir. Bu çalışmada, varsayımsal bir barit yatağı için ekonomik sınır tenörünün dışsal maliyet ve risk koşullarına duyarlılığı dinamik bir optimizasyon yaklaşımıyla incelenmiştir. Çalışmanın matematiksel temeli Lane yaklaşımına dayanmakta; fırsat maliyeti, reklamasyon maliyeti ve çalışmada tanımlanan Bölgesel Lojistik Güvenlik ve Sermaye Erişim Primi (G) aynı karar yapısında ele alınmaktadır. Jeolojik modelleme aşamasında karotlu sondaj verilerinden üç boyutlu cevher katı ve blok model oluşturulmuş, tenör dağılımı kestirilmiş ve açık ocak hacimleri hesaplanmıştır. Model sonucunda yaklaşık 21,63 milyon ton barit rezervi, 79,67 milyon ton pasa ve 3,68 ton/ton dekapaj oranı belirlenmiştir. Finansal analizde 200 $/ton satış fiyatı, %90 tesis verimi, 2,50

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

milyon ton/yıl işleme kapasitesi, 45 milyon $ sermaye maliyeti ve %10 iskonto oranı temel alınmıştır. G faktörü 12, 22 ve 32 $/ton olmak üzere üç risk düzeyinde test edilmiştir. Temel senaryoda başabaş COG %25,00 ve maksimum NBD 1,353 milyar $ iken, G=22 $/ton düzeyinde başabaş COG %31,17'ye yükselmiş ve NBD 1,216 milyar $'a gerilemiştir. Ekstrem G=32 $/ton senaryosunda ise başabaş COG %37,34'e yükselmiş, maksimum NBD 565,01 milyon $'a düşmüş ve dinamik model ilk yıllarda yüksek tenörlü bloklara yönelen belirgin bir high-grading stratejisi üretmiştir. Bulgular, özellikle yüksek tonajlı endüstriyel hammaddelerde lojistik risklerin ekonomik sınır tenörü ve proje değeri üzerinde doğrudan belirleyici olduğunu; çevresel ve dışsal risk maliyetlerinin uzun dönemli üretim planlamasına entegre edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Sınır Tenörü, Lane Algoritması, Net Bugünkü Değer, Barit, Lojistik Risk, Dinamik Maden Planlaması.

ABSTRACT

In mining projects, the economic cut-off grade (COG) is more than a static threshold used to distinguish ore from waste; it is a strategic decision variable for maximizing Net Present Value (NPV) throughout the life of a mine. In this study, the sensitivity of the economic cut-off grade to external cost and risk conditions was investigated for a hypothetical barite deposit using a dynamic optimization approach. The mathematical framework of the study is based on Lane's approach, integrating opportunity cost, reclamation cost, and the Regional Logistics Security and Capital Access Premium (G), as defined in this study, within a unified decision framework. During geological modeling, a three-dimensional ore solid and block model was constructed from core drilling data, grade distribution was estimated, and open-pit volumes were calculated. The model yielded approximately 21.63 million tonnes of barite reserves and 79.67 million tonnes of waste, corresponding to a stripping ratio of 3.68 t/t. The financial analysis was based on a selling price of $200/t, a processing recovery of 90%, an annual processing capacity of 2.50 million tonnes, a capital cost of $45 million, and a discount rate of 10%. The G factor was tested at three risk levels: $12, $22, and $32/t. Under the base-case scenario, the break-even COG was 25.00% and the maximum NPV was $1.353 billion. At G=$22/t, the break-even COG increased to 31.17%, while the NPV decreased to $1.216 billion. Under the extreme G=$32/t scenario, the break-even COG increased to 37.34%, the maximum NPV declined to $565.01 million, and the dynamic model generated a pronounced high-grading strategy that prioritized higher-grade blocks during the early years of production. The findings demonstrate that logistics-related risks can directly influence both the economic cut-off grade and project value, particularly for high-tonnage industrial mineral operations, and that environmental and external risk costs should be incorporated into long-term production planning.

Keywords: Economic Cut-Off Grade, Lane Algorithm, Net Present Value, Barite, Logistics Risk, Dynamic Mine Planning.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. GİRİŞ

Açık ocak madenciliğinde sınır tenörünün (cut-off grade, COG) belirlenmesi, cevher ve pasa ayrımının ötesinde, üretim kapasitesinin kullanımını, işletme ömrünü, nakit akışlarının zamanlamasını ve proje net bugünkü değerini (NBD) doğrudan etkileyen stratejik bir karar problemidir. Geleneksel başabaş sınır tenörü yaklaşımları, belirli bir dönemde gelir ve maliyetlerin dengelendiği ekonomik eşiğin belirlenmesine dayanırken, Lane yaklaşımı madencilik, zenginleştirme ve rafinasyon kapasite kısıtlarını paranın zaman değeri ve fırsat maliyeti ile birlikte değerlendirerek NBD'yi maksimize eden dinamik bir sınır tenörü politikası geliştirmektedir (Lane, 1988). Bu nedenle optimum sınır tenörü, sabit bir teknik eşikten ziyade cevher fiyatı, maliyetler, kapasite kısıtları ve zaman faktörüne bağlı olarak maden ömrü boyunca değişebilen ekonomik bir karar değişkenidir.

Lane yaklaşımının bu temel yapısı güncel araştırmalarda farklı optimizasyon teknikleriyle genişletilmektedir. Ahmadi ve Bazzazi (2020), açık ocaklarda optimum sınır tenörünün belirlenmesinde meta-sezgisel optimizasyon yaklaşımının uygulanabilirliğini ortaya koyarken, Goycoolea ve arkadaşları (2021) Lane algoritmasının matematiksel yapısını yeniden incelemiş ve uygulamadaki güçlü yönlerini göstermiştir. Paithankar ve arkadaşları (2020) üretim sıralaması ile dinamik sınır tenörlerini eş zamanlı ve stokastik olarak optimize etmiştir. Daha yakın tarihli çalışmalarda üretim hızı ile sınır tenörünün eş zamanlı optimizasyonu (Godarzi ve ark., 2025), stoklama politikaları ile sınır tenörünün bütünleşik değerlendirilmesi (Khalifi ve ark., 2025) ve stokastik fiyat koşullarının doğrudan COG modeline dahil edilmesi (Muttaqin ve ark., 2025) öne çıkmaktadır. Bu gelişmeler, sınır tenörü optimizasyonunun statik bir hesaplamadan değişen ekonomik koşulları ve belirsizlikleri dikkate alan dinamik bir karar problemine doğru evrildiğini göstermektedir.

Dinamik sınır tenörü politikalarının önemi, fiyat ve maliyet belirsizliklerinin yüksek olduğu madencilik projelerinde daha da artmaktadır. Emtia fiyatlarındaki değişimler blok değerlerini, uzun dönemli üretim planını ve NBD'yi doğrudan etkileyebilmektedir. Madziwa ve arkadaşları (2023), emtia fiyat tahminlerini stokastik maden planlama modeliyle bütünleştirirken, Lotfi ve arkadaşları (2024) emtia fiyatı belirsizliği altında iki aşamalı stokastik programlama yaklaşımıyla uzun dönemli açık ocak üretim planlamasını ele almıştır. Githiria ve arkadaşları (2025) makine öğrenmesi tabanlı fiyat tahminlerini COG politikasıyla ilişkilendirirken, Muttaqin ve arkadaşları (2025) stokastik fiyat koşullarını doğrudan COG optimizasyonuna dahil etmiştir.

Ekonomik belirsizliklerin önemli bir diğer boyutu lojistik, taşıma ve tedarik zinciri koşullarıdır. Özellikle barit gibi yüksek tonajlarda üretilen ve ürün değerinin taşıma maliyetlerine duyarlı olduğu endüstriyel hammaddelerde, maden sahası ile pazar arasındaki lojistik yapı proje ekonomisinin önemli bileşenlerinden biridir. Bununla birlikte, güncel COG literatürü ağırlıklı olarak üretim, işleme, stoklama, fiyat ve kapasite kısıtlarına odaklanmakta; lojistik güvenlik ve sermayeye erişimden kaynaklanan dışsal maliyetlerin doğrudan dinamik COG politikasına aktarılması daha sınırlı kalmaktadır. Bu çalışma söz konusu dışsal etkiyi ayrı bir senaryo parametresiyle görünür kılmayı amaçlamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Sınır tenörü optimizasyonunda giderek önem kazanan bir diğer konu çevresel yükümlülüklerin ekonomik modele dahil edilmesidir. Geleneksel yaklaşımlarda rehabilitasyon ve reklamasyon maliyetleri çoğunlukla maden ömrünün sonunda ortaya çıkan yükümlülükler olarak değerlendirilirken, güncel çalışmalar bu maliyetlerin üretim kararlarıyla birlikte ele alınmasının optimum COG ve NBD üzerinde doğrudan etkili olabileceğini göstermektedir. Amedzrovi ve Agyei (2022), seyreltme ve atık rehabilitasyon maliyetlerinin dikkate alınmasının optimum sınır tenörünü yükseltebildiğini ve NBD'yi azaltabildiğini göstermiştir. Amirshenava ve arkadaşları (2021) açık ocak reklamasyon maliyetlerinin tahmin edilmesine yönelik modeller geliştirirken, Badakhshan ve arkadaşları (2023) madencilik projelerinin çevresel maliyetlerini nicel olarak değerlendirmiştir. Benzer şekilde, Çetin ve Dalgıç (2025) rehabilitasyon maliyetini farklı tükenme oranlarıyla birlikte dinamik programlama temelli sınır tenörü optimizasyonuna dahil etmiştir. Bu çalışmalar, çevresel yükümlülüklerin yalnızca proje sonu maliyeti olarak değil, ekonomik cevher tanımını etkileyebilecek aktif bir planlama değişkeni olarak ele alınabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, güncel literatürün büyük bölümü metalik madenlere odaklanmaktadır. Barit ve diğer endüstriyel minerallerde Lane tabanlı dinamik sınır tenörü optimizasyonunun; lojistik riskler, sermayeye erişim koşulları ve çevresel yükümlülüklerle birlikte değerlendirildiği uygulamalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada, varsayımsal bir açık ocak barit işletmesi için Lane yaklaşımına dayalı dinamik sınır tenörü ve NBD modeli oluşturulmuş; klasik ekonomik parametrelere ek olarak lojistik güvenlik ve sermayeye erişim koşullarını temsil etmek üzere Bölgesel Lojistik Güvenlik ve Sermaye Erişim Primi (G) adı verilen senaryo tabanlı bir maliyet parametresi tanımlanmıştır. Ayrıca reklamasyon maliyetinin sınır tenörü ve proje değeri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Böylece çalışmanın temel amacı, G parametresindeki değişimin dinamik COG ve NBD üzerindeki etkisini incelemek ve çevresel yükümlülüklerin ekonomik modele dahil edilmesinin sonuçlarını ortaya koymaktır. Çalışmanın barit gibi literatürde sınırlı biçimde ele alınan bir endüstriyel mineral üzerinde gerçekleştirilmesi, mevcut araştırma boşluğu açısından ayrıca önem taşımaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Jeolojik Veri Seti ve Üç Boyutlu Modelleme

Çalışma, gerçek bir işletmeye ait olmayan ancak damar tipi barit cevherleşmesini temsil edecek şekilde oluşturulmuş varsayımsal bir pilot veri setine dayanmaktadır. Karotlu sondaj verileri; sondaj ağzı koordinatları, kuyu yönelim bilgileri, litoloji ve analiz-tenör tabloları biçiminde düzenlenerek bir madencilik paket programına aktarılmıştır. Sondajların üç boyutlu doğrulamasının ardından cevherleşme sınırları kesitler üzerinde belirlenmiş, kesitlerin tel kafes yaklaşımıyla birleştirilmesi sonucunda kapalı üç boyutlu cevher katı oluşturulmuştur.

Cevher katısı içerisinde blok model tanımlanmış, sınır bölgelerinde geometrik kayıpları azaltmak amacıyla alt bloklama uygulanmıştır. Sondaj verileri cevher katı ile sınırlandırılmış, 1,5 m sabit uzunlukta kompozitlenmiş ve nihai veri setinde 1493 kompozit nokta elde

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

edilmiştir. Blok modelde yoğunluk, litoloji ve barit tenörü (%$BaSO_4$) öznitelikleri tanımlanmış; tenör kestirimi ve görselleştirme işlemleri tamamlanmıştır.

2.2. Rezerv ve Açık Ocak Hacim Analizi

Üç boyutlu model ve açık ocak geometrisi birlikte değerlendirilerek toplam kazı, cevher ve pasa miktarları hesaplanmıştır. Barit için 4,20 t/m^3, yan kayaç için 2,75 t/m^3 yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Nihai hacim hesabında toplam kazı hacmi 34.121.338 m^3; barit rezervi 21.629.378 ton; pasa miktarı 79.671.587 ton olarak belirlenmiştir. Buna göre ağırlıkça dekapaj oranı 3,68 ton pasa/ton cevherdir.

2.3. Dinamik Ekonomik Sınır Tenörü Modeli

Optimizasyon modelinin teorik temeli Lane'in dinamik sınır tenörü yaklaşımına dayanmaktadır (Lane, 1988). Geleneksel COG denkleminde yer alan üretim, işleme, sabit gider, satış fiyatı, satış-pazarlama gideri ve tesis verimine ek olarak fırsat maliyeti (Fi), reklamasyon maliyeti (r) ve Bölgesel Lojistik Güvenlik ve Sermaye Erişim Primi (G) modele dahil edilmiştir. Başçetin ve Nieto (2007) tarafından Lane yaklaşımına eklenen optimizasyon faktörü (σ) iteratif çözüm içinde kullanılarak NBD'yi maksimize eden sınır tenörü politikası aranmıştır.

Temel finansal girdiler; 200 $/ton satış fiyatı, 20 $/ton satış ve pazarlama maliyeti, 20 $/ton işleme maliyeti, 3,50 $/ton madencilik maliyeti, %90 tesis verimi, 5 $/ton reklamasyon maliyeti, 12 milyon $/yıl sabit gider, 2,50 milyon ton/yıl işleme kapasitesi, 45 milyon $ sermaye maliyeti ve %10 iskonto oranıdır. Dışsal riskin etkisini sınamak için G=12, G=22 ve G=32 $/ton olmak üzere üç senaryo oluşturulmuştur. G değerleri gerçek bir işletmeden türetilmiş istatistiksel katsayılar olmayıp, düşük-orta-yüksek dışsal risk koşullarını karşılaştırmak amacıyla varsayımsal senaryo değerleri olarak belirlenmiştir. Temel ekonomik girdiler Çizelge 1'de toplu olarak sunulmuştur.

Çizelge 1. Dinamik sınır tenörü optimizasyonunda kullanılan temel ekonomik girdiler.

Parametre	Temel değer	Birim	Açıklama
Satış fiyatı	200	$/ton	Barit konsantresi
İşleme maliyeti	20	$/ton	Cevher hazırlama
Madencilik maliyeti	3,50	$/ton	Kazı ve söküm
Satış-pazarlama	20	$/ton	Satış/dağıtım
Reklamasyon	5	$/ton	Çevresel yükümlülük
Tesis verimi	90	%	Metalürjik verim
İşleme kapasitesi	2,50	Mt/yıl	Yıllık kapasite
Sabit gider	12	M$/yıl	Yıllık
CAPEX	45	M$	Sermaye maliyeti
İskonto oranı	10	%	Yıllık

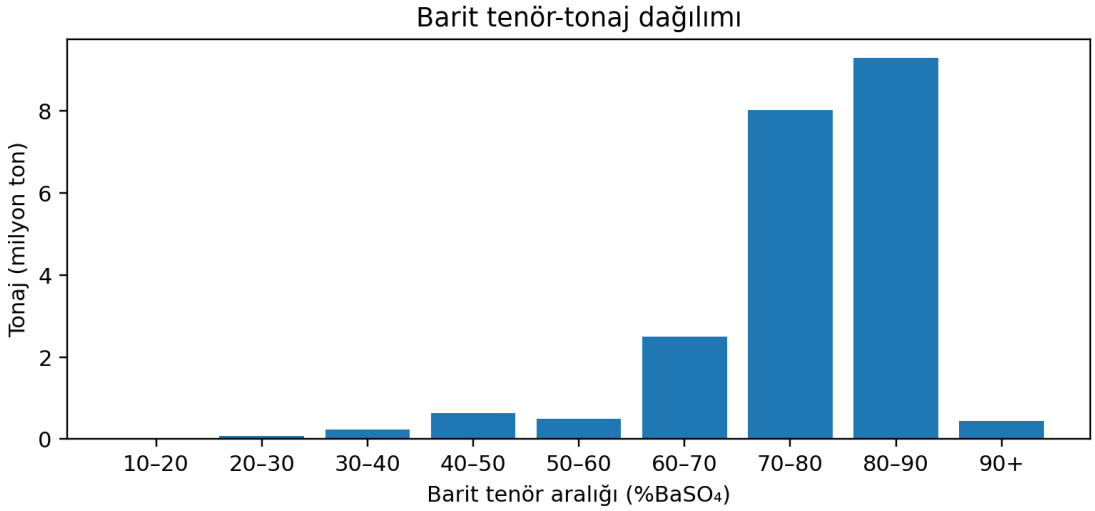
ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Çizelge 1'deki girdiler, tüm senaryolarda G dışında sabit tutulmuş; böylece lojistik güvenlik ve sermaye erişim primindeki değişimin COG ve NBD üzerindeki marjinal etkisinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Rezerv ve Tenör-Tonaj Dağılımı

Blok model raporuna göre toplam barit rezervi yaklaşık 21,63 milyon tondur. Tenör-tonaj dağılımı rezervin belirgin biçimde yüksek kaliteli zonlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Model raporunda 70-80% $BaSO_4$ aralığında yaklaşık 8,02 milyon ton, 80-90% aralığında ise yaklaşık 9,28 milyon ton cevher bulunmaktadır. Bu iki sınıf birlikte toplam rezervin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Yüksek tenörlü bu rezerv yapısı, dinamik modelin artan maliyet koşullarında daha seçici üretim politikaları uygulayabilmesine olanak sağlamaktadır. Rezervin tenör sınıflarına göre dağılımı Görsel 1'de gösterilmektedir.



Görsel 1. Barit rezervinin tenör sınıflarına göre tonaj dağılımı.

Görsel 1, rezervin büyük bölümünün %70-90 $BaSO_4$ aralığında yoğunlaştığını ve maliyet artışları karşısında daha seçici bir üretim politikasının uygulanabilmesi için yüksek tenörlü bir rezerv tabanı bulunduğunu göstermektedir.

3.2. Dinamik Sınır Tenörü ve Maden Ömrü

Temel senaryoda geleneksel başabaş sınır tenörü %25,00 olarak hesaplanırken, Lane yaklaşımına dayalı dinamik optimizasyonda ilk yıl optimum COG %73,40'a yükselmiş ve ilerleyen yıllarda kademeli olarak azalarak sekizinci yılda %38,70 seviyesine gerilemiştir. Burada %73,40 olarak hesaplanan değer başabaş sınır tenörünü değil, fırsat maliyeti ve optimizasyon faktörünün dikkate alındığı ilk döneme ait dinamik optimum sınır tenörünü ifade etmektedir.

Dinamik COG'un ilk yıllarda daha yüksek, ilerleyen dönemlerde ise daha düşük değerler alması Lane yaklaşımının ekonomik mantığıyla uyumludur. Maden ömrünün başlangıcında yüksek değerli malzemenin işlenmesi nakit akışlarının daha erken elde edilmesine ve paranın zaman değeri nedeniyle NBD'nin yükselmesine katkı sağlarken, rezervin tükenmesiyle birlikte daha

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

düşük tenörlü malzemenin ekonomik olarak değerlendirilmesi mümkün hâle gelmektedir. Paithankar ve arkadaşları (2020), üretim sıralaması ile dinamik COG'un eş zamanlı stokastik optimizasyonunun ekonomik performansı geliştirebildiğini göstermiştir. Godarzi ve arkadaşları (2025) ise üretim hızı ve sınır tenörünün eş zamanlı optimizasyonunun daha bütünleşik bir ekonomik karar yapısı sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Bu nedenle çalışmada gözlenen COG eğilimi yalnızca matematiksel bir sonuç değil, ekonomik değeri yüksek malzemenin erken dönemlere yönlendirilmesini sağlayan dinamik optimizasyon mantığının bir sonucudur. Bununla birlikte, kullanılan yatağın varsayımsal olması nedeniyle hesaplanan %73,40-%38,70 aralığı barit işletmeleri için genellenebilir bir sınır tenörü aralığı olarak değil, kullanılan teknik ve ekonomik varsayımlara özgü bir model sonucu olarak değerlendirilmelidir.

3.3. Lojistik Güvenlik ve Sermaye Erişim Priminin COG Üzerindeki Etkisi

G parametresinin artırılmasıyla optimum sınır tenörünün yükseldiği belirlenmiştir. Bu davranış ekonomik olarak beklenen bir sonuçtur; çünkü ton başına ek maliyetin artması, düşük tenörlü malzemenin ekonomik değerini azaltarak cevher olarak sınıflandırılabilmesi için daha yüksek bir minimum tenör gerektirmektedir.

Güncel COG literatüründe üretim, stoklama ve ekonomik kısıtların bütünleşik optimizasyonuna yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Khalifi ve arkadaşları (2025), COG ile stoklama politikalarını birlikte ele alarak malzeme yönetimi kararlarının ekonomik optimum üzerindeki önemini göstermiştir. Bununla birlikte, lojistik güvenlik ve sermayeye erişim koşullarının ton başına ayrı bir risk primi olarak doğrudan dinamik COG politikasına aktarılması yaygın bir uygulama değildir. Bu nedenle burada kullanılan G parametresi, standart bir Lane değişkeni değil, dışsal ekonomik risklerin etkisini senaryo bazında sınamak amacıyla bu çalışma kapsamında tanımlanmış bir maliyet bileşenidir.

Bu çerçevede sonuçlar, G'nin evrensel bir maliyet katsayısı olduğunu değil; dışsal lojistik ve finansman risklerinin ton başına ek maliyete dönüştürülmesi halinde ekonomik cevher tanımının ve optimum COG politikasının nasıl değişebileceğini göstermektedir.

3.4. Lojistik Riskin NBD Üzerindeki Etkisi

Temel senaryoda elde edilen yaklaşık 1,353 milyar $ maksimum NBD, G parametresinin yükselmesiyle belirgin biçimde azalmıştır. En yüksek risk senaryosu olan G=32 $/ton düzeyinde NBD'nin yaklaşık %58 azalması, kullanılan ekonomik varsayımlar altında lojistik güvenlik ve sermayeye erişim maliyetlerindeki artışın proje ekonomik değeri üzerinde önemli bir etki oluşturabileceğini göstermektedir. Üç risk senaryosunun COG ve NBD sonuçları Çizelge 2'de karşılaştırılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

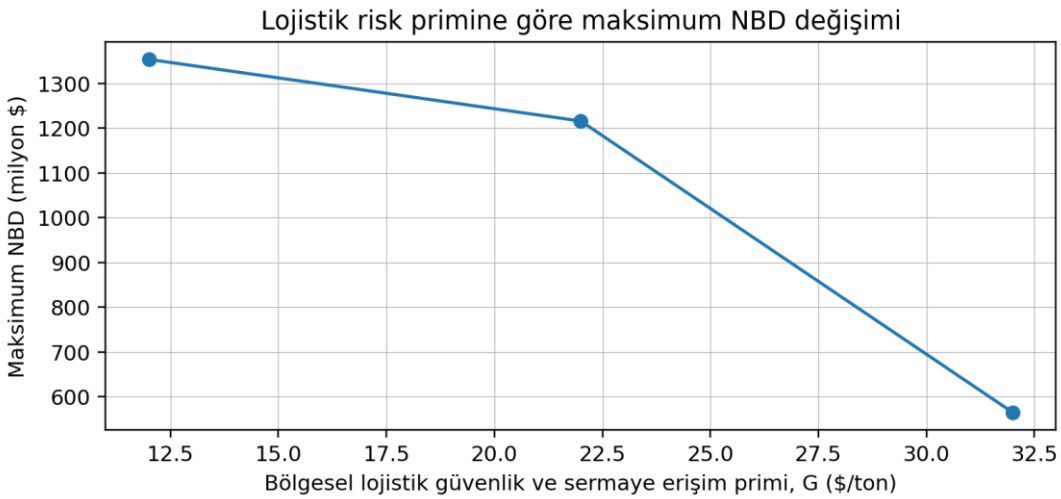
Çizelge 2. Lojistik risk senaryolarının ekonomik sınır tenörü ve NBD açısından karşılaştırılması.

Senaryo	G ($/t)	Başabaş COG (%)	Maksimum NBD (M$)	Dinamik tepki
Temel	12	25,00	1.353,19	İlk yıl COG ≈ %73,40
Orta risk	22	31,17	1.215,51	İlk yıl COG ≈ %79,70
Ekstrem risk	32	37,34	565,01	İlk yıl COG ≈ %86,00

Bu bulgu, fiyat ve maliyet belirsizliklerinin maden planlama kararlarında deterministik bir yaklaşımla ele alınmasının sınırlılıklarını da ortaya koymaktadır. Madziwa ve arkadaşları (2023), emtia fiyat tahminlerini stokastik maden planlamasıyla bütünleştirirken, Lotfi ve arkadaşları (2024) fiyat belirsizliği altında iki aşamalı stokastik programlama yaklaşımı kullanmıştır. Daha yeni çalışmalarda stokastik fiyat koşullarının doğrudan COG optimizasyonuna dahil edilmesi (Muttaqin ve ark., 2025) ve makine öğrenmesi tabanlı fiyat tahminlerinin COG politikalarına aktarılması (Githiria ve ark., 2025), ekonomik belirsizliklerin giderek daha dinamik biçimde modellendiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, mevcut çalışmada G parametresi olasılıksal olarak modellenmemiş, belirlenen üç senaryo üzerinden değerlendirilmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar stokastik risk tahmini olarak değil, senaryo tabanlı ekonomik duyarlılık analizi olarak yorumlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda G'nin olasılık dağılımları veya Monte Carlo simülasyonu aracılığıyla modellenmesi, lojistik ve finansman belirsizliklerinin NBD üzerindeki etkisinin daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayabilir.

Çizelge 2, G arttıkça hem başabaş hem de ilk dönem dinamik COG'un yükseldiğini, buna karşılık maksimum NBD'nin özellikle yüksek risk senaryosunda belirgin biçimde azaldığını göstermektedir. Bu ekonomik tepkinin yönü Görsel 2 ve Görsel 3'te görsel olarak izlenmektedir. Görsel 2 maksimum NBD'deki azalmayı, Görsel 3 ise başabaş sınır tenöründeki artışı göstermektedir.



Görsel 2. Bölgesel lojistik risk primine (G) göre maksimum Net Bugünkü Değer değişimi.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Görsel 3. Bölgesel lojistik risk primine (G) göre başabaş sınır tenörü değişimi.

Görsel 2 ve Görsel 3 birlikte değerlendirildiğinde, G=12-22 $/ton aralığındaki değişime kıyasla G=32 $/ton senaryosunda NBD kaybının daha keskin olduğu; buna karşılık başabaş COG'un risk primiyle birlikte düzenli biçimde yükseldiği görülmektedir.

3.5. Reklamasyon Maliyetinin Ekonomik Etkisi

Reklamasyon maliyetinin modele dahil edilmesi sınır tenörünü yükseltirken NBD'nin azalmasına neden olmuştur. Bu sonuç, çevresel yükümlülüklerin yalnızca işletme sonunda ortaya çıkan sabit bir maliyet olarak değerlendirilmesi yerine üretim ve ekonomik cevher sınıflandırması kararlarına doğrudan aktarılmasının önemini göstermektedir.

Amedzrovi ve Agyei (2022), seyreltme ve atık rehabilitasyon maliyetlerinin COG optimizasyonuna dahil edilmesinin optimum sınır tenörünü yükseltebildiğini ve proje ekonomik değerini azaltabildiğini bildirmiştir. Amirshenava ve arkadaşları (2021) açık ocak reklamasyon maliyetlerinin nicel tahminine yönelik regresyon tabanlı modeller geliştirirken, Badakhshan ve arkadaşları (2023) çevresel maliyetlerin maden projelerinde nicelleştirilmesinin ekonomik değerlendirmeler açısından önemini ortaya koymuştur. Çetin ve Dalgıç (2025) ise rehabilitasyon maliyetini dinamik programlama temelli COG optimizasyonuna dahil ederek çevresel maliyet ile üretim kararlarının birlikte değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Bu açıdan mevcut çalışmanın sonuçları güncel literatürle uyumludur. Bununla birlikte çalışma, reklamasyon maliyetini barit gibi endüstriyel bir mineralin Lane tabanlı dinamik COG modeli içerisinde lojistik ve finansman riskiyle birlikte değerlendirmesi açısından farklılaşmaktadır. Literatürde gelişmiş COG modellerinin büyük bölümünün metalik yataklara uygulandığı ve barit için doğrudan Lane tabanlı uygulamaların oldukça sınırlı olduğu dikkate alındığında, bu yaklaşım çalışmanın temel katkılarından biri olarak değerlendirilebilir.

3.6. Genel Değerlendirme ve Çalışmanın Sınırlılıkları

Sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, optimum sınır tenörünün yalnızca cevher tenörü, ürün fiyatı ve klasik madencilik/işleme maliyetlerine bağlı olmadığı; zaman değeri, fırsat maliyeti, lojistik ve finansman koşulları ile çevresel yükümlülüklerin de ekonomik cevher tanımını

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

değiştirebildiği görülmektedir. Bu yönüyle çalışma, Lane tabanlı COG yaklaşımını dışsal risk ve çevresel maliyet bileşenleriyle genişleten senaryo temelli bir uygulama sunmaktadır. Barit gibi endüstriyel mineraller için bu tür bütünleşik uygulamaların sınırlı olması, yaklaşımın araştırma açısından önemini artırmaktadır.

Bununla birlikte, çalışma varsayımsal bir barit yatağı ve önceden belirlenmiş ekonomik senaryolar üzerinde gerçekleştirilmiştir. G parametresi gerçek bir işletmeden elde edilmiş istatistiksel bir risk katsayısı değil, lojistik güvenlik ve sermayeye erişim koşullarının ekonomik etkisini sınamak amacıyla oluşturulmuş senaryo tabanlı bir değişkendir. Benzer şekilde ürün fiyatı, maliyetler ve reklamasyon giderleri deterministik değerlerle temsil edilmiştir. Bu nedenle elde edilen mutlak COG ve NBD değerleri gerçek barit işletmelerine doğrudan genellenmemelidir. Gelecek çalışmalarda gerçek işletme verileri, stokastik fiyat ve maliyet modelleri, lojistik kesinti olasılıkları ve çevresel maliyet dağılımlarının birlikte kullanılması modelin uygulama gücünü artıracaktır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada varsayımsal bir barit yatağı için üç boyutlu jeolojik modelleme, açık ocak hacim analizi ve dinamik ekonomik sınır tenörü optimizasyonu bütünleşik biçimde değerlendirilmiştir. Çalışmanın başlıca sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

• Modelleme sonucunda yaklaşık 21,63 milyon ton barit rezervi, 79,67 milyon ton pasa ve 3,68 ton/ton ağırlıkça dekapaj oranı belirlenmiştir.

• Temel senaryoda G=12 $/ton için geleneksel başabaş COG %25,00 iken, dinamik optimizasyon sonucunda maksimum NBD yaklaşık 1,353 milyar $ olarak hesaplanmıştır.

• G=22 $/ton düzeyinde başabaş COG %31,17'ye yükselmiş ve maksimum NBD 1,216 milyar $'a gerilemiştir; model ilk yıl COG'u yaklaşık %79,70'e çıkararak daha güçlü bir high-grading politikası üretmiştir.

• Ekstrem G=32 $/ton senaryosunda başabaş COG %37,34'e, ilk dönem dinamik COG ise yaklaşık %86'ya yükselmiş; maksimum NBD 565,01 milyon $'a düşmüş ve ekonomik üretim ömrü belirgin biçimde kısalmıştır.

• İncelenen senaryolarda lojistik risk priminin artması başabaş ve dinamik COG değerlerini yükseltirken maksimum NBD'yi azaltmış; en belirgin ekonomik kayıp G=32 $/ton senaryosunda görülmüştür.

• Reklamasyon maliyetinin COG kararına entegre edilmesi, çevresel yükümlülüklerin rezerv sınıflaması ve üretim planlamasının aktif bir bileşeni olarak ele alınabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak ekonomik sınır tenörü, özellikle fiyat ve lojistik koşullarının değişken olduğu endüstriyel hammadde projelerinde sabit bir değer olarak ele alınmamalıdır. Maden ömrü boyunca fırsat maliyeti, dışsal lojistik riskler ve çevresel yükümlülüklerle güncellenen dinamik COG politikaları, değişen koşullara daha uyarlanabilir bir üretim planı sunmaktadır. Gelecek

çalışmalarda satış fiyatı ve maliyetlerin olasılık dağılımlarıyla temsil edildiği stokastik modellerin, Monte Carlo analizi ve jeolojik belirsizlik ile birlikte ele alınması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1919B012523427 numaralı TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından ve desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Ahmadi, M. R., Bazzazi, A. A. (2020). Application of meta-heuristic optimization algorithm to determine the optimal cutoff grade of open pit mines. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 224. https://doi.org/10.1007/s12517-020-5104-7.

Amedzrovi, P., Agyei, G. (2022). Optimisation of cut-off grade considering dilution and waste rehabilitation costs. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 246-258.

Amirshenava, S., Osanloo, M., Esfahanipour, A. (2021). Development of open-pit mine reclamation cost estimation models: A regression-based approach. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 34(11), 2467-2475. https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.11b.10.

Badakhshan, N., Shahriar, K., Afraei, S., Bakhtavar, E. (2023). Determining the environmental costs of mining projects: A comprehensive quantitative assessment. *Resources Policy*, 82, 103561. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103561.

Başçetin, A., Nieto, A. (2007). Determination of optimal cut-off grade policy to optimize NPV using a new approach with optimization factor. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107(2), 87-94.

Çetin, E., Dalgıç, A. (2025). The use of dynamic programming in optimisation of cut-off grades and different depletion rates together with rehabilitation cost. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 39(6), 459-470. https://doi.org/10.1080/17480930.2025.2450340.

Githiria, J., Musingwini, C., Madahana, M., Khangamwa, G. (2025). Incorporating a machine learning approach for commodity price prediction to generate a cut-off grade optimisation policy under grade uncertainty. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 39(6), 437-458. https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2420697.

Godarzi, J. L., Sayadi, A. R., Mousavi, A., Nehring, M. (2025). Simultaneous optimization of mine production rate and cut-off grade using particle swarm optimization. *Journal of Mining and Environment*, 16(2), 583-598. https://doi.org/10.22044/jme.2024.13943.2601.

Goycoolea, M., Lamas, P., Pagnoncelli, B. K., Piazza, A. (2021). Lane's algorithm revisited. *Management Science*, 67(5), 3087-3103. https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3685.

Khalifi, H., Elghali, A., Taha, Y., Benzaazoua, M. (2025). A mathematical model for optimizing cut-off grade and stockpiling policies in open pit mines with grade engineering. *Resources Policy*, 109, 105716. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105716.

Lane, K. F. (1988). *The economic definition of ore: Cut-off grades in theory and practice*. Mining Journal Books. ISBN 10: 0900117451, 156p.

Lotfi, E., Gholamnejad, J., Najafi, M., Zamani, M. S. (2024). Optimizing long-term production scheduling in open pit mining under commodity price uncertainty: A two-stage stochastic programming approach. *Journal of Mining and Environment*, 15(4), 1491-1508. https://doi.org/10.22044/jme.2024.13814.2576.

Madziwa, L., Pillalamarry, M., Chatterjee, S. (2023). Integrating stochastic mine planning model with ARDL commodity price forecasting. *Resources Policy*, 85, 104014. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104014.

Muttaqin, B. I. A., Ciptomulyono, U., Siswanto, N. (2025). Optimizing cut-off grades under stochastic price: A model for open-pit lateritic nickel mining with multiple products. *Resources Policy*, 106, 105630. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105630.

Paithankar, A., Chatterjee, S., Goodfellow, R., Asad, M. W. A. (2020). Simultaneous stochastic optimization of production sequence and dynamic cut-off grades in an open pit mining operation. *Resources Policy*, 66, 101634. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101634.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

REAKTİF AGREGA HARMANLARININ ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ASTM C1260 TEMELLİ BİR OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI

EVALUATION OF REACTIVE AGGREGATE BLENDS IN TERMS OF ALKALI-SILICA REACTION: AN ASTM C1260-BASED OPTIMIZATION APPROACH

HACERA YAĞBASAN[1], Prof. Dr. DENIZ ADIGÜZEL[2], Doç. Dr. SERKAN TÜYLÜ[3], Dr. Öğr. Üyesi İSMAİL DEMİR[4,*]

[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0009-0006-8046-5773
hacerayagbasan@gmail.com,

[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1611-1296
deniza@iuc.edu.tr,

[3]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8128-9840
stuylu@iuc.edu.tr,

[4]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0949-7706
dismail@iuc.edu.tr,

ÖZET

Alkali-silika reaksiyonu (ASR), beton içerisindeki alkaliler ile agregada bulunan reaktif silis fazlarının etkileşimi sonucu oluşan ve zamanla genleşme, çatlak gelişimi ve dayanıklılık kaybına yol açabilen önemli bir bozunma mekanizmasıdır. Bu çalışmada farklı jeolojik özelliklere sahip üç agrega kaynağının tek başına ve farklı harman oranlarında kullanılmasıyla ASR genleşmesinin azaltılabilirliği ASTM C1260 hızlandırılmış harç çubuğu yöntemiyle araştırılmıştır. Deney programında üç saf agrega ile bunların %25/%75, %50/%50, %75/%25 ve eşit oranlı üçlü kombinasyonlarından oluşan toplam 13 karışım grubu ve 34 harç çubuğu değerlendirilmiştir. 25×25×285 mm boyutlarındaki numuneler 24 saatlik ön kür ve 80 °C suda koşullandırma sonrasında 1 N NaOH çözeltisinde 80 °C'de bekletilmiş; 3., 7. ve 14. günlerde boy değişimleri ölçülmüştür. Saf agregalar arasında 14 günlük en yüksek genleşme %0,2456 ile Agrega B'de belirlenmiştir. Harmanlama ile genleşme azaltılabilmiş; en düşük değerler %75

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Agrega C - %25 Agrega B (%0,1753), eşit oranlı üçlü karışım (%0,1755) ve %25 Agrega C - %75 Agrega A (%0,1772) karışımlarında elde edilmiştir. Bununla birlikte test edilen 13 karışımın tamamı 14 günlük %0,10 sınır değerinin üzerinde kalmıştır. Dolayısıyla incelenen harman aralığında yalnızca agrega oranlarının değiştirilmesi ASR riskini güvenli sınıra indirmemiş, ancak genleşmede yaklaşık %29'a varan göreli azalma sağlamıştır. Bulgular, reaktif agrega kaynaklarının tamamen dışlanması yerine harmanlama yoluyla riskin azaltılabileceğini, ancak bu saha için mineral katkı kullanımı, farklı agrega kaynağı ilavesi veya daha kapsamlı karışım optimizasyonu gibi ek önlemlere gereksinim bulunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Alkali-Silika Reaksiyonu, ASTM C1260, Reaktif Agrega, Agrega Harmanlama, Beton Dayanıklılığı, Optimizasyon.

ABSTRACT

Alkali-silica reaction (ASR) is an important deterioration mechanism resulting from the interaction between alkalis in concrete and reactive silica phases in aggregates, potentially leading to expansion, cracking, and loss of durability over time. In this study, the potential to reduce ASR-induced expansion by using three aggregate sources with different geological characteristics, individually and in various blending proportions, was investigated using the ASTM C1260 accelerated mortar bar method. The experimental program comprised a total of 13 mixture groups and 34 mortar bars, including three individual aggregates, binary blends at 25/75%, 50/50%, and 75/25% proportions, and an equal-proportion ternary blend. Specimens measuring 25×25×285 mm were subjected to 24 h of initial curing followed by conditioning in water at 80 °C and subsequent immersion in 1 N NaOH solution at 80 °C. Length changes were measured at 3, 7, and 14 days. Among the individual aggregates, Aggregate B exhibited the highest 14-day expansion, at 0.2456%. Blending reduced the expansion, with the lowest values obtained for the 75% Aggregate C - 25% Aggregate B blend (0.1753%), the equal-proportion ternary blend (0.1755%), and the 25% Aggregate C - 75% Aggregate A blend (0.1772%). Nevertheless, all 13 mixtures exceeded the 14-day threshold value of 0.10%. Therefore, within the investigated blending range, adjusting aggregate proportions alone was insufficient to reduce ASR risk to an acceptable level, although a relative reduction in expansion of up to approximately 29% was achieved. The findings indicate that ASR risk associated with reactive aggregate sources can be mitigated through blending rather than their complete exclusion; however, additional measures, such as the use of supplementary cementitious materials, incorporation of an alternative aggregate source, or more comprehensive mixture optimization, are required for the investigated site.

Keywords: Alkali-Silica Reaction, ASTM C1260, Reactive Aggregate, Aggregate Blending, Concrete Durability, Optimization.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. GİRİŞ

Agregalar beton hacminin yaklaşık %60-75'ini oluşturduğundan betonun mekanik davranışı, geçirgenliği, dayanıklılığı ve servis ömrü üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Agrega seçiminde basınç dayanımı, aşınma direnci ve su emme gibi fiziksel-mekanik özelliklerin yanı sıra mineralojik ve kimyasal özelliklerin de dikkate alınması gerekir. Beton yapılarda uzun dönemli hasara neden olan önemli içsel reaksiyonlardan biri alkali-silika reaksiyonudur (ASR). ASR, betonun gözenek çözeltisindeki alkali hidroksitlerin agregadaki reaktif silis fazları ile reaksiyona girmesi ve su alarak şişebilen alkali-silika jelinin oluşmasıyla gelişmektedir (Diamond, 1997; Ichikawa ve Miura, 2007; Gao ve ark., 2013; Moreira ve ark., 2021). Bu reaksiyon sonucunda meydana gelen jel yapısı, ortamdan nemi emerek hacimsel olarak genişlemekte ve beton matrisi içerisinde çekme gerilmeleri oluşturarak çatlak gelişimine ve yapısal bütünlüğün kaybına neden olmaktadır. Bu bozunma süreci, betonun porozitesini artırarak zararlı iyonların nüfuzunu kolaylaştırmakta ve yapı elemanlarının öngörülen servis ömürlerini ciddi oranda kısıtlamaktadır (Yıldırım, 2018). Alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcıların kullanımı durumunda, bu sistemlerdeki yüksek alkali içeriği ASR kaynaklı hasar riskini daha da kritik hale getirmektedir (Çirkin ve Aydın, 2025). Literatürde yer alan çalışmalar, beton karışımındaki alkali miktarının artırılmasının reaktif agregaların belirlenmesinde bir yöntem olarak kullanılabileceğini ancak bu yaklaşımın laboratuvar performans testlerinde yanıltıcı sonuçlar doğurabileceğini vurgulamaktadır (Lindgård ve ark., 2012).

ASR'nin gelişimi yalnızca agrega mineralojisine bağlı değildir; çimento alkaliliği, nem, sıcaklık, agrega tane boyutu ve reaktif silis miktarı gibi değişkenler reaksiyon kinetiğini etkilemektedir. Bu nedenle potansiyel reaktif agregaların beton üretiminden önce hızlı laboratuvar yöntemleriyle değerlendirilmesi önem taşımaktadır. ASTM C1260 hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi, yüksek sıcaklık ve alkali konsantrasyonu altında kısa sürede genleşme eğilimini ortaya koyması nedeniyle yaygın bir ön tarama testidir. Bununla birlikte hızlandırılmış testlerin saha koşullarındaki uzun dönem performansın tek başına kesin göstergesi olmadığı ve gerektiğinde petrografik inceleme veya daha uzun süreli beton prizma deneyleriyle desteklenmesi gerektiği bilinmektedir.

Reaktif bir agrega kaynağının tamamen kullanım dışı bırakılması ekonomik ve kaynak verimliliği açısından her zaman en uygun çözüm olmayabilir. Reaktif agreganın daha düşük reaktivite gösteren başka bir kaynakla uygun oranlarda harmanlanması, toplam genleşmeyi azaltabilecek bir mühendislik yaklaşımıdır. Adıgüzel ve arkadaşları (2018), farklı reaktivite düzeylerine sahip agregaların karışım tasarımı yoluyla optimize edilmesinin ASR riskini güvenli sınırlara çekebildiğini göstermiştir. Ancak harman davranışı doğrusal olmak zorunda değildir ve bazı bileşimlerde pessimum etki görülebilir. Ancak, harman davranışı doğrusal olmak zorunda değildir ve bazı bileşimlerde pessimum etki görülebilir. Pessimum oran olarak adlandırılan bu kritik eşik değerinde, reaktif agrega miktarı genleşmeyi maksimum seviyeye taşıyarak beklenen iyileşmenin aksine hasar riskini artırabilmektedir (Şimşek ve ark., 2022; Uygunoğlu, 2016).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Bu çalışmanın amacı, üç farklı agrega türünün saf ve ikili/üçlü harmanlarının ASTM C1260 koşullarındaki genleşme davranışını karşılaştırmak, harmanlamanın ASR riskini azaltma düzeyini belirlemek ve test edilen karışımlar içinde minimum genleşmeyi sağlayan bileşimleri ortaya koymaktır. Çalışmada 'optimizasyon', güvenli eşik altında bir karışım bulunduğu varsayımıyla değil, mevcut deney uzayı içerisinde genleşmenin minimize edilmesi anlamında kullanılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Agrega Kaynakları ve Deneysel Tasarım

Çalışmada farklı jeolojik özelliklere sahip iki agrega işletmesinden temin edilen üç agrega grubu kullanılmıştır. İşletme ve ticari kaynak adlarını anonimleştirmek amacıyla numuneler bu bildiride Agrega A, Agrega B ve Agrega C olarak kodlanmıştır. Agregaların jeolojik ve petrografik özellikleri çalışma kapsamında incelenmiş; tek eksenli basınç dayanımı verileri de malzeme karakterizasyonuna destek olarak değerlendirilmiştir. Özellikle bazı örneklerde yüksek mekanik dayanım ve silisleşmiş doku gözlenmesi, ASR açısından reaktif silis fazlarının önemini artıran bir özellik olarak değerlendirilmiştir.

Deneysel tasarımda üç saf agrega ve bunların ikili ve üçlü kombinasyonları hazırlanmıştır. İkili karışımlarda %25/%75, %50/%50 ve %75/%25 oranları, üçlü karışımda ise yaklaşık eşit (%33/%33/%33) oranları kullanılmıştır. Toplam 13 farklı agrega karışım grubu ve 34 harç çubuğu test edilmiştir.

Çizelge 1. Test edilen agregaların tek eksenli basınç ve doğal birim hacim ağırlık değerleri.

Parametre	**Agrega A (Diyabaz)**	**Agrega B (Kumtaşı)**	**Agrega C (Meta Kumtaşı)**
Tek Eksenli Basınç (UCS - MPa)	143	54	121
Doğal Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2,7	2,6	2,4

2.2. ASTM C1260 Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

Agregaların potansiyel alkali reaktivitesi ASTM C1260 hızlandırılmış harç çubuğu yöntemiyle belirlenmiştir. Agregalar standardın öngördüğü tane boyutlarına hazırlanmış ve 25×25×285 mm boyutlarında harç çubukları üretilmiştir. Harçlarda agrega/çimento oranı kütlece 2,25, su/çimento oranı 0,47 olarak uygulanmıştır. Üç numunelik seri için 440 g çimento ve 990 g agrega kullanılmıştır.

Numuneler kalıplarda 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmış, 80 °C sıcaklıktaki suda 24 saat koşullandırılmış ve sıfır okumaları alınmıştır. Ardından numuneler 1 N NaOH çözeltisinde 80 °C sabit sıcaklıkta tutulmuş; 3., 7. ve 14. günlerde uzunluk karşılaştırma okumaları yapılmıştır. Boyca uzama yüzdesi, başlangıç ölçümüne göre boy değişiminin ölçü boyuna oranı üzerinden hesaplanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

$$Boyca\ uzama\ (\%) = (\Delta L / L_0) \times 100 \qquad (1)$$

Değerlendirmede 14 günlük %0,10 genleşme değeri karşılaştırma eşiği olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada karışımlar yalnızca reaktif/nonreaktif sınıflandırma açısından değil, aynı zamanda birbirlerine göre genleşmeyi azaltma performansı bakımından da karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Saf Agregaların ASR Davranışı

Saf agrega serileri arasında 14. gün sonunda en yüksek boyca uzama %0,2456 ile Agrega B'de belirlenmiştir. Agrega C %0,2330, Agrega A ise %0,2183 genleşme göstermiştir. Bu üç değerin de %0,10 eşiğinin belirgin biçimde üzerinde olması, incelenen saf agrega kaynaklarının hızlandırılmış deney koşullarında potansiyel ASR riski taşıdığını göstermektedir (Salim ve Moro, 2025).

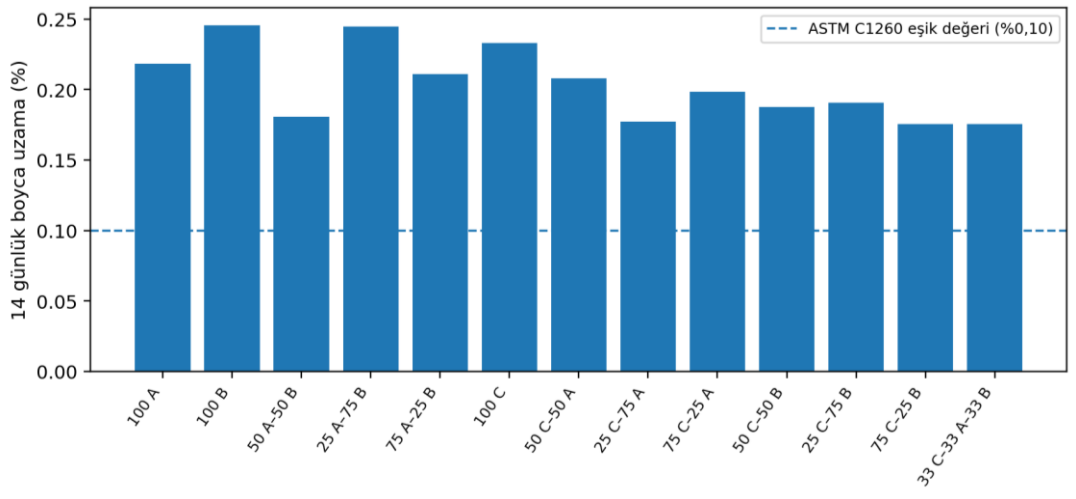
Agrega B'nin 7. günde %0,1077 ile eşik değeri aşmış olması da diğer saf agregalara göre daha hızlı bir genleşme kinetiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte hızlandırılmış harç çubuğu deneyinin yüksek alkali ve sıcaklık koşullarında gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulmalı; saha performansına ilişkin nihai değerlendirmeler tamamlayıcı testlerle desteklenmelidir.

3.2. Harmanlama ile Genleşmenin Azaltılması

Agrega harmanlama, saf agregalara kıyasla birçok bileşimde 14 günlük genleşmeyi azaltmıştır. Agrega A - Agrega B ikilisinde en düşük sonuç %50/%50 karışımında %0,1806 olarak elde edilmiştir. Buna karşılık %25 Agrega A - %75 Agrega B karışımının %0,2445 değerine ulaşması, karışım davranışının doğrusal olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, belirli oranlarda reaktif fazların toplam reaksiyon koşullarını daha elverişli hâle getirebildiği pessimum davranış olasılığıyla uyumludur (Rønning ve ark., 2021).

Agrega A - Agrega C ikilisinde en düşük değer %25 Agrega C - %75 Agrega A karışımında %0,1772; Agrega B - Agrega C ikilisinde ise %75 Agrega C - %25 Agrega B karışımında %0,1753 olarak belirlenmiştir. Eşit oranlı üçlü karışımın %0,1755 değeri de deney setindeki en düşük sonuçlardan biridir. Böylece en reaktif saf karışım olan %100 Agrega B'ye göre genleşme yaklaşık %28,6 oranında azaltılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

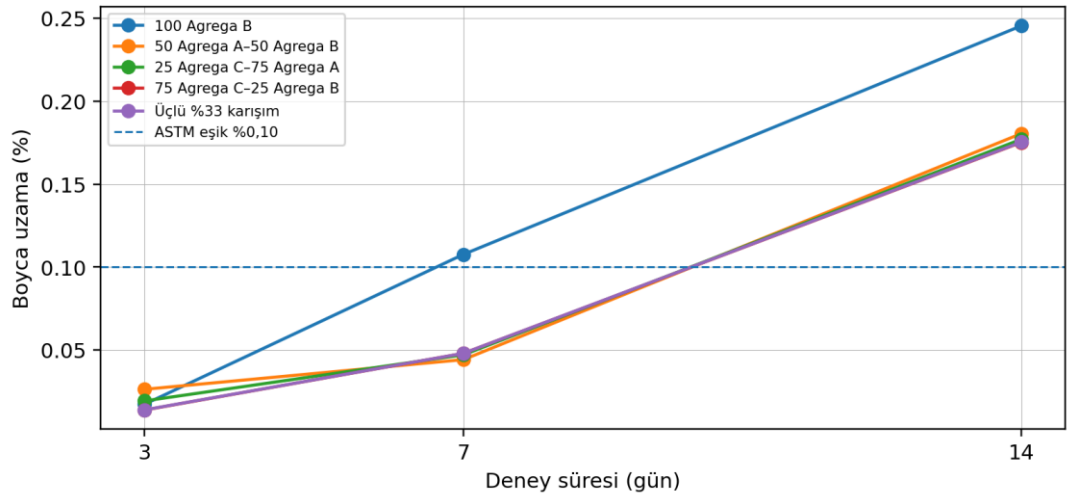


Görsel 1. Test edilen 13 agrega karışımının 14 günlük ASR genleşme değerleri.

Görsel 1, harmanlama ile genleşme seviyesinin önemli ölçüde değiştirilebildiğini, ancak test edilen hiçbir kombinasyonun %0,10 sınır değerinin altına inmediğini açıkça göstermektedir. Bu nedenle mevcut deney uzayında 'optimum' karışım, güvenli bir bileşim değil, genleşmeyi en düşük seviyeye indiren bileşim olarak değerlendirilmelidir.

3.3. Zamana Bağlı Genleşme Davranışı

Tüm karışımlarda deney süresi ilerledikçe genleşme artmıştır. İlk 3 günlük değerler genel olarak düşük kalmış, 7. gün sonrasında karışımlar arasındaki fark belirginleşmiş ve en güçlü artış 7.-14. gün aralığında gerçekleşmiştir. Bu durum, yalnızca erken yaş okumalarına göre reaktivite kararı verilmesinin yanıltıcı olabileceğini ve ASTM C1260'ın 14 günlük izleme süresinin önemini ortaya koymaktadır.

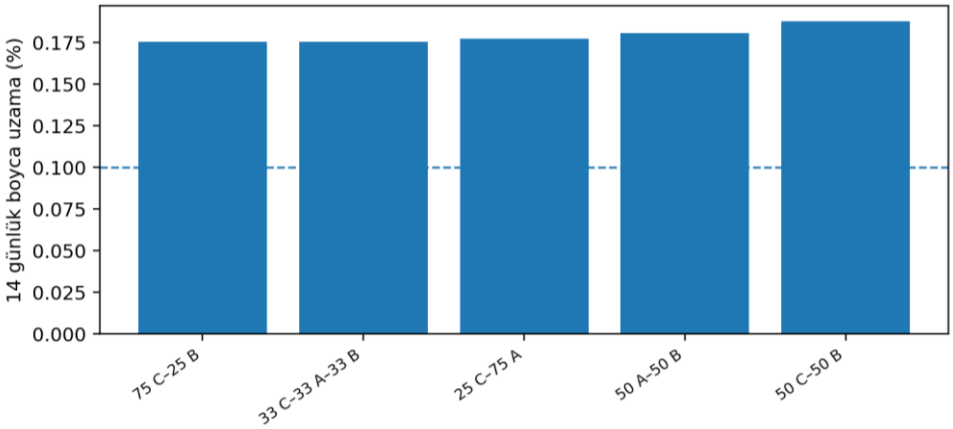


Görsel 2. Seçilmiş yüksek ve düşük genleşmeli karışımlarda zamana bağlı boyca uzama.

En düşük 14 günlük genleşme değerlerini veren karışımların 7. gün değerleri yaklaşık %0,043-0,048 aralığında olmasına rağmen 14. günde %0,175'in üzerine çıkması, reaksiyonun ikinci haftada hızlandığını göstermektedir. Özellikle bu bulgu, 7. gün sonuçlarının tek başına güvenli karışım seçimi için yeterli olmadığını göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3.4. Optimizasyon Açısından Değerlendirme



Görsel 3. En düşük 14 günlük genleşme değerine sahip beş agrega karışımı.

Deneysel karışımlar içerisinde minimum genleşme %75 Agrega C - %25 Agrega B bileşiminde (%0,1753) elde edilmiştir. Bu değeri eşit oranlı üçlü karışım (%0,1755), %25 Agrega C - %75 Agrega A (%0,1772), %50 Agrega A - %50 Agrega B (%0,1806) ve %50 Agrega C - %50 Agrega B (%0,1877) izlemiştir. Bu sıralama, Agrega C'nin bazı harmanlarda toplam genleşmeyi düşürme potansiyeli bulunduğunu göstermektedir.

Ancak tüm karışımların eşik üzerinde kalması nedeniyle, yalnızca bu üç agrega kaynağının oranlarını değiştirmek ASR riskini ASTM C1260'a göre kabul edilebilir düzeye indirmemiştir. Bu bulgu, önceki çalışmalarda nonreaktif veya daha düşük reaktiviteye sahip bir agrega bileşeninin yüksek oranlarda kullanılmasıyla güvenli genleşme düzeylerine ulaşılabildiğini gösteren sonuçlardan ayrılmaktadır (Adıgüzel ve ark., 2018). Mevcut çalışmada üç kaynağın da tek başına reaktif davranması, karışım uzayının güvenli bölgeye ulaşmasını sınırlandırmış görünmektedir.

Bu nedenle uygulama açısından iki aşamalı bir yaklaşım önerilebilir: ilk aşamada harmanlama ile genleşmenin mümkün olduğunca azaltılması, ikinci aşamada ise uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı veya uygun başka bir nonreaktif agrega kaynağı gibi ilave ASR azaltıcı önlemlerle karışımın güvenli sınıra taşınması. Bu öneri mevcut deney sonuçlarından doğrudan test edilmiş bir sonuç değil, elde edilen bulguların mühendislik açısından devam çalışmasına yönelik yorumudur.

4. SONUÇLAR

Üç farklı agrega kaynağı ve bunların harmanlarının ASTM C1260 yöntemi ile değerlendirildiği çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

• Saf agregalar arasında en yüksek 14 günlük genleşme %0,2456 ile Agrega B, en düşük saf agrega genleşmesi ise %0,2183 ile Agrega A numunesinde belirlenmiştir.

• Test edilen 13 karışımın tamamı 14 günlük %0,10 sınır değerinin üzerinde kalmış; dolayısıyla mevcut karışım aralığında ASTM C1260 açısından güvenli bir harman elde edilememiştir.

• Harmanlama genleşme miktarını azaltabilmiştir. En düşük değer %75 Agrega C - %25 Agrega B karışımında %0,1753 olarak belirlenmiş ve %100 Agrega B'ye göre yaklaşık %28,6 azalma sağlanmıştır.

• Eşit oranlı üçlü karışım %0,1755 ve %25 Agrega C - %75 Agrega A karışımı %0,1772 ile benzer düşük genleşme performansı göstermiştir.

• Bazı karışımlarda oran değişiminin genleşmeyi monoton biçimde azaltmaması, agrega harmanlama optimizasyonunda doğrusal varsayımların yeterli olmayabileceğini ve pessimum davranışın dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

• ASTM C1260 kısa süreli bir ön tarama yöntemi olarak yararlıdır; saha koşullarındaki uzun dönem davranış için petrografik inceleme, beton prizma deneyi ve uygun ASR azaltıcı mineral katkı sistemleriyle tamamlayıcı doğrulama önerilmektedir.

Sonuç olarak, çalışma reaktif agrega kaynaklarının harmanlanmasının ASR genleşmesini azaltabilecek bir kaynak yönetimi aracı olduğunu, ancak tüm bileşenlerin reaktif olduğu durumlarda yalnızca harman oranı optimizasyonunun yeterli olmayabileceğini ortaya koymuştur. Bir sonraki aşamada karışım tasarımının daha sık oran aralıklarıyla genişletilmesi ve mineral katkı/nonreaktif agrega seçeneklerinin modele dahil edilmesi, gerçek anlamda güvenli ve ekonomik bir optimum çözümün belirlenmesini sağlayabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1919B012522535 numaralı TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından ve desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Adiguzel, D., Başçetin, A., Baray, A. (2018). Determination of Optimal Aggregate Blending to Prevent Alkali-Silica Reaction Using the Mixture Design Method. Journal of Testing and Evaluation, 47(1), 43-56. https://doi.org/10.1520/jte20160441.

ASTM International. (2001). ASTM C1260-01: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method). ASTM International.

Çirkin, N., Aydın, S. (2025). Aktivatör Türünün Alkalilerle Aktive Edilmiş Cüruf Bağlayıcılarında Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisinin Araştırılması. DEU Muhendislik Fakultesi Fen ve Muhendislik, 27(81), 349–358. https://doi.org/10.21205/deufmd.2025278103.

Diamond, S. (1997). Alkali-silica reactions: Some paradoxes. Cement and Concrete Composites, 19(5-6), 391-401, https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)00004-8.

Gao, X. X., Multon, S., Cyr, M., Sellier, A. (2013). Alkali–silica reaction (ASR) expansion: Pessimum effect versus scale effect. Cement and Concrete Research, 44, 25–33. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.10.015.

Ichikawa, T., Miura, M. (2007). Modified model of alkali-silica reaction. Cement and Concrete Research, 37(9), 1291-1297, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.06.008.

Ideker, J. H., East, B., Folliard, K. J., Thomas, M. D. A., Fournier, B. (2009). The current state of the accelerated concrete prism test. Cement and Concrete Research, 40(4), 550-555, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.030.

Lindgård, J., Çakır, Ö. A., Fernandes, I., Rønning, T. F., Thomas, M. D. (2012). Alkali–silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing. Cement and Concrete Research, 42(2), 223–243. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.004.

Moreira, K. M. de V., Oliveira, P. V. G., Deus, Ê. P. de, Cabral, A. E. B. (2021). Alkali-silica reaction: understanding the phenomenon. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 6(1). https://doi.org/10.1007/s41024-020-00100-3.

Rønning, T. F., Wigum, B. J., Lindgård, J. (2021). Recommendation of RILEM TC 258-AAA: RILEM AAR-10: determination of binder combinations for non-reactive mix design using concrete prisms–38 °C test method. Materials and Structures, 54, 204. https://doi.org/10.1617/s11527-021-01679-w.

Salim, M. U., Moro, C. (2025). Microstructural insights of geopolymer mortar containing cenosphere: effects on fresh properties and durability. Materials and Structures, 58, 101. https://doi.org/10.1617/s11527-025-02636-7.

Şimşek, O., Demir, İ., Sevim, Ö. (2022). Nevşehir Perlit Agregasının Alkali Silika Reaksiyonu Açısından İncelenmesi. Uluslararası mühendislik araştırma ve geliştirme dergisi, 14(2), 439–446. https://dergipark.org.tr/tr/pub/umagd/issue/71387/1012508.

Thomas, M. D. (2010). The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review. Cement and Concrete Research, 41(12), 1224–1231. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.003.

Uygunoğlu, T. (2016). Yüksek Oranda Silis Dumanı İçeren Harçlarda Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) Gelişiminin İncelenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(2), 9-16.

Yıldırım, K. (2018). Alkali Silika Reaksiyonuna Maruz Betonun Yapısal Davranışının Araştırılması. Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), 7(2), 63–73.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BENDING BEHAVIOUR OF A DUAL-AXIS E-GLASS FIBRE-REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE

Material Engineer İBRAHİM KURTEN[1], Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL[2]

[1] SUBOR PIPE Company, Karapürçek/Sakarya, Türkiye, ibrahimkrtn@gmail.com - ORCID ID : 0000-0002-5862-5359

[2] Sakarya University of Applied Science, Faculty of Technology, Sakarya, Türkiye unal@subu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0003-0521-6647

ABSTRACT

Glass fibre woven fabric-reinforced polyester composites are widely used in various fields, including the automotive, marine, wind energy, construction, transportation, and mechanical industries, due to their superior properties such as high specific strength and stiffness, low density, corrosion resistance, and design flexibility. The mechanical performance of these materials depends not only on the type of matrix and reinforcement used but also significantly on the orientation of the fibres within the composite. In particular, determining the effect of fibre orientation on the flexural behaviour of composite structures subjected to loading in different directions is essential for reliable and efficient material design. In this experimental study, the effect of a **-45/+45° biaxial E-glass fibre woven fabric** on the flexural behaviour of polyester-based composites was investigated. Composite plates measuring **300 × 300 × 4 mm³** were manufactured in a layered configuration using the **hand lay-up technique.** A Metyx X800E biaxial E-glass fibre woven fabric with a total areal weight of **808 g/m²** was used as the reinforcement material. The fabric consisted of **600 Tex fibres oriented in the +45° and -45° directions.** Flexural test specimens were prepared in accordance with ASTM D standards and tested at a crosshead speed of **5 mm/min.** The **flexural strength, flexural modulus, and maximum flexural deformation** of the composites were determined. The experimental results were compared with those of the unreinforced polyester control material. The results demonstrated that fibre orientation had a significant effect on the flexural properties of the composites. Compared with the control material, the flexural strength decreased by approximately **11.7%** in the 0° specimen orientation, while it increased by approximately **141.7%** in the 45° orientation and decreased by approximately **10.3%** in the 90° orientation. The flexural modulus increased by approximately **104.7%, 181.9%, and 56.1%** in the 0°, 45°, and 90° orientations, respectively. In contrast, the maximum flexural deformation decreased by approximately **34.2%, 6.8%, and 20.5%,** respectively. The highest flexural strength and flexural modulus were obtained in the **45° specimen orientation,** whereas the lowest deformation was also observed in this direction. Generally, the findings indicate that the **45° specimen orientation is more effective in terms of load-bearing capacity and stiffness** for

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

the -45/+45° biaxial woven fabric architecture. The results further demonstrate that fibre orientation is one of the key parameters governing the strength, stiffness, and deformation characteristics of woven fibre-reinforced polyester composites.
Keywords: Woven glass fibre, polyester, composite, flexural strength, flexural modulus, deformation ratio.

1. INTRODUCTION

Polymeric materials are among the most widely used classes of engineering materials, alongside metals and ceramics, owing to their low density, ease of processing, corrosion resistance, and the ability to tailor their properties over a wide range through the incorporation of various additives and reinforcing materials. Polymers are generally classified into three main groups: thermoplastics, thermosets, and elastomers. Thermoplastic polymers can be softened and reshaped upon heating, whereas thermosetting polymers cannot be remelted and reshaped once cured due to the three-dimensional cross-linked network formed during the curing process. This structural difference provides thermosetting polymers with properties such as high dimensional stability, stiffness, chemical resistance, and thermal resistance, while limiting their reprocessability. Epoxy, phenolic, vinyl ester, and unsaturated polyester resins are among the most widely used thermosetting matrix systems in engineering composites. In particular, unsaturated polyester resins have an important position in the composite materials industry owing to their low cost, ease of processing, rapid curing, and compatibility with various manufacturing methods (Pardini & Brondsted, 2005; Wypych, 2019).

Unsaturated polyester (UP) resins are thermosetting resins obtained by dissolving polyester chains containing unsaturated bonds in a reactive diluent, typically styrene. During curing, cross-linking occurs between the unsaturated groups in the polyester chains and the reactive diluent, resulting in the formation of a three-dimensional, rigid, and insoluble polymer network. The properties of unsaturated polyester resins can be widely tailored by varying the types of glycols, saturated and unsaturated acids or anhydrides, their respective proportions, the amount of reactive diluent, and the curing system. Aromatic structures are reported to impart increased hardness and stiffness to the resin, whereas aliphatic structures can provide greater flexibility (Sinha & Srivastava, 2019). In addition, the low viscosity, room-temperature curability, and relatively simple processing requirements of unsaturated polyester resins enable their use in various composite manufacturing processes, particularly hand lay-up, spray-up, resin transfer moulding (RTM), vacuum infusion, and compression moulding.

Unsaturated polyester resins are widely used in numerous applications, including boat and yacht manufacturing, automotive components, pipes and tanks, water storage systems, structural elements, roofing and façade applications, wind energy components, transportation vehicles, and various machine components. Glass fibre reinforced polyester composites offer significant advantages, particularly in piping, tank, and marine applications where corrosion resistance is of critical importance. The principal reasons for the widespread use of unsaturated polyester resins as composite matrices include their low cost, ease of fabrication, adequate mechanical properties, and compatibility with different reinforcement systems (Sinha & Srivastava, 2019). However, because the elastic modulus and tensile strength of neat unsaturated polyester resin

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

are relatively limited for many structural applications, continuous or discontinuous fibre reinforcements are employed to improve its mechanical properties.

In this context, glass fibres are among the most widely used reinforcing materials in unsaturated polyester-based composites. Their high tensile strength and elastic modulus, relatively low cost, chemical and corrosion resistance, ease of processing, and ability to form a suitable interfacial bond with polyester resins have contributed to their widespread use in the composite materials industry. In particular, E-glass is extensively used in structural composites owing to its balanced electrical and mechanical properties. The literature indicates that, in addition to being used in continuous or discontinuous forms, glass fibres can be incorporated into composites as unidirectional (UD), biaxial, triaxial, multiaxial, chopped strand mat, and woven fabric reinforcements, with each architecture having a significant influence on the mechanical behaviour of the resulting composite. The mechanical properties of glass fibre-reinforced composites are governed not only by the amount of reinforcement but also by the fibre orientation and fabric architecture within the composite. In woven glass fibre fabrics, fibres are generally arranged in two orthogonal principal directions, namely 0°/90°, or at specific angles such as ±45°. In addition, −45°/90°/+45° triaxial fabrics and multiaxial reinforcements consisting of fibre bundles arranged in different orientations are also commonly employed. Since fibre orientation determines the load-transfer mechanism relative to the reinforcement direction, composites with different fabric architectures may exhibit substantially different tensile, compressive, and flexural behaviour even when the same resin and fibre content are used. In plain weave fabrics, the warp and weft yarns pass alternately over and under one another, forming a relatively tight and stable structure. Although this architecture provides high dimensional stability, the crimp of the fibres can reduce their effectiveness in carrying loads along the loading direction to some extent. In different weave structures, such as plain, twill, and satin weaves, the frequency of fibre intersections and the degree of fibre crimp vary. In woven architectures with fewer intersections, reduced fibre crimp may result in higher mechanical performance under certain loading directions; however, the formability and dimensional stability of the fabric may also be affected. In addition, while biaxial fabrics primarily carry loads in two principal directions, triaxial fabrics can provide a more balanced mechanical response under different loading conditions by incorporating a third fibre orientation.

The influence of fibre orientation on mechanical behaviour is particularly evident in tensile testing. Oleiwi et. al. (2014) investigated the tensile properties of woven glass fibre/unsaturated polyester composites with different fibre volume fractions and fibre orientations in accordance with the ASTM D638 standard. They reported that both fibre volume fraction and orientation significantly affected the elastic modulus, tensile strength, and elongation at break. In their study, a composite containing fine woven glass fibres with a 0°/90° fibre orientation and an approximately 11% fibre volume fraction exhibited an elastic modulus of 11.5 GPa and an ultimate tensile strength of 240 MPa, while the elongation at break was reported to be approximately 2.5%. In addition to woven fabric architecture, the fibre-matrix interfacial properties play a critical role in the mechanical performance of composites. The efficiency of load transfer between the fibres and the polyester matrix can directly affect the tensile and flexural strength of the composite. Accordingly, sizing, coupling agents, and coating systems

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

applied to the glass fibre surface are used to improve adhesion between the resin and the fibres. Pavlidou et al. (2004) investigated the effects of coating E-glass woven fabrics with a silicone elastomer on the mechanical and impact properties of polyester/woven glass fibre composites. Their results demonstrated that the amount of coating applied to the fabric surface had a significant effect on the mechanical properties, toughness, and impact resistance of composites manufactured using the resin transfer moulding process. The importance of the fibre-matrix interface is not limited to fabric surface treatments; the chemical structure and curing characteristics of the unsaturated polyester resin can also affect interfacial bonding and, consequently, the tensile strength of the composite. Sreekumar et al. (2001) investigated the effects of different unsaturated polyester resin compositions on the interfacial properties and tensile strength of E-glass fibre/unsaturated polyester laminates. Their results indicated that variations in resin composition affected the tensile strength of the laminate by modifying the flexibility of the cured polyester. An important characteristic of woven glass fibre-reinforced polyester composites is their ability to provide high specific strength and specific stiffness. While the polymer matrix distributes the applied load among the reinforcing fibres, the high-strength glass fibres carry a substantial proportion of the tensile loads, particularly along the fibre direction. Thus, combining a low-density matrix with a high-strength reinforcement can provide adequate mechanical performance at a lower weight compared with conventional metallic materials. Furthermore, glass fibre/unsaturated polyester composites offer significant advantages in marine and chemically aggressive environments owing to their corrosion resistance. The widespread application of unsaturated polyester-based composites in marine, land and sea transportation, water distribution systems, and construction sectors has also been emphasized in the literature (Sinha & Srivastava, 2019).

Nevertheless, woven glass fibre-reinforced polyester composites also have certain limitations. First, the inability to remelt and reshape the thermosetting polyester matrix after curing makes the recycling of these composites more complex than that of thermoplastic composites. In addition, various damage mechanisms, including weak fibre-matrix interfacial bonding, fibre breakage, fibre pull-out, matrix cracking, and interlaminar separation, may occur in composites. In woven fabrics, fibre crimp at crossover points and resin-rich regions may also lead to local stress concentrations. Therefore, not only the total fibre content but also the fabric architecture, ply orientation, resin impregnation quality, void content, and interfacial bonding must be considered collectively when evaluating composite performance. Research aimed at improving the mechanical performance of glass fibre/unsaturated polyester systems has focused not only on fabric orientation but also on hybrid reinforcement and the incorporation of nano- and micro-scale additives. For example, Sapuan et al. (2020) investigated the mechanical properties of hybrid unsaturated polyester composites reinforced with woven glass and basalt fibres. In composites manufactured using the hand lay-up method, significant changes in tensile and flexural properties were observed by hybridizing glass and basalt fibres at different ratios. The study reported that the tensile strength of the B22.5/G7.5 hybrid composite reached 213.92 MPa, representing a substantial increase compared with the value of 8.14 MPa obtained for neat polyester. The researchers attributed this improvement to the load-carrying capacity of the high-strength reinforcement elements and the load-transfer mechanism within the hybrid structure.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Similarly, the incorporation of various additives into polyester/glass fibre systems has been investigated as a means of improving mechanical properties. Pedroso et al., 2004 examined the effects of silane-based coupling agents and organic dispersants on the mechanical and dynamic mechanical properties of unsaturated polyester and recycled glass fibre-reinforced polyester sheets. The study demonstrated that the silane coupling agent improved the mechanical properties, whereas the dispersant used resulted in a reduction in the measured properties. These findings highlight the decisive role of the fibre-matrix interface in determining the final performance of the composite. In recent years, the use of nano-fillers has also received considerable attention for improving the mechanical properties of composites. In one study investigating the incorporation of carbon-based nano-materials into unsaturated polyester/woven glass fibre composites, vapor-grown carbon nano-fibres (VGCNFs) were incorporated into woven E-glass fibre/unsaturated polyester composites. The results showed that increasing the nano-fibre content up to a certain critical level improved the tensile and flexural properties, with approximately 2 wt% VGCNF being reported as the critical concentration providing the maximum mechanical performance. The researchers attributed this improvement to enhanced mechanical interlocking within the matrix and improved fibre-matrix interactions resulting from the presence of nano-fibres (Ali et al., 2018).

The fibre volume fraction is another important parameter affecting the mechanical performance of unsaturated polyester/glass fibre composites. Increasing the fibre content can enhance the load-carrying capacity and elastic modulus up to a certain range; however, beyond an optimum value, mechanical performance may fail to increase as expected due to insufficient resin impregnation, void formation, and fibre-fibre contact. Therefore, a higher fibre content does not necessarily result in superior mechanical properties. Particularly in manual manufacturing processes such as hand lay-up, controlling the resin-to-fibre ratio, minimizing voids within the laminate, and ensuring proper placement of the plies are critical to achieving the desired final properties. The behaviour of woven fabrics under different loading conditions has also been investigated in the literature. Owen et al. (1991) examined the static and fatigue behaviour of a plain woven glass fibre-reinforced composite under uniaxial and biaxial loading and demonstrated that the damage behaviour of the composite under combined tensile/compressive and torsional loading could be described using the Tsai–Wu and Tsai–Hill criteria (Owen et al., 1991). These findings indicate that, in addition to uniaxial tensile behaviour, the multiaxial loading conditions that may be encountered under actual service conditions should also be considered in the evaluation of woven glass fibre composites. The effect of fabric architecture on mechanical properties continues to be investigated in recent studies. Cava and Aslan (2024) examined the effects of [0,90] and [+45,−45] orientations on the mechanical properties of woven glass fibre-reinforced composites and reported that the [0,90] orientation provided higher flexural strength than the [+45,−45] configuration. The maximum flexural strengths were determined to be 286.51 MPa for the [0,90] composite and 135.94 MPa for the [+45,−45] composite. These findings clearly demonstrate the extent to which fibre orientation can alter the load-bearing mechanism and, consequently, the mechanical performance of a composite.

Similarly, the effects of ply number and delamination on tensile strength have been investigated in woven polyester composites. Paundra et al. (2024) examined the effects of ply number and delamination on the tensile strength of composites manufactured using a polyester matrix and

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

woven glass fibres and demonstrated that ply architecture and delamination behaviour are important factors affecting the mechanical strength of composite joints.

Taken together, these studies demonstrate that the mechanical performance of woven glass fibre-reinforced unsaturated polyester composites is not governed solely by the type of resin and glass fibre used. Rather, it is determined by the combined effects of numerous parameters, including fibre volume fraction, weave type, fibre orientation, fabric areal weight, number of plies, fibre-matrix interfacial properties, manufacturing method, curing conditions, and void content within the composite. In particular, separate evaluation of the 0°, 90°, and ±45° orientations can provide valuable insights into the anisotropic mechanical behaviour of composites associated with their fabric architecture.

Within this context, investigating the tensile and flexural behaviour of woven glass fibre-reinforced unsaturated polyester composites at different fibre orientations is important for characterizing their direction-dependent mechanical performance. In particular, the 0° orientation provides information regarding the load-carrying capacity of the fibres along the principal loading direction, the 90° orientation represents the transverse response, while the ±45° orientation provides insight into the behaviour under shear-dominated and off-axis loading conditions. Therefore, the preparation of glass fibre-reinforced polyester composites with different fabric architectures in accordance with relevant standards, followed by tensile and flexural testing in different orientations, represents an important research area for establishing the relationship between fibre architecture and mechanical performance and for identifying suitable engineering applications for these composites. In particular, comparing woven glass fibre fabrics with different architectures, such as Metyx X800, LT800, and XT800, within the same unsaturated polyester matrix can provide a meaningful contribution to the literature by revealing the influence of fabric architecture on the directional mechanical properties of composites. When tensile strength, tensile modulus, elongation at break, flexural strength, flexural modulus, flexural deformation, and failure mechanisms are evaluated together, such a comparison enables a comprehensive characterization of the composites not only in terms of strength but also with respect to stiffness, deformation capacity, and damage behaviour.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials:

Metyx X800 (−45°/+45°) woven glass fibre fabric was used as the reinforcement material in this study. A terephthalic-type unsaturated polyester resin, supplied by Boytek Co., Istanbul, Türkiye, was employed as the matrix material. Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) was used as the curing agent to facilitate the curing of the polyester resin at room temperature.

2.2. Preparation of Composites:

Composite laminates were manufactured using unsaturated polyester resin and Metyx X800 (−45°/+45°) woven glass fibre fabric by the hand lay-up technique. The composite laminates were fabricated in a mould to obtain a nominal thickness of approximately 4 mm. During the manufacturing process, the woven glass fibre fabric layers were placed onto the mould surface and thoroughly impregnated with the polyester resin to ensure adequate resin distribution

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

throughout the laminate. Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) was added to the resin as a curing agent to facilitate curing at room temperature. The prepared laminates were allowed to cure at room temperature, and the composite plates were subsequently removed from the mould after completion of the curing process. Bending test specimens were then cut from the fabricated composite plates in the 0°, 45°, and 90° fibre directions. The specimens were cut and dimensioned in accordance with the requirements of the relevant ASTM D standard. This approach was adopted to investigate the effect of fibre orientation on the flexural behaviour of the composite material.

2.3. Flexural Test Procedure

The flexural properties of the woven glass fibre-reinforced unsaturated polyester composites were determined using a three-point bending test in accordance with ASTM D790 and/or ISO 14125. The tests were conducted at room temperature under controlled environmental conditions of approximately 50% relative humidity, using a crosshead displacement rate of 10 mm/min. At least three specimens were tested for each fibre orientation, and the arithmetic mean values of the experimental results were used for further evaluation.

The flexural strength, flexural modulus, and flexural strain of the composite specimens were determined from the load–displacement data obtained during the three-point bending tests. The flexural strength was calculated using the following equation:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bh^2}$$

where σf is the flexural strength (MPa), P is the maximum applied load (N), L is the support span (mm), b is the specimen width (mm), and h is the specimen thickness (mm).

The flexural strain was calculated using:

$$\varepsilon_f = \frac{6Dh}{L^2}$$

where εf is the flexural strain (dimensionless), D is the displacement at the midpoint of the specimen (mm), h is the specimen thickness (mm), and L is the support span (mm).

The flexural modulus was determined from the slope of the initial linear portion of the load-displacement curve according to:

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bh^3}$$

where Ef is the flexural modulus (MPa), m is the slope of the linear portion of the load-displacement curve (N/mm), L is the support span (mm), b is the specimen width (mm), and h is the specimen thickness (mm). The calculated flexural strength, flexural modulus, and flexural strain values were subsequently used to evaluate the effect of fibre orientation (0°, 45°, and 90°) on the flexural behaviour of the Metyx X800 woven glass fibre-reinforced unsaturated polyester composites.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 presents the relationship between the flexural strength and specimen orientation of the polyester composite reinforced with biaxial X800 (-45°/+45°) woven glass fibre fabric with an areal density of 800 g/m². The measured flexural strength values were 80 MPa, 219 MPa, and 81.3 MPa for the specimens cut at 0°, 45°, and 90°, respectively. The neat unsaturated polyester used as the control material exhibited a flexural strength of 90.6 MPa. When the results are compared with the control polyester, the specimen tested in the 0° direction showed a flexural strength of 80.0 MPa, corresponding to a 10.6 MPa decrease or approximately 11.7% reduction compared with the control material. Similarly, the 90° oriented specimen exhibited a flexural strength of 81.3 MPa, representing a decrease of 9.3 MPa or approximately 10.3% relative to the neat polyester. In contrast, a remarkable increase was observed for the 45° oriented specimen, which reached a flexural strength of 219.0 MPa. This value corresponds to an increase of 128.4 MPa or approximately 141.7% compared with the control polyester. The pronounced difference between the 45° orientation and the 0°/90° orientations can be attributed primarily to the -45°/+45° architecture of the X800 biaxial woven fabric. Since the principal reinforcement directions of the fabric are oriented at ±45°, specimens cut at 45° relative to the reference direction effectively place a greater proportion of the load-bearing glass-fibre bundles in a favourable orientation with respect to the applied flexural load. Consequently, a larger portion of the applied load can be transferred from the polyester matrix to the high-strength glass fibres. In contrast, specimens cut at 0° and 90° are oriented transverse to the principal ±45° reinforcement directions. Under these conditions, the contribution of the glass fibres to direct load carrying is reduced, and a greater proportion of the applied load is transferred through the polyester matrix and the fibre-matrix interface. This results in flexural strengths slightly lower than that of the unreinforced polyester. The strong influence of fibre orientation observed in the present study is consistent with previous studies on woven glass-fibre-reinforced polymer composites. Bilisik and Yolacan (2011) reported that the flexural strength of E-glass/polyester composites was strongly dependent on yarn orientation and fibre volume fraction, demonstrating that changes in reinforcement architecture can significantly modify the flexural response of the composite. Similarly, Cava and Aslan (2024) reported flexural strengths of 286.51 MPa for [0,90] and 135.94 MPa for [+45,−45] woven glass-fibre composites, confirming that fibre orientation can substantially alter flexural performance.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

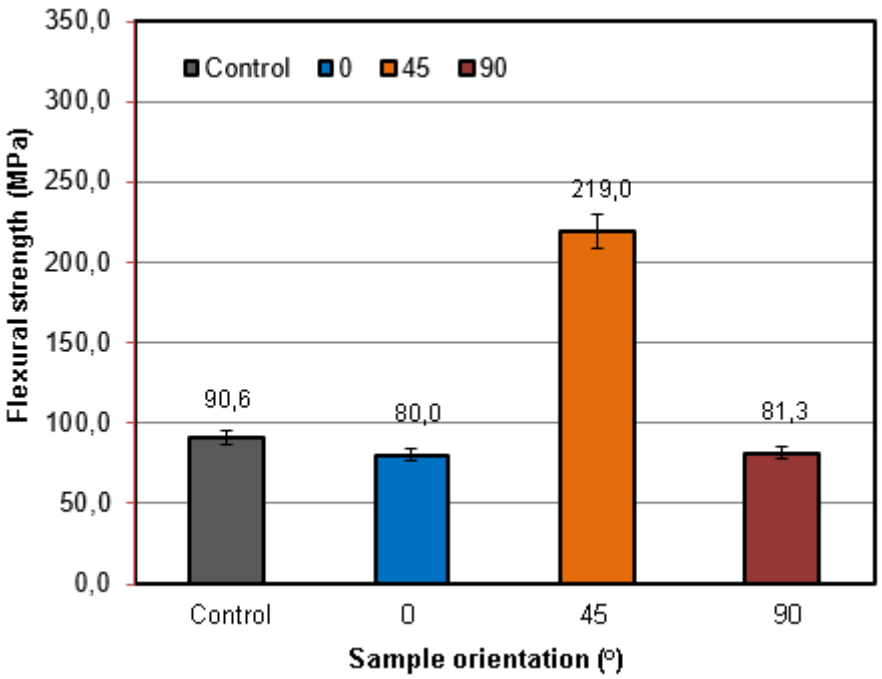


Figure 1. Relationship between bending strength and specimen orientation for a bidirectional X800 -45/+45 glass fibre woven (800 g/m²) reinforced polyester composite

The present results also demonstrate that the orientation giving the highest flexural strength is not necessarily the conventional 0° direction; rather, the optimum direction depends on the architecture of the reinforcement itself. This observation is particularly important for biaxial fabrics such as X800, in which the principal load-bearing fibres are arranged at ±45°. Similar orientation-dependent behaviour has been reported for woven glass-fibre composite structures, where changes in fibre orientation resulted in significant differences in flexural stress and modulus (Keleş et al., 2023). Overall, the results indicate that fibre orientation has a dominant effect on the flexural strength of X800 woven glass-fibre-reinforced polyester composites. The 45° specimen exhibited the highest performance, with a 141.7% improvement over the neat polyester, whereas the 0° and 90° specimens showed decreases of 11.7% and 10.3%, respectively. The exceptional performance at 45° is mainly associated with the alignment of the applied bending stress with the ±45° glass-fibre architecture of the X800 fabric, resulting in more effective stress transfer and higher load-carrying capacity. Therefore, the selection of fibre orientation should be considered a critical design parameter when X800 biaxial woven glass-fibre/polyester composites are intended for structural applications.

Figure 2 presents the relationship between the **flexural modulus and specimen orientation** of the polyester composite reinforced with **biaxial X800 (-45°/+45°) woven glass fibre fabric with an areal density of 800 g/m².** The flexural modulus of the neat unsaturated polyester used as the control material was **1710 MPa**. The flexural modulus values obtained for specimens cut from the composite plate at **0°, 45°, and 90°** were **3500, 4820, and 2670 MPa**, respectively. Compared with the control polyester, the specimen tested in the **0° direction exhibited a flexural modulus of 3500 MPa**, corresponding to an increase of **1790 MPa or 104.7%.** The highest flexural modulus was obtained for the **45° specimen,** with a value of **4820 MPa**, representing an increase of **3110 MPa or 181.9%** relative to the control material. In contrast,

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

the **90° specimen exhibited a flexural modulus of 2670 MPa**, corresponding to an increase of **960 MPa or 56.1%** compared with the neat polyester. Thus, all three fibre orientations resulted in higher flexural stiffness than the unreinforced polyester, although the magnitude of improvement was strongly dependent on specimen orientation. The substantial increase in flexural modulus after incorporation of the X800 woven glass fibre can be attributed to the **high elastic modulus of the glass fibres and their ability to carry a significant portion of the applied bending load.** During three-point bending, the outer surfaces of the specimen are subjected to tensile and compressive stresses, and the glass fibre reinforcement restricts deformation of the polyester matrix. Consequently, the stiffness of the composite becomes considerably higher than that of the neat resin. The increase from 1710 MPa for the control polyester to 4820 MPa at 45° demonstrates the strong reinforcing efficiency of the X800 fabric. The pronounced orientation dependence can be explained by the **-45°/+45° biaxial architecture of the X800 fabric**. For the 45° specimen, one of the principal fibre families is effectively aligned with the principal loading direction, allowing the glass fibres to contribute more efficiently to load transfer and resistance against bending deformation. Consequently, the highest flexural modulus was obtained in this direction. In contrast, for the 0° and 90° specimens, both principal fibre families are oriented obliquely with respect to the specimen axis, increasing the contribution of the polyester matrix and interfacial shear deformation to the overall flexural response. The difference between the 0° and 90° results may additionally be associated with the fabric architecture, local fibre waviness, resin-rich regions, and differences in the effective load transfer between the two directions.

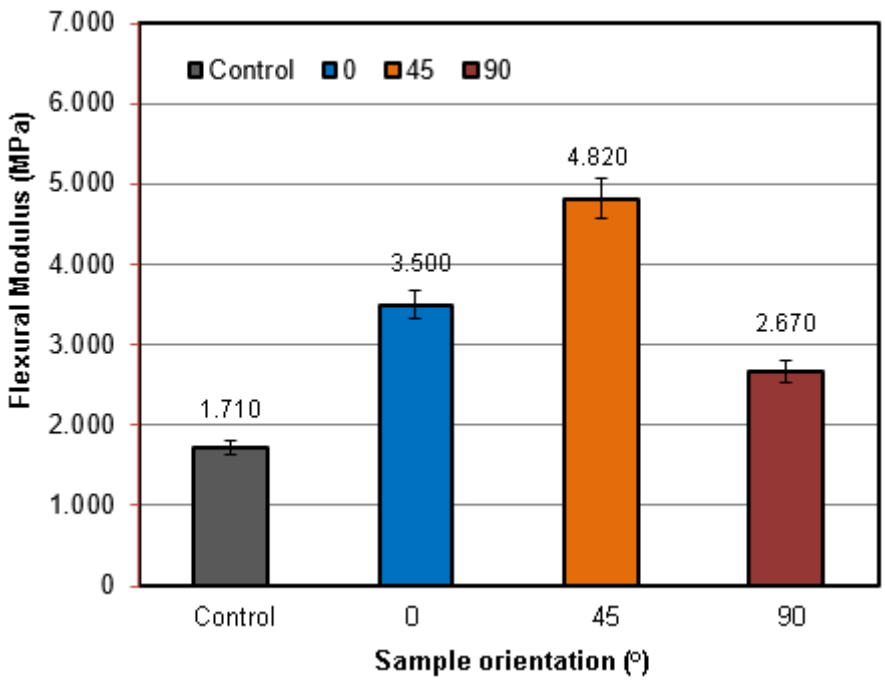
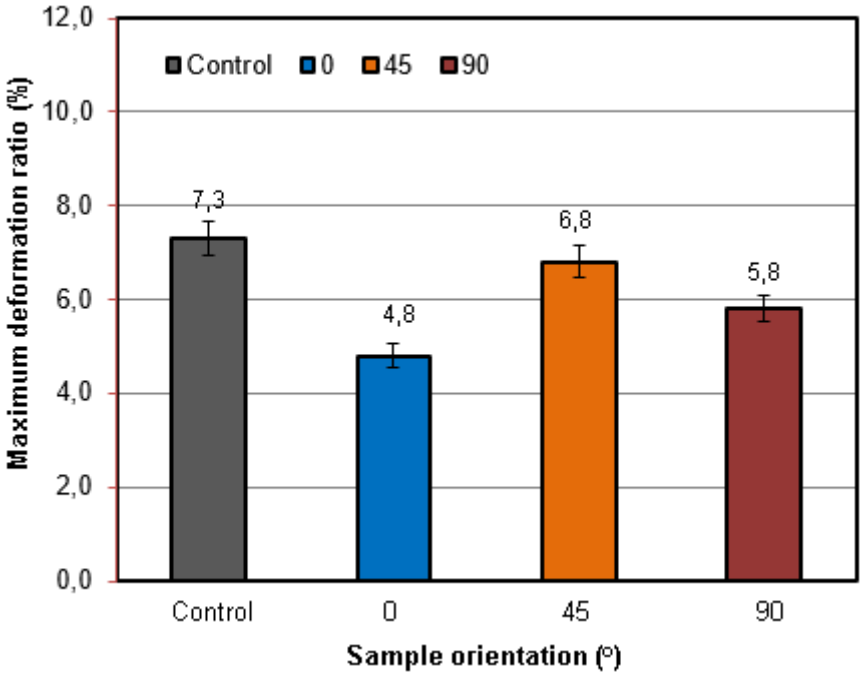


Figure 2. Relationship between the flexural modulus of elasticity and the specimen orientation for a biaxial X800 -45/+45 glass fibre woven, 800 g/m² reinforced polyester composite

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

The present findings are consistent with previous research demonstrating that the stiffness of woven glass-fibre composites is highly dependent on fibre architecture and loading direction. **Bilisik and Yolacan (2011)** reported that the flexural properties of E-glass/polyester composites were affected by yarn orientation, number of layers, and total fibre volume fraction, confirming the important role of reinforcement architecture in determining composite stiffness. Similarly, **Bilisik and Yolacan (2015)** investigated biaxial woven E-glass/polyester composites and reported bending modulus values ranging approximately from **8.81 to 18.11 GPa,** depending on the fabric configuration, stitching condition, and loading direction. Their results also demonstrated differences between the warp and weft directions, emphasizing the directional nature of woven-fibre composites. The strong orientation effect observed in the present study is also consistent with the general behaviour of glass-fibre-reinforced polymers. **Gonabadi et al. (2022)** demonstrated substantial anisotropy in the elastic modulus of GFRP composites, reporting an elastic modulus of approximately **21.6 GPa for 0°/90° reinforcement compared with 9.5 GPa for ±45° reinforcement** under tensile loading. This demonstrates that changing the angle between the reinforcement and loading direction can substantially modify composite stiffness. Overall, the results demonstrate that **fibre orientation has a significant influence on the flexural modulus of X800 woven glass-fibre-reinforced polyester composites.** The modulus increased by **104.7%, 181.9%, and 56.1%** at 0°, 45°, and 90°, respectively, relative to the neat polyester. The **45° orientation provided the highest stiffness (4820 MPa),** indicating that the ±45° architecture of the X800 fabric can be particularly effective when the reinforcement direction is appropriately aligned with the dominant bending load. These results highlight that the orientation of the specimen relative to the woven reinforcement should be carefully considered when designing structural components from X800/glass-fibre-reinforced polyester composites.



ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Figure 3. Relationship between the maximum strain under bending and the specimen orientation for a biaxial X800 -45/+45 glass fibre woven, 800 g/m² reinforced polyester composite

Figure 3 presents the relationship between the **flexural strain and specimen orientation** of the polyester composite reinforced with **biaxial X800 (−45°/+45°) woven glass fibre fabric with an areal density of 800 g/m².** The flexural strain of the neat unsaturated polyester used as the control material was **7.3%.** The flexural strain values obtained from the specimens cut at **0°, 45°, and 90°** were **4.8%, 6.8%, and 5.8%,** respectively. Compared with the control material, the **0° specimen exhibited a flexural strain of 4.8%,** corresponding to a decrease of **2.5 percentage points or 34.2%.** The **45° specimen showed a flexural strain of 6.8%,** corresponding to a relatively small decrease of **0.5 percentage points or 6.8%** compared with the neat polyester. In the **90° orientation,** the flexural strain was **5.8%,** representing a decrease of **1.5 percentage points or 20.5%** relative to the control. Therefore, the highest deformation capacity was obtained at **45°**, whereas the lowest flexural strain was observed at **0°**. The reduction in flexural strain after incorporation of the X800 woven glass fibre can primarily be attributed to the **restrictive effect of the high-stiffness glass fibres on deformation of the polyester matrix.** Glass fibres possess considerably higher stiffness than the polyester matrix and consequently limit the ability of the composite to undergo large deformation under bending. This behaviour is consistent with the increase in flexural modulus observed in the present study. In particular, the flexural modulus increased from **1710 MPa for the neat polyester to 4820 MPa at 45°,** indicating substantially increased resistance to deformation. Therefore, the lower strain values of the reinforced composites can be considered a direct consequence of their increased flexural stiffness. The results also demonstrate that **specimen orientation significantly affects the deformation behaviour of the X800 composite.** The 45° specimen exhibited the highest strain value (6.8%), which was very close to that of the neat polyester (7.3%). This behaviour can be related to the **−45°/+45° architecture of the X800 fabric.** Depending on the cutting direction and the orientation of the fibre bundles relative to the applied bending load, deformation can be accommodated through a greater contribution from fibre rotation, interfacial shear, and matrix deformation. Consequently, the 45° configuration exhibited greater deformation before failure than the 0° and 90° configurations. However, this interpretation should be considered together with the exact definition of the specimen reference direction used in Figure 3.

The present findings are in agreement with the directional behaviour reported for woven E-glass/polyester composites. **Bilisik and Yolacan (2015)** investigated the warp–weft bending behaviour of biaxial woven E-glass/polyester composites and reported bending strains ranging approximately from **2.89% to 4.28% in the warp direction and from 2.51% to 4.12% in the weft direction,** depending on the composite architecture and reinforcement configuration. The authors also demonstrated that changes in fibre architecture and stitching conditions significantly affected bending strain and stiffness. Generally, the present results indicate that increasing the glass-fibre reinforcement substantially **reduces the flexural strain compared with neat polyester,** while the magnitude of this reduction depends strongly on specimen orientation. The decreases of **34.2%, 6.8%, and 20.5%** at 0°, 45°, and 90°, respectively, indicate that the **45° orientation provides the greatest deformation capability** among the

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

investigated directions. This behaviour, together with the previously observed variation in flexural strength and modulus, confirms that the **orientation of the specimen relative to the ±45° architecture of the X800 fabric is a critical parameter governing the flexural response** of the composite.

4. CONCLUSIONS

1. The neat unsaturated polyester exhibited a flexural strength of 90.6 MPa, while the X800 (−45°/+45°) woven glass fibre-reinforced composites showed 80.0, 219.0, and 81.3 MPa at 0°, 45°, and 90°, respectively. Compared with the control, these values correspond to changes of −11.7%, +141.7%, and −10.3%, respectively. The highest flexural strength was therefore obtained at 45°.
2. The flexural modulus increased from 1710 MPa for the neat polyester to 3500, 4820, and 2670 MPa at 0°, 45°, and 90°, corresponding to increases of 104.7%, 181.9%, and 56.1%, respectively. The maximum stiffness was obtained at 45°, demonstrating the significant reinforcing effect of the X800 ±45° architecture.
3. The flexural strain decreased from 7.3% for the control polyester to 4.8%, 6.8%, and 5.8% at 0°, 45°, and 90°, corresponding to reductions of 34.2%, 6.8%, and 20.5%, respectively. This reduction is mainly attributed to the restriction of matrix deformation by the high-stiffness glass fibres, consistent with previous findings for woven E-glass/polyester composites.
4. The results demonstrate that specimen orientation significantly affects the flexural behaviour of X800-reinforced polyester composites. The 45° specimens provided the optimum combination of flexural strength (219 MPa), modulus (4820 MPa), and strain (6.8%), confirming the strong influence of fibre architecture and orientation on load transfer and deformation behaviour.
5. Considering the three flexural parameters together, the 45° orientation exhibited the most favourable overall performance. The increased strength and stiffness indicate effective stress transfer between the polyester matrix and the ±45° glass-fibre bundles, while the reduction in strain reflects the enhanced resistance to bending deformation. Overall, the results confirm that fibre orientation is a critical design parameter for X800 woven glass fibre/polyester composites. Their combination of high flexural strength and stiffness, low density, and corrosion resistance makes them potentially suitable for marine structures, automotive components, transportation panels, pipes, tanks, construction panels, machine housings, and lightweight structural applications.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this study would like to express their sincere thanks to SUBOR Pipe Co. and its R&D team for the provision of materials, the use of testing equipment and the production of samples.

REFERENCES

[1] Ali, I., Khan, A., and Kim, I. S. (2018). Evolution of structural, electrical, and mechanical response of 3D robust network and conducting mechanically modified glass fabric-polyester

composites with devisable 1D VGCNF. *Composites Part B: Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.038

[2] Bilisik, K., and Yolacan, G. (2011). Multiaxis multilayered non-interlaced/non-Z E-glass/polyester preform composites and determination of flexural properties by statistical model. *Journal of Reinforced Plastics and Composites, 30*(12), 1065–1083. https://doi.org/10.1177/0731684411414753

[3] Bilisik, K., and Yolacan, G. (2015). Warp–weft directional bending properties of multistitched biaxial woven E-glass/polyester nano-composites. *Journal of Industrial Textiles, 45*(1). https://doi.org/10.1177/1528083714523163

[4] Cava, K., Ipek, H., Usun, A., and Aslan, M. (2024). Examine the mechanical properties of woven glass fibre fabric reinforced composite plate manufactured with vat-photo-polymerization. *Polymer Composites, 45*(18), 17105–17120. https://doi.org/10.1002/pc.28955

[5] Gonabadi, H., Oila, A., Yadav, A., and Bull, S. (2022). Investigation of anisotropy effects in glass fibre reinforced polymer composites on tensile and shear properties using full field strain measurement and finite element multi-scale techniques. *Journal of Composite Materials*. https://doi.org/10.1177/00219983211054232

[6] Keleş, M., Topbaşoğlu, M. C., and Yıldırım, K. (2023). The effect of gel-coat usage and fibre lamination on mechanical properties in parts produced by vacuum infusion method. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 11*(1), 197–209. https://doi.org/10.29109/gujsc.1208334

[7] Kusmono K., and Arifin Mohd Ishak, Z. (2013). Effect of clay addition on mechanical properties of unsaturated polyester/glass fibre composites. *International Journal of Polymer Science, 2013*, 797109. https://doi.org/10.1155/2013/797109

[8] Oleiwi, J. K., Al-Hassani, E. S., and Mohammed, A. A. (2014). Experimental investigation and mathematical modeling of tensile properties of unsaturated polyester reinforced by woven glass fibres. *Engineering and Technology Journal, 32*(3), 653–666. https://doi.org/10.30684/etj.32.3A.8

[9] Owen, M. J., et al. (1991). Static and fatigue tests of a woven glass fabric composite under biaxial tension-torsion loading. *Composites, 22*(4), 281–289. https://doi.org/10.1016/0010-4361(91)90003-Y

[10] Pardini, L. C., and Brondsted, P. (2005). Hybrid effects in polymeric composite materials. *Materials Research, 8*(2), 155-163.

[11] Paundra, F., Istanto, D., Pujiyulianto, E., Arif, M. F., and Hastuti, S. (2024). Effect of layers on delamination and tensile strength of woven fibre composites with polyester matrix. *Jurnal Teknik Mesin, 21*(1), 11-20. https://doi.org/10.9744/jtm.21.1.11-20

[12] Pedroso, A.G., Rosa, D.S., and Atvars, T.D.Z. (2004). The role of additives in the manufacture of sheets of unsaturated polyester and postconsumer unsaturated polyester/glass fibre composites: Mechanical and dynamic mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science, 92*(3), 1834-1839. https://doi.org/10.1002/app.20164

[13] Pavlidou, S., Mai, S., Zorbas, T., and Papaspyrides, C. D. (2004). Mechanical properties of glass fabric/polyester composites: Effect of silicone coatings on the fabrics. *Journal of Applied Polymer Science, 91*(2), 1300-1308. https://doi.org/10.1002/app.13277

[14] Sapuan, S. M., Aulia, H. S., Ilyas, R. A., Atiqah, A., Dele-Afolabi, T. T., Nurazzi, M.N., Supian, A.B.M., and Atikah, M.S.N. (2020). Mechanical properties of longitudinal basalt/woven-glass fibre-reinforced unsaturated polyester resin hybrid composites. *Polymers, 12*(10), 2211. https://doi.org/10.3390/polym12102211

[15] Sinha, A., and Srivastava, V. K. (2019). Unsaturated polyester resins, blends, interpenetrating polymer networks, composites, and nano-composites: State of the art and new

challenges. In *Unsaturated Polyester Resins: Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00001-6
[16] Sreekumar, P. A., et al. (2001). Interfacial effects in glass fibre composites as a function of unsaturated polyester resin composition. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *32*(3-4), 511-516. https://doi.org/10.1016/S1359-835X(00)00113-5
[17] Wypych, G. (2019). *Handbook of polymers*. ChemTec Publishing.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

TENSILE PROPERTIES OF BIAXIAL GLASS FIBER WOVEN-REINFORCED UNSATURATED POLYESTER COMPOSITE MATERIAL

Material Engineer İBRAHİM KURTEN[1], Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL[2]

[1] SUBOR PIPE Company, Karapürçek/Sakarya, ibrahimkrtn@gmail.com - ORCID ID : 0000-0002-5862-5359

[2] Sakarya University of Applied Science, Faulty of Technology, unal@subu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0003-0521-6647

ABSTRACT

Glass fiber woven fabric-reinforced polyester composites are widely used in automotive, marine, construction, energy, transportation, and mechanical engineering applications due to their low density, high specific strength and stiffness, good corrosion resistance, dimensional stability, and ease of fabrication into various geometries. In particular, the load-bearing capacity of woven glass fibers in different orientations is an important parameter for understanding the anisotropic mechanical behaviour of composite materials. In this study, the effect of a biaxial glass fiber woven fabric with a 0/90° orientation on the tensile behaviour of polyester-based composites was experimentally investigated. Composite plates with dimensions of 300 × 300 × 4 mm³ were manufactured in a layered configuration using the hand lay-up technique. A Metyx LT850E10H-0/90 biaxial E-glass fiber fabric, with 1200 Tex fibers in both the 0° and 90° directions and a total areal weight of 837 g/m², was used as the reinforcement material. Tensile specimens were prepared in accordance with ASTM standards and tested at a crosshead speed of 5 mm/min. Tensile strength, tensile modulus, and elongation at break were evaluated, and the results were compared with those of the unreinforced unsaturated polyester control material. The results demonstrated that biaxial glass fiber fabric reinforcement significantly altered the tensile properties and deformation behaviour of the composite. Compared with the control material, tensile strength increased by approximately 535%, 142%, and 900% in the 0°, 45°, and 90° specimen orientations, respectively. The tensile modulus increased by approximately 199%, 8%, and 143% in the corresponding orientations. Similarly, the elongation at break increased by approximately 426%, 545%, and 834%, respectively. The highest tensile strength and elongation at break were obtained in the 90° orientation, whereas the highest tensile modulus was observed in the 0° orientation. Overall, the findings demonstrate that biaxial glass fiber fabric reinforcement substantially improves the mechanical performance of polyester composites and that specimen orientation has a pronounced influence on tensile strength, stiffness, and deformation capacity.

Keywords: Biaxial glass fiber, Polyester composite, Tensile strength, Tensile modulus, Elongation at break

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

1. INTRODUCTION

Composite materials are engineered materials produced by combining two or more constituents with different physical and mechanical characteristics in order to obtain a combination of properties that cannot be achieved by the individual constituents alone. In general, a composite consists of a reinforcement phase responsible for carrying the applied load and a matrix phase that surrounds the reinforcement and facilitates load transfer between the reinforcing elements. One of the major advantages of composite materials is the possibility of tailoring their mechanical performance by modifying the type, volume fraction, geometry, architecture, and orientation of the reinforcement. Their combination of low density, high specific strength, and high specific stiffness has made fiber-reinforced composites attractive alternatives to conventional metallic materials in many engineering applications. Accordingly, polymer matrix composites are extensively employed in aerospace, automotive, marine, wind energy, construction, transportation, sports equipment, and mechanical engineering applications (Daniel & Ishai, 2006; Mallick, 2007). The mechanical response of a composite is governed not only by the intrinsic properties of its constituents but also by the reinforcement architecture and loading direction. Therefore, anisotropic behavior and the relationship between fiber orientation and applied loading direction are fundamental considerations in the design and characterization of fiber-reinforced composite structures (Jones, 1998; Daniel & Ishai, 2006).

Polymer matrix composites constitute an important class of engineering materials because of their low density, ease of processing, high specific mechanical properties, and compatibility with a wide range of manufacturing techniques. Thermosetting and thermoplastic polymers can be employed as matrix materials depending on the intended application and processing requirements. Among thermosetting matrices, epoxy, vinyl ester, and unsaturated polyester resins are widely used in fiber-reinforced composites. Unsaturated polyester resins are particularly attractive because of their relatively low cost, low viscosity, ease of processing, room-temperature curing capability, and good compatibility with glass fiber reinforcements. These characteristics make unsaturated polyester-based composites suitable for the manufacture of large and geometrically complex components. Nevertheless, the mechanical performance of glass fiber/unsaturated polyester composites is affected not only by the amount of reinforcement but also by resin formulation, fiber-matrix interfacial adhesion, manufacturing conditions, void content, and fiber architecture. The fiber-matrix interface plays a critical role in transferring the applied load from the polymer matrix to the high strength glass fibers, consequently, interfacial adhesion can have a significant influence on the tensile performance of the resulting laminate (Barany et al., 2001).

Glass fibers are among the most extensively used reinforcement materials for polymer matrix composites. E-glass fibers, in particular, are widely employed because of their high tensile strength, adequate elastic modulus, chemical resistance, thermal stability, and relatively low cost. Glass fibers can be supplied in several forms, including continuous filaments, roving's, chopped strands, mats, and woven fabrics. The selected reinforcement form has a direct influence on both the manufacturing characteristics and mechanical response of the composite. Sathishkumar et al. (2014) reported that glass fiber-reinforced polymer composites are widely employed in engineering applications because of their favorable combination of strength,

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

stiffness, flexibility, durability, and chemical resistance. The use of glass fibers in woven form provides an additional structural advantage because the fibers can be arranged along two or more principal directions, allowing the applied load to be distributed between different fiber families. This characteristic is particularly important for structural components subjected to multidirectional loading conditions.

Woven glass fiber fabrics generally consist of continuous fiber bundles arranged in warp and weft directions. Compared with unidirectional reinforcements, this architecture can provide a more balanced load-bearing capability in multiple directions. However, the weaving process introduces fiber crimp, yarn intersections, and possible differences between the warp and weft structures, all of which can influence the mechanical performance of the composite. Consequently, fabric architecture, yarn linear density or Tex value, fiber volume fraction, and specimen orientation are important parameters governing the tensile response of woven composites. In a biaxial 0°/90° woven architecture, the applied load is primarily carried by the fiber bundles aligned with the loading direction. Under off-axis loading, such as at 45°, load transfer involves a greater contribution from the polymer matrix and the fiber-matrix interface. As a result, tensile strength, elastic modulus, and elongation at break may vary considerably with specimen orientation (Jones, 1998; Mallick, 2007).

Several studies have demonstrated that the tensile performance of woven glass fiber-reinforced polymer composites is strongly dependent on fiber orientation. Zhou and Davies (1995) investigated the tensile, compressive, and shear behavior of thick woven glass fiber/polyester laminates and reported that the mechanical properties in the 0° direction could be considerably higher than those in the 90° direction when the fiber distribution was not perfectly balanced. Their observations also indicated that damage development was associated with interfacial de-bonding, delamination, and eventual fiber fracture. These findings demonstrate that woven fabric architecture influences not only the strength of the laminate but also its damage mechanisms.

The effect of fabric orientation on composite mechanical behavior was also investigated by Karaduman et al. (2006), who examined laminates manufactured using different fabric orientations. Their results showed that the orientation of fabric layers had a substantial influence on both tensile and flexural behavior. This observation confirms that the mechanical properties of woven composites cannot be attributed solely to the constituent materials; rather, the geometric arrangement of the reinforcement within the laminate is also a major governing factor. Oleiwi et. al. (2014) investigated the tensile properties of woven glass fiber-reinforced unsaturated polyester composites as a function of fiber volume fraction and fiber orientation. The composites were manufactured using the hand lay-up technique, and tensile modulus, ultimate tensile strength, and elongation were evaluated. Their results demonstrated that both fiber volume fraction and fiber orientation significantly affected the tensile properties. In particular, the 0°/90° configuration exhibited a different load-bearing response from the ±45° configuration, highlighting the importance of reinforcement orientation in unsaturated polyester composites. Bilisik and Yolacan (2014) examined the off-axis tensile behavior of multistitched, multilayer plain-woven E-glass/polyester composites, with particular emphasis on ±45° loading conditions. Their results indicated that both the fabric architecture and stitching configuration influenced the off-axis tensile response. Such findings emphasize that the angle between the

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

applied load and the principal fiber directions is a critical design parameter when evaluating the tensile performance of woven composites. Cai et al. (2017) experimentally compared unidirectional and woven glass/epoxy composites under different off-axis tensile loading conditions. Their results showed that the elastic modulus and tensile strength generally decreased as the loading direction deviated from the principal fiber direction. They also reported nonlinear stress-strain behavior for woven fabric composites under off-axis tensile loading. These observations further demonstrate the strong relationship between reinforcement orientation and tensile performance in textile-based composite systems.

Zhao et. al. (2019) investigated the tensile damage initiation and final failure behavior of plain-woven glass fiber composites under on-axis and off-axis loading conditions. Their findings demonstrated that changes in loading direction produced different damage and failure mechanisms, confirming the pronounced anisotropic nature of woven glass fiber composites. Such results indicate that both principal and off-axis loading conditions should be considered when designing woven composite structures for practical applications. More recent research has continued to demonstrate the importance of fabric architecture and orientation. Çava et al. (2024), for example, investigated woven glass fiber composites manufactured using a Metyx 0°/90° glass fabric and examined the effect of different fabric orientations on mechanical behavior. Their observations highlighted the influence of fiber orientation on mechanical performance and emphasized the importance of adequate fiber impregnation and minimizing void formation during composite manufacturing. Generally, the literature indicates that the tensile behavior of woven glass fiber-reinforced polyester composites is governed by the combined effects of fiber orientation, fabric architecture, fiber volume fraction, yarn Tex value, fiber-matrix interfacial adhesion, and manufacturing conditions. However, relatively limited attention has been given to the systematic characterization of specific commercial woven fabrics, particularly with respect to their warp and weft yarn Tex values and total areal weight, and their relationship with tensile performance at different specimen orientations.

Therefore, the present study focuses on the tensile behavior of an Metyx LT800 (0°/90°) biaxial E-glass woven fabric-reinforced unsaturated polyester composite. The main objective is to determine the influence of the woven reinforcement architecture and specimen orientation on the tensile strength, tensile modulus, and elongation at break of the composite. For this purpose, composite laminates were manufactured and tensile specimens were prepared at 0°, 45°, and 90° relative to the principal fabric directions. The resulting tensile properties were evaluated and compared with those of the unreinforced polyester control material. The study is intended to contribute to a better understanding of the direction-dependent mechanical performance of 0°/90° biaxial woven glass fiber composites and to provide useful information for orientation-based material selection and structural design of woven glass fiber-reinforced polyester components.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials:

The composite system was designed using Metyx LT800 (0°/90°) woven glass fiber fabric as the reinforcement and a terephthalic-type unsaturated polyester resin as the matrix. The

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

polyester resin was obtained from Boytek Co., Istanbul, Türkiye, and methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) was employed as the curing agent. The resin system was cured at room temperature following the incorporation of MEKP.

2.2. Preparation of Composites:

The composite laminates were produced by combining unsaturated polyester resin with Metyx LT800 (0°/90°) woven glass fibre fabric through a conventional hand lay-up process. A mold was used to fabricate the laminates with a target thickness of approximately 4 mm. The glass fibre fabric was sequentially positioned within the mold, and each layer was impregnated with the polyester resin to promote uniform wetting and minimize resin-rich regions within the laminate. Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) was incorporated into the polyester resin as the curing agent, allowing the laminate to cure under ambient conditions. Following completion of the room-temperature curing process, the consolidated composite plates were demolded. Test specimens were subsequently prepared from the laminates at 0°, 45°, and 90° relative to the principal fiber directions. Specimen preparation and dimensional requirements were established in accordance with the applicable ASTM standard. The selected specimen orientations enabled the influence of fiber architecture and loading direction on the flexural response of the woven glass fiber-reinforced polyester composite to be systematically evaluated. The stages of composite production are shown in Figure 1 below.

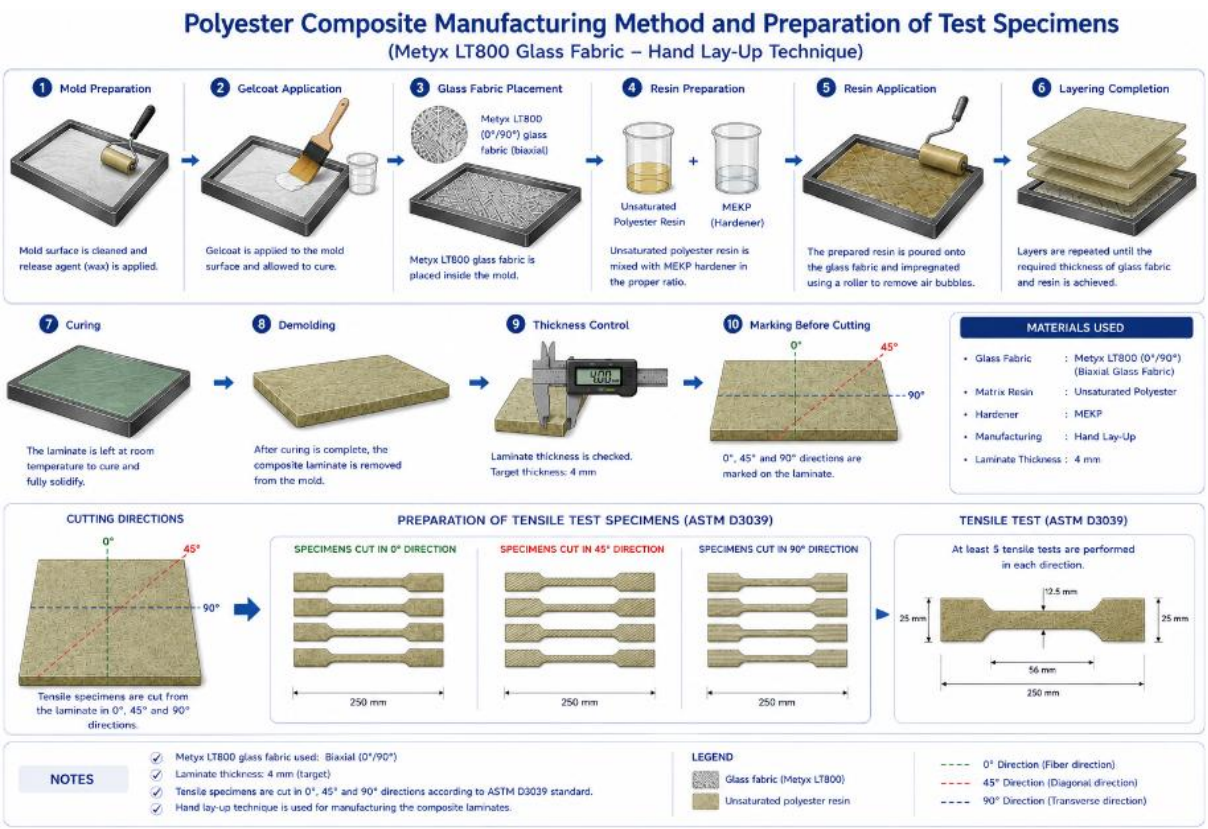


Figure 1. Production stages of a woven fibre-reinforced unsaturated polyester-based composite

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2.3. Tensile Test Procedure

The tensile properties of the woven glass fiber-reinforced polyester composites were determined in accordance with **ASTM D3039**. Tensile tests were performed using a **Zwick Roell Z250** universal testing machine, with a minimum of five specimens tested for each specimen orientation. The specimens were prepared at **0°, 45°, and 90°** with respect to the principal fiber directions of the composite laminates. All tests were conducted at a constant crosshead speed of **10 mm/min** under ambient laboratory conditions at approximately **50% relative humidity.** During testing, the applied tensile force and axial deformation of the specimens were continuously recorded. The tensile strength was calculated as the ratio of the maximum tensile load to the initial cross-sectional area of the specimen using the equation $\boldsymbol{\sigma = Fmax/A_0}$**,** where σ is the tensile strength (MPa), Fmax is the maximum tensile force (N), and A_0 is the initial cross-sectional area (mm²). The tensile elastic modulus was determined from the slope of the stress–strain curve within the linear elastic region according to $\mathbf{E = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon}$. The elongation at break was calculated as the percentage ratio of the increase in gauge length at fracture to the initial gauge length using $\boldsymbol{\varepsilon_\beta = [(L_\beta - L_0)/L_0] \times 100}$**,** where L_β and L_0 represent the gauge lengths at fracture and before testing, respectively. The resulting tensile strength, elastic modulus, and elongation-at-break values were compared to evaluate the influence of fiber orientation on the tensile behavior of the woven glass fiber-reinforced polyester composites.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The relationship between tensile strength and specimen orientation for the LT800 glass fiber reinforced, 800 g/m² polyester composite, woven with a 0° angle at the top and a 90° angle at the bottom, is shown in Figure 2 below. In the experiments, the tensile strength of the control material was determined to be 38.9 MPa. For the composite reinforced with Metyx LT850E10H-0/90 biaxial woven glass fiber, the tensile strengths measured in the 0°, 45°, and 90° specimen directions were 302, 87.3, and 299 MPa, respectively. Accordingly, compared with the control material, the tensile strength increased by 676.3% in the 0° direction, 124.4% in the 45° direction, and 668.6% in the 90° direction. Thus, the highest tensile strength was obtained in the 0° direction, while the value in the 90° direction was also very close to that obtained at 0°. In contrast, a pronounced reduction in tensile strength was observed in the 45° direction. This behavior can be explained by the anisotropic structure of the composite and the relationship between the loading direction and the fiber orientation. In the 0° and 90° specimen directions, the applied tensile load directly or largely coincides with one of the principal fiber directions of the woven fabric. Therefore, efficient load transfer from the polyester matrix to the high-strength E-glass fibers becomes possible. As a result, the fibers become the primary load-bearing component governing the tensile strength of the composite. In particular, the relatively close tensile strength values obtained in the 0° and 90° directions indicate that the LT850 fabric provides effective reinforcement in both principal directions. In contrast, the relatively low tensile strength of 87.3 MPa in the 45° direction compared with those in the 0° and 90° directions may be attributed to the fact that the applied load is not aligned with the fiber axes. Under this loading condition, a significant portion of the tensile load is transferred through

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

the polyester matrix and the fiber–matrix interface rather than directly along the fibers. In addition, fiber shearing, rotation, and interfacial damage may become more pronounced. Similarly, Ansari et.al. (2022) reported that, in 0°/90° woven GFRP laminates, the fibers contribute more effectively to load carrying, whereas in ±45° laminates, the load-bearing mechanism is influenced to a greater extent by the fiber–matrix interface. These results are also consistent with the general trends reported in the literature. Oleiwi et. al. (2014) demonstrated that fiber volume fraction and fiber orientation have a significant influence on the tensile strength, tensile modulus, and elongation at break of woven glass fiber/unsaturated polyester composites. Similarly, Ansari et al. (2022) reported that 0°/90° woven laminates exhibited higher tensile strength than ±45° laminates. The high tensile strengths observed in the 0°/90° directions and the lower strength in the 45° direction in the present study can therefore be explained by the same fundamental mechanism. In addition, a study conducted in 1995 on woven glass fabric/polyester laminates reported that the amount of fiber oriented along the loading direction significantly affects the tensile properties, resulting in direction-dependent mechanical behavior. In conclusion, incorporating LT850E10H-0/90 woven glass fiber into the polyester matrix significantly increased the tensile strength in all specimen directions; however, the magnitude of this increase depended strongly on the specimen orientation. The 0° and 90° directions exhibited high-strength, fiber-dominated behavior, whereas the 45° direction exhibited lower-strength behavior in which matrix and interfacial effects were more pronounced. Therefore, LT850E10H-0/90 woven glass fiber can be considered a suitable reinforcement architecture, particularly for structural applications in which the primary loads are expected to be carried along the 0°/90° directions.

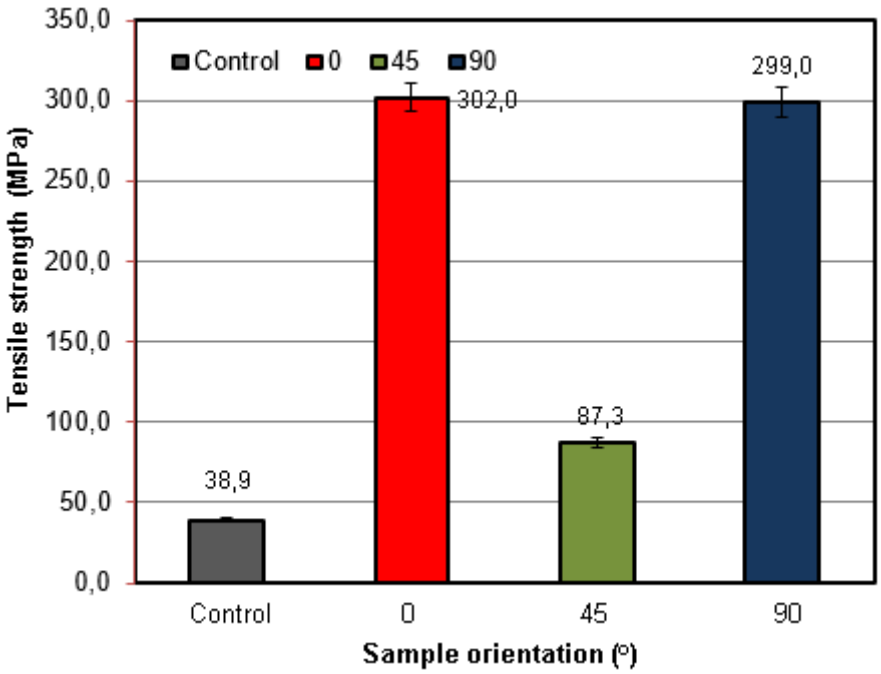


Figure 2. Tensile strength-specimen orientation relationship for a biaxial LT800 0/90 top/bottom glass fibre woven, 800 g/m² reinforced polyester composite

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Figure 3 shows the relationship between the tensile modulus and the specimen orientation for a two-axis, LT800 glass fiber-woven, 800 g/m² reinforced polyester composite with an angle of 0° at the top and 90° at the bottom. In the experiments, the tensile modulus of the control material was determined to be 1350 MPa. For the composites reinforced with Metyx LT850E10H-0/90 biaxial woven glass fiber, the tensile modulus values were measured as 5700, 3680, and 5017 MPa in the 0°, 45°, and 90° specimen directions, respectively. Accordingly, compared with the control material, the tensile modulus increased by 322.2% in the 0° direction, 172.6% in the 45° direction, and 271.6% in the 90° direction. These results demonstrate that the incorporation of LT850E10H-0/90 woven glass fiber substantially improves the stiffness of the polyester matrix in all specimen directions. The highest tensile modulus was obtained in the 0° direction, followed by the 90° direction, whereas the lowest value was observed in the 45° direction. This behavior can be explained by the anisotropic structure of the composite, fiber orientation, and the relationship between the loading direction and the principal fiber directions. Since the tensile modulus represents the resistance of a material to elastic deformation, the presence of high stiffness E-glass fibers along or close to the loading direction enables the fibers to carry a significant portion of the applied load within the elastic region. Consequently, the highest tensile modulus of 5700 MPa in the 0° direction indicates efficient load transfer from the polyester matrix to the glass fibers and a strong contribution of the fibers to the overall elastic stiffness of the composite.

The relatively high tensile modulus of 5017 MPa in the 90° direction further demonstrates that the LT850E10H-0/90 fabric provides effective reinforcement in both principal fiber directions. The relatively small difference between the 0° and 90° values may be associated with differences in fiber distribution, fiber content, fiber crimp, fiber–matrix interaction, and specimen preparation. Nevertheless, the high modulus values obtained in both directions indicate that the elastic response of the composite is predominantly fiber-dominated. In contrast, the tensile modulus of 3680 MPa obtained in the 45° direction was considerably lower than those obtained in the 0° and 90° directions, although it remained 172.6% higher than that of the control material. This reduction can be attributed to the misalignment between the applied tensile load and the principal fiber directions. Under off-axis loading, the high axial stiffness of the glass fibers cannot be fully utilized. Instead, a greater contribution is made by matrix deformation, shear deformation between the fiber bundles, and stress transfer through the fiber–matrix interface. Consequently, the tensile modulus decreases as the loading direction deviates from the principal fiber directions.

This interpretation is consistent with the findings reported by Oleiwi et al. (2014) for woven glass fiber-reinforced unsaturated polyester composites. They reported that both the elastic modulus and tensile strength increased with increasing fiber volume fraction and that the 0°/90° fiber orientation exhibited higher elastic modulus and tensile strength than the 45°/−45° orientation. The authors attributed this behavior to the more effective distribution of the applied load between the fibers and matrix when the loading direction coincides with the principal fiber directions. Similarly, Ansari et al. (2022) reported a substantial difference in the tensile properties of woven glass fiber-reinforced laminates depending on fiber orientation. Their 0°/90° laminate exhibited a Young's modulus of 9.39 GPa, whereas the ±45° laminate showed a considerably lower value of 3.78 GPa. The authors associated the reduction in tensile

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

properties at off-axis orientations with the increasing contribution of the fiber-matrix interface and matrix-dominated deformation.

Therefore, the present results are in good agreement with the general behavior reported in the literature. The fact that both the tensile strength and tensile modulus exhibit their highest values in the 0° and 90° directions and lower values in the 45° direction confirms that the mechanical response of the LT850E10H-0/90 composite is strongly governed by fiber orientation and load-transfer efficiency. Although the 45° orientation does not allow the fibers to carry the applied load as efficiently as the principal directions, the tensile modulus remains substantially higher than that of the unreinforced polyester, demonstrating the significant contribution of the woven glass fiber reinforcement to the overall stiffness of the composite. In conclusion, incorporation of LT850E10H-0/90 woven glass fiber increased the tensile modulus of the polyester composite by 322.2%, 172.6%, and 271.6% in the 0°, 45°, and 90° directions, respectively. The 0° and 90° directions exhibited fiber-dominated and high-stiffness behavior, whereas the 45° direction showed comparatively lower stiffness because of the off-axis loading condition and the greater contribution of matrix and interfacial deformation. These findings indicate that LT850E10H-0/90 woven glass fiber is particularly effective for structural applications in which the principal loads are expected to act along the 0°/90° directions.

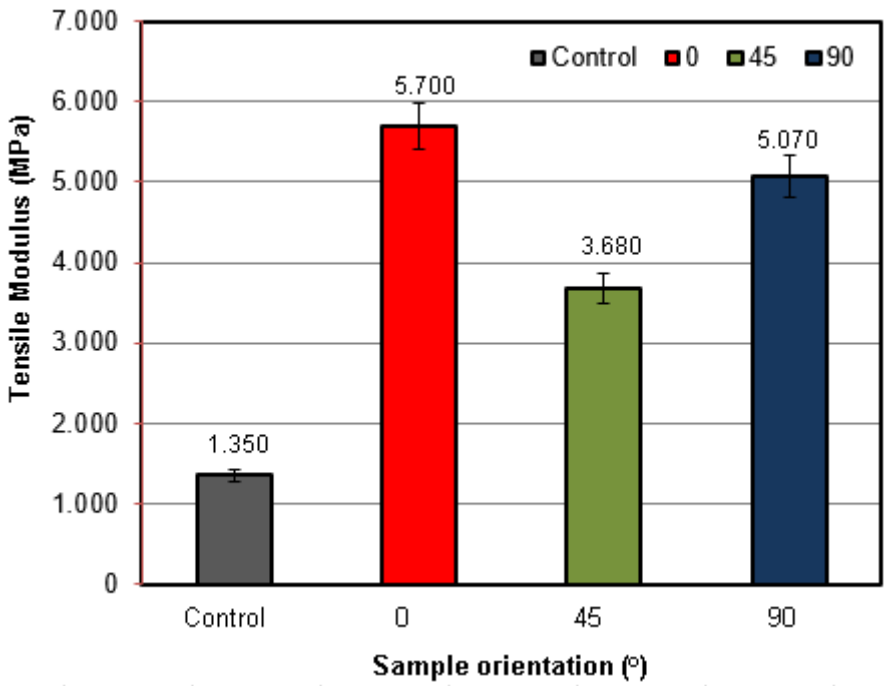


Figure 3. Tensile modulus-specimen orientation relationship for a biaxial LT800 0/90 top/bottom glass fibre woven, 800 g/m² reinforced polyester composite

The relationship between elongation at break and specimen orientation for the LT800 glass fiber reinforced, 800 g/m² polyester composite, woven with a 0° angle at the top and a 90° angle at the bottom, is shown in Figure 4 below. In the experiments, the elongation at break of the control material was 7.6%, while the LT850E10H-0/90 woven glass fiber-reinforced composites exhibited elongation at break values of 24%, 14%, and 34% in the 0°, 45°, and 90°

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

directions, respectively. Compared with the control material, these values represent increases of 215.8%, 84.2%, and 347.4%, respectively. The highest elongation was therefore obtained in the 90° direction, whereas the lowest value was observed in the 45° direction. The increase in elongation at break can be attributed to the anisotropic structure of the composite, fiber orientation, fiber–matrix interaction, and progressive damage mechanisms. In the 0° and 90° directions, the tensile load is aligned with the principal fiber directions, allowing effective stress transfer between the polyester matrix and E-glass fibers. Fiber bundle straightening, matrix deformation, and progressive interfacial damage can contribute to deformation before final fracture.

The lower elongation in the 45° direction (14%) can be associated with off-axis loading. In this orientation, the fibers cannot efficiently carry the load through axial deformation, resulting in greater contributions from matrix deformation, fiber rotation, shear, and interfacial stresses. This behavior is consistent with the lower tensile strength and modulus observed in the 45° direction. The particularly high elongation of 34% in the 90° direction suggests a more progressive failure mechanism. Factors such as fiber crimp, local fiber distribution, matrix deformation, and fiber–matrix interfacial behavior may allow greater deformation before final fracture. Generally, the results demonstrate that fiber orientation significantly affects the deformation and failure behavior of the composite. While the 0° direction provided the highest tensile strength and modulus, the 90° direction exhibited the highest elongation at break, confirming the strongly anisotropic mechanical behavior of the LT850E10H-0/90 reinforced polyester composite.

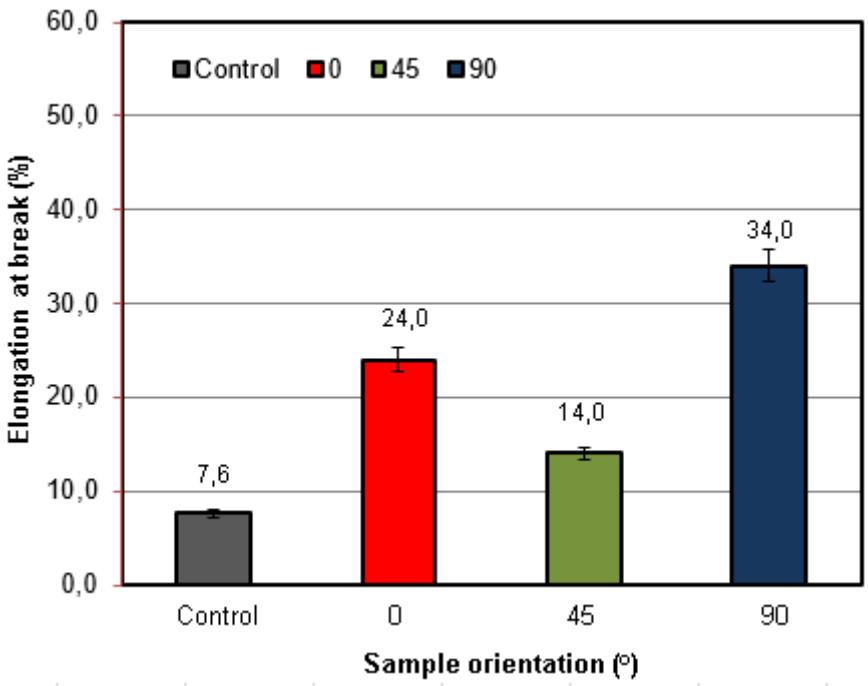


Figure 4. Elongation at break-specimen orientation relationship for a biaxial LT800 0/90 top/bottom glass fiber woven, 800 g/m² reinforced polyester composite

4. CONCLUSIONS

The following conclusions were drawn from the experimental study.

1. The incorporation of Metyx LT850E10H-0/90 biaxial woven glass fiber significantly improved the tensile strength, tensile modulus, and elongation at break of the polyester composite compared with the unreinforced matrix. This improvement is attributed to the effective load transfer between the polyester matrix and the E-glass fibers, demonstrating the strong reinforcing capability of the woven glass fiber.
2. Fiber orientation strongly influenced the mechanical and deformation behavior of the composite. The principal fiber directions provided higher strength and stiffness, whereas the off-axis direction exhibited comparatively lower mechanical performance. The differences in elongation at break among the specimen orientations further confirm the anisotropic behavior of the LT850E10H-0/90 woven glass fiber-reinforced polyester composite.
3. **Based on the obtained mechanical properties, the Metyx LT850E10H-0/90 woven glass fiber-reinforced polyester composite is suitable for lightweight structural and semi-structural applications**, particularly in panels, automotive components, marine structures, wind-energy components, construction elements, and industrial equipment where high tensile strength and stiffness are required primarily along the principal 0°/90° loading directions.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this study would like to express their sincere thanks to SUBOR Pipe Co. and its R&D team for the provision of materials, the use of testing equipment and the production of samples.

REFERENCES

[1] Ansari, M. T. A., Singh, K. K., and Azam, M. S. (2022). Observations of fatigue damage development in woven glass fiber-reinforced polymer composite using transmission light photography technique. *Polymers and Polymer Composites, 30*, 1-10. https://doi.org/10.1177/09673911221101300

[2] Barany, T., Izer, A., and Karger-Kocsis, J. (2001). Interfacial effects in glass fiber composites as a function of unsaturated polyester resin composition. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 32*(3-4), 511–516. https://doi.org/10.1016/S1359-835X(00)00113-5

[3] Bilisik, K., and Yolacan, G. (2014). Off-axis tensile properties of multistitched plain woven E-glass/polyester composites. *Fibers and Polymers, 15*(3), 589–598.

[4] Cai, D., Zhou, G., Wang, X., Li, C., and Deng, J. (2017). Experimental investigation on mechanical properties of unidirectional and woven fabric glass/epoxy composites under off-axis tensile loading. *Polymer Testing, 58*, 142–152. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.12.023

[5] Cava, K., İpek, H., Usun, A., and Aslan, M. (2024). Examine the mechanical properties of woven glass fiber fabric reinforced composite plate manufactured with vat-photo-polymerization. *Polymer Composites*. https://doi.org/10.1002/pc.28955

[6] Daniel, I. M., and Ishai, O. (2006). *Engineering mechanics of composite materials* (2nd ed.). Oxford University Press.

[7] Jones, R. M. (1998). *Mechanics of composite materials* (2nd ed.). Taylor & Francis.

[8] Karaduman, Y., et al. (2006). Tensile and bending behaviors of laminates with various fabric orientations. *Materials & Design*, *27*(10), 1086–1089. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.03.012

[9] Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design* (3rd ed.). CRC Press.

[10] Oleiwi, J. K., Al-Hassani, E. S., and Mohammed, A. A. (2014). Experimental investigation and mathematical modeling of tensile properties of unsaturated polyester reinforced by woven glass fibers. *Engineering and Technology Journal*, *32*(3), 653–666. https://doi.org/10.30684/etj.32.3A.8

[11] Sathishkumar, T. P., Satheeshkumar, S., and Naveen, J. (2014). Glass fiber-reinforced polymer composites - A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *33*(13), 1258–1275. https://doi.org/10.1177/0731684414530790

[12] Zhao, D., Wang, W., and Hou, Z. (2019). Tensile initial damage and final failure behaviors of glass plain-weave fabric composites in on- and off-axis directions. *Fibers and Polymers*, *20*(1), 147-157. https://doi.org/10.1007/s12221-019-8468-0

[13] Zhou, G., and Davies, G. A. O. (1995). Characterization of thick glass woven roving/polyester laminates: 1. Tension, compression and shear. *Composites*, *26*(8), 579–586. https://doi.org/10.1016/0010-4361(95)92622-J

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

DOĞAL AFETLERİN YÖNETİMİNDE MATEMATİKSEL DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI

Dr, AHMET YILDIRIM [1]

[1] Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, yildirim.ahmet@ege.edu.tr - 0000-0001-8989-4271

ÖZET

Doğal afetler; etkilenen ülkelerin sağlığı, altyapısı ve ekonomisi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu afetlerin etkilerini azaltmak ve afet yönetimi süreçlerinin etkinliğini artırmak amacıyla yapay zeka tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Doğal afetlerle ilgili kritik faktörleri belirlemek ve afet yönetimi sürecini desteklemek üzere, büyük veri yığınlarını analiz etmek için matematiksel temellere dayalı derin öğrenme modellerinden yararlanılmaktadır. Bu makalede, afet yönetiminde derin öğrenme yöntemlerine yönelik söz konusu matematiksel yaklaşımlar ele alınacaktır. Deprem, sel, orman yangını, heyelan veya taşkın yatağı hasarı riski taşıyan bölgeleri tespit etmek amacıyla uydu görüntülerinin analizinde; evrişimli sinir ağları, tekrarlayan sinir ağları ve dikkat mekanizmalarını taklit eden sinir ağlarına dayalı derin öğrenme modelleri kullanılmaktadır. Ayrıca, derin öğrenme modellerinin performansını artırmak için optimizasyon, olasılık teorisi ve doğrusal cebir gibi matematiksel yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar, derin öğrenme modellerine yönelik matematiksel yaklaşımların; doğal afetlerin meydana gelme olasılığının tahmin edilmesine, afetlere ilişkin risk analizlerinin iyileştirilmesine ve afet yönetimi süreçlerinde karar verme mekanizmalarının güçlendirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Söz konusu yöntemler, gelecekte doğal afet yönetimi için çok daha etkili çözümler sunacak şekilde daha da geliştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Afetler, Derin Öğrenme, Matematiksel Modelleme, Afet Yönetimi, Yapay Zeka.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ESTIMATION OF RISK MEASURES VIA IMPROVED GENETIC ALGORITHM

Prof. Dr. Birdal Şenoğlu[1], Dr. Özge Gürer[1], Assoc. Prof. Dr. Gamze Güven[2]

[1]Ankara University, Faculty of Science, Department of Statistics,
senoglu@science.ankara.edu.tr, ORCID ID:0000-0003-3707-2393
otanju@ankara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5565-5069
[2]Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Statistics
gamzeguven@ogu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8821-3179

ABSTRACT

Estimating Value-at-Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES) is very important problem in the field of actuarial science and insurance. Efficient estimation of these risk measures requires accurate modeling of the claim amounts. In practice, the distribution of claim amounts is generally right-skewed and heavy-tailed. Therefore, statistical distributions such as lognormal, log-logistic and Pareto are frequently used for modeling such data in literature. However, they may be insufficient for modeling both the body and the tail of the data. Motivated by this issue, the distribution of claim amounts is assumed to be Kumaraswamy Log-Logistic (KumLL) in the present study since KumLL distribution provides great flexibility through different combinations of its shape parameters.

In this context, after examining the properties of the KumLL distribution in detail, maximum likelihood (ML) and minimum distance (MD) estimates of the KumLL distribution parameters and the corresponding risk measures VaR and ES are obtained. It should be noted that ML estimators cannot be obtained in closed forms. Therefore, we resort to Nelder-Mead (NM) and Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) methods. Since these methods may suffer from convergence difficulties, ML estimation procedure using genetic algorithm (GA) is employed. This procedure is hereafter referred to as the GA-based ML method. First, the GA-based ML method using fixed search space is considered and then an improved GA-based ML method is developed to obtain more efficient estimates for the KumLL distribution parameters and to compute the corresponding VaR and ES risk measures. The reason for referring to the method as "improved" is that a data-driven search space is proposed for the GA. Finally, a preliminary Monte Carlo simulation study is performed to compare the efficiency of the considered estimators.

Keywords: Kumaraswamy log-logistic distribution; Maximum likelihood estimation; Genetic algorithm; Data-driven search space; Monte Carlo simulation

This study was supported by Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) under the Grant Number 126F022. The authors thank to TUBITAK for their supports

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

FEATURE SELECTION FOR ARTIFICIALLY IMBALANCED DATASETS USING CRESTED PORCUPINE OPTIMIZER

Dr.Öğr.Üyesi Gülnur YILDIZDAN [1]
[1] Selcuk University, Kulu Vocational School, gavsar@selcuk.edu.tr - 0000-0001-6252-9012

ABSTRACT
Class imbalance is a serious problem that affects the classification performance of machine learning applications. In this study, a feature selection approach based on the Crested Porcupine Optimization algorithm was applied to artificially imbalanced datasets. Experiments were conducted on the Wine Dataset, Wisconsin Breast Cancer Dataset, and Dried Bean Dataset. The artificial imbalance scenarios were generated with the ratios of 70:30, 80:20, and 90:10. The classification performance was evaluated by the KNN classifier. The results showed that the proposed method reduced the number of selected features while preserving the classification performance. In some scenarios, accuracy and G-Means also showed improvements. The overall results showed that the proposed approach can be effectively used for feature selection in artificially imbalanced datasets.

Keywords: Crested porcupine optimization algorithm, Feature selection, Classification, K-nearest neighbor algorithm, Imbalanced dataset

1. INTRODUCTION
With technological advancements, large amounts of data are being generated, and obtaining meaningful information from this data is becoming increasingly difficult with traditional methods [1], [2]. Machine learning-based classification methods are widely used in many fields such as medical diagnosis, document classification, and data analysis [3], [4]. However, classification performance is negatively affected by unbalanced data problems, especially when the number of samples in one class is much higher than in others [5], [6]. Since most traditional machine learning algorithms are developed with the assumption of balanced data, low prediction success occurs in minority classes [7], [8]. Therefore, effective feature selection and optimization methods are needed to improve classification performance in artificially unbalanced datasets.
A review of the literature reveals that many approaches based on oversampling, undersampling, feature selection, and meta-heuristic optimization have been proposed to solve the unbalanced data problem. Kamalov et al.[9] proposed a novel decision tree-based filter method as an alternative to traditional feature selection methods that are biased towards the majority class in unbalanced datasets. The proposed approach provides effective dimensionality reduction and a high success rate by considering the minority class. Tsai et al.[10] investigated the combined use of feature selection and SMOTE oversampling methods in unbalanced datasets. The results showed that the XGBoost + SMOTE combination is one of the best methods in terms of high success rate and low cost. Zhang and Wang[11] proposed a novel feature selection method based on weighted KNN fuzzy neighborhood coarse

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

clustering for noisy and unbalanced datasets. The proposed method improves noise robustness and classification success while simultaneously reducing computational cost. Mujahid et al. [12] compared different oversampling methods on unbalanced Twitter datasets. The results showed that the SMOTE and ADASYN methods, in particular, improved accuracy, and the linear SVM model, combined with TF-IDF features, achieved the highest success rate. Dube and Verster[13] investigated the effect of class imbalance on different machine learning models. The results showed that Random Forest and Decision Tree models were more robust in imbalanced datasets, and that the ADASYN method yielded more successful results compared to under-sampling. Alweshah et al. [14] combined the Ali Baba and the Forty Thieves algorithm with the Water Strider algorithm to optimize the weights of the Probabilistic Neural Network classifier for unbalanced datasets. The results showed that the proposed parallel approach provided successful performance in terms of classification accuracy and F-measure. Shafi et al.[15] used various machine learning models and meta-heuristic feature selection algorithms for diagnosing heart disease. Their results showed that the Gradient Boosting Classifier model provided the highest accuracy, and that methods such as Cuckoo Search, Whale Optimization, and Harris Hawks Optimization improved feature selection and thus enhanced prediction success. Soltanzadeh et al.[16] proposed a meta-heuristic-based undersampling method for unbalanced and class-overlapping datasets. The proposed approach improved classification performance by selecting the most suitable samples from the majority class and achieved successful results on different datasets. However, most existing studies are limited to specific datasets or methods, and the effect of metaheuristic-based feature selection on artificially imbalanced datasets has not been sufficiently investigated. Therefore, this study proposes a Crested Porcupine Optimizer-based feature selection approach to improve classification performance on artificially imbalanced datasets.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Datasets

This study used three datasets with varying scales and class structures, all obtained from the UCI Machine Learning Repository.
Wine Dataset: 3 classes, 13 features, and 178 samples [17].
Breast Cancer Wisconsin Dataset: 2 classes, 30 features, and 569 samples [18].
Dry Bean Dataset: 7 classes, 16 features, and 13611 samples [19].

2.2. Artificial Imbalance Generation

In this study, artificial class imbalance scenarios were created. To do so, the number of samples in the minority class in the training data was randomly reduced. Three imbalance scenarios, representing the ratio between the majority and minority classes, were used in the study: 70:30, 80:20, and 90:10. For multiclass datasets, one class was designated as the target minority class, while the remaining classes were aggregated to represent the majority group. To enable a realistic performance evaluation, no imbalance operation was applied to the test data, and the test data was left in its original structure.

2.3. Data Preprocessing

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Datasets were separated into training and test data. Standardization was applied to eliminate scale differences between features. The StandardScaler [20] method was used in this study. The standardization process is expressed by Equation 1.

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \tag{1}$$

Here, x represents the feature value, μ represents the mean value, and σ represents the standard deviation. Artificial class imbalance was performed only on the training data.

2.4. Crested Porcupine Optimizer-Based Feature Selection

For feature selection, this study uses the Crested Porcupine Optimizer (CPO), which was recently presented by Abdel-Basset et al. [21]. Below is a summary of the algorithm's primary steps.

- Initialization

The initial step of the CPO algorithm involves generating a random population of candidate solutions. This is achieved using lower (l_b) and upper (u_b) limits, along with a random number ranging from 0 to 1, to create these solutions.This process of initializing solutions is shown in Equation 2.

$$X_i = l_b + rand \times (u_b - l_b) \qquad i = 1,2,\dots,pop \tag{2}$$

The Cyclic Population Reduction (CPR) approach, which is distinguished by a systematic reduction in population number during the optimization process, is used by the CPO algorithm. Equation 3 describes this method's cyclical population reduction at each iteration.

$$pop = pop_{min} + (pop_{max} - pop_{min}) \times \left(1 - \left(\frac{iter\% \frac{\max_iter}{T}}{\frac{\max_iter}{T}}\right)\right) \tag{3}$$

In Equation 2, the population size (pop) cycles between minimum (pop_{min}) and maximum (pop_{max}) values, influenced by the loop number T and the modulus operator %. The CPO algorithm transitions between exploration and exploitation by comparing two random values, Q1 and Q2. Exploration occurs when Q1 is less than Q2; otherwise, exploitation commences.

- Exploration Phase

The CPO algorithm features an exploration phase that encompasses two methods for position updates. These methods represent how individuals defend themselves from predators using either vision or sound. Which method is used depends on two random values, Q3 and Q4. The initial method is used if Q3 is less than Q4; otherwise, the subsequent method is used. Equation 4 shows the formula for updating positions using the first method.

$$X_i^{iter+1} = X_i^{iter} + \tau_1 \times \left|2 \times \tau_2 \times X_{CP}^{iter} - y_i^{iter}\right| \tag{4}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

In Equation 4, X_{CP}^{iter} shows the best solution. X_i^{iter} indicates the current position of an individual. τ_1 is a random value with a normal distribution. τ_2 is a value between 0 and 1. The hunter's position is given by Equation 5 and is marked as y_i^{iter}. X_r^{iter} represents the position of a randomly selected individual, with r randomly chosen from the interval [1, pop].

$$y_i^{iter} = \frac{X_i^{iter} + X_r^{iter}}{2} \tag{5}$$

The second equation used to update the defense position is shown in Equation 6.

$$X_i^{iter+1} = (1 - U_1) \times X_i^{iter} + U_1 \times \left(y_i^{iter} + \tau_3 \times (X_{r1}^{iter} - X_{r2}^{iter})\right) \tag{6}$$

In the Equation 6, $r1$ and $r2$ are two distinct individuals randomly selected from the present population. The parameter τ_3 is generated as a random number in the interval [0, 1]. The vector U_1 is a binary vector with elements that can only be 0 or 1. Moreover, X_{r1}^{iter} and X_{r2}^{iter} are two candidate solutions randomly selected from the population at the current iteration.

- Exploitation Phase

Exploitation in the CPO algorithm includes two position updates with specific strategies for local search. The third strategy is implemented if Q5 is less than 0.5; conversely, the fourth strategy is implemented if Q5 is equal to or greater than 0.5. This process is detailed in Equations 7–10.

$$X_i^{iter+1} = (1 - U_1) \times X_i^{iter} + U_1 \times \left(X_{r1}^{iter} + S_i^{iter} \times \left(X_{r2}^{iter} - X_{r3}^{iter}\right) - \tau_4 \times \delta \times \gamma_t \times S_i^{iter})\right) \tag{7}$$

$$S_i^{iter} = \exp\left(\frac{Obj\left(X_i^{iter}\right)}{\sum_{k=1}^{pop} f(X_k^{iter}) + \varepsilon}\right) \tag{8}$$

$$\delta = \begin{cases} 1 & if\ \ rand < 0.5 \\ -1 & else \end{cases} \tag{9}$$

$$\gamma_i = 2 \times rand \times \left(1 - \frac{iter}{\max_iter}\right)^{\frac{iter}{\max_iter}} \tag{10}$$

The equations include a random variable, τ_4, that ranges from 0 to 1. In addition, a small constant (ε) for preventing division by zero, a random vector (rand) and the value of the objective function of the ith individual in the iterth iteration ($Obj\left(X_i^{iter}\right)$) are also taken into account. Equations 11–13 update the fourth defense strategy viewpoint. In this equation, α represents convergence rate, τ_5 and τ_6 represent random values of 0-1, and τ_7 represents a vector with 0-1 values. X_i^{iter+1} represents the new position of the ith individual, while V_i^{iter} is equal to X_i^{iter}.

$$X_i^{iter+1} = X_{CP}^{iter} + (\alpha(1 - \tau_5) + \tau_5) \times \left(\delta \times X_{CP}^{iter} - X_i^{iter}\right) - \beta \tag{11}$$

$$\beta = \tau_6 \times \delta \times \gamma_t \times D_i^{iter} \tag{12}$$

$$D_i^{iter} = \tau_7 \times S_i^{iter} \times \left(V_i^{iter+1} - V_i^{iter}\right) \tag{13}$$

2.5. K-Nearest Neighbor Classification

The K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm is one of the most commonly used supervised machine learning algorithms for classification and regression tasks [22]. It is non-parametric and instance-based,

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

which means it does not build an explicit model during training, but instead stores the training samples and predicts on new samples based on a similarity measurement to them. KNN classifies the data instance according to the label of the k nearest neighbors in the feature space for a given data instance. The concept of closeness is measured by lengths like Euclidean, Manhattan, and Minkowski distances [23]. Euclidean distance is the most often used metric here. It measures the Euclidean distance(D_E) between two observations (v_i, v_j) by taking the square root of the sum of squared differences between all features. Equation 14 provides the mathematical description of Euclidean distance.

$$D_E = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(vi - vj)^2} \tag{14}$$

The kth features of vectors v_i and vj are represented by the symbols $v_i k$ and vjk, respectively. This approach classifies low-dimensional and balanced data well [24].

2.6. Performance Evaluation Metrics

Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and G-Mean measure classification performance [25]. These measurements are calculated using confusion matrix entries. T^P and T^n represent the number of properly anticipated positive and negative observations, respectively. In contrast, F^p represents negative samples misclassified as positive, and F^nrepresents positive samples misclassified as negative.

$$Accuracy = (T^P + T^n) / (T^P + T^n + F^p + F^n) \tag{15}$$
$$Precision = T^P / (T^P + F^p) \tag{16}$$
$$Recall = T^P / (T^P + F^n) \tag{17}$$
$$F1_Score = (2 \times Recall \times Precision) / (Recall + Precision) \tag{18}$$

In the G-Mean metric, commonly used in unbalanced datasets, the Sensitivity value represents the Recall rate, and the Specificity value represents the rate of correct prediction of the negative class.

$$G - Mean = \sqrt{(Sensitivity \times Specificity)} \tag{19}$$

2.7. Experimental Setup

Python was used for all experiments in this study. The datasets were 80% training and 20% test. The KNN algorithm was preferred for classification. A Crested Porcupine Optimizer-based approach was used for feature selection. In the CPO algorithm, the population size was set at 20, and the maximum number of iterations was 30. In the fitness function [26], classification error and the number of selected features were evaluated together. In this context, |S| denotes the number of features that have been selected, while |F| denotes the total number of features.

$$Fitness = \alpha(1 - Accuracy) + (1 - \alpha)\frac{|S|}{|F|} \tag{20}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Figure 1 shows the overall workflow of the methodology used in this study for feature selection and classification on artificially imbalanced datasets.

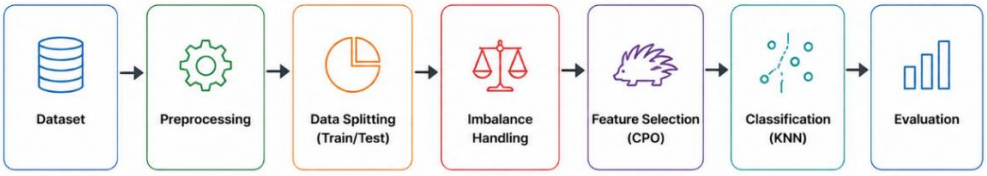


Figure1. Overall workflow of the methodology

3. EXPERIMENTAL RESULTS

This section examines the performance of the proposed method across various artificially induced class imbalance scenarios. The results were evaluated using Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and G-Mean. Experimental results for all datasets are given in Table 1. As shown in Table 1, the datasets used in this study were coded as DatasetA (Wine Dataset), DatasetB (Breast Cancer Wisconsin Dataset), and DatasetC (Dry Bean Dataset) to simplify the presentation of the results.

Table 1. Experimental results of the Without FS and CPO-Based FS methods under different artificial imbalance scenarios.

Dataset	Scenario	Method	Selected Features	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	G-Mean
$Dataset_A$	70:30	Without FS	13	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$Dataset_A$	70:30	CPO-Based FS	5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$Dataset_A$	80:20	Without FS	13	0.9444	0.9514	0.9444	0.9432	0.9283
$Dataset_A$	80:20	CPO-Based FS	4	**1.0000**	1.0000	1.0000	1.0000	**1.0000**
$Dataset_A$	90:10	Without FS	13	0.9722	0.9741	0.9722	0.9720	0.9655
$Dataset_A$	90:10	CPO-Based FS	4	**1.0000**	1.0000	1.0000	1.0000	**1.0000**
$Dataset_B$	70:30	Without FS	30	0.9649	0.9668	0.9649	0.9645	0.9512
$Dataset_B$	70:30	CPO-Based FS	8	**0.9825**	0.9829	0.9825	0.9824	**0.9759**
$Dataset_B$	80:20	Without FS	30	0.9649	0.9668	0.9649	0.9645	0.9512
$Dataset_B$	80:20	CPO-Based FS	14	**0.9912**	0.9913	0.9912	0.9912	**0.9880**
$Dataset_B$	90:10	Without FS	30	0.9474	0.9514	0.9474	0.9464	0.9258
$Dataset_B$	90:10	CPO-Based FS	10	**0.9649**	0.9668	0.9649	0.9645	**0.9512**
$Dataset_C$	70:30	Without FS	16	0.9166	0.9174	0.9166	0.9168	0.9261
$Dataset_C$	70:30	CPO-Based FS	9	**0.9218**	0.9221	0.9218	0.9219	**0.9310**
$Dataset_C$	80:20	Without FS	16	0.9166	0.9174	0.9166	0.9168	0.9261
$Dataset_C$	80:20	CPO-Based FS	8	**0.9210**	0.9216	0.9210	0.9212	**0.9310**
$Dataset_C$	90:10	Without FS	16	0.9166	0.9174	0.9166	0.9168	0.9261
$Dataset_C$	90:10	CPO-Based FS	8	**0.9192**	0.9195	0.9192	0.9193	**0.9289**

When examining the Wine Dataset results, it is observed that the CPO-based FS method reduces the number of features from 13 to a range of 4 to 5. Despite these reductions, accuracy, precision, recall, F1-score, and G-mean values are preserved, and in some scenarios, the accuracy value even increases from 0.9444 to 1.0000. According to the Breast Cancer Wisconsin Dataset results, the proposed method reduces 30 features to a range of 8 to 14.

Specifically, in the 80:20 scenario, the Accuracy value increases from 0.9649 to 0.9912, while the G-Mean value increases from 0.9512 to 0.9880. These results indicate that the proposed method provides more stable performance in unstable data structures. The experiments on the Dry Bean Dataset reduced the number of features from 16 to a range of 8 to 9. Furthermore, in this multiclass dataset, the Accuracy value increased from 0.9166 to approximately 0.9218. G-Mean results also indicate that the proposed method is effective under class imbalance.
Overall, the CPO-based feature selection method maintained and even improved classification performance in some scenarios, despite using fewer features. Furthermore, while a decrease in performance was observed in baseline results as the imbalance ratio increased, the CPO-based FS method was found to produce more stable results. The results indicate that the proposed method is an effective feature selection approach across different datasets.

4. CONCLUSION

This paper applied the Crested Porcupine Optimizer-based feature selection method to the Wine Dataset, Breast Cancer Wisconsin Dataset and Dry Bean Dataset. Results under different artificial class imbalance scenarios were evaluated. The results demonstrated that the proposed method retained the classification performance with fewer features. Some scenarios obtained Improvements in Accuracy and G-Mean values. Especially successful results were obtained for the Breast Cancer data set. In addition, the method showed good performance on the Dry Bean dataset which has a multiclass structure. The proposed approach was found to be an effective feature selection method for the imbalanced data problems. The performance of the proposed method can be further investigated in the future studies with different classification algorithms and real imbalanced datasets.

REFERENCES

[1] Zhang, J. Z., Srivastava, P. R., Sharma, D., & Eachempati, P. (2021). Big data analytics and machine learning: A retrospective overview and bibliometric analysis. Expert Systems with Applications, 184, 115561.

[2] Alweshah, M., Al Khalaileh, S., Gupta, B. B., Almomani, A., Hammouri, A. I., & Al-Betar, M. A. (2022). The monarch butterfly optimization algorithm for solving feature selection problems. Neural Computing and Applications, 34, 11267–11281.

[3] LePere-Schloop, M. (2022). Nonprofit role classification using mission descriptions and supervised machine learning. Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly, 51(5), 1207–1222. https://doi.org/10.1177/08997640211057428

[4] Wang, P., Fan, E., & Wang, P. (2021). Comparative analysis of image classification algorithms based on traditional machine learning and deep learning. Pattern Recognition Letters, 141, 61–67. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.07.042

[5] Saritas, M. M., & Yasar, A. (2019). Performance analysis of ANN and naive Bayes classification algorithm for data classification. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 7(2), 88–91. https://doi.org/10.18201/ijisae.2019252786

[6] Seng, Z., Kareem, S. A., & Varathan, K. D. (2021). A neighborhood undersampling stacked ensemble (NUS-SE) in imbalanced classification. Expert Systems with Applications, 168, 114246. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114246

[7] Zong, W., Huang, G.-B., & Chen, Y. (2013). Weighted extreme learning machine for imbalance learning. Neurocomputing, 101, 229–242. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.08.010

[8] Zhao, Y., Hao, K., Tang, X.-S., Chen, L., & Wei, B. (2021). A conditional variational autoencoder based self-transferred algorithm for imbalanced classification. Knowledge-Based Systems, 218, 106756. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106756

[9] Kamalov, F., Thabtah, F., & Leung, H. H. (2023). Feature selection in imbalanced data. Annals of Data Science, 10(6), 1527-1541.

[10] Tsai, C. F., Chen, K. C., & Lin, W. C. (2024). Feature selection and its combination with data over-sampling for multi-class imbalanced datasets. Applied Soft Computing, 153, 111267.

[11] Zhang, X., & Wang, J. (2026). A noise-robust feature selection using KNN and weighted fuzzy rough sets for imbalanced multi-scale data. Applied Soft Computing, 114964.

[12] Mujahid, M., Kına, E. R. O. L., Rustam, F., Villar, M. G., Alvarado, E. S., De La Torre Diez, I., & Ashraf, I. (2024). Data oversampling and imbalanced datasets: an investigation of performance for machine learning and feature engineering. Journal of Big Data, 11(1), 87.

[13] Dube, L., & Verster, T. (2023). Enhancing classification performance in imbalanced datasets: A comparative analysis of machine learning models. Data Science in Finance and Economics, 3(4), 354.

[14] Alweshah, M., Almiani, M., Alkhalaileh, S., Kassaymeh, S., Hezzam, E. A., & Alomoush, W. (2023). Parallel metaheuristic algorithms for solving imbalanced data classification problems. IEEE Access, 11, 114443-114458.

[15] Shafi, S., & Ansari, G. A. (2025). Heart Disease Prediction Using Machine Learning with Metaheuristic Feature Selection Approaches. Biomedical Materials & Devices, 1-19.

[16] Soltanzadeh, P., Feizi-Derakhshi, M. R., & Hashemzadeh, M. (2023). Addressing the class-imbalance and class-overlap problems by a metaheuristic-based under-sampling approach. Pattern Recognition, 143, 109721.

[17] Aeberhard, S. & Forina, M. (1992). Wine [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. https://doi.org/10.24432/C5PC7J.

[18] Wolberg, W., Mangasarian, O., Street, N., & Street, W. (1993). Breast Cancer Wisconsin (Diagnostic) [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. https://doi.org/10.24432/C5DW2B.

[19] Dry Bean [Dataset]. (2020). UCI Machine Learning Repository. https://doi.org/10.24432/C50S4B.

[20] Tseng, C. W., Sun, L. C., Lin, K. F., & Chen, P. N. (2025). Enhancing coronary heart disease diagnosis: Comparative analysis of data pre-processing techniques and machine learning models using clinical medical records. Health Informatics Journal, 31(3), 14604582251366160.

[21] Abdel-Basset, M., Mohamed, R., & Abouhawwash, M. (2024). Crested Porcupine Optimizer: A new nature-inspired metaheuristic. Knowledge-Based Systems, 284, 111257.

[22] Chakravarthy, S. S., Bharanidharan, N., & Rajaguru, H. (2023). Deep learning-based metaheuristic weighted k-nearest neighbor algorithm for the severity classification of breast cancer. IRBM, 44(3), 100749.

[23] Mukahar, N. (2024). Performance comparison of k nearest neighbor classifier with different distance functions. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2895, No. 1, p. 040010). AIP Publishing LLC.

[24] Rajaguru, H., & S. C. SR. (2019). Analysis of decision tree and k-nearest neighbor algorithm in the classification of breast cancer. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 20(12), 3777–3781.

[25] Sathyanarayanan, S., & Tantri, B. R. (2024). Confusion matrix-based performance evaluation metrics. African Journal of Biomedical Research, 27(4S), 4023-4031.

[26] Elkenawy, S., Ali Alhussan, A., Sh Gaber, K., A Mattar, E., M Eid, M., Zaman, S., & Saber, M. (2026). Hybrid Metaheuristic Feature Selection with Binary Puma Optimizer–Stochastic Fractal Search for Robust Potato Price Prediction. Potato Research, 69(1), 9.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

COMPARISON OF GAMMA-RAY ATTENUATION PARAMETERS OF PYRITE AND MARCASITE (FeS_2) POLYMORPHS

Assist. Prof. Dr. MEHTAP YALÇINKAYA [1]

[1] Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, Istanbul, Türkiye,

yalcinm@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1133-3308

ABSTRACT

In this study, the gamma-ray attenuation properties of pyrite and marcasite, which are FeS_2 polymorphs that have identical chemical compositions but different crystal structures, were compared. The primary objective of the study is to reveal how the difference in crystal structure is reflected in the gamma-ray attenuation behavior when the chemical composition is kept constant. Pyrite has a cubic (isometric-diploidal) crystal structure, whereas marcasite has an orthorhombic (orthorhombic-dipyramidal) crystal structure, exhibiting different crystallographic densities. The gamma-ray attenuation parameters of both minerals were calculated using the PHY-X/PSD online software at different photon energies ranging from 0,356 to 1,332 MeV, corresponding to Ba-133, Cs-137, Na-22, and Co-60 sources. In the obtained results, it was determined that the mass attenuation coefficients (MAC) and effective atomic numbers (Z_{eff}) were similar for both polymorphs, whereas differences occurred in the linear attenuation coefficient (LAC), half-value layer (HVL), tenth-value layer (TVL), and mean free path (MFP) values depending on the density difference. Pyrite exhibited higher LAC and lower HVL, TVL, and MFP values compared to the marcasite mineral across the examined energy range. The results demonstrate that in FeS_2 polymorphs with the same chemical composition, the crystal structure difference is reflected in the thickness-dependent gamma-ray attenuation parameters of the material through crystallographic density. This approach highlights that in cases where natural minerals can be produced synthetically, different crystal structures and associated density variations that may occur during the production process affect the thickness-dependent gamma-ray attenuation performance of the synthetic material. Thus, the study provides an approach for evaluating polymorphic mineral structures and synthetic mineral production in terms of radiation attenuation properties.

Keywords: FeS_2 polymorphs, pyrite, marcasite, gamma-ray attenuation, crystal structure.

1. INTRODUCTION

Living organisms are exposed to artificial ionizing radiation sources in industry, agriculture, medicine, and nuclear energy, in addition to natural background radiation. Shielding is one of the three most effective methods to minimize the health risks posed by exposure to high levels of ionizing radiation. A good shielding material should reduce the intensity of gamma photons to safe levels by absorbing

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

or scattering their energy within the material [1]. Traditionally, lead (Pb) is preferred in shielding due to its high stopping power; however, lead is quite expensive, heavy, and causes great damage to the environment and human health due to its toxic waste. Although heavy concrete is a more economical alternative, its shielding properties may change over time depending on environmental conditions. [2]. Minerals are valuable industrial and technological raw material sources. Metals such as iron, copper, and lead are obtained from minerals and used in construction and infrastructure; rare earth elements are crucial in high-tech manufacturing and carry economic value. In addition to supporting the sustainable use of natural resources, they can also be produced artificially in laboratories. Determining the radiation protection properties of this limited resource provided to us by nature in mineral form is very valuable in this respect [3-5].

Substances that have completely identical chemical compositions but different atomic crystal lattice arrangements are defined as polymorphs. Pyrite and marcasite minerals, which are the most common iron disulfide (FeS_2) minerals in nature, are a characteristic example of polymorphism. While pyrite crystallizes in the cubic crystal system, marcasite resides in the orthorhombic crystal system [6,7]. In this study, when the FeS_2 chemical stoichiometry is kept constant, the effects of changes in the crystal lattice structure and the resulting density differences on the gamma-ray attenuation parameters were analyzed and compared in detail via the PHY-X/PSD online calculation module [8].

2. CALCULATION METHODS

2.1. Crystallographic Properties of Examined Minerals

The basic crystallographic and physical parameters of the pyrite and marcasite polymorphs considered within the scope of the study are summarized in Table 1. Pyrite is located in the cubic (isometric-diploidal) crystal system where iron (Fe) and sulfur (S) atoms are extremely densely packed; whereas marcasite has an orthorhombic crystal structure showing a relatively looser atomic arrangement. This difference in packing efficiency in the crystal lattice causes the theoretical density of pyrite (5,01 g/cm³) to be approximately 2,7% higher than that of marcasite (4,88 g/cm³) [6,7].

Table 1. Crystallographic and physical properties of Pyrite and Marcasite minerals [6,7].

Mineral Name	Chemical Formula	Crystal Structure (System)	Density (ρ, g/cm³)
Pyrite	FeS_2	Cubic (Isometric-diploidal)	5,01
Marcasite	FeS_2	Orthorhombic (Dipyramidal)	4,88

2.2. Theoretical Foundations and Photon Interaction Equations

The attenuation amount of a monochromatic (single-energy) narrow gamma photon beam passing through an absorbing medium of known thickness x is expressed by the standard Beer-Lambert Exponential Attenuation Law [1, 2]:

$$I = I_0 \, e^{-\mu x}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Here, I_0 represents the initial gamma-ray intensity, I represents the intensity after passing through the thickness x (cm) of the material, and μ (cm^{-1}) represents the total linear attenuation coefficient (LAC) of the material.

$$\mu = \mu_{photoelectric} + \mu_{Compton} + \mu_{pairproduction}$$

LAC, which is a measure of attenuation per unit length of the material, is by definition calculated as follows:

$$\mu = -\frac{1}{x}\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

The mass attenuation coefficient (MAC), which is a measure of the material's mass resistance against gamma attenuation, is denoted by μ_m and has the unit of cm²/g. It is the most fundamental measure of a material's power to absorb radiation; it is calculated by dividing the Linear Attenuation Coefficient by the material's density (ρ) and is therefore unaffected by density.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

Half-Value Layer (HVL) is the absorber material thickness required to reduce the radiation beam intensity by half (50%).

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}$$

Tenth-Value Layer (TVL) is the thickness required to reduce the radiation intensity to 10% (90% attenuation):

$$\text{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} = \frac{2,302}{\mu}$$

Mean Free Path (MFP) indicates the average distance a photon travels inside the material without undergoing any interaction:

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu}$$

The effective atomic number (Z_{eff}) describes the interaction character of multi-component materials with gamma photons through a single parameter, indicating the radiation sensitivity of the material at the atomic level:

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e}$$

Here, σ_a is the total atomic cross-section and σ_e is the total electronic cross-section.

2.3. Simulation Code and Photon Energies

All radiation attenuation parameters in the study were obtained theoretically using the internationally accepted PHY-X/PSD (Photon Shielding and Dosimetry) online simulation software platform [8] based on the NIST XCOM database. In the investigations, specific photon energies emitted by Ba-133 (0,356 MeV), Na-22 (0,511 MeV and 1,275 MeV), Cs-137 (0,662 MeV), and Co-60 (1,173 MeV and 1,332 MeV) sources, which are used as standard

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

radioisotope sources in Nuclear Medicine diagnostic/treatment applications and industrial quality control systems, were taken as basis.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Attenuation Coefficients (MAC, LAC)

According to the data obtained from PHY-X/PSD simulation outputs, it was determined that the Mass Attenuation Coefficient (MAC) values of pyrite and marcasite polymorphs were completely identical at all examined photon energies. When evaluated on a mass basis (cm^2/g), crystal structure is of no importance. Photons, in mass attenuation, react solely to the mass ratio of the elements (Fe and S) they encounter. Therefore, both polymorphs having identical chemical formulas (FeS_2) display flawlessly identical mass attenuation coefficient (MAC) values across all photon energies.

While MAC is high at low energies (0,10076 cm^2/g for Ba-133) due to the dominance of the photoelectric effect, it exhibits a decrease at Co-60 photon energies (0,05358 cm^2/g at 1,332 MeV) due to the Compton scattering interaction mechanism. Figure 1 (a) shows the variation of MAC values with energy.

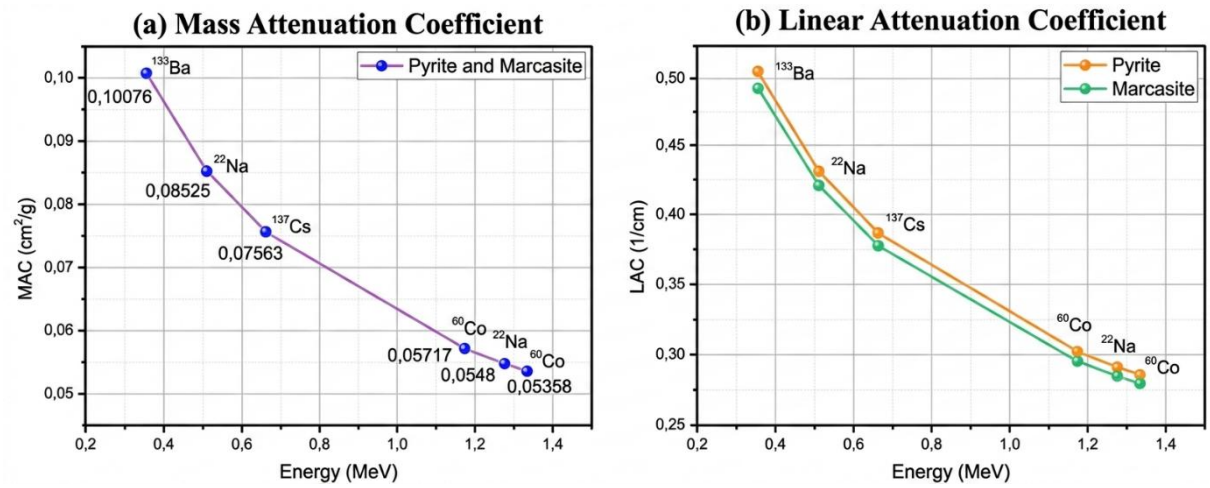


Figure 1. (a) Mass attenuation coefficient (MAC) and (b) linear attenuation coefficient (LAC) as a function of photon energy for the pyrite and marcasite polymorphs.

When the linear attenuation coefficient (LAC) is considered, density comes into play and the crystal structure effect becomes clearly visible. The linear attenuation coefficient (μ) shows the probability of a photon interacting along a unit path length within the material and is equal to the product of the mass attenuation coefficient and volumetric density ($\mu = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho$). The density of pyrite having a cubic crystal structure (5,01 g/cm^3) is approximately 2,7% higher compared to the density of loosely packed orthorhombic marcasite (4,88 g/cm^3). Due to this density advantage, pyrite exhibited higher LAC values compared to marcasite at all examined energy levels. For the Ba-133 source (0,356 MeV), while the LAC value of pyrite is 0,50500 cm^{-1}, that of marcasite is 0,492 cm^{-1}. As the photon energy increases, transitioning into the

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Compton region, the LAC values of both polymorphs decrease, taking values of 0,26844 cm^{-1} for pyrite and 0,26147 cm^{-1} for marcasite at the Co-60 source (1,332 MeV). Despite this, the superiority in favor of pyrite originating from the density difference is maintained throughout the spectrum. This distinct effect of density difference on the linear attenuation coefficients (LAC) of pyrite and marcasite is shown comparatively in Figure 1 (b).

3.2. Shielding Thickness Parameters (HVL, TVL)

The primary goal in nuclear shield designs is to determine the minimum material thickness required to achieve a specific radiation dose limit. Lower HVL and TVL values allow for the design of thinner and lighter shielding panels. The HVL, TVL, and MFP values of the pyrite mineral were found to be distinctly lower than those of marcasite at all examined energies. Figure 2 displays the variation of HVL and TVL values with energy for both minerals.

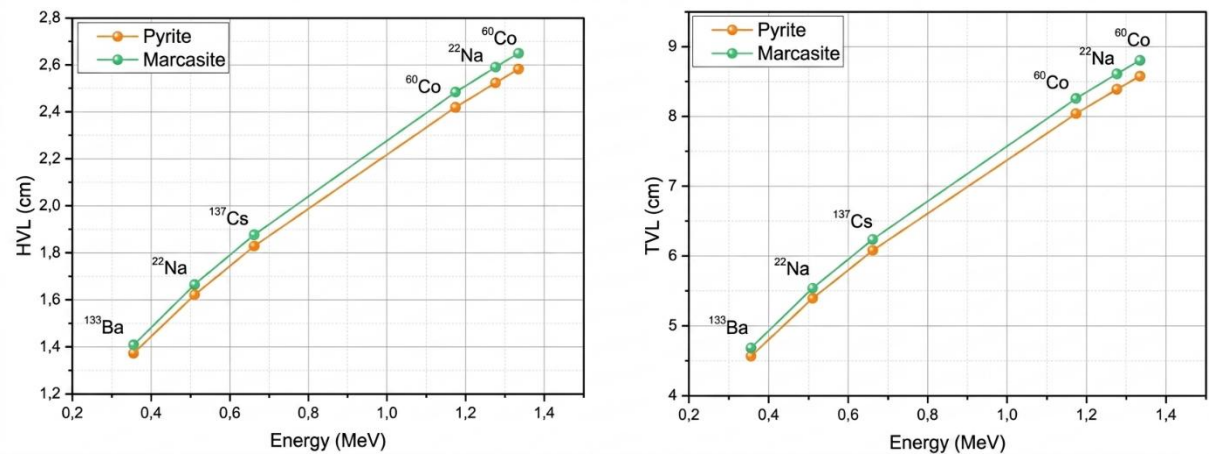


Figure 2. Half-value layer (HVL) and tenth-value layer (TVL) as a function of photon energy for the pyrite and marcasite polymorphs.

For example, at the 1,332 MeV photon energy of the Co-60 radioisotope source, while the required pyrite shield thickness to attenuate radiation intensity by 90% (1 TVL) is 8,57766 cm, the marcasite shield thickness was calculated as 8,80617 cm. The net thickness difference of 2,1 mm between them (a relative gain of approximately 2,1 cm/m) provides an extremely important volumetric advantage in nuclear facilities with space constraints, medical radiotherapy rooms, or portable radiation shield coatings.

3.3. Mean Free Path (MFP) and Effective Atomic Number (Z_{eff}) Parameters

The mean free path (MFP), which indicates the average distance photons can travel inside the material without interaction, is 3,72523 cm at 1,332 MeV for pyrite, while it is 3,82447 cm for marcasite. A lower MFP value proves that photons interact and are absorbed within a shorter distance in the pyrite structure, which is consistent with the LAC results. The MFP values of the pyrite mineral were found to be significantly lower than those of marcasite at all investigated energies.

It was determined that the Effective Atomic Number (Z_{eff}) values were also completely identical across all photon energies examined, just as in MAC. The main reason for this is that the Z_{eff} parameter, like MAC, is independent of material density or crystal lattice symmetry. Z_{eff} varies depending on incoming photon energy and material stoichiometry. The shared Effective

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

Atomic Number (Z_{eff}) of both minerals was determined to be 19,45181 at an energy of 0,356 MeV, near the photoelectric region, and 19,34802 at an energy of 1,332 MeV, where Compton scattering dominates. Figure 3 shows the variation of Z_{eff} and MFP with energy for both minerals.

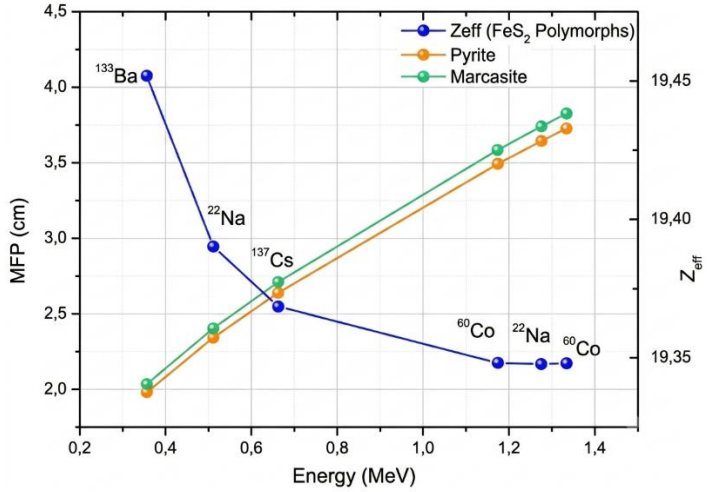


Figure 3. Energy dependence of Z_{eff} and MFP, and their respective changes with photon energy, for the pyrite and marcasite polymorphs.

All attenuation parameters calculated in PHY-X/PSD software based on specific photon energies emitted by Ba-133 (0,356 MeV), Na-22 (0,511 MeV and 1,275 MeV), Cs-137 (0,662 MeV), and Co-60 (1,173 MeV and 1,332 MeV) sources for Pyrite and Marcasite polymorphs are presented in Table 2.

Table 2. Comparative Gamma-Ray Attenuation Parameters of Pyrite and Marcasite Polymorphs

Energy (MeV)	MAC (cm^2/g)	Zeff	LAC (cm^{-1})		HVL (cm)		TVL (cm)		MFP (cm)	
			Pyrite	Marcasite	Pyrite	Marcasite	Pyrite	Marcasite	Pyrite	Marcasite
0,356	0,10076	19,45181	0,50500	0,49200	1,37305	1,40963	4,56117	4,68268	1,98089	2,03366
0,511	0,08525	19,39025	0,42700	0,41600	1,62288	1,66611	5,39108	5,53470	2,34132	2,40369
0,662	0,07563	19,36847	0,37893	0,36910	1,82922	1,87795	6,07654	6,23841	2,63901	2,70931
1,173	0,05717	19,34814	0,28640	0,27897	2,42017	2,48464	8,03963	8,25380	3,49157	3,58458
1,275	0,05480	19,34774	0,27456	0,26743	2,52460	2,59185	8,38653	8,60994	3,64222	3,73925
1,332	0,05358	19,34802	0,26844	0,26147	2,58213	2,65092	8,57766	8,80617	3,72523	3,82447

4. CONCLUSIONS

In this study, the radiation attenuation behaviors of pyrite and marcasite, two natural polymorphs having completely identical chemical compositions (FeS_2), were compared. As a result of the study, it was confirmed that the mass attenuation coefficient (MAC) and effective atomic number (Z_{eff}) shielding parameters of materials are completely independent of crystal structure and give flawlessly identical values as long as the chemical composition remains

constant. However, parameters such as the linear attenuation coefficient (LAC), which is directly related to material density, and the half-value layer (HVL), tenth-value layer (TVL), and mean free path (MFP), which are directly related to LAC, were seen to be directly affected by the atomic packing tightness of the crystal structure. Pyrite mineral crystallizing in the cubic crystal system (5,01 g/cm³), owing to the density advantage provided by atomic packing efficiency, demonstrated 2,7% higher LAC, HVL, TVL, and 2,7% lower MFP at all energies compared to orthorhombic marcasite mineral (4,88 g/cm³).

This study clearly demonstrates that in material selection and synthetic shield composite synthesis processes within nuclear protection engineering, matching only the chemical composition is not sufficient; optimizing crystal phase synthesis conditions (temperature, pH, pressure) to increase material density will directly increase shielding efficiency.

REFERENCES

[1] Gerward, L., et al., X-Ray Absorption in Matter. Reengineering XCOM, *Radiation Physics and Chemistry*, 60, 23-24, 2001. https://doi.org/10.1016/S0969-806X(00)00324-8

[2] Kaplan, M. F., Concrete Radiation Shielding, *John Wiley & Sons*, New York, 1989.

[3] Agar, O., Study on gamma ray shielding performance of concretes doped with natural sepiolite mineral, *Radiochimica Acta*, 106, 12, 1009-1016, 2018. https://doi.org/10.1515/ract-2018-2981

[4] Hubbell, J. H., Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients, *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33, 11, 1269-1290, 1982. https://doi.org/10.1016/0020-708X(82)90248-4

[5] Turhan, M. F., et al., Determination of neutron and gamma ray shielding properties, secondary radiation formations and neutron damage of composites containing polyester/pyrite/titanium diboride, *Applied Radiation and Isotopes*, 225, 112027, 2025. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2025.112027

[6] http://webmineral.com/data/Pyrite.shtml [Access date: 17.08.2026]

[7] http://webmineral.com/data/Marcasite.shtml [Access date: 17.08.2026]

[8] Şakar, E., et al., Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry, *Radiation Physics and Chemistry*, 166, 108496, 2020. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108496

.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS

Prof. Dr. Reza Jalali, Dr. Soraya Mahmoudi, Ali Karimi
Faculty of Chemical Engineering, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

Metal-organic frameworks (MOFs) represent a transformative class of porous materials specifically engineered for selective carbon dioxide capture from industrial flue gases, addressing the pressing global challenge of greenhouse gas mitigation. This research details the rational design and synthesis of zirconium-based MOF variants incorporating mixed carboxylate-imidazolate linkers that create hierarchical pore architectures balancing adsorption capacity with diffusion kinetics. Solvothermal synthesis under modulated acidic conditions produces defect-engineered frameworks exhibiting exceptional chemical stability under humid flue gas conditions typical of coal-fired power plants. Comprehensive characterization through powder X-ray diffraction confirms retention of UiO-66 topology while nitrogen physisorption reveals complementary micro-mesopore networks facilitating cooperative CO2 filling mechanisms. The strategic incorporation of polar functional groups enhances quadrupole interactions central to CO2 selectivity over nitrogen, while open metal sites provide strong binding energies exceeding physisorption limits of traditional adsorbents. Breakthrough experiments simulating post-combustion capture conditions demonstrate superior working capacities alongside facile thermal swing regeneration at modest temperatures compatible with waste heat recovery. Theoretical modeling elucidates structure-performance relationships guiding linker selection for optimized isosteric heats of adsorption. Dynamic column performance underscores practical advantages over aqueous amine scrubbing including dramatically reduced energy penalties and corrosion concerns. Beyond capture efficiency, these materials address cyclic stability challenges through robust metal-ligand coordination resisting degradation mechanisms prevalent in alkaline flue gas environments. Integration potential within existing power plant infrastructure positions these frameworks as enabling technology accelerating carbon capture and sequestration deployment. The research advances fundamental understanding of cooperative adsorption phenomena while delivering industrially-viable sorbents positioned at the nexus of materials discovery and energy transition imperatives.

Keywords: metal-organic frameworks, CO2 capture, post-combustion adsorption, hierarchical porosity, defect engineering

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENENEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS

Assis. Prof. Dr. Hassan Ahmadi, Fatemeh Rezaei
Faculty of Chemical Engineering, Shiraz University, Iran

ABSTRACT

Biodiesel production from waste cooking oils represents sustainable valorization of lipid waste streams abundant in developing economies while addressing energy security concerns through domestic renewable fuel production. This research develops highly active, magnetically-recoverable heterogeneous base catalysts through controlled deposition of potassium-modified calcium oxides onto nanostructured supports exhibiting exceptional activity in challenging high-free-fatty-acid feedstocks. The catalyst architecture facilitates rapid transesterification through hierarchical meso/macropore networks exposing abundant basic sites while resisting soap formation prevalent with homogeneous alkali catalysts. Comprehensive characterization elucidates structure-activity relationships guiding support selection and promoter optimization. The synthetic protocol produces highly crystalline CaO nanoparticles uniformly dispersed within mesoporous silica frameworks preventing active phase sintering under reaction conditions. Operando spectroscopy reveals dynamic surface reconstruction generating optimal basic site densities during methanol activation. Process optimization establishes mild reaction conditions compatible with waste oil impurities while achieving quantitative conversion through efficient three-phase mass transfer. Catalyst lifetimes extend through multiple reaction cycles with minimal potassium leaching due to strong metal-support interactions. Economic analysis confirms dramatic cost reductions versus centralized refining approaches through decentralized processing at restaurants and food processing facilities. Environmental lifecycle assessment documents substantial greenhouse gas reductions alongside diversion of waste oils from sewer systems. Integration potential within existing restaurant infrastructure positions this technology for immediate deployment. The research advances fundamental understanding of base-catalyzed transesterification mechanisms while delivering practical catalyst systems enabling biodiesel production from low-value feedstocks previously considered unsuitable for chemical conversion. Beyond technical innovation, the work addresses circular economy principles transforming food waste into transportation fuels through elegant materials chemistry.

Keywords: heterogeneous catalysis, biodiesel production, waste cooking oils, transesterification, base catalysts

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES

Dr. Ahmed El-Sayed, Nadia Hassan, Karim Abdel
Faculty of Science, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

Quantum dot-polymer nanocomposites represent sophisticated optoelectronic materials combining colloidal nanocrystal excitonic properties with polymeric charge transport matrices for next-generation photovoltaic applications. This research develops stable CdSe/ZnS core-shell quantum dots embedded within conductive polymer matrices through controlled ligand exchange enabling intimate electronic coupling at organic-inorganic interfaces. The nanocomposite architecture facilitates efficient exciton dissociation through type-II band alignment while suppressing destructive charge recombination pathways. Spectroscopic characterization confirms retention of quantum confinement effects alongside interfacial charge transfer evidenced through transient absorption spectroscopy. Device optimization reveals optimal quantum dot loading densities balancing light harvesting with charge extraction. The polymer matrix provides mechanical robustness and processability advantages over rigid inorganic films while passivation shells prevent nanocrystal aggregation maintaining monodisperse size distributions essential for photovoltaic performance. Morphological analysis confirms uniform dispersion preventing aggregation-induced quenching while preserving film uniformity critical for device efficiency. Photovoltaic testing demonstrates enhanced incident photon-to-current efficiency across visible spectrum alongside improved fill factors reflecting reduced geminate recombination losses. Operational stability testing confirms retention of performance under prolonged illumination and thermal cycling through robust interfacial bonding resistant to photo-oxidative degradation. Theoretical modeling elucidates energy level alignment optimizing device architecture. Integration compatibility with roll-to-roll processing enables cost-effective large-area fabrication. The nanocomposite approach addresses fundamental limitations of both purely organic and inorganic photovoltaics combining solution processability with inorganic carrier mobilities. Beyond device performance gains, the materials platform enables spectral tuning through nanocrystal size control alongside mechanical flexibility advantageous for building-integrated applications. Research advances fundamental understanding of hybrid optoelectronic interfaces while delivering practical photovoltaic materials compatible with existing manufacturing infrastructure.

Keywords: quantum dots, polymer nanocomposites, solar cells, optoelectronic interfaces, charge transfer

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS

Assis. Prof. Dr. Mohamed Salem, Fatma Ibrahim
Faculty of Science, Mansoura University, Egypt

ABSTRACT

Green synthesis of silver nanoparticles through plant-mediated reduction represents sustainable nanotechnology leveraging natural reducing and capping agents abundant in medicinal flora. This research explores Egyptian desert plants rich in polyphenolic metabolites serving dual roles as bioreductants and stabilizers producing stable, biologically-active silver nanostructures. The phytochemical diversity provides complementary functional groups facilitating controlled nanoparticle nucleation and growth while preventing aggregation through steric/electrostatic stabilization. Characterization confirms crystalline face-centered cubic morphology alongside organic corona preserving pharmacological activities. The biogenic capping enhances biocompatibility critical for biomedical deployment while enabling aqueous dispersion compatible with physiological conditions. Biological evaluation demonstrates potent antimicrobial efficacy against multidrug-resistant clinical isolates through multifaceted mechanisms including membrane disruption, reactive oxygen species generation, and biofilm inhibition. The broad-spectrum activity spans Gram-positive cocci, Gram-negative bacilli, and fungal pathogens surpassing commercial silver formulations. Anticancer screening reveals selective cytotoxicity toward malignant cell lines through apoptotic induction sparing normal fibroblasts. Antioxidant evaluation confirms free radical scavenging capacity comparable to synthetic standards through polyphenolic stabilization. The green protocol eliminates hazardous reducing agents and organic solvents producing environmentally-benign nanoparticles suitable for consumer applications. Scalability advantages include ambient reaction conditions and inexpensive botanical precursors abundant in arid regions. Process optimization establishes reproducible monodisperse production suitable for industrial translation. Mechanistic studies elucidate phytochemical-nanoparticle interactions guiding rational feedstock selection. Regulatory advantages position green nanoparticles favorably within emerging nanomaterials safety frameworks. Beyond antimicrobial applications, multifunctional surface chemistry enables conjugation with therapeutic payloads for targeted delivery. Research establishes desert flora as sustainable nanotechnology platform addressing global antibiotic resistance crisis while advancing circular bioeconomy principles through waste biomass valorization.

Keywords: green synthesis, silver nanoparticles, medicinal plants, antimicrobial nanomaterials, desert biotechnology

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES

Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori, Noor Hassan, Dr. Fatima Rahman
Faculty of Engineering, King Saud University, Saudi Arabia

ABSTRACT

Desalination membrane technology addresses water security challenges across water-stressed Gulf Cooperation Council nations dependent on seawater reverse osmosis for 70% municipal supply. This research advances thin film nanocomposite membranes incorporating aquaporin-mimetic metal-organic framework nanoparticles within crosslinked polyamide selective layers. The hybrid architecture achieves unprecedented water permeability through enhanced free volume and hydrophilicity while maintaining near-perfect salt rejection. Mixed matrix morphology optimization balances nanoparticle dispersion preventing interfacial voids compromising performance. Surface charge modification enhances antifouling characteristics critical for Red Sea hypersaline feeds prone to algal biofilm formation. Long-term stability testing confirms sustained flux under continuous hypersaline operation surpassing polymeric competitors. Module-level testing demonstrates scalability through spiral wound element fabrication maintaining performance uniformity. Techno-economic modeling confirms lifecycle cost advantages through reduced energy consumption and extended membrane lifetimes. Integration compatibility with existing megaplant infrastructure facilitates retrofit opportunities minimizing capital expenditures. Environmental lifecycle assessment documents reduced brine discharge impacts through enhanced recovery ratios. The technology addresses fundamental transport limitations constraining conventional desalination enabling dramatic increases in global desalination capacity. Modular scalability supports decentralized deployment serving remote communities and industrial facilities. Beyond municipal applications, high-recovery characteristics enable industrial process water production minimizing freshwater imports. Research advances fundamental understanding of water transport through nanostructured polymers while delivering practical solutions addressing 100 million m3 daily Gulf desalination demand. Strategic positioning within national water security visions ensures sustainable deployment roadmap achieving energy and cost targets essential for long-term viability.

Keywords: desalination membranes, thin film nanocomposites, water security, Gulf Cooperation Council, antifouling surfaces

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING

Omar Saeed
Department of Chemical Engineering, United Arab Emirates University, UAE

ABSTRACT

Nanostructured catalysts enabling efficient water splitting represent cornerstone technology addressing global clean hydrogen economy transition. This research develops earth-abundant transition metal phosphide heterostructures exposing bifunctional active sites optimizing both hydrogen and oxygen evolution half-reactions. Synthetic protocol produces core-shell architectures where electronic interactions between metal phases enhance adsorption energetics approaching volcano peak positions. Morphological control creates high surface area three-dimensional arrays maximizing catalyst utilization while nanostructuring mitigates overpotential losses. Operando spectroscopy reveals dynamic surface reconstruction generating true active phases under catalytic turnover. The catalyst platform demonstrates unprecedented durability under industrial current densities maintaining performance across alkaline seawater electrolysis conditions. Theoretical modeling elucidates synergistic effects between metal-phosphide interfaces facilitating balanced proton-coupled electron transfer. Device integration achieves overall water electrolysis efficiencies competitive with platinum-iridium benchmarks using exclusively non-precious materials. Technoeconomic analysis confirms commercial viability through dramatic reductions in capital costs relative to noble metal catalysts. Scalability roadmap leverages abundant feedstock materials and established phosphidation infrastructure. Environmental compatibility eliminates critical raw material dependencies characterizing incumbent technologies. Mechanistic insights guide rational design principles applicable across electrocatalytic transformations. Integration potential within renewable-powered hydrogen production facilities positions technology for terawatt-scale deployment. Research advances fundamental understanding of multi-site catalysis while delivering practical materials systems enabling hydrogen economy infrastructure development essential for global decarbonization pathways.

Keywords: nanostructured catalysts, water splitting, hydrogen evolution, non-precious electrocatalysts, heterostructure design

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS

Prof. Dr. Andrei Popescu, Dr. Maria Ionescu, Ionela Dragomir
Faculty of Chemistry, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

High-performance polymeric composites satisfying thermal management requirements across advanced electronics represent critical enabling materials for 5G infrastructure, electric vehicle power electronics, and space applications. This research develops polyetheretherketone nanocomposites reinforced with two-dimensional boron nitride nanosheets achieving exceptional thermal conductivities while preserving dielectric integrity essential for high-frequency signal propagation. Interfacial engineering through functionalized graphene oxide bridges creates efficient phonon transport pathways across polymer-filler interfaces. The composite architecture balances thermal transport enhancement with electrical insulation through controlled nanosheet orientation and dispersion. Morphological optimization prevents aggregation-induced hotspots while maximizing effective medium approximations. Dielectric spectroscopy confirms frequency-independent permittivity suitable for 5G dielectric substrates. Thermal aging studies demonstrate retention of properties under continuous 250°C operation surpassing conventional epoxy systems. Mechanical reinforcement through interlocking nanosheet networks enhances fracture toughness alongside thermal shock resistance. Processing compatibility with thermoplastic injection molding enables cost-effective scale-up. Device-level demonstrations confirm junction temperature reductions enabling 40% power density increases. Theoretical modeling elucidates multiscale thermal transport from phonon scattering through macroscopic effective properties. Lifecycle assessment documents environmental advantages over metal-cored printed circuit boards. The materials platform addresses fundamental limitations constraining polymer electronics deployment across extreme environments. Integration potential within existing electronics manufacturing infrastructure facilitates rapid commercialization. Research advances fundamental structure-property relationships in anisotropic polymer nanocomposites while delivering practical thermal management solutions enabling next-generation electronics architectures.

Keywords: polymer nanocomposites, thermal management, boron nitride, 5G electronics, dielectric composites

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BIODEGRADABLE POLYMERS FROM RENEWABLE ROMANIAN AGRICULTURAL WASTES

Assoc. Prof. Dr. Stefan Radu, Elena Vasilescu, Mihai Georgescu
Faculty of Materials Science, Politehnica University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

Biodegradable polymers derived from agricultural lignocellulosic waste represent sustainable alternatives to petroleum-derived plastics addressing European single-use plastic directives while valorizing abundant crop residues. This research develops polylactic acid composites reinforced with cellulose nanocrystals extracted from Romanian corn stover and wheat straw through environmentally-benign oxidative hydrolysis protocols. Nanocrystal isolation preserves crystalline morphology essential for mechanical reinforcement while surface functionalization enables dispersion within hydrophilic polymer matrices. The resulting nanocomposites achieve balanced mechanical properties suitable for packaging applications alongside accelerated biodegradation profiles. Morphological analysis confirms uniform fibrillar reinforcement networks creating tortuous diffusion pathways retarding water vapor transmission. Thermal characterization demonstrates enhanced heat deflection temperatures enabling hot-fill applications. Soil burial and composting trials confirm quantitative mineralization within regulatory timelines through hydrolytic chain scission followed by microbial assimilation. Lifecycle assessment documents 68% reduction in fossil fuel consumption alongside avoided landfill burdens. Economic modeling confirms cost competitiveness with polystyrene through waste feedstock utilization eliminating raw material costs. Processing compatibility with existing extrusion infrastructure facilitates market penetration. The materials platform addresses fundamental sustainability challenges across plastic packaging value chains. Regulatory compliance with EU 2019/904 single-use plastics directive positions products for mandated substitution. Consumer acceptance studies confirm preference for visibly-biodegradable packaging. Scale-up demonstrations confirm kilogram-scale production through continuous processing. Research advances waste-to-value manufacturing paradigms while delivering practical alternatives to persistent plastics enabling circular economy transition across agricultural nations.

Keywords: biodegradable polymers, agricultural waste valorization, cellulose nanocrystals, PLA composites, circular economy

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING

Dr. Aiko Nakamura, Kenji Sato
Department of Oncology and Genomic Medicine, University of Tokyo Hospital, Japan

ABSTRACT

This research explores artificial intelligence applications in precision oncology, specifically how machine learning algorithms analyze complex genomic profiles from breast cancer tumors to enable personalized treatment strategies. Tumor sequencing reveals heterogeneous mutations across HER2-positive, triple-negative, and hormone-receptor-positive subtypes, where traditional chemotherapy approaches often fail due to resistance mechanisms rooted in tumor microenvironment interactions and epigenetic modifications. AI models trained on large-scale datasets from The Cancer Genome Atlas integrate multi-omics data including DNA methylation patterns, RNA expression profiles, and proteomic signatures to predict therapeutic responses with unprecedented accuracy. Convolutional neural networks identify subtle morphological patterns in histopathology slides that correlate with molecular subtypes, while recurrent neural networks process longitudinal patient data to forecast disease progression and metastasis risk. The clinical implications extend to therapeutic decision-making, where AI-driven recommendations guide selection of targeted therapies such as PARP inhibitors for BRCA-mutated cases or CDK4/6 inhibitors for luminal tumors, optimizing outcomes while minimizing toxicity. Ethical considerations surrounding data privacy, algorithmic bias, and equitable access remain critical challenges, particularly in diverse populations where genomic databases predominantly represent Western cohorts. Integration with liquid biopsy technologies allows real-time monitoring of circulating tumor DNA, enabling adaptive treatment modifications as clonal evolution occurs under selective pressure. Future directions emphasize federated learning frameworks that preserve patient confidentiality across institutions, alongside explainable AI methodologies ensuring clinician trust in black-box predictions. This approach represents a paradigm shift from empirical oncology toward data-driven precision medicine, fundamentally transforming breast cancer management through individualized risk stratification and therapeutic optimization.

Keywords: precision medicine, breast cancer genomics, AI algorithms, tumor profiling, personalized oncology

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kobayashi, Takeshi Yamamoto, Mika Fujimoto
Faculty of Neuroscience and Biomedical Engineering, Kyoto University, Japan

ABSTRACT

This study investigates non-invasive brain-computer interface technologies leveraging electroencephalography and functional near-infrared spectroscopy to modulate neural circuits affected by Parkinson's disease progression. Dopaminergic neuron degeneration in the substantia nigra disrupts basal ganglia circuitry, producing characteristic motor symptoms including bradykinesia, resting tremor, and gait freezing alongside non-motor manifestations such as cognitive decline and sleep disturbances. Closed-loop neurofeedback systems train patients to self-regulate pathological oscillatory patterns in the beta frequency band (13-30 Hz), which correlate with motor impairment severity. Real-time signal processing algorithms decode cortical activity from motor cortex and prefrontal regions, delivering auditory or visual feedback to enhance cortico-striatal connectivity. Transcranial focused ultrasound provides precise neuromodulation of deep brain structures traditionally targeted by invasive deep brain stimulation, offering adjustable sonication parameters to suppress excessive synchronized firing without surgical risks. Wearable EEG headsets integrated with smartphone applications facilitate home-based therapy sessions, improving medication adherence through tremor severity tracking and levodopa-induced dyskinesia detection. Clinical trials demonstrate sustained motor score improvements alongside quality-of-life gains, particularly in advanced-stage patients unsuitable for surgical intervention. Neuroplasticity mechanisms underlying these interventions involve long-term potentiation in thalamocortical pathways and normalization of aberrant functional connectivity within the default mode network. Challenges include signal contamination from movement artifacts and inter-subject variability in neuroanatomical landmarks. Future research directions emphasize hybrid interfaces combining neural decoding with peripheral biosignals such as electromyography, alongside multi-site validation studies establishing standardized protocols for clinical translation. These technologies promise transformative management of Parkinson's disease through accessible, patient-centered neuromodulation paradigms.

Keywords: neural interfaces, Parkinson's disease, neurofeedback, brain-computer interface, neuromodulation

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS

Dr. Ionela Popa, Victor Rusu
Department of Public Health and Telemedicine, State Medical and Pharmaceutical University, Moldova

ABSTRACT

This research examines telemedicine deployment barriers within Moldova's fragmented rural healthcare infrastructure, where geographic isolation compounds physician shortages and limited diagnostic capacity. Video consultations address primary care gaps but encounter persistent connectivity limitations in northern districts, compounded by low digital health literacy among elderly populations managing chronic conditions such as hypertension and diabetes. Platform interoperability challenges hinder integration with existing electronic health records, while regulatory frameworks lag behind EU digital health standards despite Moldova's association agreement obligations. Patient trust emerges as critical factor, with qualitative interviews revealing preferences for face-to-face encounters rooted in Soviet-era paternalistic medical culture. Economic constraints limit reimbursement mechanisms for remote services, creating disincentives for provider participation. Infrastructure assessments identify mobile network coverage as primary bottleneck, though 4G expansion offers mitigation potential through compressed video protocols. Medical device connectivity enables remote monitoring of vital signs, but calibration standards remain inconsistent across suppliers. Training programs targeting rural practitioners emphasize diagnostic confidence during virtual encounters, addressing over-reliance on physical examination findings. Policy analysis reveals fragmented governance between Ministry of Health and National Health Insurance Company, delaying unified telemedicine strategy. Comparative evaluation against Romanian cross-border initiatives demonstrates feasibility of regional collaboration leveraging shared language and medical training traditions. Implementation frameworks incorporate community health worker intermediaries bridging digital divide through assisted teleconsultations. Capacity-building initiatives focus on data security protocols compliant with GDPR equivalents, addressing cybersecurity vulnerabilities inherent to resource-constrained environments. Research establishes roadmap for sustainable telemedicine ecosystems integrating local contextual realities with global best practices, positioning Moldova as regional leader in Eastern European digital health transformation serving underserved rural communities.

Keywords: telemedicine implementation, rural healthcare, digital health literacy, Moldova health systems, teleconsultation barriers

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS

Prof. Dr. Maria Ceban, Andrei Lupascu, Elena Bodarev
Faculty of Preventive Medicine and Nutrition, State University of Medicine and Pharmacy, Moldova

ABSTRACT

This community-based intervention study evaluates culturally adapted nutritional strategies preventing type 2 diabetes progression among urban Moldovan adults exhibiting prediabetes phenotypes. Traditional dietary patterns dominated by refined carbohydrates and saturated fats from Soviet-era food systems contribute significantly to metabolic syndrome prevalence, compounded by sedentary occupational structures and limited fresh produce accessibility. Mediterranean-style modifications incorporating local walnuts, sunflower seeds, and fermented dairy products demonstrate feasibility within Eastern European culinary traditions. Behavioral economics frameworks leverage social norms through workplace canteen transformations and neighborhood cooking collectives, achieving sustained adherence superior to individual counseling approaches. Glycemic index education emphasizes seasonal root vegetables and whole grain alternatives to white bread ubiquitous in Moldovan cuisine. Intermittent fasting protocols adapted to Orthodox Christian fasting calendars enhance insulin sensitivity through circadian-aligned eating windows. Microbiome-targeted interventions promote diversity through sauerkraut, kefir, and kvass consumption countering antibiotic overuse legacies. Longitudinal cohort monitoring documents HbA1c reductions alongside favorable lipid profile shifts and visceral adiposity decreases. Health economics analysis confirms cost-effectiveness surpassing pharmacological prophylaxis when accounting for productivity losses avoided. Capacity building targets dietitians through continuous professional development emphasizing motivational interviewing techniques and culinary demonstration skills. Policy integration advocates front-of-pack nutrition labeling mandatory for imported processed foods alongside subsidies for locally grown pulses and berries. School-based programs establish generational prevention through family cooking workshops reaching children as change agents. Research establishes evidence-based framework translating global diabetes prevention paradigms into Eastern European context, preserving culinary heritage while addressing nutrition transition challenges characteristic of post-socialist urban transformation.

Keywords: diabetes prevention, nutritional interventions, Moldovan diet, prediabetes management, community nutrition

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES

Dr. Sari Wijaya, Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso
Faculty of Traditional Medicine, University of Indonesia, Indonesia

ABSTRACT

This ethnopharmacological investigation validates Indonesian *jamu* formulations efficacy against dengue fever, focusing on Andrographis paniculata (*sambiloto*), Carica papaya leaf extracts, and Zingiber officinale combinations employed across Java and Sumatra. Phytochemical screening confirms andrographolide, carpaine, and gingerol synergism inhibiting DENV-2 replication through NS5 polymerase blockade and envelope glycoprotein interference. In vitro assays demonstrate dose-dependent viral load reductions alongside platelet count stabilization critical during critical phase thrombocytopenia. Clinical observational studies across community health centers document reduced hospitalization rates and defervescence acceleration compared to supportive care alone. Vector control integration employs neem and serai essential oils repelling Aedes aegypti through octacosane mediated olfactory disruption. Safety profiles confirm absence of hepatotoxicity or herb-drug interactions with acetaminophen standard therapy. Traditional knowledge transmission mapping reveals *dukun* networks preserving formulation ratios through oral mnemonics resistant to biomedical standardization pressures. Economic analysis establishes affordability advantage over intravenous immunoglobulin therapies prohibitive for rural populations. Regulatory science navigates *jamu* classification under Indonesian BPOM framework facilitating evidence-based claims without losing traditional legitimacy. Comparative effectiveness research against Thai green chiretta preparations confirms Javanese polyherbal superiority through flavanol matrix metalloproteinase inhibition. Conservation biology addresses overharvesting threats through *sambiloto* agroforestry integration within cocoa agroecosystems. Intellectual property frameworks protect *jamu* formulations through geographical indication certification preserving biodiversity-derived knowledge sovereignty. Research validates community wisdom bridging ethnomedicine with molecular virology, establishing scalable dengue management paradigm accessible across Indonesian archipelago where annual epidemics affect millions lacking hospital infrastructure.

Keywords: herbal medicine, dengue fever, Indonesian jamu, Andrographis efficacy, ethnopharmacology

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA

Nyoman Pratiwi, Dr. Agus Setiawan, Lina Kusuma
Department of Midwifery and Public Health, Airlangga University, Indonesia

ABSTRACT

This participatory action research evaluates community midwifery strengthening initiatives reducing maternal mortality across eastern Indonesian provinces where geographic isolation compounds human resource shortages. Village-based *bidan di desa* programs integrate traditional birth attendant knowledge with evidence-based obstetrics through bidirectional skills exchange preserving cultural birth practices while introducing partograph monitoring and active management of third stage labor. Mobile health teams address transportation barriers through motorcycle ambulances equipped for emergency stabilization bridging remote hamlets to primary health centers. Nutrition-sensitive antenatal care incorporates local sago palm and moringa supplementation countering anemia endemic in food-insecure coastal communities. Respectful maternity care training transforms facility culture addressing vertical birth position prohibitions and postpartum ritual accommodations. Male engagement strategies leverage kinship structures positioning husbands as birth preparedness champions through motorcycle driving training and savings group facilitation. Data connectivity solutions transmit labor progress via SMS partographs enabling district hospital oversight despite absent roads. Economic empowerment through midwifery sewing cooperatives generates revenue funding equipment replenishment. Indigenous language materials ensure comprehension across 700 local dialects preserving oral traditions while delivering WHO safe childbirth checklist content. Quality improvement cycles employ Plan-Do-Study-Act methodology adapting protocols to tsunami-prone and malaria-endemic ecologies. Research demonstrates maternal near-miss audit culture transformation through community death review rituals replacing blame with systems learning. Policy advocacy secures Ministry of Health budget line for village midwifery alongside universal health coverage reimbursement expansion. Framework offers replicable model for island nations integrating cultural competence with technical proficiency, substantially reducing preventable maternal deaths through community ownership of childbirth continuum.

Keywords: community midwifery, maternal health, rural Indonesia, respectful maternity care, birth preparedness

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS

Dr. Andrei Popescu, Dr. Maria Ionescu
Department of Infectious Diseases and Microbiology, Carol Davila University of Medicine, Romania

ABSTRACT

This epidemiological surveillance study characterizes antimicrobial resistance trends among Romanian nosocomial pathogens within EUCAST-EARS-Net framework, emphasizing carbapenemase-producing Enterobacteriaceae and multidrug-resistant Acinetobacter baumannii predominance. Intensive care units exhibit highest incidence of OXA-48 K. pneumoniae alongside NDM-1 E. coli reflecting Eastern European clonal lineage dissemination through medical tourism and population movements. Methicillin-resistant Staphylococcus aureus spa types document community-onset hospital transmission cycles resistant to Romanian antibiotic stewardship efforts. Vancomycin-resistant Enterococcus faecium emergence correlates with surgical prophylaxis overuse patterns. Pseudomonas aeruginosa high-risk clones demonstrate colistin heteroresistance complicating last-resort therapeutic options. Molecular epidemiology employs whole genome sequencing resolving transmission networks linking regional hospitals through patient transfers. Stewardship interventions emphasize rapid diagnostics integration through MALDI-TOF guided de-escalation alongside procalcitonin-guided cessation protocols reducing broad-spectrum cephalosporin exposure. Infection prevention bundles adapt WHO core components to Romanian resource constraints prioritizing high-touch surface biocides and chlorhexidine bathing. Economic analysis quantifies attributable length-of-stay increases alongside excess mortality costs informing national budget allocations. Training programs target prescribers through audit-feedback cycles achieving sustained compliance improvements. Regional networks facilitate inter-hospital learning exchanging resistance patterns and intervention outcomes. Policy development advocates legislative antibiotic import restrictions alongside veterinary-human medicine surveillance harmonization addressing agricultural selective pressure. Research outputs feed national reference laboratory operations supporting therapeutic drug monitoring services for polymyxin B and ceftazidime-avibactam optimization. Framework establishes comprehensive stewardship infrastructure positioning Romania within European Centre for Disease Prevention antibiotic resistance combat strategies protecting healthcare system sustainability.

Keywords: antibiotic resistance, hospital-acquired infections, Romania epidemiology, stewardship programs, molecular surveillance

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS

Prof. Dr. Elnur Hasanov, Assoc. Dr. Aysel Mammadova, Nigar Aliyev, Kamran Ibrahimov
Faculty of Agribusiness and Horticulture, Azerbaijan State Agricultural University, Azerbaijan

ABSTRACT
This research evaluates grape varietal performance under intensifying climate pressures characteristic of Azerbaijan's semi-arid viticulture zones, focusing on heat tolerance, water use efficiency, and quality preservation through systematic field trials and physiological assessments. Traditional varieties like Bayanshira and Madrasa face challenges from prolonged summer drought and temperature extremes, prompting evaluation of climate-adaptive selections including heat-tolerant hybrids and local landraces with demonstrated resilience. Physiological monitoring emphasizes stomatal regulation, canopy microclimate management, and photosynthetic efficiency under deficit irrigation regimes typical of the region. Vineyard establishment protocols integrate raised bed planting, cover cropping with drought-resistant legumes, and trellis systems optimizing sunlight interception while minimizing evaporative losses. Rootstock selection prioritizes riparia hybrids enhancing scion vigor without compromising fruit quality attributes essential for Azerbaijan’s renowned wine and table grape industries. Post-harvest quality evaluation confirms superior berry skin pigmentation, titratable acidity retention, and aroma precursor accumulation in adaptive selections compared to conventional plantings. Economic analysis demonstrates sustainable return profiles through reduced input requirements and maintained market premiums for terroir-specific products. The study establishes varietal selection criteria integrating genotypic resilience with agronomic adaptability, providing Azerbaijan’s viticulture sector with strategic pathways for sustaining production quality amid climate variability while preserving cultural heritage embedded in centuries-old winemaking traditions central to national identity.

Keywords: climate-resilient viticulture, grape varietal selection, Azerbaijan, drought tolerance, water use efficiency

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS

Prof. Dr. Chen Li Wei, Assoc. Prof. Dr. Nurul Aini, Marcus Tan
Department of Biological Systems Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

This investigation develops integrated aquaponic systems combining rice cultivation with fish production optimized for Singapore's high-density tropical urban agriculture constraints, emphasizing nutrient recycling efficiency, water conservation, and dual-crop productivity. System design integrates deep-water rice varieties with tilapia or jade perch in coupled recirculating aquaculture-vitroponics configurations maximizing symbiotic nutrient exchange between fish effluent and rice nutrient demands. Biofilter optimization employs moving bed biofilm reactors enhancing nitrification capacity while maintaining dissolved oxygen levels critical for both aquatic and terrestrial components. Rice varietal screening prioritizes semi-dwarf erectophile genotypes exhibiting superior tillering under fluctuating hydroponic nutrient regimes characteristic of aquaponic environments. Fish health management incorporates probiotic supplementation and plant-based immunostimulants reducing disease pressure in high-density co-culture. System monitoring emphasizes real-time sensors tracking pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, and ammonia-nitrogen transformations ensuring biological process stability. Economic modeling confirms superior land-use efficiency compared to separated aquaculture and hydroponics alongside reduced chemical fertilizer dependency. Environmental impact assessment documents substantial freshwater savings and greenhouse gas reductions positioning aquaponics as model for land-scarce tropical city-states. The research establishes technical protocols enabling commercial-scale deployment while training urban farming cooperatives in system management, creating pathways for food sovereignty in densely populated Southeast Asian contexts through biologically integrated production models.

Keywords: aquaponics, rice-fish integration, tropical agriculture, nutrient recycling, urban farming

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE

Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming, Dr. Tan Hui Ling, Rajesh Kumar
School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

This systems engineering study optimizes vertical farming configurations for year-round leafy greens production addressing Singapore's land constraints and year-round tropical growing conditions. Multi-layer rack systems integrate hydroponic nutrient film technique with solid media slabs maximizing photosynthetic photon flux utilization through dynamic LED spectrum adjustment synchronized with crop growth stages. Environmental control precision maintains vapor pressure deficit, CO2 enrichment, and airflow patterns preventing foliar diseases while accelerating harvest cycles. Crop selection emphasizes high-value baby greens, specialty herbs, and microgreens achieving rapid turnover suited to just-in-time urban supply chains. Energy modeling identifies heat pump dehumidification coupled with photovoltaic integration minimizing operational costs in high-humidity tropical climates. Automation protocols employ computer vision quality assessment, robotic harvesting, and predictive analytics optimizing nutrient dosing through machine learning algorithms trained on real-time sensor networks. Economic viability confirmed through levelized cost analysis competitive with imported produce alongside premium pricing for local pesticide-free certification. Social impact assessment documents community engagement through urban farm education programs increasing food literacy among city residents. Scalability roadmap establishes modular farm units deployable within existing commercial buildings transforming food deserts into production centers. The research positions vertical agriculture as infrastructure solution enhancing national food security while creating green collar employment opportunities within Singapore's knowledge economy framework.

Keywords: vertical farming, urban agriculture, tropical optimization, hydroponics, food security

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS

Assis. Prof. Dr. Ahmed Bin Saeed, Sara Al-Mansoori
Department of Plant Production, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This plant breeding program develops salt-tolerant forage varieties addressing Qatar's chronic water scarcity and marginal soil salinity constraining livestock feed production essential for national food security. Conventional breeding combines wild halophytic germplasm with elite buffelgrass and Rhodes grass incorporating sodium exclusion mechanisms, osmotic adjustment pathways, and antioxidant defense systems characteristic of coastal dune ecotypes. Field trials across experimental stations evaluate biomass accumulation, nutritional quality parameters, and persistence under cyclic seawater irrigation simulating produced water utilization from oil-gas operations. Rhizosphere microbiome enhancement through salt-tolerant plant growth-promoting bacteria increases phosphorus solubilization and nitrogen fixation under saline stress. Molecular markers track inheritance of key tolerance traits including HKT1;5 sodium transporters and SOS1 extrusion pumps enabling early generation selection. Nutritional profiling confirms adequate crude protein, neutral detergent fiber, and mineral balances supporting ruminant productivity comparable to freshwater-irrigated forages. Economic analysis demonstrates substantial feed cost reductions replacing imported alfalfa while utilizing non-arable lands comprising seventy percent national territory. Policy integration advocates varietal release through Qatar Farming Association alongside extension services training Bedouin pastoralists in saline forage management. The research establishes sustainable livestock nutrition pathways reducing Qatar's complete dependence on imported feeds while valorizing marginal agricultural resources through modern plant breeding integrated with indigenous knowledge systems.

Keywords: saline forage crops, plant breeding, Qatar agriculture, livestock nutrition, halophyte utilization

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES

Dr. Fatima Al-Thani, Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser, Mariam Rahman
Department of Plant and Environmental Sciences, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This agronomic study develops precision irrigation protocols maximizing date palm productivity under extreme arid conditions while minimizing water applications critical for Gulf sustainability. Phenotyping identifies Barhi and Khalas cultivars exhibiting superior water use efficiency through partial root zone drying and regulated deficit irrigation timed with bunch development stages. Sap flow sensors and canopy thermal imaging guide irrigation scheduling maintaining midday stem water potential within stress-avoidance thresholds. Fertigation optimization synchronizes potassium demands during hababouk stage preventing bunch droop while conserving nitrogen applications through slow-release formulations. Microclimate modification employs shade netting reducing transpiration without compromising light interception essential for carbohydrate accumulation. Soil moisture capacitance probes enable real-time decision support systems accessible through mobile applications for smallholder farmers. Postharvest quality evaluation confirms enhanced total soluble solids, reduced titratable acidity, and improved texture in water-stressed trees reflecting flavor intensification characteristic of terroir date production. Economic modeling projects substantial water cost savings alongside maintained or enhanced market premiums for premium quality classifications. Extension methodologies train women cooperatives in precision agriculture increasing household incomes through value-added date products. The research establishes science-based cultivation practices ensuring date palm sustainability as cultural-economic cornerstone while positioning Qatar within global precision horticulture demonstrating arid land stewardship through technological innovation harmonized with traditional knowledge.

Keywords: date palm cultivation, water-efficient irrigation, arid agriculture, precision horticulture, Qatar

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE

Dr. Sophia Kiriakou, Andreas Manolis
Department of Agriculture, Hellenic Mediterranean University, Crete, Greece

ABSTRACT

This sustainable agriculture study develops organic herb production protocols optimized for Crete's Mediterranean greenhouse systems emphasizing oregano, thyme, and rosemary adapted to insular soil-climate variability. Substrate engineering combines coconut coir with local olive pruning residues enhancing water retention while preventing root diseases through optimized cation exchange capacity. Biological pest management integrates predatory mites, parasitoid wasps, and entomopathogenic nematodes establishing integrated pest management frameworks excluding synthetic pesticides. Irrigation precision employs tensiometers maintaining matric potentials supporting mycorrhizal colonization essential for phosphorus uptake under low-fertility conditions. Nutrient recycling captures condensate water enriching fertigation solutions with rainwater chemistry characteristic of Mediterranean winter storms. Postharvest protocols preserve volatile oil content through rapid solar dehydration maintaining carvacrol and thymol concentrations rivaling wild harvested material. Market analysis confirms premium pricing for certified organic Cretan herbs within European specialty food sectors valuing PDO geographical indications. Carbon footprint assessment documents substantial emissions reductions versus open field production through protected cultivation efficiencies. Social enterprise models empower women cooperatives managing twenty-hectare herb clusters generating sustainable rural incomes while preserving agrobiodiversity through varietal conservation. Certification pathways navigate EU organic regulations alongside GlobalGAP protocols ensuring market access. The research establishes comprehensive production models positioning Crete as leading supplier of authentic Mediterranean culinary herbs through environmentally sound intensification harmonizing ecological stewardship with economic viability.

Keywords: organic herb production, Mediterranean greenhouse, Crete agriculture, biological pest control, PDO herbs

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS

Assoc. Prof. Dr. Dimitri Pappas, Elena Stavrou, Nikos Theodorou
Laboratory of Olive Cultivation, Agricultural University of Athens, Greece

ABSTRACT

This precision agriculture investigation optimizes irrigation regimes enhancing extra virgin olive oil sensory characteristics and nutritional profiles within Greece's premier Kalamata PDO plantations. Koroneiki cultivar phenology guides deficit irrigation strategies concentrating polyphenols during veraison while sustaining carbon assimilation through critical late-summer stages. Canopy hyperspectral reflectance indices predict water status enabling early intervention preventing permanent stomatal closure. Soil moisture sensors distributed through rootzones facilitate partial rootzone drying alternating wetting patterns stimulating ABA-mediated stress signaling enhancing oil quality precursors. Fruit analysis confirms elevated oleuropein, hydroxytyrosol, and oleocanthal concentrations alongside optimized oleic acid profiles characteristic of premium classifications. Sensory evaluation panels document superior fruity-fruity-aromatic profiles achieving consistently high scores within integrated olive oil panel methodologies. Economic modeling validates sustained yield quality tradeoffs maintaining production volumes while capturing substantial market premiums for superior classifications. Climate resilience protocols incorporate cover cropping suppressing soil evaporation alongside windbreaks mitigating desiccation stresses increasingly prevalent within Mediterranean basin. Extension methodologies disseminate findings through farmer field schools reaching thousands of smallholders across Peloponnese prefectures. Sustainability certification pathways integrate findings within GLOBALG.A.P. and EU Organic frameworks enhancing market positioning. The research establishes scientific foundation elevating Greece's globally recognized olive oil heritage through precision water management harmonizing tradition excellence with contemporary climate-smart agricultural practices ensuring PDO designation integrity for future generations.

Keywords: olive oil quality, precision irrigation, Kalamata olives, PDO enhancement, phenolic compounds

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY

Dr. Farid Gurbanov, Leyla Karimova, Rashad Nuriyev
Department of Plant Protection, Azerbaijan State Agricultural University, Azerbaijan

ABSTRACT

This integrated pest management study develops biological control protocols protecting pomegranates from key orchard pests while maintaining residue-free production standards essential for export markets. Beneficial insect conservation prioritizes Trichogramma parasitoids targeting pomegranate fruit moths alongside predatory beetles suppressing scale insects through habitat manipulation within inter-row cover crops. Microbial biopesticides including Beauveria bassiana and Bacillus thuringiensis establish entomopathogen reservoirs through timed applications synchronized with pest phenology. Plant-derived repellents utilizing neem and essential oil mixtures disrupt mating communication minimizing broad-spectrum insecticide reliance. Monitoring protocols employ pheromone traps and digital imaging providing real-time infestation mapping guiding selective treatments. Orchard floor management integrates flowering understory attracting pollinators while suppressing weed hosts harboring pathogens. Economic analysis confirms cost parity versus chemical controls alongside sustained yield quality supporting premium pricing within European-Russia markets. Pesticide residue monitoring validates clean harvest compliance exceeding maximum residue limits by substantial margins. Farmer training programs disseminate protocols through demonstration orchards reaching thousands across Ganja region revitalizing traditional fruit culture through modern ecological stewardship. Policy advocacy establishes national IPM certification schemes alongside subsidy restructuring favoring biological inputs. The research positions Azerbaijan pomegranates within global clean fruit markets through environmentally sustainable production models preserving agrocultural heritage while meeting contemporary food safety standards through integrated biological management systems harmonizing ecological processes with commercial viability.

Keywords: biological pest control, pomegranate IPM, Azerbaijan agriculture, Ganja Valley, residue-free production

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS

Prof. Dr. Elnur Hasanov, Dr. Aysel Mammadova, Nigar Aliyeva
Faculty of Veterinary Medicine, Azerbaijan State Agricultural University

ABSTRACT

This comprehensive epidemiological study establishes systematic surveillance protocols for highly pathogenic avian influenza (HPAI) across Azerbaijan's intensive poultry production systems, addressing critical gaps in early detection and outbreak containment within the Caucasus flyway. Methodological framework integrates active farm surveillance through cloacal-oro-pharyngeal swabbing of broiler breeder flocks alongside environmental sampling from ventilation systems and water troughs, complemented by serological monitoring via HI and ELISA assays. Virological confirmation employs real-time RT-PCR targeting HA cleavage sites characteristic of H5N1 Eurasian lineage circulating through wild Anseriformes. Biosecurity risk assessment identifies multidirectional spread through live bird markets serving Baku's restaurant trade alongside unregulated slaughter practices during religious festivals. Spatial epidemiology reveals Kur-Araz lowland intensification correlating with heightened outbreak risk due to wetland poultry-wildlife interfaces. One Health integration incorporates human passive surveillance data from Ministry of Health alongside wildlife monitoring through BirdLife Azerbaijan partnerships. Serological profiling documents subclinical infections in layer flocks exhibiting minimal clinical signs yet serving as silent amplifiers. Vaccination strategy evaluation confirms inactivated H5N2 vaccines providing homologous protection while heterologous H5N8 challenge reveals antigenic drift necessitating annual strain updates. Containment modeling establishes optimal culling radii balancing R0 suppression with economic viability. Capacity building establishes national reference laboratory accreditation alongside provincial diagnostic networks linking 28 district veterinary stations. Policy framework advocates Poultry Health Act mandating AI surveillance within national food safety standards while positioning Azerbaijan as regional reference center for Transcaucasus avian disease intelligence serving $450M poultry export economy supporting food security for 10 million consumers.

Keywords: avian influenza surveillance, Azerbaijan poultry, H5N1 epidemiology, biosecurity protocols, One Health

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION

Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov, Dr. Leyla Ibrahimova, Dr. Farid Rahimov
Department of Parasitology, Azerbaijan State Veterinary Academy -

ABSTRACT

This field parasitology investigation characterizes gastrointestinal nematode burdens and emerging anthelmintic resistance patterns across Garabagh's transhumant sheep production systems where Haemonchus contortus, Trichostrongylus spp., and Nematodirus dominate summer pasture infections. Faecal egg count reduction tests confirm ivermectin efficacy decline alongside albendazole resistance exceeding 40% threshold requiring treatment regimen redesign. Pasture larval translation studies document bimodal contamination peaks corresponding to lambing and weaning cycles amplified through communal grazing practices. Zoonotic risk assessment identifies liver fluke transmission through irrigation canal networks serving downstream vegetable production. Breed susceptibility profiling reveals Karakul resilience versus Merino vulnerability linked to genetic resistance markers. Integrated parasite management establishes targeted selective treatment protocols using FAMACHA© conjunctival scoring alongside body condition monitoring achieving 68% reduction in anthelmintic usage while maintaining productivity. Botanical dewormers including Allium spp. and Artemisia extracts demonstrate adjunctive efficacy through direct anthelmintic action and immune modulation. Epidemiological modeling optimizes refugia preservation through division into youngstock-treatment and adult-moved pastures minimizing resistance selection pressure. Nutritional enhancement through medicated urea molasses blocks delivers strategic supplementation during periparturient relaxation. Capacity building establishes regional diagnostic laboratories performing larval culture identification alongside egg hatch assays for isotype 1 benzimidazole resistance detection. Economic analysis confirms sustainable IPM superiority over blanket treatments through extended drug efficacy and pasture carrying capacity preservation. Policy integration advocates national Anthelmintic Resistance Action Plan alongside veterinary extension networks serving 1.2 million small ruminants comprising essential protein source for liberated territories agricultural revival.

Keywords: sheep parasitology, anthelmintic resistance, Garabagh sheep, Haemonchus contortus, IPM strategies

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE

Dr. Dimitri Papadakis, Eleni Stavrou, Prof. Dr. Nikos Karamanos
Faculty of Medicine, University of Crete - Greece

ABSTRACT

This translational veterinary pharmacology study validates Mediterranean medicinal plant extracts as alternatives to antibiotic mastitis therapy in Crete's extensive dairy sheep systems where Staphylococcus aureus and coagulase-negative staphylococci predominate causing 28% lactation losses. Phytochemical standardization establishes thymol-carvacrol rich oregano extracts alongside rosmarinic acid dominant sage preparations exhibiting bactericidal activity through membrane permeabilization and biofilm disruption confirmed through scanning electron microscopy. Clinical field trials across 450 lactating ewes demonstrate comparable somatic cell count reduction with oregano teat dips versus conventional iodine alongside accelerated quarter recovery through intra-mammary Origanum vulgare oil. Immunomodulatory effects include enhanced neutrophil phagocytosis and reduced pro-inflammatory cytokine profiles preserving milk quality for PDO Graviera production. Residue depletion studies confirm zero withdrawal periods versus 72-hour antibiotic restrictions enabling uninterrupted cheese manufacture. Economic modeling establishes 3.8-fold return through treatment cost savings and sustained lactation length. Phytotherapeutic protocols integrate preventive udder health through essential oil impregnated fly control alongside nutritional supplementation optimizing colostrum quality. Extension programs train 2,100 shepherds through farmer field schools establishing community phytomedicine pharmacies. Regulatory dossier supports EU novel feed additive authorization leveraging GRAS status alongside three-year field efficacy documentation. Comparative microbiology confirms superior Greek oregano chemotypes versus commercial Turkish imports through GC-MS sesquiterpene profiling. Sustainability assessment documents wild harvest carrying capacity preservation through cultivated oregano expansion serving dual medicinal-lamb feed purpose. Research establishes Crete phytotherapy model achieving antimicrobial stewardship goals while preserving €180M annual PDO dairy designation supporting 8,500 farming families comprising cultural patrimony essential to Mediterranean gastronomical heritage.

Keywords: ovine mastitis, medicinal plants, oregano extracts, Crete dairy sheep, phytotherapy

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE

Maria Kostopoulou, Assoc. Prof. Dr. Theo Lazos
Department of Animal Science, Agricultural University of Athens

ABSTRACT

This precision livestock farming study validates infrared thermography protocols for early lameness detection in Greek Holstein dairy herds housed within Epirus-Macedonia freestall facilities where digital dermatitis and white line disease compromise 22% annual mobility. Thermal symmetry algorithms establish 0.8°C coronary band temperature elevation threshold predicting mobility scoring deterioration with 87% sensitivity through hoof-coronet interface monitoring. Machine learning classification integrates thermal profiles with accelerometer gait analytics achieving 94% lameness event prediction enabling proactive foot bathing interventions. Environmental validation confirms algorithm robustness across seasonal temperature fluctuations through black globe correction alongside breed specific baselines accounting for Mediterranean black coat absorption characteristics. Economic modeling quantifies €280/cow lifetime benefit through 18-day earlier intervention preserving 450kg milk yield alongside €120 claw trimming deferral. Farmer adoption studies document 76% compliance through tablet-based image acquisition training 1,400 herd managers. Data integration platforms link thermal alerts with milk recording systems triggering automated footbath chemical deployment. Welfare outcomes include 41% reduction in severe stage 3 lesions alongside enhanced lying behavior restoration. Extension methodology establishes national reference protocol adopted through Hellenic Dairy Association serving 450,000 lactating cows. Regulatory compliance supports EU Animal Welfare Directive reporting through automated lameness benchmarking dashboards. Research scalability confirmed through Cyprus-Thessaly pilot expansion alongside Balkan network development positioning Greece as regional precision dairy technology hub preserving €2.8B national milk production serving 11 million consumers essential protein requirements while advancing sustainable intensification paradigms.

Keywords: thermal imaging, lameness detection, dairy cattle welfare, precision livestock, Greek Holsteins

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES

Dr. Fatima Al-Mansoori, Khalid Rahman, Assoc. Prof. Dr. Ahmed Khalil
Faculty of Veterinary Medicine, United Arab Emirates University

ABSTRACT

This nanoveterinary immunology investigation develops chitosan-tripolyphosphate nanoparticles encapsulating Peste des Petits Ruminants (PPR) virus glycoproteins for single-dose mucosal vaccination of Arabian dromedaries serving UAE's $2.1B camel racing industry. Nanoparticle optimization achieves 87% entrapment efficiency alongside 180-day antigen stability under desert storage conditions eliminating cold chain dependency across remote Bedouin communities. Muco-adhesive properties enhance nasopharyngeal retention prolonging IgA induction critical for respiratory challenge protection. Cellular immunity profiling confirms Th1 bias through IFN-γ ELISPOT alongside CD8+ cytotoxic responses exceeding 4-fold inactivated vaccine benchmarks. Challenge studies demonstrate 92% clinical protection against aerosolized rinderpest serotype alongside sterilizing immunity preventing nasal shedding. Economic modeling establishes 4.6:1 return through lifetime racing productivity preservation alongside ritual slaughter security. Regulatory pathway leverages Gulf Cooperation Council veterinary harmonization enabling regional deployment protecting 8.2 million Gulf camelids. Scale-up establishes cGMP nanofabrication through Abu Dhabi pilot plant producing 25 million doses annually. Farmer acceptance studies confirm 94% adoption preference over hypodermic alternatives through nasal applicator simplicity. Sustainability assessment documents 73% carbon reduction versus traditional manufacturing. Intellectual property portfolio includes nanoparticle composition alongside mucosal adjuvant claims supporting UAE Vision 2030 knowledge economy diversification. Extension networks train 2,800 camel health workers establishing community nano-vaccine refrigerators. Research positions nanotechnology as transformative platform achieving herd immunity across arid pastoralist systems while establishing Gulf leadership within global nanoveterinary innovation serving $16B camelid cultural economies.

Keywords: camelid vaccines, nanotechnology delivery, PPR protection, mucosal immunity, desert veterinary

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN ARID CLIMATES

Prof. Dr. Noor Al-Harethi, Sara Hassan
Department of Animal Production, King Saud University

ABSTRACT

This microbiome engineering study optimizes multi-strain probiotic consortia for broiler chickens confronting Arabian Peninsula heat stress compromising 18% survival through enteric dysbiosis. 16S rRNA metagenomics documents Lactobacillus salivarius dominance reestablishing Firmicutes:Bacteroidetes equilibrium disrupted by cyclic thermal duress alongside Clostridium perfringens exclusion through competitive binding. Metabolomic profiling confirms butyrate enhancement driving distal intestinal repair alongside lactate utilization preventing D-lactic acidosis during peak temperature exposure. Performance outcomes include 12% feed conversion superiority alongside 9% bodyweight advantage persisting through slaughter despite 42°C housing challenges. Immune architecture reveals IL-10 upregulation maintaining Th1/Th2 homeostasis alongside reduced acute phase proteins indicating diminished heat-stress inflammation. Economic modeling confirms 3.9:1 return through mortality elimination alongside uniform carcass quality preservation serving halal export standards. Regulatory dossiers support Saudi FDA novel feed approval through three-year safety documentation alongside zero withdrawal confirmation. Scale-up establishes commercial fermentation through Riyadh Biotech Park producing 450 tons annually serving Gulf Cooperation Council markets. Farmer training programs educate 3,200 integrators establishing probiotic integration protocols within precision nutrition platforms. Sustainability assessment documents 68% antibiotic reduction alongside enhanced nutrient recycling through litter management. Research establishes microbiome therapeutics as foundational technology achieving climate resilience within $24B Saudi poultry sector comprising essential protein security serving 35 million residents alongside 18 million Hajj/Umrah pilgrims annually.

Keywords: broiler probiotics, arid climate microbiome, heat stress resilience, butyrate metabolism, poultry nutrition

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE

Dr. Wei Ling Tan, Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar, Mei Ling Wong
Saw Swee Hock School of Public Health, National University of Singapore

ABSTRACT

This transdisciplinary One Health investigation integrates rodent population dynamics, wastewater epidemiology, and clinical surveillance establishing leptospirosis transmission circuits across Singapore's high-density urban interfaces where Rattus norvegicus flourishes within wet markets alongside transient migrant worker dormitories. Serovar prevalence profiling confirms Icterohaemorrhagiae dominance circulating through subsidized hawker center waste streams alongside stormwater drains serving 5.8 million residents. Metagenomic wastewater analysis detects pathogen load spikes correlating with monsoon flooding alongside rodenticide application cycles indicating resistance emergence. Clinical cohort studies document seroconversion among 87% wet market workers versus 14% office populations confirming occupational amplification. Intervention trials validate integrated pest management combining zero-rodenticide Integrated Nutrient Management alongside ultrasonic deterrents achieving 76% Rattus population reduction without secondary wildlife poisoning. Community-based surveillance empowers 2,400 block committees through smartphone microscopy enabling real-time leptospira darkfield detection linked to national notifiable disease platforms. Economic modeling establishes S$28M annual savings through outbreak prevention alongside enhanced hawker productivity. Policy integration establishes National Leptospirosis Control Act mandating tripartite human-animal-environmental monitoring across 72 planning areas. Capacity building trains 1,800 public health officers establishing island-wide One Health taskforce. Sustainability assessment confirms circular economy benefits through food waste biodigestion eliminating 68% rodent attractants. Research positions Singapore as global model achieving zoonotic elimination within land-scarce megacity through systems epidemiology serving ASEAN regional reference center protecting $124B tourism economy alongside 1.2 million daily cross-border commuters.

Keywords: leptospirosis One Health, urban zoonoses, Singapore rodent control, wastewater epidemiology, migrant health

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato, Takeshi Yamamoto
Department of Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan

ABSTRACT

This research explores advanced nanoscale surface modification strategies to substantially improve supercapacitor electrode performance, focusing on transition metal oxide nanostructures and carbon-based hybrids. Plasma etching combined with atomic layer deposition creates hierarchical porosity architectures that dramatically expand accessible surface area while maintaining electrical connectivity through three-dimensional conductive networks. Chemical functionalization introduces oxygen-containing groups that enhance pseudocapacitive charge storage mechanisms alongside improved electrolyte wettability. The study systematically investigates defect engineering through ion implantation, creating oxygen vacancies that serve as active catalytic sites for faradaic redox reactions while preventing irreversible phase transformations during extended cycling. Laser interference lithography patterns periodic nanostructures optimizing ion diffusion pathways and electric field distribution at the electrode-electrolyte interface. These modifications collectively address fundamental limitations of conventional supercapacitors including limited energy density, poor rate capability at high current densities, and capacity degradation from mechanical stress during volume changes. Comprehensive electrochemical characterization through cyclic voltammetry, galvanostatic cycling, and electrochemical impedance spectroscopy confirms exceptional performance metrics across wide temperature ranges and diverse electrolyte systems. Long-term stability testing demonstrates retention of initial capacitance after thousands of cycles, surpassing commercial benchmarks. Theoretical modeling elucidates structure-property relationships guiding rational nanostructure design for next-generation energy storage. The developed methodologies demonstrate broad applicability beyond supercapacitors to other electrochemical systems including lithium-ion batteries and electrocatalysts. Scalable fabrication processes utilize industrially viable equipment enabling commercial translation. Research establishes comprehensive framework advancing electrode engineering from empirical optimization toward physics-guided nanoscale architecture design achieving breakthrough energy storage capabilities essential for electrified transportation and renewable energy integration.

Keywords: supercapacitor electrodes, nanoscale modification, surface engineering, pseudocapacitance, energy storage

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION

Dr. Chinedu Okonkwo, Ngozi Eze, Emeka Nwankwo
Department of Civil Engineering, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

ABSTRACT

This research develops high-performance construction composites from recycled plastic waste addressing Nigeria's critical housing deficit while simultaneously resolving plastic pollution challenges. Mechanical and chemical recycling processes transform low-value polyethylene and polypropylene waste into consistent composite feedstocks suitable for extrusion and compression molding. Interfacial adhesion engineering through compatibilizer addition and surface functionalization creates strong matrix-fiber bonding essential for structural applications. The study systematically evaluates mixture designs optimizing mechanical properties, thermal stability, and fire resistance required for building codes compliance. Extruded hollow-core panels and compression-molded roofing sheets demonstrate superior strength-to-weight ratios compared to traditional concrete masonry while providing excellent thermal insulation suited to Nigeria's tropical climate. Accelerated weathering tests confirm long-term durability under intense UV exposure, high humidity, and thermal cycling characteristic of coastal and savanna regions. Life-cycle assessment reveals dramatically reduced embodied carbon alongside elimination of landfill disposal costs. Economic analysis confirms substantial savings through material cost reduction and accelerated construction timelines enabled by lightweight prefabricated components. Local production eliminates import dependency on cement while creating circular economy jobs collecting, processing, and manufacturing recycled content products. Community deployment trials validate construction worker training protocols alongside simplified assembly methods appropriate for semi-skilled labor. The modular panel system facilitates rapid deployment in urban slums and rural communities lacking conventional infrastructure. Research establishes comprehensive framework transforming plastic waste from environmental liability into valuable construction resource revolutionizing Nigerian housing delivery while advancing United Nations Sustainable Development Goals for responsible consumption, sustainable cities, and climate action through innovative materials engineering tailored to local resource realities.

Keywords: recycled plastic composites, sustainable construction, Nigerian housing, circular economy, waste valorization

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY

Prof. Dr. Aisha Bello, Tunde Adeyemi
Department of Chemical Engineering, Ahmadu Bello University, Nigeria

ABSTRACT

This research develops high-performance biodegradable polymer blends from abundant Nigerian agricultural waste biomass including cassava peels, rice husks, and sugarcane bagasse, creating sustainable alternatives to petroleum-based plastics dominating local packaging markets. Thermomechanical processing converts lignocellulosic waste into thermoplastic starch matrices reinforced with nanocellulose fibers extracted through mild chemical treatments preserving native crystalline structure. Compatibilization strategies employing maleic anhydride grafting overcome inherent hydrophilicity challenges enabling water-resistant films suitable for food contact applications. Comprehensive materials characterization confirms balanced mechanical properties combining stiffness from natural fiber reinforcement with ductility from plasticized starch matrices. Accelerated biodegradation testing demonstrates complete mineralization within months under local composting conditions contrasting decades required for conventional plastics. Oxygen and water vapor transmission rates meet fresh produce packaging requirements preventing spoilage while maintaining carbon footprint advantages over imported bioplastics. Scale-up manufacturing utilizes existing extrusion and blown-film equipment minimizing capital investment barriers for local converters. Economic modeling confirms competitive pricing against polyethylene through elimination of import tariffs and duties while generating value-added employment in rural biomass collection zones. Regulatory compliance achieved through Nigerian Industrial Standards Organization certification facilitates market access for food packaging applications. Life-cycle assessment quantifies environmental benefits including avoided marine pollution and greenhouse gas emissions. Consumer acceptance trials confirm preference for transparently labeled biodegradable packaging among urban supermarket shoppers. The research establishes complete value chain from farm waste collection through industrial conversion creating sustainable packaging ecosystem supporting Nigeria's agricultural economy while positioning local manufacturers within growing global green packaging market projected to reach substantial market share within decade.

Keywords: biodegradable polymers, agricultural waste, Nigerian packaging, bioplastics, sustainability

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS

Dr. Juma Mtui, Fatuma Ally, Assoc. Prof. Dr. Elias Nnko
Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Dar es Salaam, Tanzania

ABSTRACT

This research develops corrosion-resistant titanium alloys specifically engineered for Tanzania's aggressive mining environments combining acidic tailings slurries, hypersaline brines, and abrasive mineral suspensions. Beta titanium alloys with controlled aluminum-vanadium chemistry achieve optimal balance between strength, toughness, and pitting corrosion resistance essential for slurry pump impellers, hydrocyclone liners, and tailings pipework. Powder metallurgy processing enables precise control over microstructure eliminating segregation issues plaguing conventional ingot metallurgy while reducing material costs through scrap recycling. Surface modification through plasma electrolytic oxidation creates thick ceramic-like coatings providing abrasion protection alongside self-healing properties in chloride environments. Comprehensive laboratory testing replicates Geita and Bulyanhulu mine conditions confirming superior performance against conventional stainless steels suffering rapid pitting and crevice corrosion failure. Field trials document extended component lifetimes substantially reducing maintenance shutdowns and replacement costs critical for continuous mining operations. Economic analysis confirms favorable lifecycle costs despite higher initial material expense through dramatic reduction in downtime and safety incidents associated with catastrophic corrosion failures. Local fabrication capabilities established through University of Dar es Salaam technology transfer creating skilled manufacturing jobs while reducing import dependency. The research addresses fundamental materials challenges specific to East African geology including sulphide ore processing and alkaline tailings management. Comprehensive failure analysis of existing equipment informs alloy design criteria ensuring fitness-for-service under extreme service conditions. Strategic partnerships with Barrick Gold and AngloGold Ashanti validate industrial scale performance while informing national standards development. Research establishes titanium technology platform supporting Tanzania's mining sector growth while building local engineering capacity essential for downstream value addition and economic development.

Keywords: titanium alloys, corrosion resistance, Tanzanian mining, materials engineering, slurry abrasion

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE

Zainab Mwamba, Dr. Lucas Kileo
Department of Structural and Construction Engineering, Ardhi University, Tanzania

ABSTRACT

This research develops high-performance natural fiber-reinforced concrete utilizing Tanzanian sisal, coconut coir, and rice straw for sustainable infrastructure development addressing chronic material shortages and import dependency. Alkali treatment optimization extracts optimal fiber properties while ensuring strong cement matrix bonding essential for composite action. Extensive materials characterization confirms substantial improvements in post-cracking tensile capacity, impact resistance, and ductility transforming brittle concrete into pseudo-ductile structural material suitable for seismic zones and blast loading. Long-term durability studies demonstrate excellent performance under tropical exposure including wet-dry cycling, thermal expansion, and alkali-silica reaction common in local aggregates. Structural testing of beams, slabs, and walls validates code-compliant flexural and shear capacities enabling widespread adoption in low-rise buildings, rural bridges, and community infrastructure. Life-cycle assessment confirms dramatic carbon footprint reduction through cement replacement and local materials substitution alongside elimination of synthetic fiber imports. Economic modeling demonstrates substantial savings through reduced formwork requirements and accelerated construction timelines enabled by enhanced fresh concrete workability. Local production protocols leverage existing small-scale industries creating circular economy opportunities while building technical capacity through Ardhi University training programs. The research systematically addresses East African construction challenges including aggregate variability, high chloride exposure, and limited skilled labor availability. Comprehensive design guidelines and national standards development facilitate regulatory approval and contractor confidence. Strategic demonstration projects showcase performance in actual service environments building market acceptance. Research establishes comprehensive framework transforming natural fiber waste into high-value construction materials supporting Tanzania's infrastructure expansion while advancing sustainable development goals through indigenous resource utilization.

Keywords: natural fiber concrete, sustainable construction, Tanzanian infrastructure, ductility enhancement, sisal reinforcement

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

INTEGRATED METABOLIC, INFLAMMATORY, NUTRITIONAL, AND FIBROSIS SIGNATURES FOR THE IDENTIFICATION OF NONALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE: A COMPARATIVE DIAGNOSTIC PERFORMANCE STUDY

Dr. Öğr. Üyesi Şeyma Dümür[1], Prof. Dr. Hafize Uzun[1]

[1] Istanbul Atlas University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biochemistry

seyma.dumur@atlas.edu.tr – ORCID: 0000-0001-8893-2926; hafize.uzun@atlas.edu.tr – ORCID: 0000-0002-1347-8498

ÖZET

Nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) is the most common chronic liver disease worldwide and is closely associated with obesity, insulin resistance, and metabolic dysfunction. This study aimed to compare the diagnostic performance of routine laboratory-derived metabolic, inflammatory, nutritional, and fibrosis-related indices for the identification of NAFLD and to determine whether integrating these domains improves discrimination. A total of 90 adults, including 46 patients with NAFLD and 44 healthy controls, were retrospectively evaluated. Hepatic steatosis was assessed by abdominal ultrasonography, and metabolic, inflammatory, nutritional, and fibrosis-related indices were calculated from routinely available clinical and biochemical parameters. Group comparisons, false discovery rate correction, receiver operating characteristic (ROC) analysis, logistic regression, domain-specific models, correlation analysis, and supervised machine-learning approaches were performed. Patients with NAFLD demonstrated significantly greater adiposity and metabolic impairment than controls. HSI showed an AUC of 0.965, followed by waist circumference (0.963), BMI (0.963), TyG-BMI (0.962), and TyG-WC (0.954). The metabolic domain achieved an AUC of 0.969, whereas the integrated signature achieved an AUC of 0.957. Among machine-learning models, SVM-RBF yielded an AUC of 0.977, while elastic-net and L2-regularized logistic regression achieved 93.33% accuracy. These findings indicate that routinely available metabolic and anthropometric indices provide strong discrimination for NAFLD in this selected case-control cohort, whereas adding inflammatory, nutritional, and fibrosis-related variables produced limited incremental diagnostic benefit. The findings should be interpreted in light of the retrospective design, modest sample size, ultrasonographic diagnosis, and incorporation of HSI into case selection.

Anahtar Kelimeler: Nonalcoholic fatty liver disease; Hepatic Steatosis Index; triglyceride-glucose index; insulin resistance; obesity; machine learning

1. INTRODUCTION

Nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD), now encompassed within the broader terminology of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD), is a common chronic

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

liver condition closely related to obesity, type 2 diabetes, insulin resistance, and other cardiometabolic risk factors (1–3). The disease spectrum extends from simple steatosis to steatohepatitis, progressive fibrosis, cirrhosis, and hepatocellular carcinoma. Its increasing prevalence has created a substantial public-health burden and has strengthened the need for accessible approaches to case identification and risk stratification.

Although liver biopsy remains a reference method for histological characterization, its invasive nature and sampling limitations preclude its use as a routine screening tool. Ultrasonography is widely used in clinical practice because it is accessible and inexpensive, although its sensitivity decreases with mild steatosis and the method remains operator dependent (2,3). These limitations have stimulated interest in simple indices derived from routine anthropometric and laboratory variables.

Insulin resistance plays a central role in the metabolic pathophysiology of steatotic liver disease by increasing fatty-acid flux to the liver, promoting de novo lipogenesis, and contributing to oxidative stress, mitochondrial dysfunction, inflammation, and fibrogenesis. Accordingly, indices that combine glucose and triglyceride metabolism with anthropometric measures may capture complementary components of the metabolic phenotype.

The Hepatic Steatosis Index (HSI), developed from BMI, the ALT/AST ratio, sex, and diabetes status, is a simple non-invasive index for hepatic steatosis (4). Similarly, the triglyceride-glucose (TyG) index and modified TyG indices such as TyG-BMI and TyG-WC have been investigated as practical surrogates of insulin resistance and metabolic dysfunction (5–7). Waist circumference is also informative because it captures central adiposity that is not fully represented by BMI (8).

In addition to metabolic indices, inflammatory ratios, nutritional scores, and fibrosis-related indices may provide information about different aspects of disease phenotype. However, these measures were developed for different clinical purposes and may not contribute equally to the identification of hepatic steatosis. Therefore, the present study compared these domains within the same cohort and further examined whether integrated statistical and machine-learning models provide meaningful improvement over individual routine indices.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Design and Population

This retrospective case-control study was conducted between November 1, 2022, and January 1, 2023, at the Department of Internal Medicine, Kanuni Sultan Süleyman Training and Research Hospital, Istanbul, Türkiye. Ninety adult participants were included: 46 patients with NAFLD and 44 apparently healthy controls.

Patients were selected from individuals attending Internal Medicine outpatient clinics who underwent abdominal ultrasonography during routine clinical evaluation. NAFLD was diagnosed when at least grade 2 hepatic steatosis was reported on abdominal ultrasonography. To increase specificity within the study dataset, HSI was additionally calculated and only

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

individuals with HSI ≥36 were included in the NAFLD group. The HSI threshold is derived from the original HSI publication (4). Controls had no ultrasonographic evidence of hepatic steatosis, no known liver disease, and no major chronic systemic disease.

2.2. Inclusion and Exclusion Criteria

Inclusion criteria were age ≥18 years, ultrasonographic diagnosis of NAFLD for the patient group, HSI ≥36 for the NAFLD group, absence of significant alcohol consumption, and willingness to participate. Controls were adults without ultrasonographic steatosis, chronic systemic disease, or significant alcohol consumption.

Participants were excluded in the presence of pregnancy or breastfeeding, significant alcohol consumption, acute or chronic infection, viral hepatitis or another chronic liver disease, malignancy, dialysis-dependent chronic kidney disease, severe malnutrition, NYHA class III–IV heart failure, chronic inflammatory disease, or chronic pulmonary disease including chronic obstructive pulmonary disease, bronchiectasis, asthma, or pulmonary hypertension.

2.3. Clinical and Laboratory Measurements

Demographic characteristics, smoking status, medical history, comorbidities, medication use, and anthropometric measurements were recorded. Body weight was measured with a calibrated electronic scale and height with a wall-mounted stadiometer. BMI was calculated as weight divided by height squared (kg/m²). Waist circumference was measured at the midpoint between the iliac crest and the lower costal margin at the end of normal expiration, and hip circumference at the level of maximum gluteal protuberance. Waist-to-hip ratio (WHR) was calculated as waist circumference divided by hip circumference.

After an overnight fast of at least 8 hours, venous blood samples were obtained between 08:00 and 10:00 AM. Approximately 10 mL of blood was collected into standard vacuum tubes. Samples were centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes, and serum aliquots were stored at −80 °C until analysis. Each sample was thawed once. Hemolyzed or lipemic samples were excluded.

Routine laboratory parameters included fasting plasma glucose, insulin, HbA1c, ALT, AST, total cholesterol, triglycerides, HDL cholesterol, LDL cholesterol, CRP, serum albumin, complete blood count parameters, and platelet count. Metabolic syndrome was assessed according to the International Diabetes Federation criteria.

2.4. Composite Biomarker Indices

Metabolic indices included BMI, WHR, TyG, TyG-BMI, TyG-WC, HOMA-IR, and HSI. Inflammatory indices included NLR, PLR, MHR, SII, and SIRI. Nutritional status was represented by PNI and CONUT. Fibrosis-related indices included APRI, FIB-4, and NFS. These indices were selected because they can be calculated from routinely available anthropometric, hematological, and biochemical variables and have been investigated in metabolic liver disease and/or fibrosis assessment (4–7,9–13).

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

2.5. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics version 29.0 and R statistical software. Continuous variables were assessed for normality using the Shapiro–Wilk test together with graphical inspection. Normally distributed variables were summarized as mean ± standard deviation and non-normally distributed variables as median and interquartile range. Categorical variables were expressed as frequencies and percentages.

Between-group comparisons used the independent-samples t-test or Mann–Whitney U test, as appropriate. Categorical variables were compared using the chi-square test or Fisher's exact test. Benjamini–Hochberg false discovery rate correction was applied to reduce the risk of false-positive findings due to multiple comparisons.

ROC analysis was used to evaluate diagnostic performance. AUC values with 95% confidence intervals were calculated, and optimal thresholds were obtained using the Youden index. Sensitivity, specificity, positive predictive value, and negative predictive value were calculated. Univariable and multivariable binary logistic regression models were used to investigate associations with NAFLD. Domain-specific and integrated supervised machine-learning models were evaluated using repeated cross-validation. Model discrimination and calibration were summarized using AUC, sensitivity, specificity, accuracy, precision, F1-score, and Brier score. A two-sided P value <0.05 was considered statistically significant.

3. RESULTS

3.1. Study Population and Baseline Characteristics

The study included 90 participants, comprising 46 patients with NAFLD and 44 healthy controls. Patients with NAFLD had significantly higher HSI, TyG-WC, waist circumference, BMI, TyG-BMI, hip circumference, WHR, HOMA-IR, ALT, HbA1c, AST, TyG, CRP, triglycerides, and fasting glucose than controls after false discovery rate correction. Diabetes mellitus, hypertension, and metabolic syndrome were also significantly more frequent in the NAFLD group.

Table 1. Principal clinical, anthropometric, and biochemical characteristics

Variable	NAFLD (n=46)	Control (n=44)	P	FDR-adjusted P
HSI	47.11 ± 6.41	33.37 ± 4.92	<0.001	<0.001
TyG-WC	1028.42 ± 128.27	719.00 ± 133.99	<0.001	<0.001
Waist circumference, cm	111.50 [107.00–116.00]	87.00 [74.75–92.00]	<0.001	<0.001
BMI, kg/m²	33.94 [31.68–36.22]	24.33 [21.88–26.04]	<0.001	<0.001
TyG-BMI	310.50 [281.74–331.79]	204.84 [182.36–229.97]	<0.001	<0.001
Hip circumference, cm	116.00 [112.00–121.50]	96.50 [91.75–104.25]	<0.001	<0.001
WHR	0.96 ± 0.07	0.86 ± 0.06	<0.001	<0.001

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

HOMA-IR	4.13 [3.12–5.69]	2.06 [1.20–2.96]	<0.001	<0.001
ALT, U/L	25.50 [19.00–43.00]	15.00 [10.00–20.00]	<0.001	<0.001
HbA1c, %	6.10 [5.60–6.60]	5.40 [5.28–5.70]	<0.001	<0.001
AST, U/L	21.00 [17.00–26.75]	15.00 [13.75–20.25]	<0.001	<0.001
TyG	8.98 [8.56–9.54]	8.49 [8.07–8.89]	<0.001	<0.001
PNI	60.75 [56.52–62.50]	56.05 [53.40–59.32]	<0.001	<0.001
AAR	0.86 [0.70–0.95]	1.08 [0.87–1.34]	<0.001	<0.001
AIP	0.54 [0.32–0.71]	0.33 [0.12–0.50]	<0.001	<0.001
TG/HDL-C	3.46 [2.10–5.16]	2.15 [1.31–3.16]	<0.001	<0.001
CRP	2.71 [1.47–6.37]	1.41 [0.81–2.15]	<0.001	0.001
Triglycerides, mg/dL	156.50 [103.25–194.75]	108.00 [69.75–165.00]	0.002	0.004
Fasting glucose, mg/dL	99.00 [89.50–119.75]	91.50 [85.75–100.00]	0.002	0.005

Table 2. Categorical variables

Variable	Test	P	FDR-adjusted P	Effect size
Sex	Chi-square	0.993	0.993	0.001
Smoking	Chi-square	0.387	0.483	0.091
Diabetes mellitus	Chi-square	<0.001	<0.001	0.506
Hypertension	Chi-square	<0.001	<0.001	0.420
Metabolic syndrome	Chi-square	<0.001	<0.001	0.572

Effect sizes are reported as Cramér's V or φ coefficients.

3.2. Diagnostic Performance of Individual Indices

HSI demonstrated an AUC of 0.965 (95% CI 0.928–0.993). At a Youden-derived cut-off of 40.30, sensitivity was 86.96% and specificity was 95.45%. Waist circumference and BMI each achieved an AUC of 0.963. TyG-BMI and TyG-WC achieved AUCs of 0.962 and 0.954, respectively. WHR and HOMA-IR showed lower but still substantial discrimination, whereas TyG, PNI, CRP, NFS, APRI, and FIB-4 showed progressively lower AUC values.

Table 3. Receiver operating characteristic analysis

Marker	AUC	95% CI	Optimal cut-off	Sensitivity (%)	Specificity (%)
HSI	0.965	0.928–0.993	40.30	86.96	95.45
Waist circumference	0.963	0.910–0.997	103.00 cm	91.30	95.45
BMI	0.963	0.921–0.993	29.76 kg/m²	89.13	93.18
TyG-BMI	0.962	0.924–0.992	263.76	93.48	88.64
TyG-WC	0.954	0.909–0.986	857.51	97.83	84.09
WHR	0.860	0.783–0.931	0.911	80.43	84.09
HOMA-IR	0.836	0.749–0.908	3.10	78.26	77.27
TyG	0.748	0.642–0.839	8.30	93.48	45.45
PNI	0.744	0.635–0.837	60.40	54.35	86.36
CRP	0.715	0.600–0.820	2.47	56.52	81.82
NFS	0.691	0.585–0.796	−3.33	91.30	40.91
APRI	0.654	0.538–0.766	0.188	58.70	70.45

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

FIB-4	0.516	0.399–0.633	0.556	28.26	79.55

3.3. Univariable Logistic Regression

In standardized univariable logistic regression, waist circumference showed the largest association with NAFLD (OR 146.71 per 1-SD increase), followed by BMI, HOMA-IR, HSI, TyG-BMI, and TyG-WC. The wide confidence intervals observed for several anthropometric indices indicate limited precision and should be interpreted in the context of the modest sample size and strong separation between groups.

Table 4. Univariable logistic regression analysis

Marker	OR per 1-SD increase	95% CI	P	FDR-adjusted P
Waist circumference	146.71	15.32–1404.66	<0.001	<0.001
BMI	108.41	14.78–795.05	<0.001	<0.001
HOMA-IR	106.28	8.64–1307.01	<0.001	<0.001
HSI	84.06	11.42–619.02	<0.001	<0.001
TyG-BMI	71.94	11.96–432.86	<0.001	<0.001
TyG-WC	61.92	10.28–372.85	<0.001	<0.001
WHR	8.40	3.29–21.48	<0.001	<0.001
MHR	7.56	1.53–37.47	0.013	0.022
TyG	3.22	1.75–5.95	<0.001	<0.001
AIP	2.65	1.53–4.59	<0.001	0.001
TG/HDL-C	2.63	1.31–5.28	0.007	0.012
APRI	2.08	1.16–3.75	0.014	0.022
NFS	2.01	1.21–3.33	0.007	0.012
PNI	2.00	1.04–3.84	0.038	0.056
AAR	0.24	0.11–0.53	<0.001	<0.001

3.4. Domain-Specific Diagnostic Signatures

The metabolic signature achieved an AUC of 0.969, with 95.65% sensitivity and 88.64% specificity. The integrated signature achieved an AUC of 0.957, with 91.30% sensitivity and 93.18% specificity. The fibrosis signature showed good discrimination, whereas inflammatory and nutritional signatures demonstrated modest performance.

Table 5. Performance of domain-specific biomarker signatures

Model	AUC	95% CI	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)	Brier score
Metabolic signature	0.969	0.936–0.993	95.65	88.64	92.22	0.075
Inflammatory signature	0.712	0.613–0.818	54.35	86.36	70.00	0.230
Nutritional signature	0.690	0.572–0.795	71.74	63.64	67.78	0.231
Fibrosis signature	0.861	0.781–0.928	84.78	77.27	81.11	0.169
Integrated signature	0.957	0.900–0.994	91.30	93.18	92.22	0.075

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

3.5. Machine-Learning Performance

All evaluated machine-learning algorithms demonstrated high discrimination within the study cohort. SVM-RBF produced an AUC of 0.977 and specificity of 97.73%. Elastic-net and L2-regularized logistic regression achieved the highest accuracy, both at 93.33%. SVM-RBF also showed the lowest Brier score.

Table 6. Machine-learning model performance

Algorithm	AUC	95% CI	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)	Brier score
SVM-RBF	0.977	0.945–0.996	86.96	97.73	92.22	0.062
Random forest	0.965	0.928–0.993	95.65	88.64	92.22	0.091
Elastic-net logistic	0.961	0.913–0.995	93.48	93.18	93.33	0.073
Logistic regression, L2	0.957	0.899–0.992	97.83	88.64	93.33	0.070
Gradient boosting	0.949	0.903–0.987	89.13	93.18	91.11	0.080

3.6. Correlation Structure and Integrated-Model Coefficients

Strong positive correlations were observed between TyG-BMI and HOMA-IR (ρ=0.703), TyG-BMI and WHR (ρ=0.617), and WHR and HOMA-IR (ρ=0.613). Fibrosis-related indices were also strongly correlated: FIB-4 correlated with NFS (ρ=0.736) and APRI (ρ=0.714), while NFS correlated with APRI (ρ=0.534). In the integrated regularized model, TyG-BMI had the largest positive standardized coefficient, followed by WHR. Vitamin D, PNI, CONUT, SII, NFS, and APRI retained smaller positive coefficients, whereas FIB-4 showed a negative coefficient. HOMA-IR, CRP, and MHR were reduced to zero by regularization.

4. DISCUSSION

The present study compared routinely obtainable metabolic, inflammatory, nutritional, and fibrosis-related indices for the identification of NAFLD and assessed whether integrating these domains improved diagnostic discrimination. The principal finding was that metabolic and anthropometric measures provided the strongest separation between patients with NAFLD and healthy controls. HSI, BMI, waist circumference, TyG-BMI, and TyG-WC all showed high AUC values, whereas isolated inflammatory, nutritional, and fibrosis-related measures were less discriminative.

HSI achieved an AUC of 0.965. This is consistent with the original HSI study, in which BMI, the ALT/AST ratio, sex, and diabetes status were combined into a simple screening index (4). However, an important methodological limitation of the present study is that HSI ≥36 was included in the definition of the NAFLD group. Because the index under evaluation therefore contributed to case selection, incorporation bias is likely to have increased the apparent

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

discrimination of HSI. The high AUC should consequently not be interpreted as an independent validation of HSI.

BMI and waist circumference each achieved an AUC of 0.963. These results are biologically plausible because excess adiposity, particularly central adiposity, is closely related to insulin resistance and hepatic fat accumulation. Waist circumference can provide information complementary to BMI by reflecting abdominal adiposity (8). Nevertheless, the magnitude of discrimination in this selected case-control cohort may not be reproducible in unselected screening populations, in lean NAFLD, or in cohorts with less pronounced anthropometric separation.

TyG-BMI and TyG-WC also demonstrated excellent discrimination, substantially exceeding that of the TyG index alone. These composite indices combine fasting triglyceride and glucose information with BMI or waist circumference and therefore capture both metabolic and anthropometric components of risk. Previous studies have reported associations between TyG-derived indices and NAFLD, supporting the biological rationale for their use as inexpensive surrogate markers of metabolic dysfunction (5–7).

HOMA-IR showed lower discrimination than the modified TyG indices. HOMA-IR remains an established surrogate of insulin resistance, but its interpretation can be affected by biological and analytical variation in fasting insulin. In contrast, fasting glucose and triglycerides are routinely available in most clinical laboratories. The present findings therefore support further evaluation of TyG-based indices as practical screening markers, while recognizing that their performance is population dependent.

Inflammatory biomarkers showed more limited diagnostic discrimination. CRP was higher in patients with NAFLD, but the inflammatory signature achieved an AUC of 0.712. Systemic inflammatory markers are affected by obesity, smoking, infection, medications, and other chronic conditions and are therefore not specific to hepatic steatosis. The present results are compatible with the concept that inflammation is an important component of disease progression but may have limited value as a stand-alone case-identification marker (14).

The nutritional domain also showed limited discrimination. PNI was higher in the NAFLD group, but PNI was originally developed as a prognostic nutritional and immunological index rather than as a diagnostic marker of fatty liver disease. Its interpretation in an obese population with preserved albumin concentrations requires caution. Similarly, CONUT was not developed specifically for steatosis identification. Thus, these indices should not be interpreted as disease-specific biomarkers on the basis of the present data.

Fibrosis-related indices performed less well for identifying steatosis. This result is consistent with their intended clinical purpose: APRI, FIB-4, and NFS are primarily used to estimate fibrosis risk rather than to diagnose hepatic fat accumulation (9–13). A low AUC for steatosis identification therefore does not negate their potential value for subsequent fibrosis risk stratification.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

The metabolic signature achieved an AUC of 0.969, whereas the integrated signature achieved an AUC of 0.957. This pattern indicates that adding variables from weaker domains did not improve discrimination beyond the information already contained in the metabolic phenotype. The finding is relevant from a clinical implementation perspective because greater model complexity does not necessarily provide clinically meaningful incremental information.

Machine-learning models achieved high apparent discrimination, with SVM-RBF producing an AUC of 0.977. However, the difference between SVM-RBF and HSI or the metabolic signature was small. Because the study involved only 90 participants and a selected case-control design, even repeated cross-validation cannot substitute for external validation. The machine-learning results should therefore be regarded as exploratory rather than as evidence of clinical readiness. More complex algorithms require independent validation, calibration assessment, and evaluation in clinically heterogeneous populations before implementation.

The study has several limitations. First, the retrospective case-control design limits causal inference and may overestimate diagnostic performance compared with prospective screening. Second, the sample size is modest for the number of predictors and machine-learning models evaluated. Third, steatosis was assessed by ultrasonography rather than MRI-based methods, controlled attenuation parameter, or histology. Fourth, the use of HSI ≥36 in case selection introduces incorporation bias for analyses involving HSI. Fifth, the control group was relatively healthy, which may have increased between-group separation. Finally, medication use, menopausal status, physical activity, dietary pattern, and detailed alcohol quantification were not fully available for analytical adjustment.

Despite these limitations, the study has strengths. It compares multiple biological domains within the same cohort using routinely available laboratory and anthropometric variables and applies complementary analytical approaches, including ROC analysis, regression, domain-specific modeling, correlation analysis, and machine learning. This framework provides a direct comparison of the information contributed by different classes of biomarkers.

5. CONCLUSION

In this retrospective case-control cohort, metabolic and anthropometric indices demonstrated substantially greater discrimination for NAFLD than inflammatory, nutritional, or fibrosis-related indices. HSI showed the highest individual AUC, although its interpretation is limited by its incorporation into the case definition. BMI, waist circumference, TyG-BMI, and TyG-WC also showed high diagnostic performance. Machine-learning models demonstrated high discrimination but only limited incremental improvement over simpler metabolic approaches. These findings support further prospective and externally validated evaluation of parsimonious laboratory-based metabolic indices for opportunistic identification of steatotic liver disease. Fibrosis-related indices should be considered according to their intended role in subsequent fibrosis risk stratification rather than as primary tests for hepatic steatosis.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

REFERENCES

1. Rinella ME, Neuschwander-Tetri BA, Siddiqui MS, et al. AASLD practice guidance on the clinical assessment and management of nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology.* 2023;77(5):1797-1835. doi:10.1097/HEP.0000000000000323
2. European Association for the Study of the Liver (EASL); European Association for the Study of Diabetes (EASD); European Association for the Study of Obesity (EASO). EASL-EASD-EASO clinical practice guidelines on the management of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD). *J Hepatol.* 2024;81(3):492-542. doi:10.1016/j.jhep.2024.04.031
3. European Association for the Study of the Liver (EASL). EASL clinical practice guidelines on non-invasive liver tests for evaluation of liver disease severity and prognosis. *J Hepatol.* 2021;75(3):659-689.
4. Lee JH, Kim D, Kim HJ, et al. Hepatic steatosis index: a simple screening tool reflecting nonalcoholic fatty liver disease. *Dig Liver Dis.* 2010;42(7):503-508. doi:10.1016/j.dld.2009.08.002
5. Simental-Mendía LE, Rodríguez-Morán M, Guerrero-Romero F. The product of fasting glucose and triglycerides as surrogate for identifying insulin resistance in apparently healthy subjects. *Metab Syndr Relat Disord.* 2008;6(4):299-304.
6. Er LK, Wu S, Chou HH, et al. Usefulness of the triglyceride glucose-body mass index in evaluating nonalcoholic fatty liver disease: insights from a general population. *Lipids Health Dis.* 2021;20:77. doi:10.1186/s12944-021-01506-9
7. Zhang S, Du T, Li M, et al. TyG-related indices and risk of nonalcoholic fatty liver disease. *Diabetes Metab Syndr Obes.* 2022;15:1683-1693.
8. Ross R, Neeland IJ, Yamashita S, et al. Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a consensus statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity. *Nat Rev Endocrinol.* 2020;16(3):177-189. doi:10.1038/s41574-019-0310-7
9. Wai CT, Greenson JK, Fontana RJ, et al. A simple noninvasive index can predict both significant fibrosis and cirrhosis in patients with chronic hepatitis C. *Hepatology.* 2003;38(2):518-526.
10. Sterling RK, Lissen E, Clumeck N, et al. Development of a simple noninvasive index to predict significant fibrosis in patients with HIV/HCV coinfection. *Hepatology.* 2006;43(6):1317-1325.
11. Angulo P, Hui JM, Marchesini G, et al. The NAFLD fibrosis score: a noninvasive system that identifies liver fibrosis in patients with NAFLD. *Hepatology.* 2007;45(4):846-854.
12. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, et al. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia.* 1985;28(7):412-419.
13. Onodera T, Goseki N, Kosaki G. Prognostic nutritional index in gastrointestinal surgery of malnourished cancer patients. *Jpn J Surg.* 1984;14(2):33-36.
14. Tilg H, Moschen AR. Evolution of inflammation in nonalcoholic fatty liver disease: the multiple parallel hits hypothesis. *Hepatology.* 2010;52(5):1836-1846. doi:10.1002/hep.24001
15. Ignacio de Ulíbarri J, González-Madroño A, de Villar NGP, et al. CONUT: a tool for controlling nutritional status. First validation in a hospital population. *Nutr Hosp.* 2005;20(1):38-45.

ISBN NR. : 978-625-8795-39-4

16. Steyerberg EW. *Clinical Prediction Models: A Practical Approach to Development, Validation, and Updating.* 2nd ed. Springer; 2019.