

CONFERENCE BOOK



ICSAS
5. ULUSLARARASI
FEN VE UYGULAMALI
BİLİMLER KONGRESİ

15 - 17 Ağustos 2025
İzmir

YÜZYÜZE ve ONLINE

Önemli Tarihler
Son Başvuru : 10 Ağustos 2025
Kitap Yayın Tarihi : 20 Eylül 2025



ICSAS ACADEMY
www.icsasconferences.org



ISBN: 978-625-5694-08-9

**ICSAS ACADEMY**

**ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 15 - 17, 2025
IZMIR**

Edited By

Prof. Dr. Hülya Çiçek

ORGANIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES

EVALUATION PROCESS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

TURKEY – Mexico -China – Pakistan- Romania – Russia- Chile- Senegal- India - South Africa- Greece- Thailand- Malaysia - Japan. – Nigeria- , Czech Republic- Philippines- Algeria- Latvia- Egypt, Ghana- Kenya- Vietnam – Bulgaria – Indonesia- Bangladesh- Iraq-

PRESENTATION

Oral presentation

PERCENTAGE OF PARTICIPATION

**More than 50 % of paper are presented by participants from maintained countries.
55 papers from Turkey and 96 paper from other countries.**

**Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"**

LANGUAGES

Turkish, English, Russian, Persian, Arabic

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek
Prof. Dr. Hajar Huseynova
Prof. Dr. Dwi Sulisworo
Prof. Zain Musa
Prof. Dr. Sameer Jain
Prof. Yakup Babayev
Prof. Dr. Suyatno
Prof. Dr. Hasan Akan
Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi
Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli
Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak
Assoc. Prof. Dr. Dhiesi Ari Astuti
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın
Assoc. Prof. Dody Hartanto
Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn
Assoc. Prof. Nazile Abdullazade
Assoc. Prof. Dr. Feran Aşur
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov
Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari
Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş
Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova
Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık
Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz
Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fıncıoğulları
Assist. Prof. Ihwan Ghazali
Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərifxan oğlu
Assist. Prof. Dr. Məhruki Dövlətzadə
Assist. Prof. Dr. Naci Bütükqaracıyan
Assist. Prof. Dr. Songül ATAĞ
Lecturer Mehmet Nuri Ödük
Dr. Fatih İ. Kurşunmaden
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou
Dr. Dadash Mehravari
Dr. Gültekin Gürçay
Dr. Aynur Əliyeva
Dr. Amaneh Manafizadeh

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House

Without permission can't be duplicate or copied.

Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.

Academy Conference–2025 ©

Issued: 20.09.2025

ISBN: 978-625-5694-08-9

Scientific & Review Committee

- Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye
Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye
Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye
Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye
Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye
Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye
Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye
Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye
Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye
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 – Türkiye
Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye
Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye
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. Hasan Akan – Türkiye
Prof. Dr. Ika Maryani - Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fıncıoğulları - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Özbekistan
Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – İran
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaristan
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azərbaycan
Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India
Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azərbaycan
Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azərbaycan
Assoc. Prof. Ali Vandshoari - İran
Assist. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
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 – İran
Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Özbekistan
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 Tursunaliyeva - 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 – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
Assist. Prof. Dr. Mahrux Dovlatzade – Azerbaijan
Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
Dr. Ayşe Baran - Türkiye
Dr. Dadash Mehravari – Iran
Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
Dr. Sonali Malhotra – India
Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı :E-98102723-903.07-475454

Konu :Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -
GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel
Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.





Sayı : 903.07/
Konu : Görevlendirme

TIP FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve gündeliksiz olarak Rektörlük makamının oluru ile görevlendirilmem hususunda gereğini bilgilerinize arz ederim.

Prof.Dr. Hülya Çiçek
Öğretim Üyesi

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND
SOCIAL SCIENCES
ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ICSAS 4TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
August 15 - 17, 2025
IZMIR

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 moderatör 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 aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- 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,

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Doç. Dr. Servet SAY	1	KURUMLARIN TEMEL BİR GÖREVİ OLARAK SORUMLU İLETİŞİM: FARKLI SEKTÖRLERDEKİ KURUMLARIN BAKIŞ AÇISI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Prof. Dr., Burcu ÖKSÜZ Doktora Öğrencisi, Malike ORMANCI
		2	TÜRKİYE'DE HALKLA İLİŞKİLER ALANINDA DOKTORA EĞİTİMİ: GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERE İLİŞKİN BİR ARAŞTIRMA	Doktora Öğrencisi, Malike ORMANCI Prof. Dr., Burcu ÖKSÜZ
		3	TERSİNE BEYİN GÖÇÜ: İNSAN KAYNAKLARINDA YENİ DÖNÜŞ STRATEJİLERİ	EBRU YENİ
		4	PSİKOLOJİK İYİ OLUŞUN ÇALIŞAN PERFORMANSINA ETKİSİNE TEORİK BİR YAKLAŞIM	Musa Can ÇİL Doç. Dr. Kazım KILINÇ
		5	EVALUATION OF SERVICE QUALITY: AN APPLICATION IN THE HEALTHCARE SECTOR	Arş. Gör. Çağrı Selman İĞDE Canan DOĞAN Merve HAVAN Doç. Dr. Elif KOCAGÖZ
		6	TEK DÜZEN MUHASEBE SİSTEMİ HESAP PLANI İLE FİNANSAL RAPORLAMA STANDARTLARINA UYGUN HESAP PLANI ARASINDAKİ FARKLAR	Öğr.Gör.Dr. Ahmet Alataş
		7	EVALUATION OF THE PHENOMENON OF QUIET QUITTING FROM THE PERSPECTIVE OF ORGANIZATIONAL BEHAVIOR	Dr. Öğr. Üyesi Fatih İbrahim KURŞUNMADEN
		8	REVENUE RECOGNITION PRACTICES IN THE TOURISM SECTOR UNDER TFRS 15	Doç. Dr. Servet SAY

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Lecturer Dr. KENAN KILIÇ	1	ELEKTROENSEFALOGRAFİ (EEG) SİNYALLERİ KULLANILARAK DUYGU ANALİZİ YAPILMASI	HALEF BUDANUR
		2	ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN HİBRİT YEREL ARAMA VE MEMETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMLARININ PERFORMANS ANALİZİ	Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ
		3	MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI GERÇEK ZAMANLI ORMAN YANGINI HİBRİT RİSK TAHMİN SİSTEMİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ	Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ Yazılım Mühendisi, Mustafa ÇEKİNGEN
		4	CLASSIFICATION OF SPECTROGRAMS OBTAINED FROM SELECTED PHONOCARDIOGRAM FRAMES USING ARTIFICIAL BEE COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM WITH CNN	Dr. Öğr. Üyesi, ALİ FATİH GÜNDÜZ Prof. Dr. MUHAMMED FATİH TALU
		5	Classification and Comparative Analysis of YouTube COVID-19 Vaccine Comments Written in Different Languages Using Machine Learning and Transformer Models	Dr. Öğr. Üyesi, ALİ FATİH GÜNDÜZ
		6	ANALYZING SALES QUANTITY IN THE IKEA INDONESIA CHAIR PRODUCT DATASET WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS	Lecturer Dr. KENAN KILIÇ

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN	1	ADÖLESAN SAĞLIĞINI GELİŞTİRMEYE YÖNELİK HEMŞİRELİK BAKIM YAKLAŞIMLARI	Araş.Gör. Büşra KÜTÜK Prof. Dr. Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR
		2	ÇOCUKLARDA SHOTBLOCKER UYGULAMASININ AĞRI ÜZERİNE ETKİSİ: BİR BİBLİYOMETRİK ANALİZ ÇALIŞMASI	Araş.Gör. Büşra KÜTÜK Prof. Dr. Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR
		3	YAPAY ZEKA DESTEKLİ SİSTEMLER İLE İLAÇ-İLAÇ ETKİLEŞİMLERİNİN ÖNLENMESİ	Doktor Öğretim Üyesi, TUĞÇE USKUR
		4	DOKU PERFÜZYONU ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİ OLAN HİSTİDİN-AKT1 VE TAURİN-HIF-1A ETKİLEŞİMLERİNİN İN SİLİCO HESAPLAMALI İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi, REŞAT DİKME
		5	EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF POSITIVE SAFETY CULTURE AND AWARENESS IN PREVENTING WORK ACCIDENTS	Assoc. Prof. BAHRİ GÜR
		6	IN SILICO COVALENT BINDING ANALYSIS OF 4-BENZYL-4-PENTYLMORPHOLIN-4-IUM CHLORIDE ON NF-κB P65 (RELA): EVALUATION OF APOPTOSIS POTENTIAL IN PANCREATIC CANCER	Assoc. Prof. BAHRİ GÜR
		7	ALGLERİN İLAÇ YAPIMINDA KULLANIMI: BİYOLOJİK POTANSİYEL VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN
		8	ALGLER VE SU KALİTESİ: EKOLOJİK GÖSTERGELER VE YÖNETİM AÇISINDAN ÖNEMİ	Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Abdullah DURAKOĞLU	1	KURTUBALI RÜŞD'ÜN EVRENİN EZELİLİĞİNE İLİŞKİN DÜŞÜNCESİ ve DAYANAK OLARAK ÖNE SÜRDÜĞÜ FELSEFİ DELİLLERİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Abdullah DURAKOĞLU
		2	DOSTOYEVSKİ'NİN 'TUHAF BİR ADAMIN RÜYASI' ÖYKÜSÜNÜN FELSEFİ ANALİZİ	Prof. Dr. Abdullah DURAKOĞLU
		3	TURGUT UYAR'IN "HAZIRLANDIN DİYELİM" ŞİİRİNDE MODERN BİREYİN SÖYLEMSEL YALNIZLIĞINA ELEŞTİREL BİR BAKIŞ	Arş. Gör. UTKU MERT YILDIZ Prof. Dr. OĞUZHAN SEVİM
		4	"AHŞAP ÇÜRÜR" METNİNDE BİLİNÇALTININ İZLERİ: PSİKANALİTİK EDEBİYAT KURAMIYLA BİR OKUMA	Arş. Gör. UTKU MERT YILDIZ Prof. Dr. OĞUZHAN SEVİM
		5	CEVÂHİRÜ'L-İKYÂN FÎ ŞERH-İ UMDETÜ'L-İRFÂN FÎ VASFİ HURÛFİ'L-KUR'ÂN'IN BİR NÜSHASINDA BİR İMLÂ ÖZELLİĞİ: ELİF ÜZERİNDE HEMZE (İ)	Doktora Öğrencisi, Ali Haydar KARADAMLA
		6	IDENTITY, CULTURE AND NATIONAL MEMORY IN THE POEMS OF AZERBAIJAN'S "GLORIOUS FOLK POET" ZELIMKHAN YAKUP	KÜRŞAT YAZICI Assoc. Prof. Dr. SİDDİK BAKIR
		7	"TWO POWERFUL EXAMPLES OF TRADITION TO MODERN SENSITIVITY IN THE IRANIAN FIELD: THE DIDACTIC/LYRICAL LITERARY JOURNEY OF PARVIN ITISAMI AND SHAHRIAR"	KÜRŞAT YAZICI Assoc. Prof. Dr. SİDDİK BAKIR
		8	EXAMINATION OF SUFI THOUGHT AND PHILOSOPHICAL VIEWS BASED ON ŞEHBENDERZÂDE FİLİBELİ AHMED HILMI'S NOVEL NAMED A'MÂK-I HAYAL	Doç. Dr., Ferdi SELİM
		9	REACTIONS TOWARDS FEMINISM IN THE LATE PERIODS OF THE OTTOMAN EMPIRE: THE EXAMPLE OF ŞEHBENDERZÂDE FİLİBELİ AHMED HILMI	Doç. Dr., Ferdi SELİM

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Assis. Prof. Dr. Emma Davis	1	REDEFINING GOVERNANCE: COMBATING LEADERSHIP FAILURE AND SYSTEMIC CORRUPTION IN POST-INDEPENDENCE NIGERIA	Ahmed Boubacar Diallo, Fatoumata Aminata Diop, Ibrahim Musa Sani
		2	THE CRISIS OF DEMOCRACY IN PAKISTAN: AN ANALYTICAL STUDY THROUGH ISLAMIC AND WESTERN PHILOSOPHICAL PERSPECTIVES	Ahmed Rashid Dr. Fatima Noor Hassan Khalil
		3	TRANSFORMATION AND CHALLENGES IN NATIONAL LAND USE PLANNING SYSTEMS: A COMPARATIVE PERSPECTIVE	Aisha Mahmoud Hassan Leila Fatima Khan Assis. Prof. Dr. Mohammad Reza Darvishi
		4	THE IMPLEMENTATION OF ANTI-CIRCUMVENTION LEGISLATIONS IN THE THAI COPYRIGHT SYSTEM	Somchai Srisai, Lec. Naree Panya, Ananya Nontawat, Dr. Kittisak Jitpaisarn
		5	THE SUCCESS AND CHALLENGES OF EMBEDDING EVIDENCE-BASED RESEARCH METHODS IN POLICING INTERVENTIONS	Dr. Sarah Williams, Assis. Prof. Dr. Emma Davis
		6	TAIWAN'S POLITICAL LANDSCAPE: THE RISE AND FALL OF HAN KUO-YU IN KAOHSIUNG	Emily Williams, Robert Johnson
		7	INTELLECTUAL PROPERTY CHALLENGES IN SPACE EXPLORATION: FOCUS ON EUROPEAN SPACE AGENCY REGULATIONS	Maria Linda Ana Ungureanu Thomas Nikolaus Wagner Isabelle Veronique Dupont Robert Heinrich Schmidt

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Bayarmaa Tsogtbaatar	1	EVALUATION OF THE IMPLEMENTATION OF PUBLIC EXAMINATION CHIEF EXAMINERS' REPORTS IN MATHEMATICS CURRICULUM CONTENT	Olamide Oginni Adeola Johnson Chijioke Okafor
		2	IMPLEMENTATION MECHANISMS OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT FOR EDUCATORS IN KAZAKHSTAN: A STUDY BASED ON THE "TEACHER" PROFESSIONAL STANDARD	Yelena Agranovich, Larissa Ageyeva, Violetta Tyan, Aigul Syzdykbayeva
		3	SKILL MISMATCH BETWEEN HEAVY EQUIPMENT REPAIRER STUDENTS AND EMPLOYERS' REQUIREMENTS	Lec. Bolormaa Dalanbayar, Dr. Batsaikhan Ulaankhuu, Dr. Bayarmaa Tsogtbaatar
		4	ASSESSING CHILDREN'S PROBABILISTIC AND CREATIVE THINKING IN A NON-FORMAL LEARNING CONTEXT	Maria Oliveira, João Santos, Carla Almeida, Pedro Costa
		5	APPLICATION OF CAUSAL INFERENCE AND DISCOVERY IN CURRICULUM EVALUATION AND CONTINUOUS IMPROVEMENT	Lunliang Zhong, Bin Duan
		6	ATTITUDE OF UNIVERSITY STUDENTS TOWARDS THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Roberto Merlo, Dr. Maria González, Zoila Rivero, Dr. Laura González
		7	ENHANCING ONLINE EDUCATION IN ARABIC LANGUAGE TEACHING: CHALLENGES, OPPORTUNITIES, AND STRATEGIES	Salah Algabli, Mohammad Alharbi, Ahmed Al-Mansoori, Khalid Al-Jabri
		8	FUTURE PERSPECTIVES IN ARCHITECTURAL EDUCATION IN PORTUGAL: REVOLUTIONIZING THE TEACHING APPROACH FOR NEW GENERATIONS	Patricia Diogo, João Pereira, Maria Silva, Pedro Costa
		9		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. David Stewart	1	THE ASSOCIATION BETWEEN ADHD MEDICATION, CANNABIS, NICOTINE USE, MENTAL DISTRESS, AND OTHER PSYCHOACTIVE SUBSTANCES	Nicole Scott, Emily Dwyer, Cara Patrissy, Samantha Bonventre, Lina Begdache
		2	THE IMPACT OF LIFE MEANING ON ACADEMIC PERFORMANCE AMONG JAPANESE COLLEGE STUDENTS	Jihyun Park, Naoko Tanaka, Dr. Satoshi Yamada, Haruki Ishida
		3	IMPROVING DECISION SUPPORT FOR ORGAN TRANSPLANT	Iec. Ian McCulloh, Adam Placona, Dr. David Stewart,
		4	EFFECTS OF GRATITUDE PRACTICE ON RELATIONSHIP SATISFACTION AND THE ROLE OF PERCEIVED SUPERIORITY	Dr. Anomi Bearden, Brooke Goodyear, Dr. Alicia Khan
		5	LOVE AND MONEY: SOCIETAL ATTITUDES TOWARD INCOME DISPARITIES IN AGE-GAP RELATIONSHIPS	Assoc. Prof. Dr. Victoria S. Scarratt, Alexander B. Hopkins, Dr. Emily M. Thomas, Samuel J. Richardson
		6	MINDFULNESS-BASED INTERVENTIONS FOR ENHANCING SELF-ESTEEM AND PSYCHOLOGICAL WELL-BEING: EXAMINING THE INFLUENCE OF CONTINGENT SELF-ESTEEM	Sergio Luna, Dr. Raquel Rodríguez-Carvajal

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Lukáš Svoboda	1	ISLAMIC CIVILIZATION IN WEST AFRICA: THE ROLE OF THE SOKOTO CALIPHATE IN SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT	Mohammad Buba, Ibrahim Aliyu
		2	TEACHERS' PERCEPTIONS OF THE IMPACT OF TOBEPHOBIA ON JOB SATISFACTION AND EMOTIONS	Kwame Mensah, Akosua Yeboah
		3	KNOWLEDGE MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Julian Vargas, Maria Gomez
		4	META-TEACHING SKILLS AND IMPROVEMENTS IN CLASSROOM TEACHING QUALITY	Zainab Haji, Faiza Amin
		5	THE ROLE OF STUDENT COUNSELORS IN PROMOTING WELL-BEING AMONG SCHOOLCHILDREN IN THE MIDDLE EAST	Hassan Al-Farhan
		6	THE EFFECTIVENESS OF DRAMA-BASED LEARNING IN FOSTERING CREATIVITY IN PRESCHOOL EDUCATION	Michaela Nováková
		7	PARENTS' PERSPECTIVES ON THE FUTURE OF EDUCATION: A STUDY FROM CENTRAL EUROPE	Lukáš Svoboda

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assoc. Prof. Dr. John Patrick Alvarado	1	DEVELOPMENT AND ACCEPTANCE OF A MODULE FOR IMPROVING READING AND WRITING SKILLS IN BAYBAYIN: A TRADITIONAL PHILIPPINE WRITING SYSTEM	Maria Venus Solares, Assoc. Prof. Dr. John Patrick Alvarado
		2	ACTIVE LEARNING STRATEGIES IN INFORMATION SYSTEMS MANAGEMENT: STUDENT PERCEPTIONS AND OUTCOMES	Francisco Castro Lopes, Sofia Fernandes
		3	THE IMPACT OF EMOTIONS ON STUDENTS' LEARNING AND ACADEMIC PERFORMANCE	Shakirat Abimbola Adesola, Shuaib Akintunde Asifat
		4	STREET ART AS A TOOL FOR PROMOTING REFLECTIVE THINKING IN EDUCATION: EXAMPLES OF CREATIVE EDUCATIONAL APPROACHES	Georgia H. Mega, Kleomenis Kostopoulos, Rustam Obic
		5	INTERDISCIPLINARITY IN PEDAGOGICAL PRACTICES: CHALLENGES AND SOLUTIONS IN THE CLASSROOM	C. Oliveira, M. Silva, L. Ferreira, R. Pinto
		6	PROMOTING CREATIVE AND CRITICAL THINKING IN MATHEMATICS THROUGH ORIGAMI	Shirinbekova Nigina, Alimova Shamsiya

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Carlos Rodriguez,	1	MOTIVATION TYPES FOR LEARNING ENGLISH: A STUDY AT A RURAL UNIVERSITY IN QUINTANA ROO, MEXICO	Ayanbek Nurkadiylov, Altynai Akhmetova, Dr. Kamila Kassenova,
		2	THE IMPACT OF POOR TEACHER-STUDENT RELATIONSHIPS ON CHRONIC ABSENTEEISM IN SECONDARY SCHOOLS IN WEST JAVA, INDONESIA	Yenni Anggrayni, Dian Suryani, Rudi Hadi, Dr. Iwan Setiawan
		3	APPLICATION OF EXTREME-BASED TEACHING MODEL IN POST-SECONDARY ONLINE CLASSROOM SETTING: A FIELD EXPERIMENT	Johnathan Smith, Maria Johnson, Dr. Carlos Rodriguez, Lec. Anna Williams
		4	IMPACT OF NON-PARENTAL EARLY CHILDHOOD EDUCATION ON DIGITAL FRIENDSHIP TENDENCY	Sheel Chakraborty, Assis. Prof. Dr. Rajeev Verma, Aarti Kumar,
		5	STUDYING THE EFFICIENCY OF DIGITAL TECHNOLOGY IN ENHANCING ASSESSMENT METHODS IN HIGHER EDUCATION	Dr. Bashir Ferdousi Mohammad Rafiq Rahman Dr. Tariq Hossain Khan Shamsul Alam Choudhury
		6	IMPACT OF STUDENTS' PERCEPTION OF SUCCESS POSSIBILITY ON PERFORMANCE IN SUMMATIVE EXAMS	Rochelle Elva, Assoc. Prof. Dr. Mikayıl Tofiqov,
		7	DIGITAL CONTENT STRATEGY: COMPREHENSIVE EXAMINATION OF CRITICAL CONTENT ELEMENTS	Oksana Razina, Dr. Shakeel Ahmad, Jessie Qun Ren, Dr. Olufemi Isiaq
		8	THE ROLE OF QUALITY CULTURE IN THE SUCCESSFUL IMPLEMENTATION OF QUALITY ASSURANCE SYSTEMS IN HIGHER EDUCATION	Lec. Leonardo Mion, Sarah Johnson, Dr. Maria Garcia, Ahmed Al-Rashid
		9	SMART LEARNING ENVIRONMENT FOR MUSIC EDUCATION	Konstantinos Sofianos, Michael Stefanidakis

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. AYSE DILEK ATASOY	1	SUSTAINABLE AGRICULTURE PRACTICES IN WASTE MANAGEMENT	Assoc. Prof. Dr. Gokhan Onder ERGUVEN Assist. Prof. Dr. Berna CAPAR
		2	TURKEY'S PROJECTED TARGETS UNDER THE FRAMEWORK OF THE CLIMATE LAW	Assist. Prof. Dr. Berna CAPAR Assoc. Prof. Dr. Gokhan Onder ERGUVEN
		3	REVERSE OSMOSIS REDUCTION OF MINERALS IN PURIFIED DRINKING WATER AND HEALTH EFFECTS	Prof. Dr. AYSE DILEK ATASOY Prof. Dr. AHMET FERİT ATASOY
		4	MİKRO HAVZA REHABİLİTASYON PROJELERİNDE ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ ÖNEMİ	Doç. Dr. MEHMET ÖZCAN
		5	MINERALOGY OF THE ARIZLI MANGANESE DEPOSIT (AFYONKARAHISAR, TÜRKİYE)	Dr. Hatice Kara
		6	MINERALOGICAL CHARACTERISATION OF A LATE CRETACEOUS DIORITIC GABBRO FROM NW ELAZIG (EASTERN ANATOLIA): EVIDENCE OF HYDROTHERMAL ALTERATION BASED ON XRD ANALYSIS	Asst. Prof. Dr. Mehmet Ali ERTÜRK

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. GÖKÇEN YÖNTER	1	NEW APPROACHES ON APITHERAPY APPLICATIONS	Prof. Dr. Banu YÜCEL Dr. Ekin VAROL
		2	NECTAR COLLECTING BEHAVIOUR IN HONEY BEE COLONIES and ITS REFLECTIONS ON COLONY LIFE	Prof. Dr. Banu YÜCEL Dr. Ekin VAROL
		3	EFFECTS OF DIFFERENT MULCH MATERIALS ON DRAINAGE, RUNOFF AND SOIL LOSS UNDER RAIN SIMULATOR CONDITIONS	Dr. HOUNDONUGBO MARIUS HOUNDONUGBO Prof. Dr. GÖKÇEN YÖNTER
		4	THE EFFECT OF DEFOLIANT APPLICATION TIMES ON SOME Characteristics OF COTTON IN DIFFERENT COTTON (Gossypium hirsutum L.) VARIETIES	Ziraat Yüksek Mühendisi Yakup Denizdedalan Doç.Dr Hasan Haliloğlu
		5	TERMİK SANRAL KAYNAKLI KÜL İLE KARIŞTIRILMIŞ TOPRAKTA MISIRIN VE SEMİZOTUNUN FİTOREMİDASYON KAPASİTELERİNİN VE BAKIR ALIMIN KARŞILAŞTIRILMASI	ELMIRA RUSTAMOVA DİLEK YILDIZ AHMET DEMİRAC

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Öğr. Gör. Dr. TUĞBA GÜL DİKME	1	ATIK BİYOKÜTLELERLE MALAHİT YEŞİLİ GİDERİMİ: KARŞILAŞTIRMALI BİYOSORPSİYON ÇALIŞMASI	Dr. Öğr. Üyesi HAKAN YILDIZ Dr. Öğr. Üyesi ADEM NECİP Dr. Öğr. Üyesi ARSLAN YUSUF YÜKSEL
		2	PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF BIOCHAR AS A PLANT BIOSTIMULANT IN WOAD (Isatis tinctoria L.) UNDER CHROMIUM TOXICITY	Master Student SEDA ŞAHİN Assoc. Prof. Dr. HÜLYA TORUN
		3	KIRMIZI DUT (MORUS NİGRA) POLİFENOLLERİNİN OBEZİTEYLE İLİŞKİLİ PROTEİNLERE BAĞLANMA POTANSİYELLERİNİN MOLEKÜLER DOKİNG İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Öğr. Gör. Dr. TUĞBA GÜL DİKME
		4		
		5	The Effect of Fruit and Vegetable Drying Methods on the Bioavailability of Antioxidant Compounds	MSc., Sinem TUNC Assoc. Prof. Dr., Elif Feyza TOPDAS

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Osman DOĞAN	1	CONFORMATIONAL AND QUANTUM CHEMICAL ANALYSIS OF THE ANTIHYPERTENSIVE DIPEPTIDE ILE-TYR	PhD student Sara Rahimzade Ass. Prof. Gulnara Akverdieva
		2	KOBALT BORÜR PARÇACIKLARI İLE SODYUM BOR HİDRÜRÜN DEHİDROJENASYONU	Şevval KARAÇUKA Doç. Dr., LEVENT SEMİZ
		3	SYNTHESIS OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PHENOL-FREE RESIN FOR OFFSET PRINTING INK	BUKET İLKBAHAR ERDÖNMEZ Doç.Dr.CANAN URAZ
		4	EFFECTS OF NITROGEN PROTOXIDE (N ₂ O) APPLICATIONS ON VEGETATIVE DEVELOPMENT AND STOMA CHARACTERISTICS OF 41 B AND RAMSEY GRAPE ROOTSTOCKS	Dr. Osman DOĞAN
		5	PROVIDING THE MOST ECONOMICAL LOADER-TRUCK MATCH WITH OPTIMUM CYCLE TIME IN AN OPEN PIT MINE	Dr. Furkan Kerem KASA Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Daniel Wilson	1	THE IMPACT OF SLEEP ON SELECTIVE ATTENTION IN ADOLESCENTS	Emily Harrison, Dr. Michael Collins, Sophia Adams, Prof. Dr. Daniel Wilson
		2	THE ADOLSCENT VAPING CRISIS IN URBAN INDIA	Arushi S. Goyal, Jo Aggarwal, Dr. Ravi Jasuja
		3	MODELING GENERALIZATION IN THE ACQUIRED EQUIVALENCE PARADIGM WITH THE SUCCESSOR REPRESENTATION	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mahri, Layla Al-Mansoori, Dr. Fahad Al-Said, Nourah Al-Harthy
		4	HARNESSING THE POWER OF LOSS: THE DISCRIMINATORY DYNAMICS OF NON-EMANCIPATORY ORGANIZATIONAL IDENTITY	Dr. Alexandru Popescu, Maria Ionescu, Ms. Andrei Vasilescu, Elena Radu
		5	SUCCESS FACTORS IN PLAY-BASED INTERVENTION PROGRAMS FOR CHILDREN WITH DIVERSE ABILITIES: A COMPARATIVE STUDY	Assis. Prof. Dr. Shuaa A. Mutawally, Budor H. Saigh, Dr. Ebtehal A. Mutawally
		6	THE SOCIAL DYNAMICS OF PANDEMICS: A CLINICAL SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF PRECAUTIONS AND RISKS	Dr. Minh Tu Nguyen, Thi Lan Tran, Dr. Bao Anh Pham, Duc Hoang Le
		7	TEACHING STRATEGIES AND BIAS TOWARD IMMIGRANT AND DISABLED STUDENTS	M. Pellerone, S. G. Razza, L. Miano,

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Petra Gudelj,	1	STUDENTS' PERCEPTIONS OF SEEKING PSYCHOLOGICAL ASSISTANCE	Dr. Petra Gudelj, Eva Franić, Dr. Martina Kolega
		2	CHILD ABUSE: EMOTIONAL, PHYSICAL, NEGLECT, SEXUAL AND THE PSYCHOLOGICAL EFFECTS: A CASE SCENARIO IN LAGOS STATE, NIGERIA	Ololade M. Aminu, Dr. Adebayo A. Olamide,
		3	THE QUALITY OF PRIMARY CAREGIVING RELATIONSHIPS BETWEEN ADOLESCENTS ORPHANED BY AIDS AND THEIR GRANDMOTHERS: INSIGHTS FROM STAKEHOLDER NARRATIVES	Assis. Prof. Dr. Mmapula Petunia Tsweleng
		4	SOCIO-DEMOGRAPHIC FACTORS AND POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER AMONG ADOLESCENTS EXPOSED TO DOMESTIC VIOLENCE IN KENYA	Josephine Muchiri, Dr. Agnes Qdero
		5	SOCIETAL INSIGHT INTO EMOTIONAL ABUSE: A RETROSPECTIVE STUDY IN A JAPANESE PRIMARY SCHOOL	Naoko Fujisaka, Dr. Tetsuya Tanaka, Haruto Yamamoto, Dr. Akiko Sato
		6	EXPLORING THE ROLE OF EROTIC TRANSFERENCE IN THE DURATION OF PSYCHOANALYTIC TREATMENT: A CASE STUDY	M. Javid, R. Hassan, J. DeSilva
		7	ENVIRONMENTAL PERCEPTIONS OF DEPRIVED CHILDREN LIVING IN URBAN SLUMS: A STUDY IN PUNE, INDIA	Hrishikesh Purandare, Ashwini Pethe
		8	ADDRESSING GLOBAL TRAUMA: SOMATIC INTERVENTIONS IN PTSD TREATMENT AND CLINICIAN BURNOUT PREVENTION	Dr. Elena Markov, Prof. Dr. Ivan Petrov,

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Carlos Gomez, Laura Perez	1	A THEORETICAL FRAMEWORK FOR CUSTOMER KNOWLEDGE MANAGEMENT IN EUROPEAN E-COMMERCE	Lars Johansson, Caroline Lindgren, Henrik Olsson
		2	DEVELOPING A COMPREHENSIVE E-MARKET FRAMEWORK USING INTELLIGENT AGENTS	Carlos Gomez, Laura Perez
		3	A NOVEL METHOD FOR SELECTING COMPLEX GOODS IN ONLINE MARKETS	Sofia Martins, Ricardo Costa, Marta Oliveira
		4	ANALYZING MIS DEGENERATION UNDER DYNAMIC CONDITIONS: A MATHEMATICAL APPROACH	Fatima Al-Mahdawi, Karim Al-Mansouri
		5	LEARNING MANAGEMENT LESSONS FROM CONTROL SYSTEMS: A THEORETICAL APPROACH	Jamal Zidan, Rania Al-Salem
		6	EXPLOITING SIP FOR ENHANCED MOBILITY IN MEDICAL COMMUNICATION SYSTEMS	Mansur Zayed, Fakhruddin Rashid, Jamil Al-Zahrani
		7	COGNITIVE REPRESENTATION OF VALUES IN ORGANIZATIONAL DECISION-MAKING	Kari Heikkinen, Dr. Markus Virtanen, Dr. Liisa Aalto
		8	EXPLORING THE USE OF SERIOUS GAMES IN SUPPORTING AUTISTIC CHILDREN'S DEVELOPMENT	Afiqah Rani, Nor Azura Zainuddin, Farhan Salleh
		9		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Salima Hassas	1	DEMYSTIFYING THE PROBLEM-SOLVING PROCESS: UNVEILING THE NATURAL MECHANICS OF THE MIND	Dr. Amina Farkhonde
		2	AUTOMATING SCREEN-RECORDED VIDEO PRODUCTION: AN ALGORITHMIC APPROACH TO E-CONTENT CREATION	Dr. Darsareh Nikafrooz
		3	ONTOLOGICAL FOUNDATIONS FOR SMART LEARNING ENVIRONMENTS IN MUSIC EDUCATION: A COMPREHENSIVE FRAMEWORK FOR KNOWLEDGE REPRESENTATION AND APPLICATION	Prof. Dr. Konstantinos Stefanidakis, Dr. Michail Sofianos
		4	TRANSFORMING CIVIL ENGINEERING LABORATORY EDUCATION WITH FLIPPED LEARNING: A COMPREHENSIVE APPROACH TO DEVELOPING ESSENTIAL CAPABILITIES	Hector García- Georgia García-Rodríguez, Gerardo -Shashi Kant
		5	AUTONOMOUS AGENT LEARNING THROUGH CONSTRUCTIVIST PRINCIPLES: A BOTTOM-UP SEQUENTIAL LEARNING APPROACH AND TOOL	Piña Barrios-, Salvador Arellano, Bocanegra García,
		6	EMPOWERING ASSEMBLY LINES WITH DEEP LEARNING: A PARADIGM SHIFT IN PRODUCT IDENTIFICATION	Assoc. Prof. Dr. Salima Hassas
		7	ASSESSING THE ECONOMIC RETURNS OF HUMANITIES AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF OSUN STATE, NIGERIA	Adelokun Gambo

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assist. Prof. Dr. Sarah Thompson	1	REVOLUTIONIZING SMART MANUFACTURING THROUGH NEURAL NETWORKS: A DATA-DRIVEN APPROACH TO PROCESS AUTOMATION	Rajesh Nair
		2	ASSESSING THE ECONOMIC RETURNS OF SOCIAL SCIENCES DEGREES IN LAGOS STATE TERTIARY INSTITUTIONS: A STUDY BY FIELD	Tunde Adebayo, Ngozi Umeh
		3	EXPLORING DIGITAL PEDAGOGY: STUDENTS' INTERACTIONS WITH MULTIMODAL EDUCATIONAL PLATFORMS	Assist. Prof. Dr. Sarah Thompson
		4	HIDDEN VOICES: A STATISTICAL INVESTIGATION INTO DEPRESSION LEVELS IN ADHD STUDENTS IN UNIVERSITIES	Lukas Meier, Eva Schneider
		5	CHARTING EDUCATIONAL POLICY PATHWAYS: INSIGHTS INTO CURRICULUM REFORMS IN ARGENTINE HIGHER EDUCATION	Camila Rodríguez, Assis. Prof. Dr. Mateo Herrera
		6	BUILDING PROFESSIONAL COMMUNITIES: LOWER SECONDARY TEACHERS' JOURNEYS INTO COLLABORATIVE PRACTICE	Eleni Papadopolou, Stavros Dimitriadis, Nikos Alexandris, Maria Tzortzi
		7	EXPLORING AI-ASSISTED STUDENT SUPPORT: THE ROLE OF CONVERSATIONAL AGENTS IN UNIVERSITY LEARNING ENVIRONMENTS	Andreas Christodoulou, Dr. Eleni Georgiadou

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assoc. Prof. Samuel M. Obong	1	LEGAL LIMITS OF DIGITAL SURVEILLANCE IN DEMOCRATIC SOCIETIES	Dr. Markus Schneider
		2	INSTITUTIONAL CHALLENGES IN POST-CONFLICT JUSTICE SYSTEMS	Mirela Jovanović
		3	THE INTERSECTION OF RELIGIOUS LAW AND CONSTITUTIONAL PRINCIPLES	Assis. Prof. Dr. Fatemeh Alavi
		4	EDUCATIONAL INEQUALITY AND POLICY RESPONSES IN SUB-SAHARAN AFRICA	Assoc. Prof. Samuel M. Obong
		5	THE ROLE OF YOUTH IN POLITICAL TRANSITIONS: A CASE STUDY OF CIVIL UPRISINGS	Assoc. Prof. Rania El-Sayed Dr. Tarek Mahmoud
		6	LEGAL FRAMEWORK FOR CLIMATE MIGRATION IN SMALL ISLAND STATES	Ana Luisa Te'o
		7	EFFECTS OF JUDICIAL CENTRALIZATION ON LOCAL AUTONOMY: A COMPARATIVE STUDY	Assis. Prof. Dr. Nguyen Minh Trang
		8	THE AESTHETICS OF LANTERN CRAFTS IN NORTHERN FESTIVALS: A DESIGN APPROACH	Dr. Kittinan Wongphet
		9	TRADITIONAL MASKS AND THEIR CULTURAL SIGNIFICANCE IN SOUTHEAST ASIAN FESTIVALS	Pimchanok Surapinit

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 15 Ağustos / August 15, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. Katarína Nováková	1	THE IMPACT OF MACROECONOMIC STABILITY ON FOREIGN DIRECT INVESTMENT INFLOW	Dr. Khalid Al-Salim
		2	EVALUATING WOMEN'S EMPOWERMENT THROUGH AGRICULTURAL COOPERATIVES IN RURAL BANGLADESH	Shamima Aktar
		3	THE DYNAMICS OF NON-STATE ACTORS IN POST-CONFLICT STATE-BUILDING: THE CASE OF LIBYA	Assist. Prof. Dr. Salma El-Gharyani
		4	STRATEGIC LEADERSHIP APPROACHES IN RESOLVING INTERPERSONAL CONFLICTS IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS	Yasmin El-Naggar, Dr. Huda Mostafa
		5	A CRITICAL REVIEW OF CORPORATE ACCOUNTING PRACTICES IN DETECTING FINANCIAL MALPRACTICES	Chinedu Okeke
		6	DETERMINANTS OF CUSTOMER SATISFACTION IN DIGITAL BANKING SERVICES IN NEPAL	Dr. Anusha Shrestha
		7	PERFORMANCE EVALUATION OF MILITARY PERSONNEL IN THE SLOVAK REPUBLIC BASED ON MODERN HR FRAMEWORKS	Assoc. Prof. Dr. Katarína Nováková
		8	CHALLENGES IN BUILDING A NATIONAL BRAND IN POST-SOVIET ECONOMIES	Lali Beridze
		9	MULTIDIMENSIONAL CUSTOMER PROFILING FOR INNOVATIVE SMARTPHONE DESIGN STRATEGIES	Dr. Omar Al-Mansoori, Leen Hasan

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. MEHMET KANIK	1	TÜRKİYE'DE ÇOCUK SAĞLIĞI ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME	Doç.Dr. Cumhur GÜNGÖR Doç.Dr. Hüseyin BATMAN
		2	TÜRKİYE'DE ÇOCUK YETİŞTİRMEDE İKİ DİLLİLİK	Doç.Dr. Hüseyin BATMAN Doç.Dr. Cumhur GÜNGÖR
		3	ELT STUDENTS' PERCEPTIONS OF LEARNING PRAGMATICS	Assoc. Prof. Dr. MEHMET KANIK
		4	TAŞIMALI EĞİTİM SİSTEMİNİN ÖĞRENCİLERİN AKADEMİK BAŞARISINA ETKİLERİNE İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	Enes TÜRKMENOĞLU Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN
		5	Providing Teaching Materials from Recycled Products	Doç. Dr. Bahadır KÖKSALAN
		6	Goals and Importance of Green Transformation	Doç. Dr. Bahadır KÖKSALAN
		7	ORTAOKUL DÜZEYİ İÇİN MANTIKSAL DÜŞÜNME ÖLÇEĞİ GELİŞTİRME	Doç. Dr. DİLEK BAŞERER YILDIRIM Doç. Dr. ZEYNEP BAŞERER BERBER
		8	THE EFFECT OF THE TEACHING OF HUMAN AND ENVIRONMENT UNIT WITH PLACE-BASED EDUCATION APPROACH ON STUDENTS' ATTITUDES TOWARDS SCIENCE COURSE	Uzman Öğretmen, Cahide SERDAROĞLU Prof. Dr. Munise Handan GÜNEŞ

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dedar. Ahmet ŞAHİNÖZ	1	CONSTITUTIONAL COURT PRACTICES IN POLITICAL PARTIES CLOSURE CASES	Bilim Uzmanı, MEHMET YILDIZ Prof. Dr. ERHAN GÜMÜŞ Prof. Dr. AHMET TUNÇ
		2	LEGAL NATURE OF CAPITAL SUPPLEMENTATION COMMITMENTS GIVEN WITHOUT THE UNANIMOUS VOTE OF THE GENERAL ASSEMBLY	Öğr. Gör. Dr. GÜLŞAH İSLAMOĞLU
		3	AN EVALUATION ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE SUPPORTED RISK ASSESSMENT SYSTEMS IN BOARDS OF DIRECTORS	Öğr. Gör. Dr. GÜLŞAH İSLAMOĞLU
		4	MUNICIPALITIES' USE OF SOCIAL MEDIA IN THE CONTEXT OF PUBLIC RELATIONS MODELS	Dr., NURGÜL SOYDAŞ
		5	KÜRESELLEŞMENİN GELECEĞİ VE DEGLOBALİZASYON	Yüksek Lisans Öğrencisi Morvarid Tahertan Dr. Öğr. Üyesi Hilal Kuvvetli Yavaş
		6	THE "PERCEPTION OF TURKS" IN EUROPEAN PUBLIC OPINION	Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNÖZ
		7		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr, MEHTAP ÖZENEN KAVLAK	1	MATEMATİK ALAN BECERİSİ TESTİNDEN KESTİRİLEN ÖĞRENCİ YETENEKLERİNİN ÇOK BOYUTLU MADDE TEPKİ KURAMI (ÇBMTK) VE BİLİŞSEL TANI MODELLERİ (BTM) ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ	Uzman, Yasemin Yardım Prof. Dr. Tahsin Oğuz BAŞOKÇU
		2	BİLİŞSEL TANI MODELLERİ KAPSAMINDA ÇOKLU Q MATRİS DOĞRULAMA ÇALIŞMASI	Uzman, Simge CEYLAN Prof. Dr. Tahsin Oğuz BAŞOKÇU
		3	ÜST DÜZEY DÜŞÜNME BECERİLERİNİN ÖLÇÜMÜNDE DİKOTOMİK VE KİSMİ PUANLAMANIN PSİKOMETRİK ÖZELLİKLER VE YETENEK KESTİRİMİNE ETKİSİ: KTK VE MTK BAĞLAMINDA İNCELENMESİ	Uzman, Simge CEYLAN Uzman, Yasemin YARDIM Prof. Dr. Tahsin Oğuz BAŞOKÇU
		4	TÜRK HALK MÜZİĞİ ESERLERİNİN PİYANO EĞİTİMİNİN FARKLI BASAMAKLARINA GÖRE DÜZENLENMESİ VE EĞİTSEL KULLANILABİLİRLİĞİ	Dr. Öğretim Üyesi ITİR ESKİOĞLU KAMCEZ Arş. Gör. BURAK TUNAYDIN
		5	TEACHERS' ORGANIZATIONAL HAPPINESS AND PROFESSIONAL LEARNING RELATIONSHIP	Öğretmen, Gonca SARIOĞLU GÖK Dr. Öğr. Ü. Mustafa Aydın BAŞAR
		6	AFETLERE DİRENÇLİ YERLEŞİMLER İÇİN EKOLOJİK PLANLAMA VE COĞRAFİ YAKLAŞIMLAR	Dr, MEHTAP ÖZENEN KAVLAK

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Ali Murat AKTEMUR	1	NARLIYAN HAN (ESKİ İSTANBUL DEFTERDARLIĞI BINASI)'DA NEOKLASİK VE ART NOUVEAU ÜSLUBUNUN YANSIMALARI	Prof. Dr. Ali Murat AKTEMUR
		2	İSTANBUL KARAKÖY'DE EKLEKTİK ÜSLUPTA İNŞA EDİLMİŞ BİR YAPI: VEFAİ HAN	Prof. Dr. Ali Murat AKTEMUR
		3	EXAMPLES OF SITE-SPECIFIC ART IN PUBLIC SPACE	Arş. Gör. ZEYNEP TUNÇEL KAHYAOĞLU
		4	OTTOMAN YATAGHANS: THE T.S.M. 2/3776 INVENTORY NUMBERED YATAGHAN AS A RARE WORK OF ART	Lec. Hasan KORKMAZ Prof. Dr. İlhan ÖZKEÇECİ
		5	GEÇMİŞİN İPLİĞİYLE GELECEĞİ DOKUMAK: BELKİS BALPINAR'IN KİLİMDEN TUVALE UZANAN SOYUTLAMALARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Merve MÜCAHİT Doç. Sevda KARASEYFİOĞLU PAÇALI
		6	REFLECTING THE HAIRPIN LACE TECHNIQUE FROM ANATOLIAN HANDICRAFTS IN CONTEMPORARY CLOTHING DESIGNS	Dr. Öğr. Üyesi TUĞBA SEFEROĞLU
		7	GRAPHIC MEDICINE: THE TRANSFORMATIVE ROLE OF VISUAL NARRATIVE IN HEALTH COMMUNICATION	Dr. Öğr. Üyesi Eda UZUN
		8	CHARACTER DESIGN IN GAMIFIED MOBILE EDUCATION APPLICATIONS: AN EVALUATION FOCUSED ON NARRATIVE, AESTHETICS AND INTERACTION	Dr. Öğr. Üyesi, EMİNE JESSICA MCKİE Dr. Öğr. Üyesi, EDA UZUN

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. VEDAT ÇELEBİ	1	Ermenistan-Azerbaycan Dağlık Karabağ ihtilafının çözümünde AGİT Minsk Grubu'nun başarısız faaliyetleri	Prof. Seyidova Sevinc Memmed kızı
		2	AVRUPA MERKEZCİ DÜŞÜNCENİN ELEŞTİRİSE VE İSLAM TARİHİ ALANINA YANSIMALARI	Dr. Öğr. Üyesi, Abdülvahid Yakub SİPAHİOĞLU
		3	TÜRKİYE-İRAN İLİŞKİLERİNDE ARŞİV KAYNAKLAR	Abdulhalim Akbaş Prof. Dr. Selam Yaşar
		4	FELSEFİ ANTROPOLOJİNİN YAPISAL VE KURAMSAL ÇERÇEVESİ: TEMEL KAVRAMLAR, PROBLEMLER VE YAKLAŞIMLAR	Dr. Karani Kağan BADEM
		5	EKSİK VARLIK OLARAK İNSAN: ARNOLD GEHLEN'İN FELSEFİ ANTROPOLOJİSİ	Dr. Karani Kağan BADEM
		6	Bilincin Biyolojik Temelleri ve Öznel Nitelikleri	Dr. Zafer AKDAĞ
		7	Çoklu Taslaklar Kuramı: Bilincin Bilimsel ve İşlevsel Açıklaması	Dr. Zafer AKDAĞ
		8	TRANSHÜMANİZM VE POSTHÜMANİZM YAKLAŞIMLARINDAKİ İNSAN ANLAYIŞININ VAROLUŞÇU FELSEFE BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	Prof. Dr. VEDAT ÇELEBİ

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç. Dr. Bilge GÜLER	1	PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF DIGITAL ADDICTION: A STUDY ON SOCIAL ANXIETY AND PSYCHOLOGICAL WELL-BEING	Doç. Dr. Bilge GÜLER
		2	Evlilikteki Cinsiyet Rol Beklentileri Ölçeği	Rumeysa Hanım Karaman Doc. Dr. Timuçin Aktan
		3	THE RELATIONSHIP BETWEEN GAMING ADDICTION AND AGGRESSION: THE MEDIATING ROLE OF SELF-CONTROL	Öğr. Gör. Dr. TUNCAY ÇORAK Psikoloji Lisans Öğrencisi, ZEYNEP YÜKSEL
		4	A SOCIOLOGICAL STUDY ON MASCULINITY AND EMPLOYMENT	Prof. Dr. Dolunay ŞENOL Dr. Gıyasettin YILDIZ
		5	A SOCIOLOGICAL STUDY ON REASONS FOR FEMALE STUDENTS TO PURSUE UNIVERSITY EDUCATION	Prof. Dr. Dolunay ŞENOL Dr. Gıyasettin YILDIZ
		6	VALUES AND ETHICS: AN INDIVIDUAL AND SOCIETAL PERSPECTIVE ON MORAL DECISION-MAKING PROCESSES	MUHAMMED SALİH KOCAR Prof. Dr. BÜLENT DİLMAÇ Doç. Dr. TOLGA SEKİ
		7	REVIEW OF INDIVIDUAL AND SOCIETAL VALUES IN THE CONTEXT OF MENTAL HEALTH	MUHAMMED SALİH KOCAR Prof. Dr. BÜLENT DİLMAÇ Doç. Dr. TOLGA SEKİ

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Jessica Thompson	1	ASSESSMENT OF SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF MODIFIED LOESS WITH COMMON ADMIXTURES IN GORGAN, IRAN	Seyed Erfan Hosseini Mohammad K. Alizadeh, Amir Mesbah
		2	DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) SYSTEM IN A CLOUD COMPUTING PLATFORM	Dr. Zhang Wei Prof. Liu Min
		3	SIMULATION AND PARAMETER OPTIMIZATION OF A RECTANGULAR MAGNETIC FIELD GENERATOR FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	Dr. Maria Gonzalez
		4	APPLICATION OF ADVANCED MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING	Ali Shah Ahmed Ali Farah Karim Saeed Zeynali
		5	THERMAL BEHAVIOR OF SUSTAINABLE CONCRETE MIXES WITH NATURAL INSULATION MATERIALS	L. Popescu S. Stanescu
		6	ASSESSING SAFETY RISKS IN URBAN CONSTRUCTION SITES THROUGH MACHINE LEARNING MODELS	Dr. Yiming Zhang Prof. Dr. Qian Zhao
		7	OPTIMIZATION OF THERMAL STABILITY IN COMPOSITE MATERIALS FOR AEROSPACE APPLICATIONS	Dr. Natalia Petrov Dr. Ilya Drozdenko
		8	IMPACT OF STRUCTURAL DESIGN ON THE PERFORMANCE OF BRIDGES UNDER SEISMIC LOADING CONDITIONS	Dr. Carlos Rodríguez Prof. Martina Serrano Dr. Felipe Duarte

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Zanele Mthembu	1	SYNTHESIS OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS	Jonas Fischer Lena Becker
		2	REMOVAL OF HEAVY METALS USING FUNCTIONALIZED BIOSORBENTS FROM AGRO-WASTE	Prof. Dr. Amadou Diallo, Dr. Fatoumata Traoré
		3	DEVELOPMENT OF BIOSENSOR PLATFORMS FOR DETECTION OF ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS	Maya Singh Ritu Sharma
		4	PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF HYDROGEL SYSTEMS CONTAINING ACTIVE PHARMACEUTICAL INGREDIENTS	Ravi Kumar, Manoj Kumar, Aakash Gupta
		5	OPTIMIZATION OF SOLID PHASE EXTRACTION FOR TRICYCLIC ANTIDEPRESSANT DRUGS IN URINE SAMPLES	Yasir Aslam, Farhan Ali, Sana Iqbal
		6	ANTIFUNGAL ACTIVITY OF NATURAL EXTRACTS FROM TRADITIONAL HERBS AGAINST COMMON PATHOGENS	Dr. Linda Pienaar, Dr. Zanele Mthembu
		7	ANALYSIS OF THE TOXICITY OF NANOPARTICLES IN AQUATIC ECOSYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY	Kostas Papadopoulos, Nikoleta Georgiou, Ioannis Theodorou
		8		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Nattha Kaewnopparat	1	DEVELOPMENT OF MOLECULAR IMPRINTED POLYMERS (MIPS) FOR THE SELECTIVE REMOVAL OF CARBAMAZEPINE FROM AQUEOUS SOLUTION	Bianca Schweiger, Lucile Bahnweg, Barbara Palm, Ute Steinfeld
		2	PENTACHLOROPHENOL REMOVAL VIA ADSORPTION AND BIODEGRADATION	Assis. Prof. Dr. Rakmi Abd.-Rahman Assis. Prof. Dr. Nurina Anuar
		3	FORMULATION AND EVALUATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES CONTAINING LACTOBACILLUS	Lecture Sanae Kaewnopparat Dr. Nattha Kaewnopparat
		4	ASAD ULLAH MADNI, MAHMOOD AHMAD, NAVEED AKHTAR, MUHAMMAD USMAN	Asad Ullah Madni Mahmood Ahmad, Naveed Akhtar, Muhammad Usman
		5	SERICIN FILM: INFLUENCE OF CONCENTRATION ON ITS PHYSICAL PROPERTIES	Assis. Prof. Dr. N. Namviriyachote N. Bang, P. Aramwit
		6	VALIDATION AND APPLICATION OF A NEW OPTIMIZED RP-HPLC-FLUORESCENT DETECTION METHOD FOR NORFLOXACIN	Mahmood Ahmad Ghulam Murtaza Sonia Khiljee Dr. Muhammad Asadullah Madni
		7	ANTIBACTERIAL CAPACITY OF PLUMERIA ALBA PETALS	Assis. Prof. Dr. M. H. Syakira Dr. L. Brenda
		8		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba	1	EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION IN KABUL CITY, AFGHANISTAN	Ahmad Sharif Ahmadi Yoshitaka Kajita
		2	INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS	Assis. Prof. Dr. R. Rafiemanzelat
		3	RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY	Assis. Prof. Dr. Beate Niemann, Fabian Pramel
		4	URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES	Philip Speranza
		5	PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION	Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba
		6	DISCUSSION ABOUT FREQUENT ADJUSTMENT OF URBAN MASTER PLANNING IN CHINA: A CASE STUDY OF CHANGSHOU DISTRICT, CHONGQING CITY	Sun Ailu Zhao Wanmin
		7	HYBRID LIVING: EMERGING OUT OF THE CRISES AND DIVISIONS	Yiorgos Hadjichristou
		8	CORPORATE GOVERNANCE STRUCTURES AND OVERLAPPING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC	Assis. Prof. Dr. Ondřej Nowak

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assis. Prof. Dr. Ondřej Nowak	1	EXAMINATION OF RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED	S. Pechpoonthong M. Kopystecki
		2	ADDRESSING MONEY LAUNDERING IN THE BANKING INDUSTRY: INSIGHTS FROM THE MALAYSIAN EXPERIENCE	Aspalella A. Rahman
		3	HYBRID ENERGY PROVISION WITH PREDOMINANTLY RENEWABLE CHOICE FOR SMALL INDUSTRIAL COMPLEX	Dr. Tomislav Stambolic, Anton Causevski
		4	STATISTICAL FORECASTING OF LIKELY DISTRESS IN NIGERIA'S BANKING SECTOR USING A NEURAL NETWORK APPROACH	Prof. Dr. D. A. Farinde
		5	EFFECTIVENESS IN URBAN ADMINISTRATION FOR THE SUSTAINABILITY AND COMPETITIVENESS OF A CITY: A CASE STUDY OF KUALA LUMPUR	Hamzah Jusoh Azmizam Abdul Rashid
		6	AN INVESTIGATION OF A NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR FORECASTING GROWTH IN GROSS DOMESTIC PRODUCT	Assoc. Prof. E. Giovanis
		7	HAZARDS OF LATE PAYMENT IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY	Dr. Kho Mei Ye Hamzah Abdul Rahman
		8		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma	1	SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Emma Grigoryan, Ashot Khachatryan, Karapet Flora Avjyan Savchenko,
		2	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Dr. Stepan Arakelova, Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan
		3	INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS	Dr. Sunil Kamboj, Dr. Vipin Saini, Lecture GauravBala,
		4	ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES	Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma
		5	FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING	Dr. Bedi Neayti Singh Phd. Candidate Balvinder Thakur,
		6	THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS	Assis. Prof. Dr. Rathapon Dr.Sorrachaitawatwong, Nardauma Pouthai
		7	INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS	Sirijit Tipchuwong, Chayanid Asasutjarit
		8		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Doç. Dr. RANA DAYIOĞLU ERUL	1	VERGİ MALİYETİNİN DÜŞÜRÜLMESİ VE VERGİ UYUMUNUN ARTIRILMASI BAĞLAMINDA E-VERGİ UYGULAMALARI	Prof. Dr. FATİH SARAÇOĞLU Doç. Dr. RANA DAYIOĞLU ERUL
		2	ELEKTRİKLİ ARAÇLARA UYGULANAN MOTORLU TAŞITLAR VERGİSİ TEŞVİKLERİ	Prof. Dr. FATİH SARAÇOĞLU Doç. Dr. RANA DAYIOĞLU ERUL
		3	KÜRESEL SAĞLIK TURİZMİ PAZARINDA TÜRKİYE’NİN KONUMU: KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Dr. Öğretim Üyesi, Asiye GÖLPEK KARABABA
		4	MHRS UYGULAMASININ SAĞLIK HİZMETLERİNDE VERİMLİLİK VE KALİTEYE ETKİSİ	Doktora Öğrencisi Hicran ÖZDEMİR
		5	TOPLUM SAĞLIĞI ODAKLI YÖNETİM: SAĞLIK HİZMETLERİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM	Doktora Öğrencisi Hicran ÖZDEMİR
		6	Reflections of Sustainability and Digital Transformation in Hospital Mission and Vision Statements in Turkey: A Thematic Content Analysis at the NUTS-1 Level	Öğr.Gör. Dr., Eda EMÜL
		7	RESEARCH OF FACTORS AFFECTING INDIVIDUALS* TABLET COMPUTER USE IN TURKEY	Prof. Dr. Ömer ALKAN Asst. Prof. Dr. Şeyda ÜNVER Asst. Prof. Dr. Gökhan TUTAR
		8	FACTORS AFFECTING INTERNET USE FOR BUSINESS PURPOSES AT HOME AMONG TURKISH INDIVIDUALS	Asst. Prof. Dr. Şeyda ÜNVER Prof. Dr. Ömer ALKAN

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Mine HALİS	1	SPOR BİLİMLERİNDE “ÖRGÜTSEL SİNİZİM” KONUSU ÇALIŞMALARIN İÇERİKLERİNE YÖNELİK BİR ANALİZ (2020-2025)	Batuhan COŞKUN Doç. Dr., Pero Duygu DUMANGÖZ
		2	SPORDA İSTİHDAMA YÖNELİK ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ	Harun AYDOĞAN Doç. Dr., Pero Duygu DUMANGÖZ
		3	ATLETİZM SPORCULARININ SPORDA TÜKENMİŞLİK DURUMLARI	Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇALI Dr. Öğr. Üyesi Savaş AYDIN
		4	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNİN BİLİŞSEL ESNEKLİK DÜZEYLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÇALI Dr. Öğr. Üyesi Savaş AYDIN
		5	THE RELATIONSHIP BETWEEN PERSON-ORGANIZATION FIT, ORGANIZATIONAL TRUST AND JOB PERFORMANCE IN ORGANIZATIONS	Asst. Prof. Dr. NERİMAN ÇELİK
		6	DATING VIOLENCE: LOVING!? OR NOT LOVING!?	Prof. Dr. H. EYLEM KAYA
		7	HİBRİT ÇALIŞMA BAĞLAMINDA KADINLARIN İŞ-ÖZEL YAŞAM DENGESİ VE CİNSİYET ROLLERİ	Prof. Dr. Mine HALİS
		8	ORGANİZASYONEL HALEFİYET PLANLAMASI: İK UZMANLARININ GÖRÜŞLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Prof. Dr. Mine HALİS

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Cuneyt UYSAL	1	SWELLING CHARACTERISTICS OF CHITOSAN-BASED FOAM AND FILM STRUCTURES FOR WOUND DRESSING APPLICATIONS	Assist. Prof. Dr., Gamze D. TETİK BSc. Myar YOUSEF
		2	ALÜMİNYUM - EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ POLİMER KOMPOZİT KİRİŞLERİN SERBEST TİTREŞİM DAVRANIŞI	Makine Yüksek Mühendisi, MERİÇ IŞIK Prof. Dr., BİNNUR GÖREN KIRAL Makine Mühendisi, İREM KÜÇÜK
		3	KABLO TAHRİKLİ TERS ESNEK MAFSALLI ESNEK ROBOTİK TUTUCULARIN TASARIMI	ZÜBEYDE ELİF ARAL DUYGU ÖZDEMİR EMİR PEHLİVAN Prof. Dr. BİNNUR GÖREN KIRAL, Prof. Dr. ZEKİ KIRAL
		4	NUMERICAL ANALYSIS OF WATER- BASED NANOFLUID FLOW CONTAINING HYBRID NANOPARTICLES FORMED WITH VARIOUS MASS FRACTIONS OF COPPER AND MAGNESIUM OXIDE	Res. Asst. Bahaddin TOPAK Assoc. Prof. Dr. Cuneyt UYSAL
		5	KIRSAL ALANLARDAKİ TRAKTÖR KAZALARI ÜZERİNDE ETKİLİ FAKTÖRLERİN ANALİZİ	Mak. Müh., Pelin ERYILMAZ Dr. Öğr. Üyesi, Erdal ÖZ
		6	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VORTEX GENERATORS ON POWER GENERATION IN A SMALL-SCALE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE	Makina Mühendisi, AHSEN ERGÜNEY Profesör, ALPASLAN TURGUT Doçent, SERCAN ACARER
		7		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Öğr. Üye. GÜLŞAH KARACA DOLGUN	1	PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF MSN-TQ/PGMA NANOCOMPOSITES	Dr. SEDEF KAPTAN USUL BEYZA KİPER
		2	DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF THYMOQUINONE-LOADED MESOPOROUS SILICA NANOSTRUCTURES IN COMPOSITE MATERIALS	Assoc. Prof. Dr. AYŞE ASLAN CANPOLAT DİLARA ÇULCUOĞLU
		3	THE ROLE OF DIGITAL MONITORING IN TEACHING SOLAR ENERGY THROUGH STEM: AN EXPERIENCE BASED ON THE SOLARMAN SMART PLATFORM	Mazhyn Skakov Ali Coruh Naci Genc Sherzod Ramankulov Nurkozha Zhaksylyk Nurzhigit Aldabergen
		4	SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR DEVELOPING STUDENTS' SOFT SKILLS: OPPORTUNITIES FOR INTEGRATING CREATIVE UPBRINGING AND STEM LEARNING	Rizakhojayeva G Akesheva M Usembayeva I Nurkozha Zhaksylyk
		5	Çanakkale İli Rüzgar Enerji Santrallerinin Kurulum Yerlerinin Belirlenmesinde Kümeleme Analizi ile Karar Verme	Mehmet Burak BARTAN Prof. Dr. Özlem TÜRKŞEN
		6	EFFECT OF FINE AGGREGATE RATIO ON COMPRESSIVE STRENGTH AND HYDRAULIC PROPERTIES OF POROUS CONCRETE	Dr. DEMET YAVUZ
		7	EFFECT OF FIBER USE ON EARLY FLEXURAL STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS	Asst. Prof., Ömer Faruk KELEŞ Asst. Prof., Fatih İrfan BAŞ
		8	PERLİT AGREGALI POLİMER BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	Bedirhan İhsan GÜLNAHAR Doç. Dr. Halit Alperen BULUT
		9	EVALUATING INSULATION STRATEGIES FOR MUĞLA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TS825:2008, TS825:2024 AND LCCA	Dr. Öğr. Üye. GÜLŞAH KARACA DOLGUN

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Asst. Prof. Dr. SEVİL ÇULHA ÜNAL	1	EVALUATING THE PERFORMANCES OF CMA-ES AND BFGS OPTIMIZATION ALGORITHMS: APPLICATION ON A CORONARY HEART DISEASE DATASET	Dr. ADİL KILIÇ Assoc. Prof. GAMZE GÜVEN
		2	2019-2023 YILLARI ARASINDA FARKLI YAŞAM TABLOLARI KULLANILARAK YAŞAM ÜMİDİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, CEMİLE SEZER SERİN
		3	OFF-POLICY PERFORMANCE ANALYSIS IN REINFORCEMENT LEARNING WITH N-STEP BOOTSTRAPPING METHODS: A COMPARISON OF N-STEP TREE BACKUP AND $Q(\lambda)$	Dr. Öğr. Üyesi, Özkan CANAY Dr Öğr. Üyesi , Cem ÖZKURT Öğrenci, Osman Emre TURHAN
		4	The Role of Prioritized Updates in Reinforcement Learning: A Comparison of Dyna-Q and Prioritized Sweeping	Lecturer, Ahmet Kala Asst. Prof., Cem Özkurt Lecturer, Anıl Tunç
		5	ANALYTIC SOLUTIONS OF THE SPACE-TIME FRACTIONAL MODIFIED REGULARIZED LONG WAVE EQUATION IN TERMS OF THE GENERALIZED TRIGONOMETRIC AND HYPERBOLIC FUNCTIONS	Asst. Prof. Dr. SEVİL ÇULHA ÜNAL
		6	ARNOLD CAT HARİTASI VE HENON HARİTASI KULLANILARAK GÖRÜNTÜ ŞİFRELEMEYİ VE ARAYÜZ TASARIMI	Elektrik Elektronik Mühendisi, MUSTAFA KANAN MANDİL Elektrik Elektronik Mühendisi, ÖMER FARUK ERGÜN Dr. Öğr. Üyesi, Murat Erhan ÇİMEN
		7	KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE HİBRİT YARASA ALGORİTMASI VE BAŞLANGIÇ STRATEJİLERİ	Dr. Öğretim Üyesi, Adem ŞEHİTOĞLU Prof. Dr. ÇERKEZ AĞAYEVA

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dwi SULISWORO	1	THE INFLUENCE OF GUIDED INQUIRY IN EXPERIMENT-BASED PHYSICS LEARNING ON IMPROVING STUDENTS' SCIENCE PROCESS SKILLS	Mentari Eka WAHYUNI Ika MARYANI
		2	UNDERSTANDING THE RELATIONSHIP BETWEEN DIFFERENTIATED INSTRUCTION AND STUDENTS' SOCIOCULTURAL BACKGROUNDS IN SENIOR HIGH SCHOOLS OF SUKABUMI, INDONESIA	Dewi ANDRIANIE Dian Artha KUSUMANINGTYAS
		3	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A CATALYST FOR VOCATIONAL EDUCATION TRANSFORMATION IN INDONESIA: A LITERATURE-BASED PERSPECTIVE	Nunuy HARDJASASMITA Suyatno
		4	THE PERSPECTIVE OF THE CISITU BANTEN INDIGENOUS COMMUNITY IN INDONESIA ON FORMAL EDUCATION AND TRADITIONAL EDUCATIONAL VALUES: A CULTURE-BASED QUALITATIVE STUDY	Yeni NURYANI Enung HASANAH
		5	MITIGATING LEARNING LOSS IN ISLAMIC LITERACY AMONG YOUNG CHILDREN THROUGH HOLISTIC CHARACTER EDUCATION AND DEEP LEARNING APPROACH	Aziz MUZAKI Hendro WIDODO
		6	PROFILING CURIOSITY AMONG SECONDARY STUDENTS IN THE FRONTIER AREAS IN INDONESIA: A CASE STUDY IN GNX SCHOOL	Esther Kurniawati WIRAWAN Dwi SULISWORO

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Yasuyuki Konishi,	1	COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL	Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd
		2	PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES	Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan
		3	OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY	V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran
		4	CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION	Assoc. Prof. Abdelatif S. H. El-Jasser
		5	INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN	A. Molee, N. Duanghaklang, P. Memkrathoke
		6	REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE	Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher
		7	PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY	Pattama Ratana-Arpom, Pongtep Wilaipun
		8	EFFECT OF PRETREATMENT METHOD ON THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS, VITAMIN C AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DRIED DILL	Ruta Galoburda, Zanda Kruma, Karina Ruse

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Pieter van der Meer	1	INTEGRATED APPROACHES TO SMART MANUFACTURING AND MECHATRONICS DESIGN	Taro Nakamura, Sophia Akintola,
		2	ADVANCED SIMULATION TECHNIQUES FOR ELECTRIC SKID-STEERING VEHICLES	Amara Diouf Dr. Pieter van der Meer,
		3	ANALYSIS OF EXPANSION-INDUCED IRONING IN ADVANCED WELL CASING TECHNOLOGIES	Dr. Rodrigo Souza, Dr. Aisha El-Sayed,
		4	DEVELOPMENT OF INDOOR DRONE SYSTEMS FOR CREATIVE INDUSTRY INNOVATIONS	Dr. Musa Khan Dr. Laura Ricci,
		5	EMOTIONALLY INTELLIGENT ROBOTS FOR SOCIAL INTERACTION	Dr. Sarah Kim Dr. João Silva,
		6	ADVANCING EMOTION-SENSITIVE AI IN ROBOTIC SYSTEMS: A STUDY OF MULTIMODAL EMOTION RECOGNITION APPROACHES	Adebayo Okoro, Li Wei, Maria Nunes
		7	IMPACT ASSESSMENT OF LEAN MANUFACTURING ON ORGANIZATIONAL SUCCESS: A STRUCTURAL ANALYSIS FRAMEWORK	Tariro Chikafu,
		8	DESIGN AND ANALYSIS OF A DUAL-ACTUATED MICROGRIPPER FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS	Mariam Sow, Javier Rodríguez, Wei Zhang

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Elias Moreno	1	ROBUST CONTROL DESIGN FOR 3-DOF HELICOPTER SYSTEMS USING ADVANCED LQR-PID METHODS	Manuel Silva, Aisha Ahmed, Sophia Kim
		2	ENHANCING POWER QUALITY THROUGH ADAPTIVE FUZZY PID CONTROL OF ACTIVE POWER FILTERS	Fatou Ndiaye, Elias Moreno
		3	ROBUST CONTROL DESIGN FOR 3-DOF HELICOPTER SYSTEMS USING ADVANCED LQR-PID METHODS	Manuel Silva, Aisha Ahmed, Sophia Kim
		4	ENHANCING POWER QUALITY THROUGH ADAPTIVE FUZZY PID CONTROL OF ACTIVE POWER FILTERS	Fatou Ndiaye, Dr. Elias Moreno
		5	INNOVATIVE EYE-TRACKING CONTROL SYSTEM FOR WHEELCHAIR NAVIGATION USING EOG TECHNOLOGY	Diana Oliveira, Ahmed Khan, Maya Tanaka
		6	LOW-COST ELECTROMYOGRAPHIC SIGNAL AMPLIFICATION SYSTEM FOR PORTABLE APPLICATIONS	Ahmed O. Ibrahim, Chike N. Okeke , Sophia Mensah
		7	ENHANCING SINGLE-PHASE INVERTER PERFORMANCE USING EMBEDDED PWM CONTROLLERS	Dr. João P. Silva, Maria C. Costa
		8	OPTIMIZATION OF LOAD FREQUENCY CONTROL USING GENETIC ALGORITHMS	Wanjiku N. Mwangi, Joseph A. Otieno

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assis. Prof. Dr. Marco dos Santos	1	SECURE ADS-B SYSTEMS USING HYBRID MODULATION TECHNIQUES	Jia L. Wong, Mei C. Huang, Thuy T. Nguyen
		2	PERFORMANCE ANALYSIS OF AIR COOLING SYSTEMS WITH VARIABLE GENERATOR PRESSURE	Lamia M. Hussein, Kenji T. Yamada
		3	IMPACT OF VARIABLE PRIMARY STREAM CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF EJECTOR COOLING SYSTEMS	Rafael Moreira, Jie Zhang, Ahmed Saleh, Samuel Okoro
		4	TIME-DOMAIN ANALYSIS OF FLOATING WAVE ENERGY CONVERTER PERFORMANCE	Yuki Nakamura, Mei Lin, Peter Mensah
		5	EVALUATION OF A HIGH-VOLTAGE GAIN DC/DC CONVERTER FOR SOLAR ENERGY APPLICATIONS	Chen Wei, Fatima Haddad, Assis. Prof. Dr. Marco dos Santos
		6	ANALYSIS OF CHILDHOOD POISONING ADMISSIONS IN LIBYA: THREE-YEAR RETROSPECTIVE STUDY	Fatima Al-Bakri, Mohamed Hassan, Elena Petrov
		7	EFFECTS OF PROLACTIN ALTERATIONS ON MALE REPRODUCTIVE FUNCTION IN WHITE RATS	Hassan Ali,
		8	IMPACT OF DEXAMETHASONE ON REPRODUCTIVE HEALTH IN JUVENILE RATS	A. Rahimi, M. Amara

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. F. Mahmoud	1	LEAKAGE IMPACT ON THE DURABILITY OF SOLID OXIDE ELECTROLYSIS CELLS	Fatima Al-Hassan, Khaled Saleh, Aisha Khalil
		2	INNOVATIVE THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION	Daniel Owusu, Grace Agyeman
		3	ENHANCING ENERGY EFFICIENCY THROUGH SMART MICRO-GRID INTEGRATION: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA	N. T. Vu, L. H. Pham, J. W. Han, Priya Kumari, Ahmed Nasir
		4	EMPOWERING CLINICAL PRECEPTORS: STRATEGIES FOR IMPROVING NURSING EDUCATION IN EAST AFRICA	Fatima Mwangi, Samuel Otieno
		5	ADVANCING NUTRITIONAL CARE FOR PEDIATRIC CANCER PATIENTS: A NURSING PERSPECTIVE	Dr. R. Choudhury, Dr. A. Das
		6	IMPROVING HEALTH OUTCOMES FOR FEMALE INMATES: NURSING INTERVENTIONS IN NIGERIA	Maryam Bello, Nkechi Nwosu, Zhang Ming
		7	DEVELOPING NURSE LEADERSHIP IN CHALLENGING ENVIRONMENTS: INSIGHTS FROM IRAQ	Assoc. Prof. Dr. F. Mahmoud, Dr. A. Ibrahim
		8		

ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 15 - 17, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ağustos / August 17, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Dr. Sofia Almeida,	1	THE IMPACT OF DIALYSIS-INDUCED STRESS ON PATIENT OUTCOMES: A STUDY FROM EGYPT	Fatima S. Hassan, Dr. Ahmed M. Zaki
		2	IMPROVING NURSING PRACTICES IN PEDIATRIC DENTAL CARE: A SYSTEMATIC REVIEW	Dr. Mariam Konaté, Dr. Felix Okoro
		3	ASSESSING TEAMWORK SKILLS THROUGH SIMULATION IN UNDERGRADUATE HEALTH EDUCATION	E. Ndanga, T. Owusu, R. Kamau, P. Karume, J. Sibanda
		4	YOGA AS A HOLISTIC APPROACH FOR IMPROVING QUALITY OF LIFE IN CHILDREN WITH CANCER	Dr. Kwame Addae
		5	SOCIAL DYSFUNCTION IN SCHIZOPHRENIA: THE IMPACT OF SUBSTANCE MISUSE AND SUPPORT SYSTEMS	Dr. Sofia Almeida, Dr. Lucas Martins, Dr. Mariana Costa
		6	PERFORMANCE DIFFERENCES IN CARDIO-RESPIRATORY FITNESS AMONG ATHLETES: A COMPARATIVE STUDY	Dr. Ayesha Rehman, Dr. Lukas Meier
		7	OVERCOMING BARRIERS IN INTRAMURAL SPORTS PROGRAMS IN SECONDARY SCHOOLS: CASE STUDY FROM LAGOS, NIGERIA	Adebayo Adekunle, Fatima Yusuf
		8	IMPACT OF DIETARY STRATEGIES ON RESISTANCE TRAINING OUTCOMES: A CASE STUDY IN BRAZIL	Lucas Mendes Clara Souza,



ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES
ICSAS 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ICSAS 5TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
August 15 - 17, 2025
IZMIR



Contents

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN HİBRİT YEREL ARAMA VE MEMETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMLARININ PERFORMANS ANALİZİ.....	1
MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI GERÇEK ZAMANLI ORMAN YANGINI HİBRİT RİSK TAHMİN SİSTEMİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ.....	9
YAPAY ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI İLE SEÇİLEN FONOKARDİYOGRAM ÇERÇEVELERİNDEN ELDE EDİLEN SPEKTROGRAMLARIN ESA İLE SINIFLANDIRILMASI.....	19
FARKLI DİLLERDE YAZILAN YOUTUBE COVID-19 AŞI YORUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ MODELLERİYLE SINIFLANDIRILMASI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....	27
IKEA ENDONEZYA SANDALYE ÜRÜNÜ VERİ SETİNDE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA SATIŞ MİKTARININ ANALİZİ	35
ÇOCUKLARDA SHOTBLOCKER UYGULAMASININ AĞRI ÜZERİNE ETKİSİ: BİR BİBLİYOMETRİK ANALİZ ÇALIŞMASI.....	46
ADÖLESAN SAĞLIĞINI GELİŞTİRMeye YÖNELİK HEMŞİRELİK BAKIM YAKLAŞIMLARI	56
YAPAY ZEKA DESTEKLİ SİSTEMLER İLE İLAÇ-İLAÇ ETKİLEŞİMLERİNİN ÖNLENMESİ	65
DOKU PERFÜZYONU ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİ OLAN HİSTİDİN-AKT1 VE TAURİN-HIF-1A ETKİLEŞİMLERİNİN İN SİLİCO HESAPLAMALI İNCELENMESİ.....	67
<i>IN SILICO</i> COVALENT BINDING ANALYSIS OF 4-BENZYL-4-PENTYLMORPHOLIN-4-IUM CHLORIDE ON NF- κ B P65 (RELA): EVALUATION OF APOPTOSIS POTENTIAL IN PANCREATIC CANCER.....	74
EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF POSITIVE SAFETY CULTURE AND AWARENESS IN PREVENTING WORK ACCIDENTS.....	85
ALGLER VE SU KALİTESİ: EKOLOJİK GÖSTERGELER VE YÖNETİM AÇISINDAN ÖNEMİ	93
ALGLERİN İLAÇ YAPIMINDA KULLANIMI: BİYOLOJİK POTANSİYEL VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	98
TURKEY'S PROJECTED TARGETS UNDER THE FRAMEWORK OF THE CLIMATE LAW.....	104
SUSTAINABLE AGRICULTURE PRACTICES IN WASTE MANAGEMENT.....	112
REVERSE OSMOSIS REDUCTION OF MINERALS IN PURIFIED DRINKING WATER AND HEALTH EFFECTS.....	121
MİKRO HAVZA REHABİLİTASYON PROJELERİNDE ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ ÖNEMİ .	126
MINERALOGY OF THE ARIZLI MANGANESE DEPOSIT (AFYONKARAHISAR, TÜRKİYE).....	127
MINERALOGICAL CHARACTERISATION OF A LATE CRETACEOUS DIORITIC GABBRO FROM NW ELAZIG (EASTERN ANATOLIA): EVIDENCE OF HYDROTHERMAL ALTERATION BASED ON XRD ANALYSIS.....	128
APİTERAPİ UYGULAMALARINDA YENİ YAKLAŞIMLAR	130
BAL ARISI KOLONİLERİNDE NEKTAR TOPLAMA DAVRANIŞI ve KOLONİ YAŞAMINA YANSIMALARI	138
YAĞIŞ BENZETİCİ KOŞULLARINDA FARKLI MALÇ MALZEMELERİNİN DRENAJ, YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYBI ÜZERİNE ETKİLERİ	145
YAĞIŞ BENZETİCİ KOŞULLARINDA FARKLI MALÇ MALZEMELERİNİN DRENAJ, YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYBI ÜZERİNE ETKİLERİ	159
THE EFFECT OF DEFOLIANT APPLICATION TIMES ON SOME CHARACTERISTICS OF COTTON IN DIFFERENT COTTON (<i>Gossypium hirsutum</i> L.) VARIETIES.....	174

TERMİK SANRAL KAYNAKLI KÜL İLE KARIŞTIRILMIŞ TOPRAKTA MISIRIN VE SEMİZOTUNUN FİTOREMİDASYON KAPASİTELERİNİN VE BAKIR ALIMIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	176
BİTKİ BİYOSTİMULATÖRÜ OLARAK BİYOÇARIN KROM TOKSİSİTESİ ALTINDAKİ ÇİVİT OTUNDA (<i>Isatis tinctoria</i> L.) FİZYOLOJİK TEPKİLERİ	183
KIRMIZI DUT (MORUS NİGRA) POLİFENOLLERİNİN OBEZİTEYLE İLİŞKİLİ PROTEİNLERE BAĞLANMA POTANSİYELLERİNİN MOLEKÜLER DOKİNG İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	196
THE EFFECT OF FRUIT AND VEGETABLE DRYING METHODS ON THE BIOAVAILABILITY OF ANTIOXIDANT COMPOUNDS.....	205
CONFORMATIONAL AND QUANTUM CHEMICAL ANALYSIS OF THE ANTIHYPERTENSIVE DIPEPTIDE ILE-TYR.....	220
KOBALT BORÜR PARÇACIKLARI İLE SODYUM BOR HİDRÜRÜN DEHİDROJENASYONU	232
SYNTHESIS OF AN ENVIROMENTALLY FRIENDLY PHENOL-FREE RESIN FOR OFFSET PRINTING INK	237
EFFECTS OF NITROGEN PROTOXIDE (N ₂ O) APPLICATIONS ON VEGETATIVE DEVELOPMENT AND STOMA CHARACTERISTICS OF 41 B AND RAMSEY GRAPE ROOTSTOCKS	252
BİR AÇIK OCAK İŞLETMESİNDE OPTİMUM DÖNGÜ SÜRESİ İLE EN EKONOMİK YÜKLEYİCİ-TAŞIYICI EŞLEŞMESİNİN YAPILMASI.....	260
SWELLING CHARACTERISTICS OF CHITOSAN-BASED FOAM AND FILM STRUCTURES FOR WOUND DRESSING APPLICATIONS.....	262
ALÜMİNYUM- EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ POLİMER KATMANLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN SERBEST TİTREŞİM DAVRANIŞI.....	269
KABLO TAHRİKLİ TERS ESNEK MAFSALLI ESNEK ROBOTİK TUTUCULARIN TASARIMI	278
NUMERICAL ANALYSIS OF WATER– BASED NANOFLUID FLOW CONTAINING HYBRID NANOPARTICLES FORMED WITH VARIOUS MASS FRACTIONS OF COPPER AND MAGNESIUM OXIDE	292
KIRSAL ALANLARDAKİ TRAKTÖR KAZALARI ÜZERİNDE ETKİLİ FAKTÖRLERİN ANALİZİ	307
KÜÇÜK ÖLÇEKLİ YATAY EKSENİ BİR RÜZGAR TÜRBİNİNDE GİRDAP ÜRETEÇLERİN GÜÇ ÜRETİMİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ.....	323
PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF PGMA/THYMOQUINONE-MSN NANOCOMPOSITES.....	325
DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF THYMOQUINONE-LOADED MESOPOROUS SILICA NANOSTRUCTURES IN COMPOSITE MATERIALS.....	338
THE ROLE OF DIGITAL MONITORING IN TEACHING SOLAR ENERGY THROUGH STEM: AN EXPERIENCE BASED ON THE SOLARMAN SMART PLATFORM	349
SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR DEVELOPING STUDENTS' SOFT SKILLS: OPPORTUNITIES FOR INTEGRATING CREATIVE UPBRINGING AND STEM LEARNING	362
ÇANAKKALE İLİ RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNİN KURULUM YERLERİNİN BELİRLENMESİNDE KÜMELEME ANALİZİ İLE KARAR VERME	370
İNCE AGREGA ORANININ POROZ BETONLARIN BASINÇ DAYANIMI VE HİDROLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	383
EFFECT OF FIBER USE ON EARLY FLEXURAL STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS	392

PERLİT AGREGALI POLİMER BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ.....	406
EVALUATING INSULATION STRATEGIES FOR MUĞLA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TS825:2008, TS825:2024 AND LCCA.....	417
EVALUATING THE PERFORMANCES OF CMA-ES AND BFGS OPTIMIZATION ALGORITHMS: APPLICATION ON A CORONARY HEART DISEASE DATASET	426
2019-2023 YILLARI ARASINDA FARKLI YAŞAM TABLOLARI KULLANILARAK YAŞAM ÜMİDİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	427
THE ROLE OF PRIORITIZED UPDATES IN REINFORCEMENT LEARNING: A COMPARISON OF DYNA-Q AND PRIORITIZED SWEEPING.....	428
OFF-POLICY PERFORMANCE ANALYSIS IN REINFORCEMENT LEARNING WITH N-STEP BOOTSTRAPPING METHODS: A COMPARISON OF N-STEP TREE BACKUP AND $Q(\lambda)$	438
ANALYTIC SOLUTIONS OF THE SPACE-TIME FRACTIONAL MODIFIED REGULARIZED LONG WAVE EQUATION IN TERMS OF THE GENERALIZED TRIGONOMETRIC AND HYPERBOLIC FUNCTIONS	450
KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE HİBRİT YARASA ALGORİTMASI VE BAŞLANGIÇ STRATEJİLERİ	461
DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) SYSTEM IN A CLOUD COMPUTING PLATFORM	472
SIMULATION AND PARAMETER OPTIMIZATION OF A RECTANGULAR MAGNETIC FIELD GENERATOR FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	473
APPLICATION OF ADVANCED MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING	474
THERMAL BEHAVIOR OF SUSTAINABLE CONCRETE MIXES WITH NATURAL INSULATION MATERIALS..	475
ASSESSING SAFETY RISKS IN URBAN CONSTRUCTION SITES THROUGH MACHINE LEARNING MODELS	476
OPTIMIZATION OF THERMAL STABILITY IN COMPOSITE MATERIALS FOR AEROSPACE APPLICATIONS.	477
IMPACT OF STRUCTURAL DESIGN ON THE PERFORMANCE OF BRIDGES UNDER SEISMIC LOADING CONDITIONS	478
SYNTHESIS OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS	479
REMOVAL OF HEAVY METALS USING FUNCTIONALIZED BIOSORBENTS FROM AGRO-WASTE	480
DEVELOPMENT OF BIOSENSOR PLATFORMS FOR DETECTION OF ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS	481
PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF HYDROGEL SYSTEMS CONTAINING ACTIVE PHARMACEUTICAL INGREDIENTS	482
OPTIMIZATION OF SOLID PHASE EXTRACTION FOR TRICYCLIC ANTIDEPRESSANT DRUGS IN URINE SAMPLES, ...	483
ANTIFUNGAL ACTIVITY OF NATURAL EXTRACTS FROM TRADITIONAL HERBS AGAINST COMMON PATHOGENS	484
ANALYSIS OF THE TOXICITY OF NANOPARTICLES IN AQUATIC ECOSYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY.	485

DEVELOPMENT OF MOLECULAR IMPRINTED POLYMERS (MIPS) FOR THE SELECTIVE REMOVAL OF CARBAMAZEPINE FROM AQUEOUS SOLUTION	486
PENTACHLOROPHENOL REMOVAL VIA ADSORPTION AND BIODEGRADATION	487
FORMULATION AND EVALUATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES CONTAINING LACTOBACILLUS	488
SERICIN FILM: INFLUENCE OF CONCENTRATION ON ITS PHYSICAL PROPERTIES	489
VALIDATION AND APPLICATION OF A NEW OPTIMIZED RP-HPLC-FLUORESCENT DETECTION METHOD FOR NORFLOXACIN	490
ANTIBACTERIAL CAPACITY OF PLUMERIA ALBA PETALS	491
EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION IN KABUL CITY, AFGHANISTAN	492
INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS	493
Renewed Urban Waterfront: Spatial Conditions of a Contemporary Urban Space Typology	494
URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES	495
PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION	496
Discussion about Frequent Adjustment of Urban Master Planning in China: A Case Study of Changshou District, Chongqing City.....	497
Hybrid Living: Emerging Out of the Crises and Divisions.....	498
CORPORATE GOVERNANCE NETWORKS AND INTERLOCKING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC	499
ANALYSIS OF RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED	500
THE STUDY OF PUBLIC CONSCIOUSNESS OF UNDERGRADUATE STUDENTS, SUAN SUNANDHA RAJABHAT UNIVERSITY.....	501
HYBRID ENERGY SUPPLY WITH DOMINANTLY RENEWABLE OPTION FOR SMALL INDUSTRIAL COMPLEX	502
A STATISTICAL PREDICTION OF LIKELY DISTRESS IN NIGERIA BANKING SECTOR USING A NEURAL NETWORK APPROACH.....	503
RISK OF LATE PAYMENT IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY	506
SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS.....	507
PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS.....	508
INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS.....	509
ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES.....	510
FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING	511

THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS.....	512
INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS	513
COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL.....	514
PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES.....	515
OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.)VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY.....	516
CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION	517
INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN	518
REVEA LING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NACL: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE	519
PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY	520
EFFECT OF PRETREATMENT METHOD ON THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS, VITAMIN C AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DRIED DILL.....	521
INTEGRATED APPROACHES TO SMART MANUFACTURING AND MECHATRONICS DESIGN.....	522
ADVANCED SIMULATION TECHNIQUES FOR ELECTRIC SKID-STEERING VEHICLES.....	523
ANALYSIS OF EXPANSION-INDUCED IRONING IN ADVANCED WELL CASING TECHNOLOGIES	524
DEVELOPMENT OF INDOOR DRONE SYSTEMS FOR CREATIVE INDUSTRY INNOVATIONS	525
EMOTIONALLY INTELLIGENT ROBOTS FOR SOCIAL INTERACTION	526
ADVANCING EMOTION-SENSITIVE AI IN ROBOTIC SYSTEMS: A STUDY OF MULTIMODAL EMOTION RECOGNITION APPROACHES.....	527
IMPACT ASSESSMENT OF LEAN MANUFACTURING ON ORGANIZATIONAL SUCCESS: A STRUCTURAL ANALYSIS FRAMEWORK	528
DESIGN AND ANALYSIS OF A DUAL-ACTUATED MICROGRIPPER FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS	529
ROBUST CONTROL DESIGN FOR 3-DOF HELICOPTER SYSTEMS USING ADVANCED LQR-PID METHODS	530
ENHANCING POWER QUALITY THROUGH ADAPTIVE FUZZY PID CONTROL OF ACTIVE POWER FILTERS	531
INNOVATIVE EYE-TRACKING CONTROL SYSTEM FOR WHEELCHAIR NAVIGATION USING EOG TECHNOLOGY.....	532
LOW-COST ELECTROMYOGRAPHIC SIGNAL AMPLIFICATION SYSTEM FOR PORTABLE APPLICATIONS..	533
ENHANCING SINGLE-PHASE INVERTER PERFORMANCE USING EMBEDDED PWM CONTROLLERS	534
OPTIMIZATION OF LOAD FREQUENCY CONTROL USING GENETIC ALGORITHMS.....	535

SECURE ADS-B SYSTEMS USING HYBRID MODULATION TECHNIQUES	536
PERFORMANCE ANALYSIS OF AIR COOLING SYSTEMS WITH VARIABLE GENERATOR PRESSURE	537
IMPACT OF VARIABLE PRIMARY STREAM CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF EJECTOR COOLING SYSTEMS	538
TIME-DOMAIN ANALYSIS OF FLOATING WAVE ENERGY CONVERTER PERFORMANCE	539
EVALUATION OF A HIGH-VOLTAGE GAIN DC/DC CONVERTER FOR SOLAR ENERGY APPLICATIONS	540
ANALYSIS OF CHILDHOOD POISONING ADMISSIONS IN LIBYA: THREE-YEAR RETROSPECTIVE STUDY ..	541
EFFECTS OF PROLACTIN ALTERATIONS ON MALE REPRODUCTIVE FUNCTION IN WHITE RATS	542
IMPACT OF DEXAMETHASONE ON REPRODUCTIVE HEALTH IN JUVENILE RATS.....	543
LEAKAGE IMPACT ON THE DURABILITY OF SOLID OXIDE ELECTROLYSIS CELLS	544
INNOVATIVE THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION.....	545
ENHANCING ENERGY EFFICIENCY THROUGH SMART MICRO-GRID INTEGRATION: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA	546
EMPOWERING CLINICAL PRECEPTORS: STRATEGIES FOR IMPROVING NURSING EDUCATION IN EAST AFRICA	547
ADVANCING NUTRITIONAL CARE FOR PEDIATRIC CANCER PATIENTS: A NURSING PERSPECTIVE.....	548
IMPROVING HEALTH OUTCOMES FOR FEMALE INMATES: NURSING INTERVENTIONS IN NIGERIA.....	549
DEVELOPING NURSE LEADERSHIP IN CHALLENGING ENVIRONMENTS: INSIGHTS FROM IRAQ	550
THE IMPACT OF DIALYSIS-INDUCED STRESS ON PATIENT OUTCOMES: A STUDY FROM EGYPT	551
IMPROVING NURSING PRACTICES IN PEDIATRIC DENTAL CARE: A SYSTEMATIC REVIEW	552
ASSESSING TEAMWORK SKILLS THROUGH SIMULATION IN UNDERGRADUATE HEALTH EDUCATION ..	553
YOGA AS A HOLISTIC APPROACH FOR IMPROVING QUALITY OF LIFE IN CHILDREN WITH CANCER	554
SOCIAL DYSFUNCTION IN SCHIZOPHRENIA: THE IMPACT OF SUBSTANCE MISUSE AND SUPPORT SYSTEMS	555
PERFORMANCE DIFFERENCES IN CARDIO-RESPIRATORY FITNESS AMONG ATHLETES: A COMPARATIVE STUDY	556
OVERCOMING BARRIERS IN INTRAMURAL SPORTS PROGRAMS IN SECONDARY SCHOOLS: CASE STUDY FROM LAGOS, NIGERIA	557
IMPACT OF DIETARY STRATEGIES ON RESISTANCE TRAINING OUTCOMES: A CASE STUDY IN BRAZIL ..	558
ARNOLD CAT HARİTASI VE HENON HARİTASI KULLANILARAK GÖRÜNTÜ ŞİFRELEMENMESİ VE ARAYÜZ TASARIMI.....	559
ATIK BİYOKÜTLE MALZEMELERİNİN MALAHİT YEŞİLİ BOYASININ SULU ÇÖZELTİLERDEN BİYOSORPSİYONU ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMASI	570

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN HİBRİT YEREL ARAMA VE MEMETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMLARININ PERFORMANS ANALİZİ

Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ

Fırat Üniversitesi, 221137107@firat.edu.tr - 0009-0009-1281-1330

ÖZET

Nakliye ve taşımacılık, küresel bir dünya için çok önemlidir. Bir kargonun, postanın, ya da askeri bir mühimmatın birden fazla noktaya en kısa yoldan ve en düşük maliyetle gönderilmesi şirketlerin, kurum ve kuruluşların giderleri üzerindeki mali yükü azaltacak önemli bir noktadır. Bu çalışma, bu konudaki temel problemlerden biri olan Araç Rotalama Problemi için iki farklı hibrit yöntemi ele almaktadır. Çözüm için Hibrit Meta Sezgisel ve Memetik algoritma yaklaşımı uygulanmıştır. Hibrit Meta Sezgisel olarak kullanılan yöntem Clarke-Wright algoritmasını kullanarak hızlı bir başlangıç rotası oluşturur ve bu sayede arama uzayı hızlı bir şekilde optimize edilmektedir. Değişken Komşuluk İniş (Variable Neighborhood Descent-VND) farklı komşulukları daha efektif kullanmayı amaçlamıştır. VND ile elde edilen çözümü yeniden uygulayarak farklı arama uzayı içerisindeki en düşük maliyete sahip çözümü doğru olarak kabul etmektedir. Memetik algoritma kullanılarak hazırlanan yöntem ise Genetik Algoritmanın çözüm uzayındaki arama yetenekleri kullanılarak, Yerel Arama (Local Search - LS) algoritması ile mevcut çözüm üzerindeki komşuluklardan en iyi yolun hızlı bir şekilde tespit edilerek problemin çözümünü hedeflemektedir. Her iki algoritma CVRPLIB – Capacitated Vehicle Routing Problem Library sitesinde bulunan X-n101-k25 örneğine ait 100 müşteri, 206 kapasite ve minimum 25 araç bulunan veriler ile test edilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Hibrit Meta Sezgisel algoritmanın verimli yerel arama stratejisi sayesinde daha hızlı sonuçlar ürettiğini, Hibrit Memetik Algoritma'nın ise popülasyon çeşitliliği ve güçlü genetik algoritma yeteneği ile çözüm uzayını daha geniş bir şekilde keşfettiğini göstermektedir. Bu çalışma, farklı algoritmik çözümlerin Araç Rotalama Problemleri üzerindeki performanslarını çeşitli parametrik değerler ve süre bazlı testler sonucunda ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: araç rotalama problemi, memetik algoritma, hibrit yerel arama

1. GİRİŞ

Nakliye ve taşımacılık, küresel bir dünya için büyük önem taşımaktadır. Bir kargonun, postanın ya da askeri bir mühimmatın birden fazla noktaya en kısa yoldan ve en düşük maliyetle gönderilmesi şirketlerin, kurum ve kuruluşların giderleri üzerindeki mali yükü azaltmada kritik bir öneme sahiptir. Araç rotalama problemlerinin temel amacı, araç sayısı ve araçların bu problem için kullanacağı yol mesafesinin en aza indirilerek maliyetlerin düşürülmesidir. En kısa sürede, en az mesafe ile ilgili rotalara ulaşımın belirlenmesi bir optimizasyon problemidir. Günümüzde bu tür problemleri çözmek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır.

Araç rotalama problemi çeşitli kısıtlamaları içermektedir. Problemlerde bir ya da birden fazla depo bulunabilir. Kullanılan araçların sayısı ve kapasiteleri ile araçların taşıyabilecekleri maksimum yük kapasitesi problemin çözüm aşamasında kritik bir öneme sahiptir. Gerçek dünya problemlerinde teslim edilecek ürünlerin belirlenen süre içerisinde ya da öğleden önce/sonra gibi belirli zaman aralıklarında teslimi gerekebilir. Hem teslimat hem de ürünün depoya alınması için alım süreci de söz konusu olabilir [1].

Bu problemin çözümü için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada Hibrit Meta Sezgisel ve Hibrit Memetik Algoritma kullanılmıştır.

Meta sezgisel algoritmalar, sezgisel yaklaşımları birleştirerek daha iyi ve optimuma yakın çözümler elde etmeyi amaçlayan yöntemlerdir [2]. Algoritmada hedeflenen amaç, beklenen süre içerisinde, kabul edilebilir bir hesaplama süresi ile daha iyi bir sonuç üretmeyi hedefler [3]. Çalışmada, Clarke-Wright Algoritmasına ideal bir başlangıç bulmak amacıyla açgözlü algoritma (Greedy Algorithm) kullanılmıştır.

Memetik algoritmalar ise, genetik algoritmaların yerel arama algoritmalarıyla birleştirilmesi ile elde edilen hibrit bir çözümdür. Arama işlemini daha yoğun ve etkili bir şekilde yapabilmek amacıyla yerel arama algoritmasının implementasyonunu çözüm aşamalarına entegre ederler. Bu çalışmada Yerel Arama ile birlikte Memetik Algoritma birleştirilerek hibrit bir çözüm elde edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve YÖNTEMLER

2.1. Kullanılan Veri Seti

Eduardo Uchoa ve ekibi tarafından 2014 yılında araç rotalama problemi ile ilgili olarak tanıtılan veri setinde yer alan **X-n101-k25** örneği kullanılarak algoritmalar hazırlanmıştır. CVRPLIB kütüphanesinde bulunan veri setine <http://vrp.atd-lab.inf.puc-rio.br/> linki aracılığıyla erişilebilir.

Veri seti bir depo ve 100 müşteriden (n=100) oluşmaktadır. Problemin çözümünde kullanılabilecek araç sayısı minimum 25 olarak belirlenmiştir. Her bir aracın taşıma kapasitesi ise 206 birim olarak belirlenmiştir ve bu taşıma kapasitesi algoritma içerisinde aşılmamalıdır. X-n101-k25 örneği için optimum mesafe 27591 birimdir. X-n101-k25 veri seti, geliştirilen çeşitli optimizasyon algoritmalarını deneysel olarak test etmek ve karşılaştırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

2.2. Algoritmalar

Çalışma içerisinde kullanılan algoritmalar ve detayları bu bölümde anlatılacaktır.

2.3. Hibrit Yerel Arama Algoritması

Kullanılan algoritma tekrarlı olarak çalışan iyileştirme ve çeşitlendirme üzerine kurulu bir metodolojidir. Kullanılan algoritma yapısı Görsel 1’de gösterilmiştir. Algoritma içerisinde üç ayrı aşama bulunmaktadır.

Algorithm 1: Hibrit Yerel Arama Algoritması

Input: VRP instance (V, D, Q, d), time_limit

Output: Best solution S*

1: $S_0 \leftarrow \text{CLARKE\_WRIGHT\_SAVINGS}(V, D, Q, d)$

2: $S^* \leftarrow \text{VND}(S_0)$

3: $\text{cost}^* \leftarrow \text{TOTAL\_COST}(S^*)$

4: $\text{start\_time} \leftarrow \text{current\_time}()$

5:

Görsel 1. Hibrit Yerel Arama Algoritması Sözde Kodu

2.3.1. Clarke-Wright Tasarruf Algoritması

1964 yılında G. Clarke ve J. W. Wright tarafından geliştirilmiştir. Araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [5]. Algoritma, başlangıçta bir depodan/merkezden tüm noktalara ayrı ayrı rotalar oluşturur. Çok sayıda rota olması nedeniyle maliyet yükseleceği için rotalar tasarruf sağlayacak ve araç kapasitesini aşmayacak şekilde yinelemeli olarak birleştirilir. Bu birleştirme ile önemli maliyet tasarrufu sağlanmaktadır [6].

2.3.2. Değişken Komşuluk İnişi (VND)

Araç rotalama problemlerinde, başlangıçta bulunan rota çözümlerini iyileştirmek ve daha iyi komşuluk ağını hedefleyerek en iyi çözümü bulmak amacıyla kullanılan bir algoritmadır. Clarke-Wright algoritması tarafından bulunan çözümleri daha optimum çözüme yakın bir şekilde iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır [7]. Mevcut çözümleri daha iyi hale getirmek ve farklı komşuluk yapılarını keşfetmek amacıyla 2-opt, relocate ve swap optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır.

2-opt yöntemi, rota üzerinde bulunan kenarları değiştirerek ya da birleştirerek daha kısa bir rota oluşturulup oluşturulamayacağını kontrol etmektedir. Literatürde Clarke-Wright algoritması aracılığıyla elde edilen ilk çözümlere uygulandığında, rota problemlerinde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür [8].

Yer değiştirme (relocate) yöntemi, rotadaki belirli bir elemanın en uygun konumu bulunana veya daha iyi bir rota bulunmayana kadar farklı rotaları denemek için kullanılmaktadır [9].

Takas (swap) yöntemi, aynı rota ya da farklı rota üzerindeki iki müşterinin yerini değiştirerek problemin çözümü için maliyet üzerinde olumlu etkisi olup olmadığını kontrol etmek ve bu değişimi uygulamak için kullanılmaktadır [7].

Hibrit Yerel Arama algoritmasında sarsma (perturbation) ve ilk iyileştirme (first improvement) yöntemleri de uygulanmıştır. Sarsma, optimum çözümlere takılmamak ve çözüm uzayını gaha geniş bir şekilde keşfedebilmek için kullanılan bir yöntemdir. İterasyonun farklı rotalar üzerinde çalışmasını sağlamak amacıyla, bilinçli olarak rastgele değişikliklerle farklı rotalara geçiş sağlayarak daha optimuma yakın bir sonuç elde edilmesine olanak tanımaktadır. İlk iyileştirme ise, yerel arama sırasında ilk uygun çözüm bulunduğu anda hesaplama maliyetini düşürmek ve algoritmayı daha hızlı hale getirmek amacıyla kullanılmaktadır [10].

2.4. Memetik Algoritma

Memetik algoritmalar, Genetik ve Yerel Arama algoritmalarının bir birleşimidir. Genetik algoritmaların popülasyon tabanlı yaklaşımını kullanırlar [11]. Literatürde zor problemlerin çözümünde, hızlı, etkili ve doğru sonuçlar sağlamaları nedeniyle tercih edilmektedir. Memetik algoritmaya ait sözde kod Görsel 2 içerisinde gösterilmiştir.

Rota probleminin çözüme yönelik olarak, genellikle rastgele bir popülasyon açgözlü algoritma yardımıyla oluşturulur. Oluşturulan popülasyon içerisinde rastgele bir grup seçilir. Çaprazlama (crossover) yöntemiyle mevcut iyi çözümlerin özelliklerinden yararlanılarak yeni çözümler üretilir. Bu yöntem optimizasyon sürecinde farklı ve daha iyi çözümler elde edebilmek amacıyla yeni aramaları sürece dahil etmeyi amaçlamaktadır [11]. Çaprazlama ile elde edilen çözümlerin daha iyi bir sonuç elde etmesi için Yerel Arama algoritması uygulanır. Bu sayede daha detaylı bir arama yapılarak mevcut çözümler iyileştirilir. Bulunan yeni en iyi çözümlerin korunması gerekmektedir. Bu çözümler elitizm yöntemiyle diğer nesillere aktarılır. Bu sayede en iyi çözümün kaybedilmemesi sağlanır ve kullanılan Memetik Algoritmanın genel performansı arttırılmış olur [12].

```
Algorithm 2: Memetik Algoritma

Input: VRP instance (V, D, Q, d), pop_size, generations

Output: Best solution S*

1: INITIALIZE POPULATION
2: for i = 1 to pop_size do
3:  S ← CREATE_GREEDY_SOLUTION()
4:  S ← LOCAL_SEARCH(S)          ▷ Relocate + Swap + 2-opt
5:  P ← P ∪ {S}
6: end for
7: Sort P by cost
8:
9: EVOLUTIONARY PROCESS
10: for gen = 1 to generations do
11:  parent1, parent2 ← TOURNAMENT_SELECTION(P, k=5)
12:  Pnew ← {P[0], P[1]}          ▷ Elitism
13:
14:  for j = 3 to pop_size do
```

Görsel 2. Memetik Algoritma Sözde Kodu

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

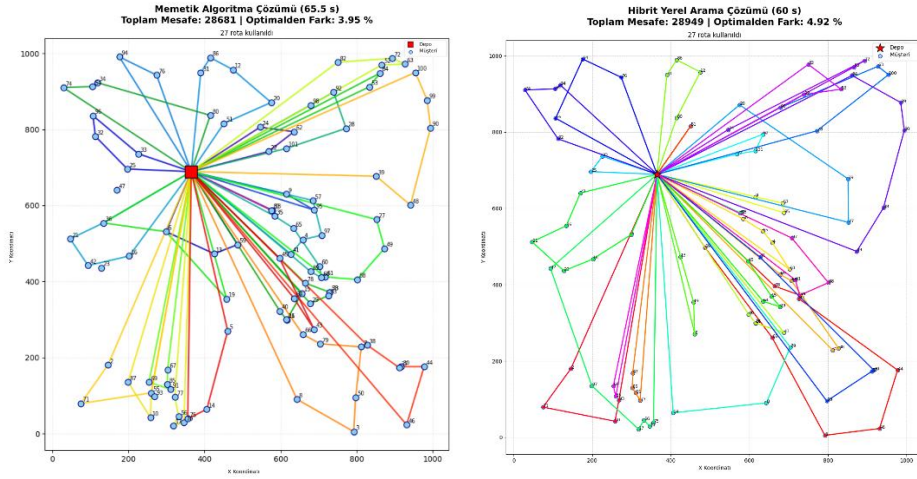
Algoritmalar Python programlama dili kullanarak Google Colab ortamında test edilmiştir. Testler Uchoa ve arkadaşları tarafından hazırlanan ve araç rota problemlerinde sıklıkla kullanılan X-n101-k25 veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hibrit Yerel Arama algoritması için zaman limiti 60 saniye olarak belirlenmiştir. Memetik algoritma parametreleri (pop_size=30, generations=30) ise yaklaşık 60 saniye civarında yanıt verecek şekilde yapılandırılmış ve her iki algoritma çalıştırılmıştır.

Her iki algoritmanın da X-n101-k25 araç rotalama problemi veri setinden elde ettiği sonuçlar Çizelge 1 içerisinde gösterilmiştir.

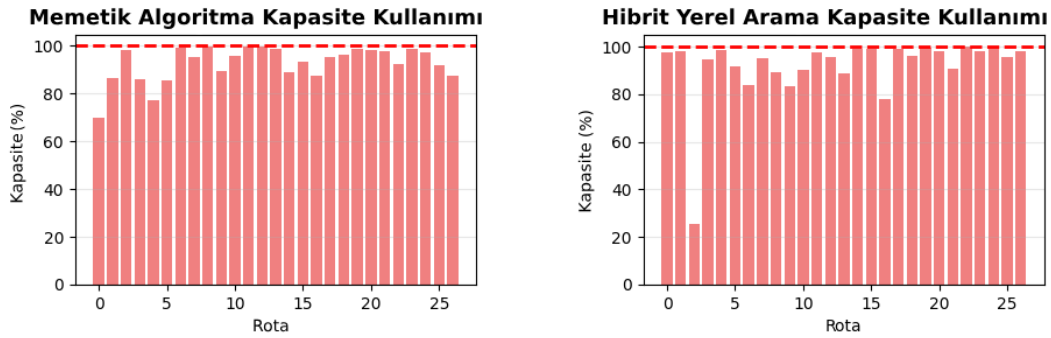
Çizelge 1. Algoritmaların X-n101-k25 Problemi Üzerindeki Performans Karşılaştırması

Metrik	Hibrit Yerel Arama	Memetik Algoritma	Optimal Değer
Bulunan En İyi Maliyet	28949	28681	27591
Optimal Değerden Fark Yüzdesi (%)	% 4.92	% 3.95	% 0
Çalışma Süresi (s)	60.0	65.5	-
Kullanılan Rota Sayısı	27	27	25
Ortalama Kapasite Kullanımı	~ %91.9	~ % 92.6	-

Elde edilen rota haritaları Görsel 3'te, rotalara ait kapasite kullanımları ise Görsel 4'te gösterilmiştir.



Görsel 3. Algoritmaların Çözümlerine Ait Rota Haritaları



Görsel 4. Kapasite Verimliliği Grafiği

Memetik Algoritma optimal çözümden %3.95 sapma ile Hibrit Yerel Arama algoritmasının %4.92 sapmasından daha iyi bir sonuç vermiştir. Her iki meta sezgisel yaklaşım optimal çözüme oldukça yakındır. Memetik algoritma ile elde edilen çözüm, çalışma süresi bakımından 5.5 saniye daha uzun sürmüş olsa da optimuma yakın bir çözüm üretmiştir.

Kapasite kullanımı açısından incelendiğinde, Memetik algoritma çözümünün daha fazla kapasite kullanarak daha verimli bir çözüm sunduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Memetik algoritmanın sahip olduğu popülasyon çeşitliliği ve çaprazlama yöntemi sayesinde daha etkili bir çözüm oluşturduğunu göstermektedir [13].

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Araç Rotalama Problemi için iki farklı algoritma geliştirilmiş ve performansları X-n101-k25 veri seti kullanılarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, arama stratejilerindeki farklılıkların çözüm üzerindeki etkisini açık bir biçimde ortaya koymuştur.

Benzer hesaplama sürelerinde yapılan testlerde, Memetik Algoritma %3.95 sapma oranı ile Hibrit Yerel Arama algoritmasının elde ettiği %4.92 sapmadan daha iyi bir performans sergilemiştir. Popülasyon tabanlı arama stratejisinin optimum değere ulaşma konusunda daha etkin rotalar bulabildiği gözlemlenmiştir.

Çözümler, bir şirketin, kurumun ya da kuruluşun operasyonel uygulamaları açısından değerlendirildiğinde, Memetik algoritmanın daha faydalı olacağı görülmektedir. Elde edilen rotaların uzunlukları ve özellikle araç kapasitelerinin Hibrit Yerel Arama algoritmasına kıyasla daha verimli kullanılmış olması, daha dengeli ve sürdürülebilir lojistik rotaların elde edilmesine olanak tanımaktadır. Dolayısıyla, Memetik algoritmanın oluşturduğu çözümler, daha yüksek kaliteli ve etkilidir.

Yüksek kaliteli rota çözümleri elde etmek için Memetik algoritmalar tercih edilebilir. Ancak, implementasyon kolaylığı ve kısıtlı süre içerisinde daha hızlı bir çözüm elde edilmek isteniyorsa Hibrit Yerel Arama algoritması uygun bir alternatif olabilir.

Çalışmanın mevcut sınırlamaları öncelikle tek bir problem üzerinde test edilmiş olmasıdır. Gelecek çalışmalarda algoritmalar, farklı problemler ile test edilebilir. Ayrıca gerçek zamanlı dünya problemleri için hazırlanmış veri setleriyle çalışarak uygulama kapsamı genişletilebilir. Farklı algoritmalar çalışmalara dahil edilerek kıyaslama yapılabilir.

Elde edilen yaklaşımlar, belirli gereksinimlere göre algoritma seçiminin önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın bulguları, teorik algoritmalar geliştirmenin yanı sıra, gerçek dünya lojistik problemlerinin çözümü için pratik araçlar sunarak endüstriyel uygulamalara doğrudan katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] P. L. N. U. Cooray ve T. D. Rupasinghe, «Machine Learning-Based Parameter Tuned Genetic Algorithm for Energy Minimizing Vehicle Routing Problem,» cilt 3019523, 2017.
- [2] Z. Lei, J.-K. Hao ve Q. Wu, «Speeding up Local Optimization in Vehicle Routing with Tensor-based GPU Acceleration,» *arXiv*, 2025.
- [3] M. L. Mutar, B. M. Aboobaidar, A. S. Hameed, N. Yusof ve H. J. Mutashar, «An efficient improvement of ant colony system algorithm for handling capacity vehicle routing problem,» *International Journal of Industrial Engineering Computations*, cilt 11, no. 4, pp. 549-564, 2020.
- [4] N. Elgharably, «Multi-Objective Optimization of Green Transportation Operations in Supply Chain Management,» *Electronic Thesis and Dissertation Repository*, no. 8018, 2021.
- [5] M. Goetschalckx ve C. Jacobs-Blecha, «Using the Vehicle Routing Problem to reduce field completion times with multiple machines,» *Computers and Electronics in Agriculture*, cilt 134, pp. 142-150, 2017.
- [6] İ. K. Altinel ve T. Öncan, «A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem,» *Journal of the Operational Research Society*, cilt 56, no. 8, pp. 954-961, 2003.
- [7] T. Pichpibul ve R. Kawtummachai, «A Heuristic Approach Based on Clarke-Wright Algorithm for Open Vehicle Routing Problem,» *The Scientific World Journal*, no. 874349, p. 11, 2013.
- [8] M. Goetschalckx ve C. Jacobs-Blecha, «The vehicle routing problem with backhauls,» *European Journal of Operational Research*, cilt 42, no. 1, pp. 39-51, 1989.
- [9] D. Vigo, «A heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem,» *European Journal of Operational Research*, cilt 89, no. 1, pp. 108-126, 1996.
- [10] A. Imran ve F. Ramadhan, «Solution of the Capacitated Vehicle Routing Problem using Variable Neighborhood Search with Threshold,» %1 içinde *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, Bandung, Indonesia, 2019.
- [11] P. Moscato ve C. Cotta, «A Modern Introduction to Memetic Algorithms,» %1 içinde *International Series in Operations Research & Management Science*, Springer International Publishing, 2010, pp. 141-183.
- [12] D. Mockova ve A. Rybickova, «Application of genetic algorithms to vehicle routing problem,» *Neural Network World*, cilt 24, no. 1, pp. 57-78, 2014.
- [13] N. Krasnogor ve J. Smith, «A tutorial for competent memetic algorithms: model, taxonomy, and design issues,» *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, cilt 9, no. 5, pp. 474-488, 2005.

MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI GERÇEK ZAMANLI ORMAN YANGINI HİBRİT RİSK TAHMİN SİSTEMİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ

Fırat Üniversitesi, 221137107@firat.edu.tr - 0009-0009-1281-1330

Yazılım Mühendisi, Mustafa ÇEKİNGEN

mustafacekingen@outlook.com - 0009-0006-7651-5221

ÖZET

Türkiye'de her yıl meydana gelen yangınlar hem doğal çevreyi hem de insan yaşamını tehdit eden önemli afetlerden birisidir. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verilerine göre, 1988-2024 yılları arasında meydana gelen yangınlar sonucunda 553.102 hektar alan zarar görmüştür. Bu yangınların bir kısmı, iklim değişikliğiyle artan sıcaklıklar ve kuraklık gibi faktörlerle ilişkilidir. Geleneksel yangın tespit yöntemleri, geniş coğrafyalarda yetersiz kalabilmekte ve erken müdahaleyi zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, NASA FIRMS'den elde edilen uydu verileri (VIIRS) ile meteorolojik veriler birleştirilerek, yapay zeka tabanlı hibrit yangın risk tahmin modeli geliştirilmiştir. Modelin ana yapısı, geçmiş verilerle eğitilmiş XGBoost makine öğrenmesi modeli oluşturmaktadır. Bu modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için coğrafi ve mevsimsel koşulları dikkate alan kural tabanlı sistemler eklenmiştir. Model, Open-Meteo API'sinden alınan anlık hava durumu verileriyle, çeşitli lokasyonlar için risk skorları üretmektedir.

Geliştirilen sistem, modelin yüksek performansını, kural tabanlı sistemlerin gelişmiş özellikleriyle birleştirerek daha güvenilir tahminler sunmaktadır. Bu hibrit yaklaşım, özellikle uç hava koşullarında ve veri eksikliği durumlarında bile tutarlı sonuçlar üretebilmektedir. Elde edilen risk skorları, harita üzerinde görselleştirilerek sunulmuştur. Bu çalışma, yangın riskinin erken tespiti ve yönetimi için modern ve etkili bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: XGBoost, yangın risk analizi, VIIRS NOAA-20, Fire Radiative Power

1. GİRİŞ

Türkiye, her yıl çeşitli doğal ve doğal olmayan afetlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu afetlerden birisi de yangınlardır. Yangınlar, doğal nedenlerle meydana gelebileceği gibi, insan kaynaklı faktörlerle de meydana gelebilmektedir. Ormanlık alanlara atılan cam şişeleri, söndürülmeyen piknik ateşleri veya kasıtlı kundaklama gibi çeşitli nedenlerle yangınlar meydana gelebilir. Yangınlar yalnızca doğal alanları değil, aynı zamanda evleri, iş yerlerini ve fabrikaları da etkileyebilir. Bu tür yangınlar genellikle kullanılan cihazlardaki arızalar veya

insan faktörleri gibi nedenlerle çıkabilir. Orman Genel Müdürlüğü'nün 1988-2024 yıllarını kapsayan verilerine göre, 80.896 yangın sonucunda 553.102 hektar alan zarar görmüştür. Bu yangınların çıkış nedenleri incelendiğinde, 5.470 adet kasten, 30.053 adet ihmal ve kaza sonucu, 7.752 adet doğal nedenler ve 21.200 adet sebebi bilinmeyen şekilde meydana geldiği görülmektedir [1].

Son yıllarda artan sıcaklıklar ve iklim değişikliği, orman yangınlarının ortaya çıkışında önemli bir rol oynamaktadır. Kuraklık ve sıcak hava dalgaları gibi olumsuz hava koşulları, yangın riskinin ortaya çıkışını hızlandırmaktadır [2]. Yangınlarla sadece ormanlar değil, ormanlarda yaşayan canlılar, bitki örtüsü kısacası tüm ekosistem bu afete maruz kalmaktadır. Geleneksel yangın tespit yöntemleri arasında kullanılan yöntemler, genellikle gözetleme kuleleri ve vatandaş ihbarları şeklindedir. Bu durum, gelişen teknolojiye karşı çeşitli sınırlılıklara sahiptir. Yangınların tespitinde görülebilir alanlar ve görülemeyen alanlar mevcut olabileceği gibi geniş bir coğrafya üzerinde yangın tespiti yaparken çeşitli zorluklarla karşılaşmak mümkündür. Yangınların başlaması ve yayılmasındaki en büyük etken yangının hızıdır. Uydu verilerinin yapay zeka teknolojileriyle birlikte kullanılması, yeni başlayan veya insan faktörleri nedeniyle gözden kaçan yangınları daha etkin bir şekilde tespit etme imkanı sunmaktadır. Bu erken tespit, yangınla mücadele de gerekli olan kaynakları daha etkin kullanımı için büyük öneme sahiptir [3].

Bu çalışmada XGBoost makine öğrenmesi modeli, NASA FIRMS tarafından sağlanan VIIRS NOAA-20 verileri ve Open-Meteo API aracılığıyla elde edilen hava durumu verileri birleştirilerek eğitilmiştir. Mimari yapı, tarihsel yangın ve meteoroloji verileriyle eğitilmiş modelin, coğrafi ve mevsimsel faktörlere dayalı üç ana bileşen ile sentezlendiği hibrit bir yapıya sahiptir. Hibrit model, Open-Meteo tarafından sağlanan API aracılığıyla, önemli lokasyonlar için anlık risk skorları üretmektedir. Bu skorlar web arayüz içerisinde harita üzerinde görselleştirilmektedir.

Elde edilen sonuçlar, hibrit çözüm yaklaşımının veri odaklı tahmin başarısını ve kural tabanlı sistemlerin yorumlanabilirliği ve güvenilirliğini bir araya getirerek başarılı bir risk değerlendirme aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu sayede hibrit çözümler kullanılarak, Türkiye'de meydana gelebilecek yangın olaylarının erken tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada kullanılan veri seti, makine öğrenmesi modelleri ve mimari hakkında ayrıntılı bilgiler gösterilmiştir.

2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti, NASA FIRMS tarafından herkese açık olarak sunulan VIIRS NOAA-20 standart Aktif Yangın ve Termal Anomaliler veri setidir. Maryland Üniversitesi tarafından işlenen bu veriler, Nasa FIRMS üzerinden erişilebilir durumdadır. Veri setinde 2 ayrı dosya bulunmaktadır. Bu dosyalardan "fire_archive_J1V-C2_644837-

VIIRS_NOAA-20.csv” dosyası, 01/04/2018 tarihinden 28/02/2025 tarihine kadar arşivlenmiş olan verileri, yangın bilgileriyle birlikte etiketlenmiş olarak sunulmuştur. 01/03/2025 tarihinden 05/08/2025 tarihine kadar olan “fire_nrt_J1V-C2_644837-VIIRS_NOAA-20.csv” dosyasında bulunan veriler ise etiketsiz olarak sunulmuştur. Bu çalışmada, etiketli verileri içeren arşiv dosyası kullanılmıştır.

Model, yangın yoğunluğunun bir göstergesi olan Yangın Radyatif Gücü’nü (Fire Radiative Power - FRP) tespit etmeye çalışmaktadır. Veri setinde bulunan öznitelikler ve detayları Çizelge 1 içerisinde gösterilmiştir.

Çizelge 2. VIIRS NOAA-20 Veri Seti Öznitelikleri [4]

Öznitelik	Açıklama
latitude	Enlem
longitude	Boylam
brightness	Parlaklık sıcaklığı I-4
scan	Pikselin tarama yönündeki boyutu
track	Pikselin iz yönündeki boyutu
acq_date	Verinin alınma tarihi
acq_time	Verinin alınma zamanı (UTC)
satellite	Veriyi sağlayan uydu adı
instrument	Kullanılan sensör türü
confidence	Yangın tespitine olan güven düzeyi
version	Versiyon bilgisi
bright_t31	Parlaklık sıcaklığı 31 (K)
frp	Yangın radyatif gücü (mw)
daynight	Gündüz/Gece bilgisi
type	Sıcaklık türü (Bitki örtüsü yangını / Aktif volkan / Sabit Kara Kaynağı / Açık deniz)

Kullanılan veri seti, NOAA-20 (JPSS-1) uydusu tarafından VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) sensörü tarafından toplanan verilerdir. Bu sensör, yangın ve termal anomalilerin yanı sıra volkanik aktiviteler gibi termal olayları da tespit etmek için kullanılmaktadır [5].

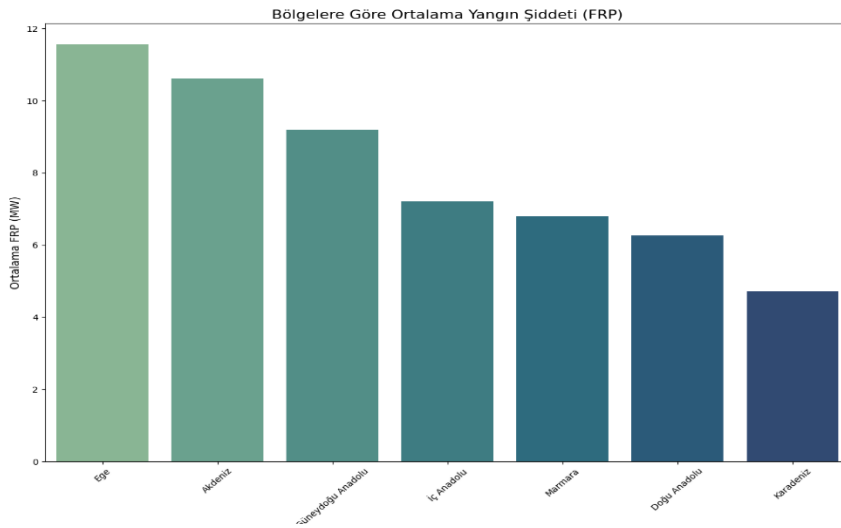
Çalışmada kullanılan VIIRS verileri aracılığıyla 2021 yılında Milas Karacahisar bölgesinde çıkan yangın şiddeti hesaplanmıştır. VIIRS verileri, yangın ve sıcak noktaya ait verileri ve yangın yayılma oranını tahmin etmek için ayrıca yangının şiddetini hesaplamak içinde kullanılmaktadır [6].

Veri setinin daha etkili bir başarı elde etmesi için VIIRS NOAA-20 verileri ile Open-Meteo API aracılığıyla elde edilen, halka açık olarak sunulan hava durumu verileri ile birleştirilmiştir. Eklenen veriler Çizelge 2 içerisinde gösterilmiştir. Geçmiş yangın verileri, Open-Meteo API aracılığıyla elde edilen verilere karşılık gelen tarihsel ve lokasyonlu meteoroloji verilerinin birleştirildiği yeni bir veri seti oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Open Meteo Hava Durumu Öznitelikleri

Öznitelik	Açıklama
temperature_2m	2m sıcaklık
relative_humidity_2m	2m bağıl nem
wind_speed_10m	10m rüzgar hızı
wind_direction_10m	10m rüzgar yönü
precipitation	yağış
acq_wind_gusts_10m	10m rüzgar hamlesi
vapor_pressure_deficit	buhar basıncı açığı
soil_moisture_0_to_7cm	0-7cm toprak nemi
latitude	enlem
longitude	boylam
day_of_year	yılın günü
hour	saat

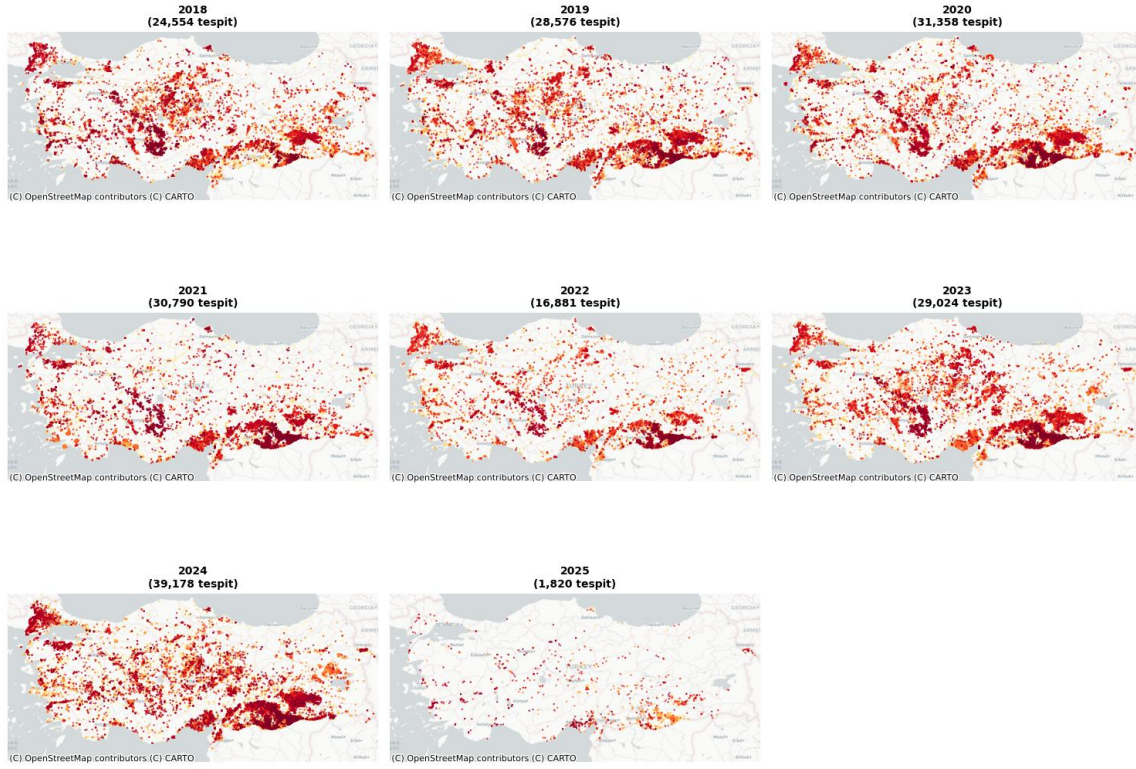
Bölgesel olarak incelendiğinde, ortalama FRP (Fire Radiative Power) değeri 11.56 oranıyla en çok Ege bölgesidir. Ege bölgesini sırasıyla, Akdeniz bölgesi 10.61, Güneydoğu Anadolu bölgesi 9.19, İç Anadolu bölgesi 7.20, Marmara bölgesi 6.79, Doğu Anadolu bölgesi 6.26 ve Karadeniz bölgesi 4.72 takip etmektedir. Bu oranlar Görsel 1’de gösterilmiştir.



Görsel 5. Bölgelere Göre Ortalama Yangın Şiddeti (FRP)

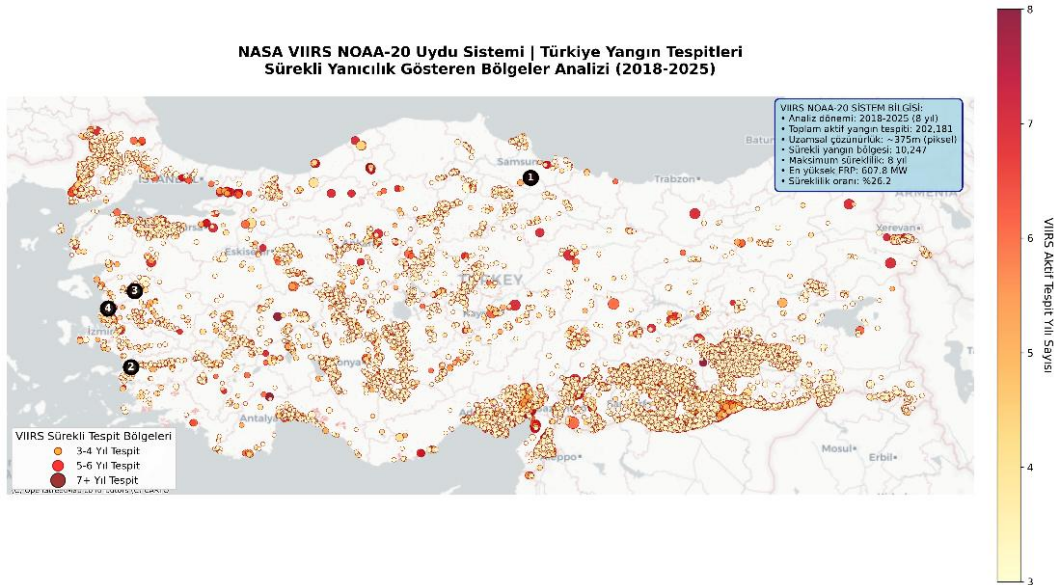
NASA FIRMS NOAA-20 verilerine göre, yıllara bağlı olarak Türkiye’de oluşan yangın durumu ve sayıları Görsel 2 içerisinde gösterilmiştir.

Türkiye Yıllık Yangın Dağılım Haritaları (NASA VIIRS NOAA-20)



Görsel 6. Türkiye Yıllık Yangın Dağılım Haritaları

Son 8 yıllık veriler incelendiğinde, bazı noktaların kronik olarak yangın riski taşıdığı görülmüştür. Bu noktaları tespit etmek amacıyla veri setindeki FRP, brightness öznelikleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, son sekiz yıl içinde en az üç farklı yılda aktif yangın olarak etiketlenen noktalar Görsel 3 içerisinde gösterilmiştir.



Görsel 7. Türkiye NASA VIIRS NOAA-20 Yangın Tespit Haritası Tekrar Eden Yangın Bölgeleri (2018-2025)

2.2. Model Mimarileri

Geliştirilen hibrit sistem, tek bir modele dayanmak yerine, üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu yaklaşım, modelin doğruluğunu, yorumlanabilirliğini ve başarısını artırmayı hedeflemektedir. Çalışma içerisinde tahmin modeli olarak, yüksek performansı ve karmaşık ilişkileri modelleme yeteneği ile literatürde sıklıkla kullanılan XGBoost seçilmiştir. XGBoost algoritması, gradient boosting kurallarına dayanmaktadır. Kayıp fonksiyonunu etkin bir şekilde optimize ederek bu sayede modelin aşırı öğrenmesi engeller. Hızlı işlem yeteneği ve yüksek doğruluk oranı nedeniyle sınıflandırma problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [7].

Çalışma içerisinde çapraz geçişleme yöntemi 10 katlı olarak uygulanmıştır. Veri seti 10 ayrı parçaya bölünmüş ve her döngüde veri setinin bir parçasının test ve geri kalan verilerin de eğitim verisi olarak kullanılması sağlanmıştır. Ayrıca doğruluk, kesinlik, duyarlılık, f1 skor ve karmaşıklık matrisi gibi performans metrikleri yöntemleri uygulanmıştır. XGBoost modeli pkl formatında kaydedilmiştir. Tahminleme için Open Meteo api verileri ve kaydedilen yapay zeka modeli kullanılarak bir rest api hazırlanmıştır. Bu api yardımıyla web sitesi üzerinden istek atıldığında veriler otomatik olarak alınıp yapay zeka modelinin api hizmetine verilerek yangın risk durumunun tespiti amaçlanmıştır.

Makine öğrenmesi modelini desteklemek ve coğrafi bilgiyi hibrit çözüme dahil etmek için iki kural tabanlı modül geliştirilmiştir. Taban Risk Analizörü modülü, bir lokasyonun statik ve uzun vadeli riskini, üç faktörü birleştirerek hesaplamaktadır.

Bölgesel Risk: Türkiye'nin coğrafi bölgeleri (Akdeniz, Ege, Karadeniz vb.) için önceden tanımlanmış risk katsayılarıdır.

Mevsimsel Risk: yılın aylarına göre yangın riskinin değişimini yansıtan katsayılarıdır (örn. Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek).

Bitki Örtüsü Riski: bölgeye özgü hakim bitki örtüsü (maki, orman, bozkır vb.) için tanımlanan risk faktörleridir.

Bu üç faktör ağırlıklı bir ortalama ile Taban Risk skorunu oluşturmaktadır.

Anlık hava durumu modülü, hava koşullarına dayalı olarak bir risk skoru üretmektedir. Sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve yağış miktarları için belirlenmiş eşik değerlerine göre risk puanları eklenir veya çıkarılır. Bu, aşırı hava koşullarının risk üzerindeki doğrudan etkisini yakalayan bir uzman sistem görevi görür. Hava koşullarının bu sayede yangın riski üzerindeki etkisi daha başarılı şekilde tespit edilmeye çalışılmaktadır.

Ayrıca bu modüllere ek olarak hesaplama için FWI (Fire Weather Index) indeksine benzer bir yapı oluşturulmuştur. Bölgesel sıcaklık, nem ve rüzgar hızı verileriyle skor hesaplanmış ve hibrit modelin karar alma sürecine dahil edilmiştir. Yangın riski aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Risk} = 0.60 * \text{ML\_Riski} + 0.25 * \text{Taban\_Risk} + 0.15 * \text{FWI}$$

Eğer anlık hava durumu modülünden elde edilen skor, makine öğrenmesi modelinin tahmin skorundan daha fazlaysa Denetim/Geçit (Gating) yapısı kullanılarak, modelin tahmini

yerine daha yüksek olan anlık hava durumu risk skorunu tercih edecektir. Bu mekanizma sayesinde farklı hava koşullarındaki risk kümeleri daha iyi algılanmaktadır. Yüksek sıcaklık, düşük nem, kuvvetli rüzgâr ve yağışsız kombinasyonlarında risk kümelerini daha iyi belirginleştirir. Bu, uç meteorolojik koşullar altında makine öğrenmesinin temkinli kalma eğilimini telafi eder. Böylece, makine öğrenmesi modelinin hatalı tahminlerini telafi ederek, sistemin gerçek riski daha doğru bir şekilde elde etmesini sağlar.

Makine öğrenmesinin bir tahmin gerçekleştirmediği durum düşünüldüğünde Yedek (Fallback) mekanizması kullanılarak, hesaplama taban risk skoru ve FWI skoru %50 oranında skoru oluşturacaktır. Bu sayede makine öğrenmesi modeli kullanılmadığı durumlarda da tutarlı bir risk tahmini elde edilmesi amaçlanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma, Türkiye'deki orman yangınlarının uydu verileri aracılığıyla makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tahmini ve tespit edilebilirliğini amaçlamaktadır. Kullanılan veri seti ile kapsamlı analiz ve modelleme çalışması yapılmıştır. Modelden elde edilen çapraz geçiş ve performans metriklerine ait sonuçlar çizelgeler içerisinde gösterilmiştir. Çalışma içerisinde kullanılan XGBoost modeline çapraz geçiş yöntemi uygulanmıştır. En iyi hiperparametrelerin tespiti için literatürde sıklıkla kullanılan GridSearchCV yöntemi uygulanmıştır. GridSearchCV yöntemi, en iyi başarıya ulaşmak için parametrelerde kullanılacak olan değerlerin en iyisini seçmeye çalışan bir yöntemdir. Kullanılacak olan bir parametre için birden fazla değer girilerek bu değerlerin tümüyle modelin eğitilip en iyi sonucun elde edildiği parametre değerlerinin tespiti için sıklıkla kullanılmaktadır.

XGBoost algoritması için çapraz geçiş 10 katlı olarak uygulanmış ve elde edilen performans metrikleri sonuçları Çizelge 3 içerisinde gösterilmiştir. GridSearchCV yöntemiyle elde edilen en iyi parametre ve değerleri sırasıyla şu şekildedir; colsample_bytree : 0.8, learning_rate : 0.05, max_depth : 6, n_estimators : 600, subsample : 1.0. XGBoost algoritması performans ortalaması sırasıyla %85.41 F1 skoru, %87.85 duyarlılık ve %85.33 kesinlik değerleri elde edilmiştir. Modelin doğruluk oranı ise %87.85 olarak elde edilmiştir.

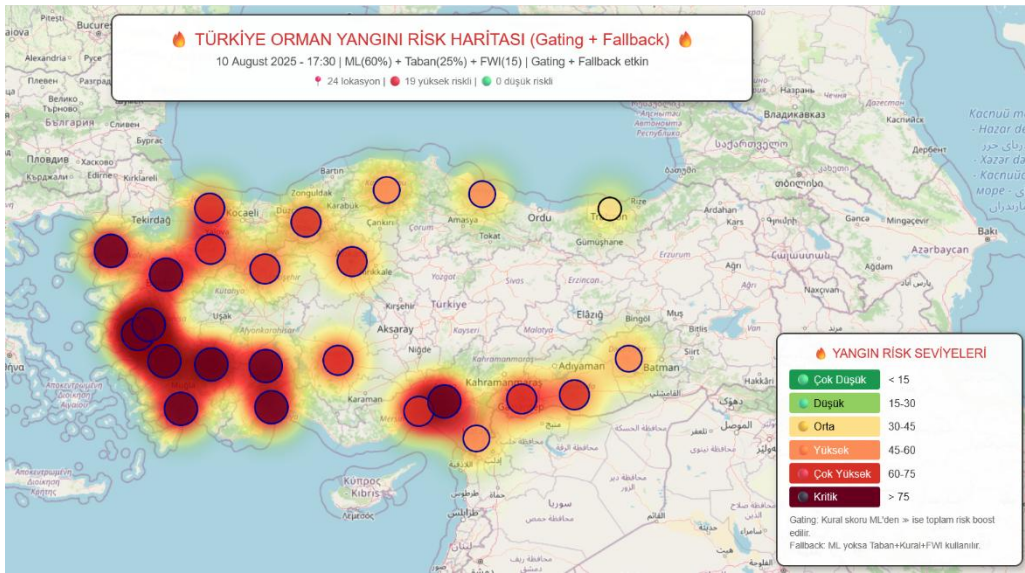
Çizelge 4. XGBoost Performans Metrikleri Sonuçları

Fold	Doğruluk (%)	F1 Skor	R ²	MAE (MW)
1	0.8800	0.8560	0.6450	3.24
2	0.8800	0.855	0.6550	3.09
3	0.8790	0.854	0.6530	2.81
4	0.8810	0.858	0.6350	2.87
5	0.8790	0.855	0.6510	2.90
6	0.8730	0.845	0.6430	3.21
7	0.8780	0.855	0.6320	3.14
8	0.8830	0.858	0.6410	2.99
9	0.8790	0.856	0.6540	2.86
10	0.8730	0.850	0.6410	3.14

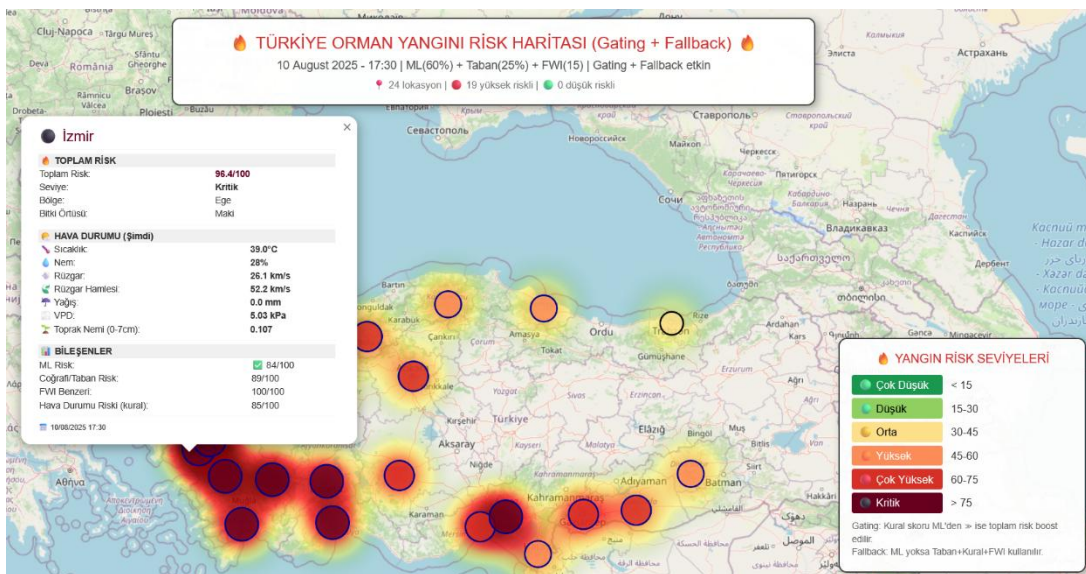
Sonuçlar incelendiğinde XGBoost modelinin, F1 skorları, duyarlılık ve kesinlik değerleri kullanılan modelin başarı oranını desteklemektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Geliştirilen Hibrit XGBoost modeli, flask kütüphanesi aracılığıyla rest api hazırlanarak, yangın riski tahmini amacıyla kullanılmıştır. Modelin tahmin sürecinde Open-Meteo Api üzerinden anlık hava durumu verileri ile her lokasyon için hesaplanan risk skorları, Folium kütüphanesi kullanılarak web arayüz içerisinde görselleştirilmiştir. Harita, risk yoğunluğunu gösteren bir ısı haritası ve her lokasyon için detaylı bilgi içeren (risk bileşenleri, hava durumu verileri) detaylı verileri içermektedir. Bu tahmin işlemine ait veriler Görsel 4 ve Görsel 5 içerisinde gösterilmiştir.



Görsel 48. XGBoost Modeliyle Hibrit Yangın Risk Haritası Tahmini-1



Görsel 59. XGBoost Modeliyle Hibrit Yangın Risk Haritası Tahmini-2

XGBoost modeli, hedef değişken olan FRP değerini yüksek oranda açıklayabilmektedir. Model tek başına yüksek performansına rağmen, hibrit yapı içerisinde kural tabanlı yapı ile desteklenmesi nedeniyle anlamlı sonuçlar üretebilmektedir.

Örnek çalışma günü olarak 10 Ağustos 2025 tarihi belirlenmiş ve çıktılar incelenmiştir. Bölgesel risk incelemesinde Ege bölgesi (91.8) ve Akdeniz bölgesi (78.7) en yüksek risk skoruna sahiptir. Bu bölgeleri sırasıyla Marmara ve İç Anadolu bölgesi takip etmiştir. En düşük risk skorları ise Doğu Karadeniz bölgesi (28.5) ve Doğu Anadolu bölgesi (33.6) verilerinde gözlemlenmiştir. Bu dağılım, bölgelerin iklimsel ve bitki örtüsü özellikleri dikkate alındığında tutarlı bir sonuçtur.

Elde edilen analiz sonucunda belirli lokasyonların kritik risk seviyelerine ulaştığı gözlemlenmiştir. En yüksek riskli lokasyonlar incelendiğinde; Denizli (96.6/100), İzmir (96.4/100) ve Aydın (95.1/100) gibi Ege Bölgesi şehirlerinin "Kritik" ve "Çok Yüksek" risk kategorilerinde yer aldığı görülmüştür.

Bu çalışmada yangın risk tespiti için, makine öğrenmesi tabanlı hibrit bir çözüm ile gerçek zamanlı orman yangını risk tahmin sistemi başarıyla geliştirilmiştir. Sistemin güçlü yönleri arasında gerçek zamanlı veri entegrasyonu, bölgesel özelleştirme ve çoklu veri kaynağı füzyonu bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Orman Genel Müdürlüğü, «Orman Genel Müdürlüğü - Resmi İstatistikler,» Orman Genel Müdürlüğü, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>.
- [2] H. Tonbul, «Google Earth Engine ile Türkiye'de Yanmış Alanların MODIS ve FireCCI51 Küresel Yanmış Alan Uydu Gözlem Verileriyle Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi,» *Türk Uzaktan Algılama Ve CBS Dergisi*, cilt 5, no. 1, pp. 69-82, 2024.
- [3] S. ÇİL ve O. PİRBUDAK, «Orman Yangınlarının Uzaktan Algılama Ürünleri ve Copernicus Effis Uygulamaları ile Analizi Üzerine Bir Çalışma: 2021 Manavgat, Antalya Yangınları,» %1 içinde *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING IN METEOROLOGY METEO IRS 2021*, İstanbul, 2021.
- [4] NASA Official, «Nasa Earthdata,» Nasa, 03 08 2025. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/tools/firms/active-fire-data-attributes-modis-viirs#toc-attribute-fields-for-nrt-viirs-375m-active-fire-data>. [Erişildi: 01 08 2025].
- [5] K. Oğuz, E. Oğuz ve G. Çamalan, «İzmir-Tırazlı Orman Yangınının Uydu ve Model Verileri ile Analizi,» *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, cilt 4, no. 1, pp. 1-12, 2021.
- [6] K. A. Coşkun ve E. Bilgili, «Calculation of Fireline Intensity Using Remote Sensing and Geographic Information Systems: 2021 Milas-Karacahisar Fire,» *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, cilt 22, no. 3, pp. 236-246, 2022.
- [7] A. Tokgöz ve Ö. Yıldırım, «Siber Güvenlikte Anomali Tespiti: CIC-IDS2017 ve CIC-DDoS2019 Veri Setleri ile Makine Öğrenmesi Tabanlı Yöntemlerin Karşılaştırmalı Performans Analizi,» %1 içinde *5TH INTERNATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DATA SCIENCE CONGRESS (ICADA 2025)*, Zonguldak, 2025.
- [8] S. Baladram, «Medium,» Medium, 17 11 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://medium.com/@samybaladram/extra-trees-explained-a-visual-guide-with-code-examples-4c2967cedc75>. [Erişildi: 29 07 2025].
- [9] Y. Büyükkör ve S. Doğan, «BORSA ENDEKS YÖNÜNÜN AĞAÇ TABANLI TOPLULUK MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ: BİST-100 ÖRNEĞİ,» *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, no. 27, pp. 324-335, 2024.

**YAPAY ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI İLE SEÇİLEN
FONOKARDİYOGRAM ÇERÇEVELERİNDEN ELDE EDİLEN
SPEKTROGRAMLARIN ESA İLE SINIFLANDIRILMASI**

Dr. Öğr. Üyesi, ALİ FATİH GÜNDÜZ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi,
fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

Prof. Dr. MUHAMMED FATİH TALU

İnönü Üniversitesi,
fatih.talu@inonu.edu.tr - 0000-0003-1166-8404

ÖZET

Kardiyovasküler hastalıkların teşhisinde vücut seslerinin dinlenmesi amacıyla uzman hekimlerin sıklıkla başvurduğu geleneksel bir yöntem olan oskültasyon, yetersiz kaldığı noktalarda günümüzün yetkin teknolojileriyle tamamlanmaktadır. Bunlardan birisi olan Fonokardiyogram cihazı, kalp odacıklarından damarlara geçen kan seslerinin detaylı olarak alınıp kaydedilmesiyle daha kapsamlı incelemelerin yapılmasına olanak tanır. Sağlıklı bir kalbin çalışması sırasında S1 ve S2 şeklinde isimlendirilen ve birbirini takip eden iki ses her atımda duyulur. Çeşitli patolojik nedenlerle bu ardışık seslerin önüne, arkasına veya arasına başka sesler karışıp eşlik eder. Kalp üfürümü seslerin sağlıklı olan kalp seslerinden ayrıştırılması önemli bir konudur. Ayrıca bir biyolojik sinyal olarak kalpten gelen ses sinyali de heyecan, korku, üzüntü, sevinç gibi faktörlerden etkilenecek değişken bir istatistiksel yapı gösterir, kalp atım hızı değişir ve farklı ses bileşenlerinin süreleri uzayıp kısalabilir. Bu da seslerin filtrelenmesini daha da zorlaştırır. Yine ortam sesleri ve vücuttan gelen gürültüler PCG kayıtlarını etkilemektedir. Bu çalışmada, Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon algoritmasında entropi ve enerji ikilisini ölçüt olarak kullanan, kalp seslerini filtreleyen, bunları kırarak hata payının en az olduğu noktaya odaklanan ve son olarak Evrişimsel Sinir Ağları ile PCG kayıtlarını sınıflandıran özgün bir yöntem sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PCG, Yapay Arı Kolonisi, Optimizasyon, Derin Öğrenme, Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşüm

CLASSIFICATION OF SPECTROGRAMS OBTAINED FROM SELECTED PHONOCARDIOGRAM FRAMES USING ARTIFICIAL BEE COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM WITH CNN

Dr. Öğr. Üyesi, ALİ FATİH GÜNDÜZ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi,
fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

Prof. Dr. MUHAMMED FATİH TALU

İnönü Üniversitesi,
fatih.talu@inonu.edu.tr - 0000-0003-1166-8404

ABSTRACT

Auscultation, a traditional method frequently used by expert physicians to listen to body sounds for the diagnosis of cardiovascular diseases, is complemented by today's advanced technologies where it proves insufficient. One such technology is the phonocardiogram (PCG) device, which allows for more comprehensive examinations by capturing and recording the detailed sounds of blood flowing from the heart chambers into the vessels. During the operation of a healthy heart, two consecutive sounds known as S1 and S2 are heard with each heartbeat. Due to various pathological causes, additional sounds may accompany or occur before, between, or after these sequential heart sounds. Distinguishing heart murmurs from the normal heart sounds is an important issue. Moreover, as a biological signal, the heart sound can vary due to emotional factors such as excitement, fear, sadness, and joy, showing a dynamic statistical structure; heart rate may change, and the duration of different sound components may lengthen or shorten. This makes the filtering of heart sounds even more challenging. Additionally, environmental sounds and body-generated noises affect PCG recordings. In this study, a novel method is presented that utilizes the Artificial Bee Colony (ABC) optimization algorithm with entropy and energy as criteria to filter heart sounds, trim them to focus on the segments with the lowest error margin, and finally classify the PCG recordings using Convolutional Neural Networks (CNNs).

Keywords : PCG, Artificial Bee Colony, Optimization, Deep Learning, Short-Time Fourier Transform

1. GİRİŞ

Kalp/damar sağlığı ve onunla alakalı çalışmalar günümüzün önemli konularından birisidir. Çünkü Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre, kardiyovasküler hastalıklar (KVH) dünya genelinde en yaygın ölüm nedenidir ve her yıl diğer tüm nedenlerden daha fazla insan KVH nedeniyle hayatını kaybetmektedir [1]. Bu hastalıklara örnek olarak taşikardi, aritmi, kalp krizi ve inme verilebilir. Kesin nedenleri net bir şekilde ortaya konmamış olsa da, hipertansiyon, diyabet, obezite, sigara kullanımı ve ailede KVH öyküsü gibi kabul görmüş bazı risk faktörleri bulunmaktadır. Bu risk faktörlerine sahip kişilerin sağlıklarına daha fazla özen göstermeleri ve dikkatli olmaları gerekmektedir. Kalp hastalıklarının erken ve yüksek doğrulukla tespit edilmesi, hayati bilgiler sunar ve bu kişilerin hayatta kalmaları açısından son derece önemli olabilir [2].

Birçok kalp hastalığı, öncelikle kalp seslerindeki anormalliklerin tespitiyle belirlenmektedir [3]. Kalp ve dolaşım sisteminden gelen seslerin dinlenmesine olanak sağlayan oskültasyon klasik bir yöntemdir. Basit, pratik, invaziv olmayan ve maliyeti düşük bir yöntem olduğundan evde ve birinci basamak sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kullanılır. Ancak, patolojik belirtileri normal kalp seslerinden ayırt etmek bilgi ve deneyim gerektirir. Dahası, bu durum uzman klinisyenler arasında bile farklı değerlendirilebilmeye açıktır [4, 5]. Fonokardiyogram (PCG) cihazları ile yapılan ölçümse dolaşım seslerinin detaylı olarak alınıp kaydedilmesine ve daha kapsamlı incelemelerin yapılmasına olanak tanır. Bu kayıtlar bir kere kaydedildikten sonra farklı uzmanlar tarafından incelenebilir, biyomedikal sinyal işleme yöntemleriyle bilgisayar destekli sistemler tarafından analiz edilebilir ve grafiksel olarak görselleştirilebilir.

Kalp döngüsü sırasında, sağlıklı bir kalp, kalp kapaklarının ritmik olarak açılıp kapanmasıyla her atımda S1 ve S2 olarak adlandırılan düzenli bir çift ses üretir [6]. S1 ve S2, temel kalp sesleri olarak da bilinir ve halk arasında “lub-dup” şeklinde tanımlanır. Bu seslerin sürelerinde ve şiddetlerinde meydana gelen değişiklikler, kalp hastalıklarının önemli göstergeleri olarak kabul edilir [7]. Üçüncü kalp sesi olan S3, ventriküler galop olarak da bilinir ve S2'den sonra gelir; çoğu yetişkinde yumuşak ve bastırılmış bir şekilde duyulur. Ancak çocuklarda, hamile kadınlarda ve sporcularda herhangi bir kalp hastalığına işaret etmeksizin duyulabilecek kadar yüksek olabilir. Öte yandan, PCG kayıtlarına S1'den hemen önce oluşan bir diğer kalp sesi olan S4 de girebilir ancak S4'ün varlığı patolojik bir göstergedir.

Genel olarak temel kalp sesleri olan S1 ve S2'ye eşlik eden patolojik seslere “kalp üfürümü” denir. Üfürüm sesleri, kan akışının kalp odacıkları içinde ya da damarlarda anormal türbülansını açıkça gösterir. Oskültasyon sürecinde veya PCG kayıtlarından kalp üfürümünün tespiti önemli bir konudur. Hastanın nefes alıp veriş, vücut sesleri, ortam gürültüleri bu kayıtların kalitesini ve dolayısıyla doğru teşhisi olumsuz etkiler. Yapay zeka, sinyal işleme ve makine öğrenmesi algoritmaları ile sağlıklı PCG kayıtları anormal olanlardan ayırt edilmeye çalışılır. Bu çalışmada, kalp üfürümlerini gürültüden etkilenmeden en yüksek doğrulukla tespit edip, normal ve üfürüm içerikli anormal kayıtları sınıflandıracak özgün bir yöntem sunulmuştur.

2. KULLANILAN VERİ SETLERİ

2.1. PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge 2016 (CinC2016)

CinC2016 veri seti [8] 2016 yılında PhysioNet tarafından düzenlenen bir yarışma için paylaşılmıştır. Birbirinden bağımsız dokuz araştırma grubunun topladığı verilerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. PCG kayıtları farklı donanımlarla elde edilmiş olmasına rağmen yeniden örneklendirilerek 2 kHz ortak örnekleme frekansına getirilmiştir. Uzman doktorlar tarafından manuel olarak etiketlenen PCG kayıtları normal (üfürüm içermeyen) veya anormal (üfürüm içeren) şeklinde etiketlenilerek altın standardı oluşturulmuştur. Veri setinde değişik uzunluklarda toplam 3240 PCG kaydı bulunmaktadır.

2.2. CirCor Digiscope Phonocardiogram (CirCor2022)

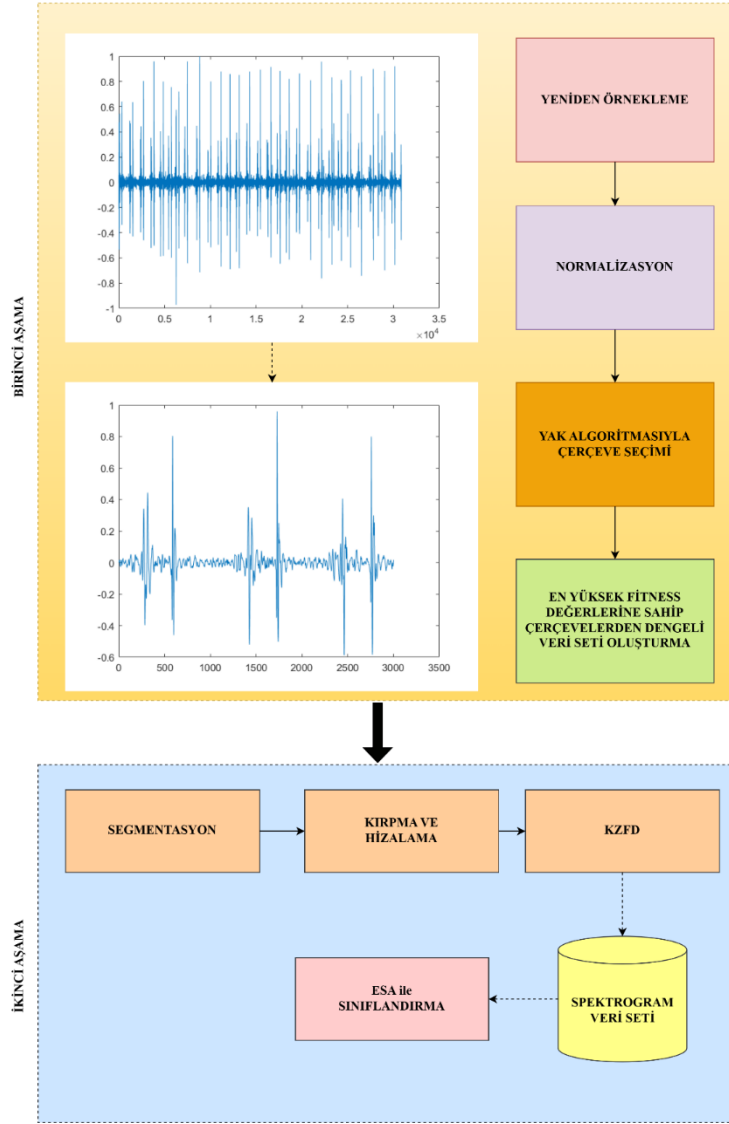
CirCor2022 veri seti [9] 2022’de düzenlenen bir yarışma için paylaşılmıştır. Pediatri hastaları olan bebek, çocuk ve genç bireylerden temin edilen PCG kayıtlarından oluşmaktadır. Veri seti hastanın cinsiyet, boy, kilo ve yaş gibi istatistiki bilgileri ile zenginleştirilmiştir. Toplamda 1568 hastadan alınan 5282 PCG kaydı uzman hekimler tarafından üfürüm içeren, üfürüm içermeyen ve belirsiz olarak üç farklı şekilde etiketlenilmiştir. Kayıtların uzunlukları 4,8 sn ile 80,4 sn arasındadır ve örnekleme frekansı 4 kHz’dir.

3. ÖNERİLEN YÖNTEM

Kalp sesi sinyalleri periyodik bir yapıdadır. Üfürümler de benzer şekilde ayırt edilebilecek bir karakteristik yapı sergiler. Değişik tip, çeşit ve şiddette görülebilen kalp üfürümleri; yaklaşık bir saniye kadar süren kardiyak döngü boyunca aynı konumlarda başlayıp biterler. Dolayısıyla kalp üfürümünün tespiti ve sınıflandırılması için birkaç dakika uzunluğunda olabilen tüm PCG kaydını incelemektense seçilen kısa bir aralık kullanılarak da sınıflandırma yapılabilir. Bu yaklaşım hesaplama süresinde, bellek gereksiniminde ve hesaplama maliyetinde verimliliğe sebep olur. Burada önemli olan şey ise PCG kaydını en doğru şekilde temsil edebilecek çerçeveyi seçebilmektir. Seçilecek çerçevenin gürültüyle kirlenmemiş olması şarttır. Gürültüyle başa çıkmak için önerilen yöntemler arasında bu tür kayıtların veri setinden çıkarılması veya çeşitli filtreler uygulanarak gürültünün temizlenmesine çalışılmıştır.

Bu çalışmada önerilen yöntemle sinyalin entropi ve enerji değerlerinden yararlanarak yapay arı kolonisi optimizasyon algoritmasıyla kayıtların en temiz kısımları bulunmuştur. Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında geliştirilen Yapay Arı Kolonisi (YAK) [10] optimizasyon algoritması, doğada arıların yiyecek bulma aktivitelerini taklit eder. Rastgele üretilen bir popülasyondan başlayarak yapılan iterasyonlarda izlenen adımlarla en optimal sonuca ulaşmaya çalışır.

Bu çalışmada da kalp sesi sinyallerinden sistolik, diyastolik veya sürekli üfürümlerin kardiyak döngüde en açık şekilde görülebileceği kısa çerçeveler kırpılarak ayrılmıştır. Bölümlenme yapılarak başlangıç konumları S1 olacak şekilde ayarlanan alt çerçevelerden Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) ile çıkarılan spektrogramlar önerilen bir derin ağ mimarisiyle sınıflandırılmıştır.



Görsel 10. Önerilen yöntemde izlenen adımlar

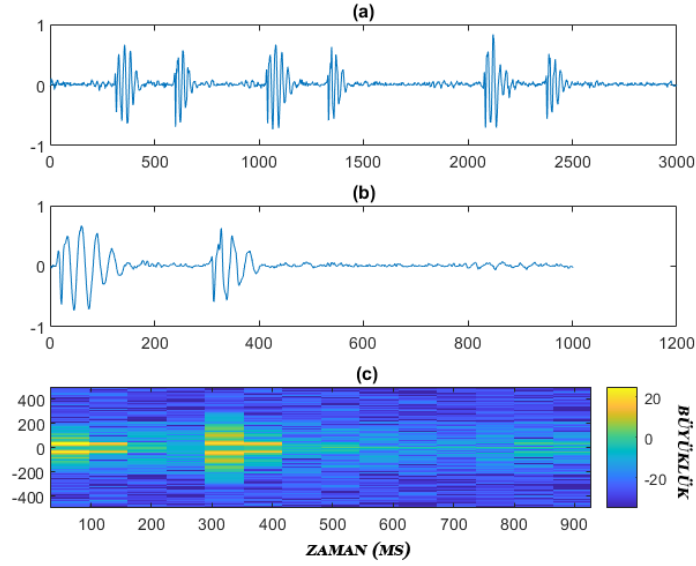
3.1. Birinci Aşama

Önerilen yöntemin ilk aşamasında farklı örnekleme frekanslarına sahip olan veriler 1000Hz'e göre yeniden örneklendirilmiştir. Bu kayıtların içerisinde rastgele seçilen 3 sn uzunluğundaki çerçevelerden ilk YAK popülasyonu oluşturulmuştur. Çerçevelerin fitness değerleri, entropi değerlerinin enerji değerlerine bölümüyle hesaplanmıştır. Yüksek gürültülü çerçevelerin yüksek enerjiye sahip olması beklenir. Ayrıca düzenli ve net seslerden (S1 ve S2) ve bunlar arasındaki sessiz aralıklardan (sistol ve diyastol) oluşan normal çerçevelerde ortalama seviyede entropi değerleri beklenir. Yapılan iterasyonlarla en optimal 3 sn uzunluğundaki aralık PCG kayıtlarından seçilmeye çalışılmaktadır.

3.2. İkinci Aşama

Birinci aşamada iterasyonlar sonunda elde edilen 3 saniyelik çerçevelerin hepsi S1 bölümü ile başlayan bir saniye uzunluğunda alt çerçevelere kırılmıştır. Arkasından pencere büyüklüğü 128 ve çıkarma boyutu 64 olarak seçilen KZFD ile bunlardan spektrogram çıkarılmıştır. Elde

edilen 2 boyutlu 128x64 spektrogram evrişimli sinir ağı katmanına sahip bir derin öğrenme modeli ile sınıflandırılmıştır.



Görsel 11. 3 saniyelik PCG çerçevesi (a), bölümlleme sonrası kırpılan 1 saniyelik çerçeve (b) ve KZFD sonrası elde edilen spektrogram (c)

4. SONUÇLAR

Çizelge 1’de önerilen yöntemle 1 saniyelik çerçevelerden elde edilen spektrogramlarla eğitilen derin öğrenme modelinin tahmin sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen doğruluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. Önerilen modelin performans değerlendirmesi

	CinC2016		CirCor2022	
Eğitim/Test Oranı (%):	80-20	90-10	80-20	90-10
Eğitim Doğruluğu (%):	97,2	98,9	87,0	88,7
Test Doğruluğu (%):	93,0	94,5	80,5	82,0

5. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, temel kalp seslerinin yanında görülebilen üfürümlerin PCG kayıtlarından ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında CinC2016 ve CirCor2022 PCG veri setleri kullanılmıştır. Fitness için entropi ve enerji değerlerini kullanan YAK tabanlı optimizasyonla PCG kayıtlarından 3 saniyelik çerçeveler çıkarılmıştır. Bu çerçeveler hem CinC2016 hem de

CirCor2022 için dengeli bir veri kümesi oluşturmakta kullanılmıştır. Hastanın hırıltısı, konuşması ve benzeri şekillerde PCG kayıtlarına giren gürültülerin etkilerinden kurtulmak için PCG kayıtlarının en optimal kesitleri elde edilmeye çalışılmıştır. Arkasından 1 saniye uzunluğunda kırılan çerçevelerden KZFD ile spektrogramlar elde edilmiştir. Bu spektrogramlar da derin öğrenme ile sınıflandırılmıştır. CinC2016 için %93 üzerinde ve CirCor2022 için %80 üzerinden doğruluk elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] WHO. 2017 world statistics on cardiovascular disease. URL [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- [2] Arslan, Ayse, and Oktay Yildiz. "Automated Auscultative Diagnosis System for Evaluation of Phonocardiogram Signals Associated with Heart Murmur Diseases." Gazi University Journal of Science 31.1 (2018): 112-124.
- [3] Thompson, W. Reid, et al. "Artificial intelligence-assisted auscultation of heart murmurs: validation by virtual clinical trial." Pediatric cardiology 40.3 (2019): 623-629.
- [4] Delgado-Trejos, Edilson, et al. "Digital auscultation analysis for heart murmur detection." Annals of biomedical engineering 37.2 (2009): 337-353.
- [5] El-Segaier, Milad, et al. "Computer-based detection and analysis of heart sound and murmur." Annals of Biomedical Engineering 33.7 (2005): 937-942.
- [6] Quiceno-Manrique, A. F., et al. "Selection of dynamic features based on time{frequency representations for heart murmur detection from phonocardiographic signals." Annals of biomedical engineering 38.1 (2010): 118-137.
- [7] Zabihi, Morteza, et al. "Heart sound anomaly and quality detection using ensemble of neural networks without segmentation." 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC). IEEE, 2016.
- [8] Liu, C., Springer, D., Li, Q., Moody, B., Juan, R. A., Chorro, F. J., & Castells, F. (2016). José Millet Roig, Ikaro Silva, Alistair EW Johnson, et al. An open access database for the evaluation of heart sound algorithms. Physiological Measurement, 37(12), 2181.
- [9] Oliveira, J., Renna, F., Costa, P., Nogueira, M., Oliveira, A. C., Elola, A., Ferreira, C., Jorge, A., Bahrami Rad, A., Reyna, M., Sameni, R., Clifford, G., & Coimbra, M. (2022). The CirCor DigiScope Phonocardiogram Dataset (version 1.0.1). PhysioNet. <https://doi.org/10.13026/7bkn-d780>.

- [10]** Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200, pp. 1-10). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.

FARKLI DİLLERDE YAZILAN YOUTUBE COVID-19 AŞI YORUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ MODELLERİYLE SINIFLANDIRILMASI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi, ALİ FATİH GÜNDÜZ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi,
fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

ÖZET

Dijital medyanın yaygınlaşmasıyla bilgiye erişim ve haberleşme çok kolaylaştı. Bir çeşit dijital medya teknolojisi olan sosyal medya ise bireyleri bilginin sadece tüketicisi olmaktan çıkarıp aynı zamanda görsel ve yazılı paylaşımlar vasıtasıyla üretici konumuna getirdi. Yazılan mesajların, çekilen fotoğrafların ve yapılan anlık bildirimlerin paylaşılmasıyla sosyal medya kullanıcıları toplumun tartışmalı konulardaki algısına yön verir oldu. Bu dönüşümle birlikte yapılan yorumların ve yazılan metinlerin incelenmesini konu edinen doğal dil işleme büyük önem kazandı. Dilbilim, bilgisayar bilimi, yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi alanlarının kesişiminde yer alan bu dal sayesinde, her gün büyük miktarlarda üretilen sosyal medya yorumlarının bilgisayar destekli sistemlerle otomatik olarak işlenmesi mümkün oldu. Günümüzün büyük dil modelleri ve dönüştürücüler gibi yapay zeka teknolojileri tıpkı insan gibi metinleri sınıflandırılabilen, özetleyebilen, farklı dillere çevirebilen ve hatta orijinal metin üretebilmektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak 17 Kasım 2019'da Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkıp tüm dünyaya yayılan Covid-19 salgınına karşı dünya genelinde yürütülen aşılama politikaları hakkında YouTube'da yayınlanan Türkçe, Azerice, Almanca ve İngilizce videoların altına yazılan yorumların toplanmasıyla bir veri seti oluşturulmuştur. Farklı dillerde metinlerden oluşan veri seti; lojistik regresyon, çift yönlü uzun-kısa süreli bellek tabanlı yapay sinir ağı ve XLM-RoBERTa tabanlı dönüştürücü modelleriyle sınıflandırılarak yazılan yorumların dilleri doğru tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Dil İşleme, Makine Öğrenmesi, Çift Yönlü Uzun-Kısa Süreli Bellek, Derin Öğrenme, Transformer

CLASSIFICATION AND COMPARATIVE ANALYSIS OF YOUTUBE COVID-19 VACCINE COMMENTS WRITTEN IN DIFFERENT LANGUAGES USING MACHINE LEARNING AND TRANSFORMER MODELS

Dr. Öğr. Üyesi, ALİ FATİH GÜNDÜZ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi,
fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

ABSTRACT

With the proliferation of digital media, access to information and communication has become much easier. Social media, a type of digital media technology, has transformed individuals from mere consumers of information to producers through visual and written sharing. Through the sharing of written messages, photos, and instant notifications, social media users have become influential in shaping society's perception of controversial issues. With this transformation, natural language processing, which analyzes comments and written text, has gained significant importance. This field, located at the intersection of linguistics, computer science, artificial intelligence, and machine learning, has made it possible to automatically process the large volumes of social media comments generated daily using computer-aided systems. Today's artificial intelligence technologies, such as large language models and transformers, can classify, summarize, translate into different languages, and even produce original text just like humans.

In this study, we created a dataset by collecting comments posted on YouTube in Turkish, Azerbaijani, German, and English about global vaccination policies against the Covid-19 pandemic, which first emerged in Wuhan, China, on November 17, 2019, and spread globally. The dataset, consisting of texts in different languages, was classified using logistic regression, a bidirectional long-short-term memory-based artificial neural network, and XLM-RoBERTa based transformers to accurately predict the languages of the comments.

Keywords: Natural Language Processing, Machine Learning, Bidirectional Long-Short Term Memory, Deep Learning, Transformers

1. GİRİŞ

Doğal Dil İşleme (DDİ), bilgisayarların insan dilini anlamasını, yorumlamasını ve anlamlı bir şekilde üretmesini sağlamaya odaklanan bir yapay zeka alanıdır. Yazılı ve sözlü dili işlemek için dilbilim, bilgisayar bilimi ve makine öğrenimi tekniklerini bir araya getirir. DDİ alanında yapılan çalışmalara dil çevirisi, duygu analizi, sohbet robotları, sesli asistanlar ve metin özetleme gibi günlük hayatta karşımıza çıkan uygulama örnek olarak verilebilir. Hem yazılı metinler hem de sözlü ifadeler bu alanın odağına girmektedir. Sağlık alanında klinik notlardan bilgi çıkarımı ve semptom analizinde kullanılırken, eğitim alanında dil öğrenme asistanlarının kullanıcı hatalarını analiz ederek geri bildirim vermesinde DDİ kullanılır. Sosyal medyada yazılan metinlerin trend takibi, duygu analizi ve görüş tespiti gibi konularda DDİ'ye başvurulur. Finans sektöründen güvenlik ve savunmaya kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

DDİ, insan iletişimi ile bilgisayar anlayışı arasındaki boşluğu doldurarak teknolojiyi daha sezgisel ve erişilebilir hale getirmede kritik bir rol oynar. Ham metin doğrudan makineler tarafından anlaşılıp yorumlanamaz. Dolayısıyla DDİ sürecinin temel adımları metnin makinelerin analiz edip anlayabileceği yapılandırılmış ve nümerik değerlere dönüştürülmesiyle başlar. Ön işleme aşamasında metin, kelimelere veya cümlelere bölünür (tokenizasyon). Kendi başına anlam ifade etmeyen ama metinlerde belirteç olarak sıklıkla geçen ifadeler (stopwords: “ve”, “bir”, “the”, “a” gibi) ayıklanır. Kelimeler, stemming veya lemmatizasyon gibi yöntemlerle eklerinden arındırılır. Ardından metni vektörlere dönüştürmek için Bag-of-Words (BOW), TF-IDF veya Word2Vec ve BERT gibi kelime gömme yöntemleri kullanılarak sayısal forma dönüştürülür.

Aralık 2019'da ilk olarak Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan ve kısa sürede küresel boyutlara ulaşan Covid-19 salgını herkesi derinden etkiledi. SARS-CoV-2 virüsünün neden olduğu bu hastalık, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 11 Mart 2020 tarihinde pandemi olarak ilan edilmiştir [1]. Covid-19 pandemisi, yalnızca küresel sağlık sistemlerini değil, aynı zamanda bilgi edinme ve iletişim alışkanlıklarını da köklü biçimde dönüştürmüştür. Pandemi sürecinde sosyal medya hem bilgi edinme hem de kriz iletişimi açısından kritik bir rol üstlenmiştir. Bireyler, Covid-19 hakkında bilgi almak, kaygılarını paylaşmak ve gündemi takip etmek için sosyal medya platformlarına yönelmiştir. Bu süreçte Twitter, Instagram ve Facebook gibi mecralar, sağlıkla alakalı konularda yoğun bir bilgi alışverişi ortamı haline gelmiştir [2]. Bu platformlarda dolaşıma sokulan bilgilerin doğruluklarına ve güvenilirliklerine bakılmaksızın pek çok kişi tarafından okunup paylaşılması çeşitli riskler ortaya çıkarmaktadır. Kuşkusuz bu metinlerin incelenip, toplumu yanıltıcı haberlerin engellenmesi siber güvenlik birimlerinin vazifesidir. Bu noktada DDİ algoritmalarının büyük miktarlarda olan bu verileri otomatik olarak işlemesi oldukça yararlı olmuştur.

Paylaşılan metinlerden duygu analizi, popüler konuların belirlenmesi, metnin özetlenmesi, kişi/yer adı/organizasyon gibi varlık tanıma, spam ve bot hesapların tespiti gibi görevler bu kapsamda yerine getirilmiştir. Böylelikle toplumun çeşitli konulara verdiği tepkiler erkenden görülmüştür. Yürütülen kampanyalara uygun stratejiler buna dayanarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Covid-19 salgınına karşı dünya genelinde yürütülen aşılama politikaları hakkında YouTube'da yayınlanan Türkçe, Azerice, Almanca ve İngilizce videoların altına yazılan

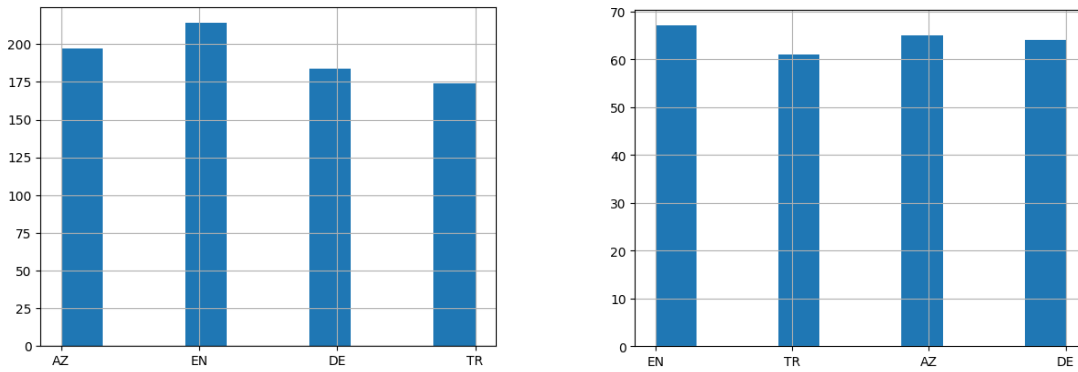
yorumların dillerinin doğru olarak tespit edilmesi hedeflenmiştir. Gerçek verileri kullanarak sunduğumuz çalışmamızda karmaşık bir dil işleme probleminin öncesinde kullanılabilecek bir aşama olarak metin dili tahmini problemine farklı makine öğrenmesi modellerinin yaklaşımı deneylerle gözlenmiştir.

2. METOT VE YÖNTEM

Farklı dillerde yazılan YouTube yorumlarından bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti, bahsedilen DDİ süreçlerinden sonra vektörlere dönüştürülmüştür. Üzerinde klasik makine öğrenmesi algoritmalarından lojistik regresyon, çift yönlü uzun-kısa süreli bellek katmanlı bir derin öğrenme modeli ve son olarak XLM-RoBERTa-base tabanlı dönüştürücü modeli ile metinler ait oldukları dillerine göre sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Söz konusu modellerin performansları doğruluk, F1 skoru, kesinlik ve hassaslık ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

İngilizce-Almanca Cermen kökenli diller ve Türkçe-Azerice Türk dilleri oldukları için kendi aralarında pek çok ortak kelime bulunmaktadır. Bu durum kısa metinlerde modellerin yanılmasına yol açar. Bunun yanında, özellikle sosyal medyada yazılan yazılarda kullanıcılar iki dili birden kullanabilmektedir. Bu durum da saf bir sınıflandırıcının çalışmasını olumsuz etkiler. Ayrıca metin içerisinde yer alan URL, hashtag, kullanıcı adı, emoji gibi bileşenler dilden bağımsız olarak her metin içerisinde karşımıza çıkar. Biz de veri setimizdeki emojileri manuel olarak temizlerken diğer bileşenleri olduğu gibi bıraktık.

Toplam 1026 yorumdan oluşan dengeli veri setimizin çeyreğini test için kullanırken geri kalanını eğitim için ayırdık. Metinlerin uzunlukları ise değişkendir. Deneylerimizi ücretsiz olan Google Colab ortamında Python dilinde yürüttük. Donanım olarak 15 GB kapasiteli T4 GPU ile 12,7 GB RAM kullanılmıştır.



Görsel 1. Her dilde olan toplam sosyal medya yorumu sayısı. Eğitim seti (solda) ve test seti (sağda)

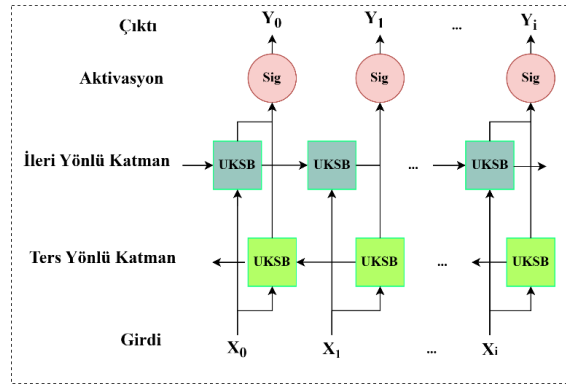
2.1. Lojistik Regresyon

Klasik makine öğrenmesi algoritmalarından olan Lojistik Regresyon sınırlı miktarda veriyle çalışmak için uygundur. Ayrıca derin öğrenme ve dönüştürücü modellerinin aksine daha az CPU/GPU donanımsal işlem gücüne ihtiyaç duyar. Standart bir kişisel bilgisayarda bile kolayca çalıştırılabilir. Bu avantajları nedeniyle hızlı sonuçlara ihtiyaç duyulduğunda veya bir prototip

sınıflandırıcı görmek ihtiyacı olduğunda tercih edilir. Lineer Regresyonun aksine çıktısı sürekli bir sayı değil, 0 ile 1 aralığında yer alan bir olasılık değeridir. Bunun nedeni çıktının sigmoid fonksiyonu ile söz konusu aralığa sıkıştırılmasıdır. Temelde ikili sınıflandırma için tasarlanmıştır ancak “Bire Karşı Diğerleri” gibi modifikasyon yaklaşımlarıyla çoklu sınıflandırma problemlerinde de kullanılabilir.

2.2. Uzun Kısa Süreli Bellek Katmanlı Derin Öğrenme

Normal yapay sinir ağlarının aksine Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) geçmiş bilgiyi bir gizli durum (hidden state) içinde saklayarak zaman bağımlı işler. Bu sayede dil modelleme gibi problemlerin çözümlerinde başarılı performanslar gösterir. TSA ailesinden olan Uzun Kısa Süreli Bellek (UKSB) [3], verinin bir kısmını hatırlarken bir kısmını unutmak üzere tasarlanır. Meteorolojik sıcaklık tahminleri, borsadaki hisse senedi hareketleri, biyomedikal sinyal analizi, konuşma tanıma, doğal dil işleme, otomatik çeviri gibi birçok problemin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.



Görsel 2. Çift Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek modelinin genel mimarisi

Çalışmamızda girdi katmanı, arkasında 64 UKSB hücresine sahip olan bir katman, sonra 32 nöron içeren bir Dense katmanı ve %50 Dropout sonunda sınıflandırma yapan bir Çift Yönlü Uzun-Kısa Süreli Bellek tabanlı derin ağ kullanılmıştır.

2.3. XLM-RoBERTa Tabanlı Dönüştürücü

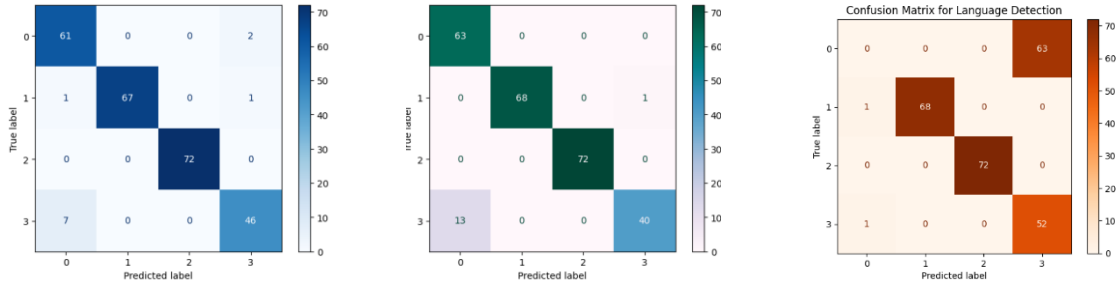
Dönüştürücüler ilk 2017’de "Attention Is All You Need" makalesiyle tanıtıldı [4]. TSA veya UKSB gibi sıralı işlem yerine paralel işlem yapabilen bir mimariye sahiptirler. Sekanstaki tüm elemanlara (kelimelere) aynı anda bakarak her bir kelimenin diğer kelimelerle olan ilişkisini modelleyebilir. Bu özelliklerine Self-Attention mekanizması denir. Bu da performans sorunlarını çözerken kelimeler arasındaki bağlantıyı etkili bir şekilde bulmaya olanak tanır.

XLM-RoBERTa [5] (BERT’in optimize edilmiş versiyonu) isimli dönüştürücü Facebook AI (şu anki adıyla Meta AI) tarafından geliştirilmektedir. Eğitim verisi: Common Crawl tabanlı 2.5TB çok dilli veri içermektedir. Kısa metinler için etkili olacak şekilde ayarlanmıştır. GPT gibi benzerlerinin aksine çok yüksek donanımsal gereksinimleri yoktur ve Colab üstünde koşabilir. Hugging Face ID’si “xlm-roberta-base”dir.

Bu çalışmada; **papluca/xlm-roberta-base-language-detection** isimli XLM-RoBERTa-Base mimarisinden dil tespiti (language detection) görevi için özel olarak fine-tune edilmiş bir dönüştürücü kullanılmıştır. Söz konusu dönüştürücü 20’den fazla dili ayırt edebilir. Devasa boyutlardaki ve çok dilde birçok veri setinde eğitildiği için doğrudan iyi sonuç verme potansiyeline sahiptir.

3. SONUÇLAR

Modellerin tahminleri ile gerçek etiketlerin eşleşmesinin gösterildiği hata matrisleri Görsel 3’te gösterilmiştir.



Görsel 3. Modellerin hata matrisleri. Lojistik Regresyon modeli (solda), UKSB katmanlı derin öğrenme modeli (ortada) ve Dönüştürücü (sağda).

Çizelge 1’de Lojistik Regresyon modelinin tahmin sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen kesinlik, hassaslık, F1 skoru ve doğruluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. Lojistik Regresyon modelinin performans değerlendirmesi

Dil	Kesinlik	Hassaslık	F1-skoru	Örnek Sayısı
AZ:	0,88	0,97	0,92	63
DE:	1,00	0,97	0,99	69
EN:	1,00	1,00	1,00	72
TR:	0,94	0,87	0,90	53
Ağırlıklı Ortalama:	0,96	0,96	0,96	-
Doğruluk:	0,96			257

Çizelge 2’de UKSB katmanlı derin öğrenme modelinin tahmin sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen kesinlik, hassaslık, F1 skoru ve doğruluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. UKSB katmanlı derin öğrenme modelinin performans değerlendirmesi

Dil	Kesinlik	Hassaslık	F1-skoru	Örnek Sayısı
AZ:	0,83	1,00	0,91	63
DE:	1,00	0,99	0,99	69
EN:	1,00	1,00	1,00	72
TR:	0,98	0,75	0,85	53
Ağırlıklı Ortalama:	0,95	0,95	0,94	-
Doğruluk:	0,95			257

Çizelge 3'te XLM-RoBERTa tabanlı dönüştürücü modelinin tahmin sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen kesinlik, hassaslık, F1 skoru ve doğruluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. Dönüştürücü modelinin performans değerlendirmesi

Dil	Kesinlik	Hassaslık	F1-skoru	Örnek Sayısı
AZ:	0,00	0,00	0,00	63
DE:	1,00	0,99	0,99	69
EN:	1,00	1,00	1,00	72
TR:	0,45	0,98	0,62	53
Ortalama:	0,64	0,75	0,67	-
Doğruluk:	0,75			257

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, 1000 kadar sosyal medyada yazılan değişken uzunluklardaki metinlerden oluşan ve farklı dillerde (Azerice, Almanca, İngilizce ve Türkçe) olan yorumların dillerinin doğru olarak sınıflandırılmasında üç yöntem denenmiştir. Klasik makine öğrenmesi yöntemlerinden olan Lojistik Regresyon, 2010'u yıllarda popülerlik kazanan derin öğrenme ve günümüzde trend olan yaklaşımlardan olan dönüştürücü tabanlı modellerin bu veri setindeki dilleri tahmin etmedeki başarıları kıyaslanmıştır.

Sonuçlara baktığımızda, Lojistik Regresyon ve UKSB katmanlı derin öğrenme modelinin oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu iki model eğitim setinde eğitilmiş ve test seti ile sınanmıştır. Bunların aksine, XLM-RoBERTa tabanlı dönüştürücü modeli hazır eğitilmiş kullanılmış, ayrıca eğitim setinde fine-tune edilmemiştir. Bu model, Azerice'yi Türkçe ile karıştırmış ve Azerice olan tüm metinleri yanlış olarak Türkçe diye etiketlemiştir. Buna karşılık diğer modeller, küçük boyuttaki eğitim setimizle eğitilmelerine rağmen başarılı sınıflandırmalar yapmıştır. Bu çalışmada kullanılan dönüştürücü günümüz itibariyle tüm diller için tam performansla çalışmamaktadır. İleride farklı dillere de destek vermesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] World Health Organization. Global research on coronavirus disease (COVID-19). <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/global-research-on-novel-coronavirus-2019-ncov>. (Erişim tarihi: 16.08.2025)
- [2] Cinelli, Matteo, et al. "The COVID-19 social media infodemic." *Scientific reports* 10.1 (2020): 16598.
- [3] Marapelli, Bhaskar, Anil Carie, and Sardar MN Islam. "RNN-CNN model: A bi-directional long short-term memory deep learning network for story point estimation." 2020 5th International Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications (CITISIA). IEEE, 2020.
- [4] Vaswani, Ashish, et al. "Attention is all you need." *Advances in neural information processing systems* 30 (2017).
- [5] Sanjaya, Hafidz, et al. "FOREST FIRE LOCATION AND TIME RECOGNITION IN SOCIAL MEDIA TEXT USING XLM-ROBERTA." *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer)* 10.4 (2025): 749-758.

IKEA ENDONEZYA SANDALYE ÜRÜNÜ VERİ SETİNDE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA SATIŞ MİKTARININ ANALİZİ

Öğr. Gör. Dr., Kenan KILIÇ

Yozgat Bozok Üniversitesi, kenan.kilic@bozok.edu.tr - 0000-0003-1607-9545

ÖZET

Bu çalışma, IKEA Endonezya'ya ait sandalye ürünlerinden oluşan bir veri seti kullanılarak, yapay sinir ağı tabanlı modellerle satış tahminleri yapmayı amaçlamaktadır. Veri setinde ürün adı, ürün açıklaması, kategori bilgisi ve fiyat gibi çeşitli öznitelikler yer almakta olup, bu değişkenler modelin satış miktarlarını tahmin etmesi için temel girdiler olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın temelinde, çok katmanlı algılayıcı (Multi-Layer Perceptron - MLP) mimarileri yer almakta ve farklı katman yapılarına sahip modeller karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Hedef, en düşük hata oranıyla en yüksek doğruluğu sağlayan mimariyi belirlemektir. Model eğitim sürecinde performansı değerlendirmek için RMSE (Kök Ortalama Kare Hatası), MAE (Ortalama Mutlak Hata), MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hatası) ve R^2 (determinasyon katsayısı) gibi metrikler kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, dört katmandan oluşan MLP-4L (256-128-64-1) modelinin diğer modellere kıyasla daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu model, neredeyse hatasız tahminler yaparak R^2 değerini 1.0000 seviyesine çok yakın bir noktada tutmayı başarmıştır. Bu da modelin, karmaşık ilişkileri doğru biçimde öğrenme kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bazı modellerde Dropout gibi düzenleyici tekniklerin kullanılması sayesinde aşırı öğrenmenin (overfitting) önüne geçilmiş ve modelin genelleme kabiliyeti önemli ölçüde artırılmıştır. Basit yapılar düşük doğruluk sergilerken, aşırı karmaşık modellerin ise öğrenme süreci zorlaşmış ve bu durum tahmin başarısını olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla, model mimarisi tasarımı bu tür uygulamalarda büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, yapay sinir ağı tabanlı yaklaşımların satış tahmininde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Bu çalışma, e-ticaret platformlarında karar destek sistemlerinin daha doğru ve güvenilir şekilde geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Ayrıca, bu yöntem sayesinde işletmeler ürün taleplerini daha isabetli öngörebilir, stok-planlama süreçlerini daha verimli ve stratejik şekilde yürütebileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ağaç işleri endüstrisi, Yapay sinir ağları (YSA), Yapay zeka, Regresyon, Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA)

ABSTRACT

This study aims to make sales forecasts using artificial neural network-based models using a dataset consisting of chair products from IKEA Indonesia. The dataset contains various attributes such as product name, product description, category information, and price, and these variables are considered as the main inputs for the model to predict sales quantities. The study is based on multi-layer perceptron (MLP) architectures, and models with different layer structures are comparatively examined. The goal is to determine the architecture that provides the highest accuracy with the lowest error rate. Metrics such as RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error), and R^2 (Coefficient of Determination) were used to evaluate model performance during the training process. Experimental results reveal that the four-layer MLP-4L (256-128-64-1) model outperforms other models. This model achieved nearly error-free predictions, maintaining an R^2 value very close to 1.0000. This demonstrates the model's high capacity to accurately learn

complex relationships. Furthermore, the use of regularization techniques such as Dropout in some models prevented overfitting and significantly increased the model's generalization ability. While simple structures exhibited low accuracy, overly complex models had a more difficult learning process, negatively impacting their predictive success. Therefore, model architecture design is crucial in such applications. In conclusion, artificial neural network-based approaches are highly effective in sales forecasting. This study contributes to the development of more accurate and reliable decision support systems in e-commerce platforms. Furthermore, it is believed that this method allows businesses to more accurately forecast product demand and execute inventory planning processes more efficiently and strategically.

Keywords: Woodworking industry, Artificial neural networks (ANN), Artificial intelligence, Regression, Multilayer perceptron (MLP)

1. GİRİŞ

Sanayi alanındaki dönüşüm süreci, özellikle dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) ile birlikte hız kazanmış ve üretim sistemlerinde dijitalleşmeyi temel bir gereklilik haline getirmiştir. Bu dönüşüm, Endüstri 5.0 ile birlikte daha insan merkezli, esnek ve özelleştirilmiş üretim anlayışını da beraberinde getirmiştir. Yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT), siber-fiziksel sistemler, büyük veri analitiği ve makine öğrenimi (ML) gibi teknolojiler, bu yeni endüstriyel yapının temel bileşenlerini oluşturmakta; üretim süreçlerinde karar alma, kalite kontrol, bakım planlaması ve teslimat sürelerinin öngörülmesi gibi pek çok alanda verimliliği artırmaktadır (Lingitz vd., 2018; Bender ve Ovtcharova, 2021).

Makine öğrenmesi algoritmaları, özellikle karmaşık yapıya sahip ve sürekli değişen veri setlerinde desenlerin keşfedilmesi, süreçlerin iyileştirilmesi ve çeşitli olayların öngörülmesi gibi görevlerde etkili bir çözüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu tür algoritmalar, üretim süreçlerinde zamanın daha verimli kullanılması, kaynakların daha etkin planlanması ve müşteri beklentilerine daha çabuk cevap verilmesi gibi açılardan önemli avantajlar sağlamaktadır (Wuest vd., 2016; Lee vd., 2018). Özellikle ürün çeşitliliğinin fazla ancak üretim hacminin sınırlı olduğu sektörlerde, klasik yöntemlerin sınırlılıklarını aşmak adına makine öğrenmesi temelli yaklaşımlar daha işlevsel hale gelmektedir (Schuh vd., 2017; Mayr vd., 2019).

Mobilya endüstrisi, üretim süreçlerinde çok sayıda değişkenin etkili olduğu ve genellikle müşteriye özel üretimin ön planda olduğu bir alandır. Ürünlerin kesilmesi, zımparalanması, montajı ve paketlenmesi gibi aşamalar, işlenecek malzemenin türüne, ürünün boyutuna, tasarımına ve kullanılan ekipmanın özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilir (Masoumi vd., 2022; Mirhoseini Taba vd., 2022). Bu nedenle işlem süresi tahmini gibi konular, hem üretim planlaması hem de maliyet kontrolü açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, müşteri taleplerindeki çeşitlilik, klasik zaman etütlerinin doğruluğunu azaltmakta ve daha esnek yöntemlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, makine öğrenimi tabanlı modellerin üretim sürecine entegrasyonu, süreçlerin daha etkili yönetilmesini sağlamakta ve özellikle satış tahmini gibi karar destek alanlarında önemli avantajlar sunmaktadır. Literatürde bu tür tahminleme problemlerinde yapay sinir ağları (YSA), rastgele orman (Random Forest) ve gradyan artırma (Gradient Boosting) gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Friedman, 2001; Chen ve Guestrin, 2016). Geleneksel regresyon teknikleri, üretim verilerinin doğrusal olmayan doğasını yeterince yansıtamayabilirken, derin öğrenme yaklaşımları, bu tür karmaşık ilişkileri daha doğru şekilde modelleyebilmektedir (Emmert-Streib vd., 2020; Alzubaidi vd., 2021).

Bu çalışmada, Endonezya IKEA'ya ait sandalye ürünleri veri seti kullanılarak, ürün satış miktarlarının tahmini yapılması amaçlanmıştır. Veri setinde yer alan ürün adı, açıklama ve fiyat gibi sayısal ve metinsel öznitelikler, makine öğrenimi modellerinin eğitimi için işlenmiş ve modele dâhil edilmiştir. İlk aşamada satış miktarı sürekli bir değişken olarak ele alınarak, YSA tabanlı regresyon modeli ile tahminleme yapılmış ve modelin doğruluğu çeşitli hata metrikleriyle değerlendirilmiştir. Bu araştırma mobilya alanında ithalat ve ihracat konularında yönlendirici bilgiler sağlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Endonezya pazarına yönelik IKEA Endonezya web sitesinden web scraping yöntemiyle elde edilmiştir. Veri seti, IKEA'nın Endonezya'daki yemek sandalyesi ürünlerine ait çeşitli özellikleri içermekte olup, toplamda yaklaşık 400 ürün kaydını kapsamaktadır. Veri kaynağı, <https://www.ikea.co.id/in/produk/kursi-makan> adresinde yer alan resmi IKEA Endonezya ürün sayfasıdır.

Veri setinde yer alan temel sütunlar; ürün adı (product_name), ürün markası (merk_product), ürün açıklaması (product_description), fiyat bilgisi (price) ve satılan ürün adedi (sold) şeklindedir. Ürün açıklamaları Endonezce dilinde sağlanmış olup, ürün fiyatları Endonezya Rupiah (IDR) cinsindendir. Satılan ürün miktarı, her ürünün satış performansını yansıtan sayısal bir değerdir. Fiyat aralıkları genel olarak 170.000 IDR ile 225.000 IDR arasında yoğunlaşmakla birlikte, bazı ürünlerde bu aralık daha geniş olabilmektedir. Satış miktarları ise bazı ürünlerde 0'a yakın seyrederken, bazı ürünlerde 3.000'e yakın değerlere ulaşmaktadır (Nuhrija, 2020).

Bu veri seti, IKEA Endonezya'nın sandalye ürün gamına ilişkin marka tercihleri, fiyatlandırma stratejileri ve satış performansları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Endonezya pazarına özgü ekonomik ve tüketici eğilimlerini anlamak için uygun bir örnek teşkil etmektedir. Veri seti üzerinde yapılan analizler, hem ürün bazlı satış trendlerinin incelenmesini hem de fiyat ve marka ilişkilerinin değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak veri setine dair lisans ve güncelleme bilgileri açıkça belirtilmemiştir; bu nedenle çalışmada kullanılan veri statik ve tek zamanlı bir çekim olarak değerlendirilmiştir (Nuhrija, 2020). Çizelge 1'de IKEA Endonezya sandalye ürünleri veri setine ait 10 satır ürün bilgisi verilmektedir. Veri setine ait sayısal sütunlara ait istatistikler Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. IKEA Endonezya sandalye ürünleri veri setine ait 10 satır ürün bilgisi

product_name	product_description	price	sold
ÄPPLARÖ	Meja+6 kursi dg sndrn lgn, luar rg, diwarnai cokelat	225000	2
ÄPPLARÖ	Meja+8 kursi recliner, l.ruang, diwarnai cokelat/kuddarna krem	225000	0
ÄPPLARÖ	Meja+4 kursi lipat, luar ruang, diwarnai cokelat/kuddarna abu-abu	225000	2
ÄPPLARÖ	Bangku, luar ruang, diwarnai cokelat, 114 cm	225000	123
ÄPPLARÖ	Meja+4 kursi recliner, l.ruang, diwarnai cokelat/kuddarna biru muda	225000	0
ÄPPLARÖ	Meja+4 kursi dg sndrn tgn, l rg, diwarnai cokelat/järpön/duvholmen antrasit	225000	0
ÄPPLARÖ	Meja+6 kursi dg sndrn lgn, luar rg, diwarnai cokelat/frösön/duvholmen krem	225000	0
ÄPPLARÖ	Meja+8 kursi recliner, l.ruang, diwarnai cokelat/kuddarna krem	225000	1
ÄPPLARÖ	Mj+2 krs dg sndran tgn+bngku, l.rg, diwarnai cokelat	225000	2
ÄPPLARÖ	Meja+4 kursi lipat, luar ruang, diwarnai cokelat/kuddarna krem	225000	5

Çizelge 2. Veri setine ait sayısal sütunlara ait istatistikler

İstatistik	price	sold
count	440.000000	440.000000
mean	219500.000000	194.075000
std	16518.782021	654.492679
min	170000.000000	0.000000
25%	225000.000000	0.000000
50%	225000.000000	1.000000
75%	225000.000000	6.500000
max	225000.000000	3460.000000

2.2. Yapay Sini Ağı (YSA) Modelleri

Bu çalışmada, ürün satış miktarlarını tahmin edebilmek amacıyla yapay sinir ağı (YSA) tabanlı çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron – MLP) modellerinden yararlanılmıştır. Yapay sinir ağları, insan beynindeki sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiş, veri ile çıktı arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenebilme yeteneğine sahip yapay öğrenme modelleridir (Haykin, 2009). Özellikle çok katmanlı yapılar, doğrusal olmayan desenleri öğrenme konusunda güçlü bir alternatif sunmakta ve klasik regresyon yöntemlerinin sınırlı kaldığı alanlarda daha başarılı sonuçlar verebilmektedir (Zhang vd., 1998).

Çalışma kapsamında farklı katman ve nöron sayılarına sahip altı farklı MLP modeli denenmiştir. Bazı modeller daha sade yapılarla oluşturulmuşken, bazıları daha derin ve Dropout gibi düzenleştirmeli teknikleri içeren yapılardır. Dropout, modelin sadece eğitildiği veriye odaklanarak aşırı öğrenmesini (overfitting) önlemeye yardımcı olur ve genelleme yeteneğini artırır (Srivastava vd., 2014).

Kullanılan modeller şu şekildedir:

- MLP-4L (256-128-64-1)
- MLP-3L (256-128-1)
- MLP-3L (128-64-1)
- MLP-3L (64-32-1)
- MLP-3L-DO (256-128-64-1) – Dropout içermektedir.
- MLP-5L-DO (256-128-64-32-16-1) – Daha derin ve düzenleştirmeli yapıdadır.

Modelleme sürecinde eğitim için ortalama kare hata (MSE) kayıp fonksiyonu ve popüler optimizasyon algoritmalarından biri olan Adam kullanılmıştır. Eğitim tamamlandıktan sonra modellerin tahmin başarımı; RMSE, MAE, MAPE ve R^2 gibi yaygın hata metrikleriyle değerlendirilmiştir. Bu metrikler sayesinde her modelin hem hata düzeyi hem de açıklayıcılık gücü analiz edilmiştir.

Yapay sinir ağlarının yüksek boyutlu, karmaşık ve doğrusal olmayan veri kümelerinde etkili tahminleme yapabildiği birçok çalışmada gösterilmiştir. Derin öğrenmeye dayalı bu modeller, özellikle geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda daha başarılı sonuçlar üretebilmekte; karmaşık üretim süreçlerinde veya belirsiz müşteri davranışlarının analizinde önemli avantajlar sunmaktadır (Emmert-Streib vd., 2020). Mobilya sektörü gibi ürün çeşitliliğinin ve müşteri beklentilerinin yüksek olduğu sektörlerde, yapay sinir ağlarının bu esnek ve uyarlanabilir yapısı; satış tahminleri, üretim planlaması ve stratejik karar alma süreçlerinde değerli katkılar sağlamaktadır (Wang vd., 2018).

2.3. Deneysel Kurulum

Bu çalışmada yürütülen tüm deneysel analizler, çevrimiçi bir veri bilimi platformu olan Kaggle üzerinde, herhangi bir GPU hızlandırması kullanılmaksızın, yalnızca işlemci (CPU) temelli bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sanal çalışma ortamı, Linux 6.6.56+ işletim sistemi, 3.11.13 sürümünde Python dili ve TensorFlow 2.18.0 derin öğrenme kütüphanesi ile yapılandırılmıştır. Donanımsal olarak ortam, 2 fiziksel ve toplamda 4 işlemci çekirdeğine sahip bir x86_64 mimarili Intel işlemci, yaklaşık 31.35 GB RAM ve GPU desteği olmayan bir yapı sunmaktadır. Bu donanım ve yazılım ortamı, özellikle kaynak sınırlı koşullarda derin öğrenme modellerinin nasıl bir performans sergilediğini gözlemlemek açısından önemli bir test ortamı sunmaktadır.

Geliştirilen modellerin uygulanmasında Python 3 dili tercih edilmiş, açık kaynaklı popüler kütüphanelerden geniş ölçüde faydalanılmıştır. Verilerin okunması ve işlenmesinde pandas ve numpy, özniteliklerin dönüştürülmesinde ve normalizasyonunda scikit-learn, model kurma ve eğitime işlemlerinde ise TensorFlow ve Keras API'leri kullanılmıştır. Modellerin başarımlarını değerlendirmeleri için RMSE (Kök Ortalama Kare Hatası), MAE (Ortalama Mutlak Hata), MAPE (Ortalama Yüzde Hata) ve R^2 (Determinasyon Katsayısı) gibi regresyon odaklı ölçütler tercih edilmiştir. Ayrıca, modellerin hesaplama süresi de dikkate alınarak tahmin süreleri ayrı ayrı ölçülmüş ve analiz edilmiştir.

Veri kümesi, eğitim (%80) ve test (%20) olmak üzere ikiye ayrılmış; eğitim verisinin %20'si doğrulama (validation) amacıyla kullanılmıştır. Deneyler boyunca farklı mimarilere sahip çok katmanlı yapay sinir ağı (YSA) modelleri denenmiş, bazı modellerde Dropout katmanları eklenerek aşırı öğrenme riskine karşı önlem alınmıştır. Eğitim süreci boyunca her model için 30 epoch boyunca, mini-batch boyutu 8 olacak şekilde eğitim yapılmış ve sonuçlar hem sayısal hem de görsel olarak değerlendirilmiştir.

2.4. Değerlendirme Metrikleri

Model performansını değerlendirmek amacıyla sıklıkla kullanılan dört temel istatistiksel metrik; R^2 (determinasyon katsayısı), MAE (Ortalama Mutlak Hata), RMSE (Kök Ortalama Kare Hatası) ve MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hata) şeklinde öne çıkmaktadır. Bu metrikler, modelin tahmin gücünü ve hata düzeyini farklı açılardan analiz etmeye olanak tanır. R^2 değeri, bağımlı değişkenin varyansının ne kadarının model tarafından açıklandığını gösterir ve 1'e yaklaştıkça modelin başarısı artar (Chicco vd., 2021). MAE, tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını vererek modelin genel hata düzeyini yansıtır; bu değerin sıfıra yaklaşması, daha isabetli tahminleri ifade eder (Chai ve Draxler, 2014). RMSE ise büyük hatalara daha fazla ağırlık vererek hata büyüklüğünü ölçer ve modelin daha tutarlı tahminler yapmasını sağlamayı hedefler (Çalasan vd., 2020). MAPE, tahmin hatalarının yüzdesel ifadesini sunarak özellikle satış tahmini gibi iş dünyası uygulamalarında kolay yorumlanabilirliği sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (De Myttenaere vd., 2016). Çalışmada kullanılan değerlendirme metrikleri formül ve açıklamaları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Değerlendirme metrikleri formül ve açıklamaları

Metrik	Formül	Açıklama
R ² (Determination Coefficient)	$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$	Modelin açıklayıcılık oranını gösterir. 1'e ne kadar yakınsa model o kadar iyidir.
MAE (Mean Absolute Error)	$MAE = (1/n) \sum y_i - \hat{y}_i $	Hataların mutlak değerlerinin ortalamasıdır. Yönü dikkate alınmaz.
RMSE (Root Mean Squared Error)	$RMSE = \sqrt{(1/n) \sum (y_i - \hat{y}_i)^2}$	Büyük hataları daha çok cezalandıran bir metriktir.
MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	$MAPE = (100/n) \sum (y_i - \hat{y}_i) / y_i $	Yüzde cinsinden hata oranını gösterir. Küçük gerçek değerlerde şişebilir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapay Sinir Ağı (YSA) modellerine ait performans ölçütleri Çizelge 4'te verilmektedir. Modellerin yapılarının ağ derinliği, katman genişliği ve Dropout (DO) kullanımı gibi mimari farklılıklarının regresyon başarımı üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. Yapay Sinir Ağı (YSA) modellerine ait performans ölçütleri

YSA (Yapay Sinir Ağları Modelleri)	Süre	RMSE	MAE	MAPE	R ²
MLP-4L(256-128-64-1)	0.6552 sn.	1.6484	0.6809	14.1805	1.0000
MLP-3L(256-128-1)	0.3530 sn.	99.8935	17.5018	40.6452	0.9533
MLP-3L(128-64-1)	0.3504 sn.	157.9925	29.0598	38.9285	0.8833
MLP-3L(64-32-1)	0.3522 sn.	185.7815	33.9478	15.9950	0.8386
MLP-3L-DO(256-128-64-1)	0.3671 sn.	6.1273	2.3991	36.2228	0.9998
MLP-5L-DO(256-128-64-32-16-1)	0.4140 sn.	51.9180	12.6310	55.5202	0.9874

MLP-4L (256-128-64-1) modeli, en yüksek başarıyı elde etmiş olup RMSE (1.6484), MAE (0.6809), MAPE (14.1805) gibi hata oranları oldukça düşük ve R² değeri tam anlamıyla 1.0000 olarak ölçülmüştür. Bu durum, modelin neredeyse mükemmel bir şekilde öğrenme gerçekleştirdiğini göstermektedir. Buna karşın, MLP-3L (256-128-1), benzer bir mimari olmasına rağmen daha az katman içerdiği için performans açısından ciddi bir düşüş göstermiştir. Özellikle RMSE değeri 99.8935'e yükselmiş ve MAPE değeri %40.6452 gibi oldukça yüksek bir hata oranına ulaşmıştır.

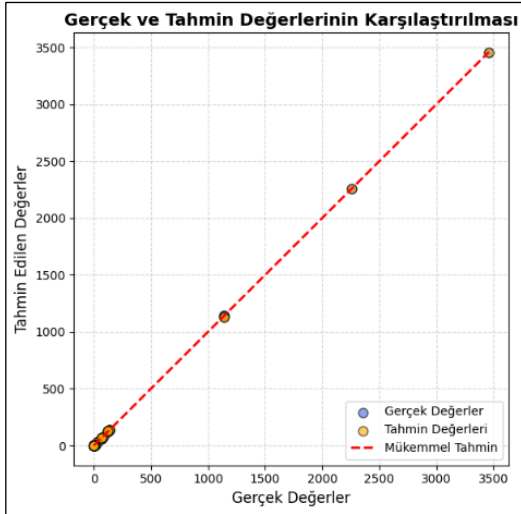
Daha dar mimarilere sahip olan MLP-3L (128-64-1) ve MLP-3L (64-32-1) modelleri de performans açısından yetersiz kalmış, R² değerleri sırasıyla 0.8833 ve 0.8386 olarak gözlenmiştir. Bu durum, katman ve nöron sayısındaki azalmaların modelin öğrenme kapasitesini ciddi oranda sınırladığını göstermektedir.

Dropout uygulanan MLP-3L-DO (256-128-64-1) modeli ise dikkat çekici bir şekilde düşük hata oranlarıyla (RMSE: 6.1273, MAE: 2.3991) ve yüksek bir R² değeri (0.9998) ile güçlü bir

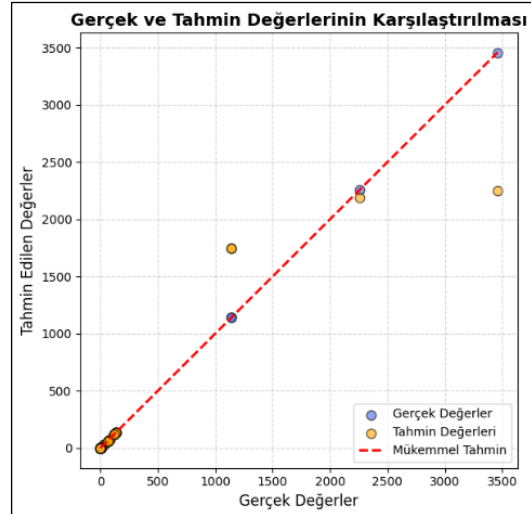
performans sergilemiştir. Bu sonuç, düzenleyici bir teknik olan Dropout'un aşırı öğrenmeyi engelleyerek modelin genellenebilirliğini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır.

Diğer taraftan, derinleştirilmiş ve Dropout kullanılan MLP-5L-DO (256-128-64-32-16-1) modeli, nispeten daha uzun bir eğitim süresine (0.4140 sn) sahip olmasına rağmen, beklenenin aksine hata değerleri oldukça yüksektir (RMSE: 51.9180, MAE: 12.6310, MAPE: %55.5202). Bu durum, ağın karmaşıklığının aşırı hale gelerek öğrenme sürecini olumsuz etkilediğini ve muhtemelen modelin yeterince iyi optimize edilemediğini ya da fazla öğrenme zorluğu yaşadığını düşündürmektedir.

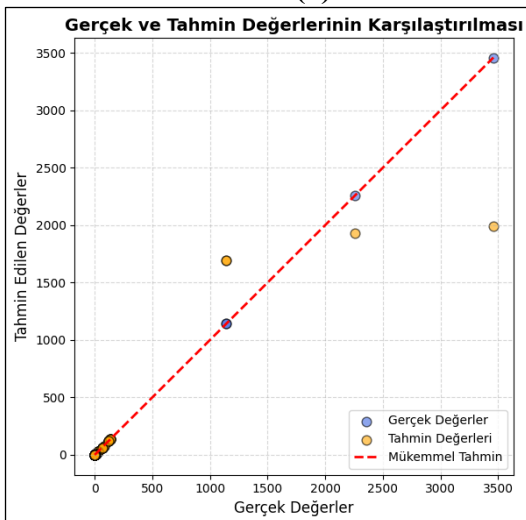
Sonuç olarak, bu tablo YSA modellerinde katman sayısının, nöron yapısının ve düzenleyici tekniklerin model başarımı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Optimal katman sayısı ve uygun Dropout uygulaması ile model hem yüksek doğruluk hem de genelleme başarısı elde edebilmektedir. Ancak aşırı karmaşık mimariler, eğitim süresi ve hata oranlarında dengesizliklere yol açarak performans kaybına neden olabilmektedir. Regresyon modelleri ile elde edilen tahminlerin gerçek yoğunluk değerleriyle karşılaştırılması Görsel 1'de verilmiştir.



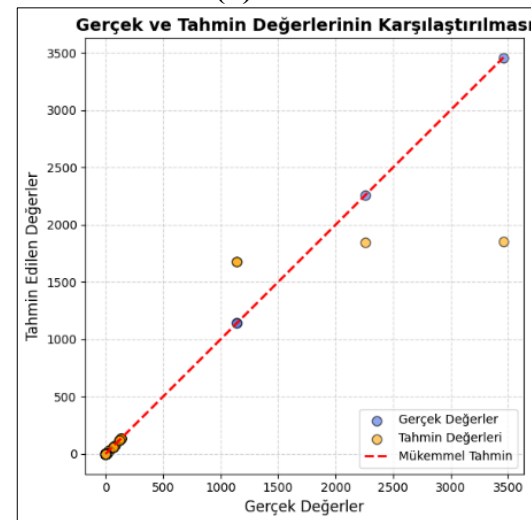
(a)



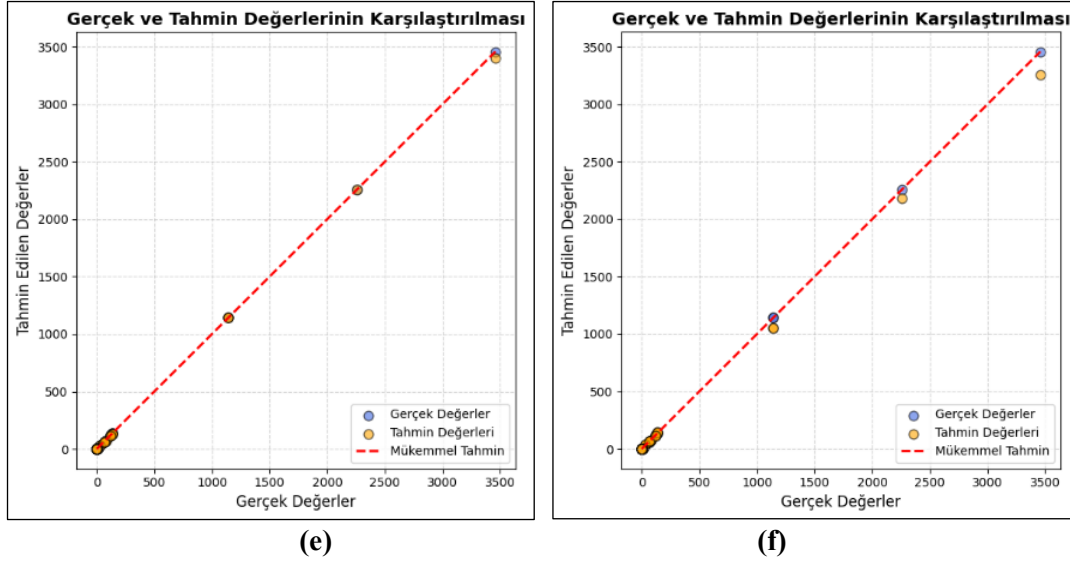
(b)



(c)



(d)



Görsel 1. Regresyon modelleri ile elde edilen tahminlerin gerçek yoğunluk değerleriyle karşılaştırılması: (a) MLP-4L(256-128-64-1), (b) MLP-3L(256-128-1), (c) MLP-3L(128-64-1), (d) MLP-3L(64-32-1), (e) MLP-3L-DO(256-128-64-1), (f) MLP-5L-DO(256-128-64-32-16-1)

Grafiklerde, altı farklı modelin gerçek ve tahmin edilen değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir grafikte, yatay ekseninde gerçek değerler, dikey ekseninde ise ilgili modelin tahmin ettiği değerler yer almaktadır. Kırmızı kesikli çizgi, ideal durumu yani tahminlerin tam olarak gerçek değerlere eşit olduğu durumu temsil etmektedir.

Noktaların bu çizgiye ne kadar yakın konumlandığı, modelin tahmin başarısını göstermektedir. Tüm modellerde noktalar genel olarak bu çizgiye oldukça yakın yer almakta, bu da modellerin yüksek doğrulukla tahmin yaptığını göstermektedir. Bazı grafiklerde birkaç uç değerinde hafif sapmalar görülse de, genel dağılım tahminlerin tutarlı ve güvenilir olduğunu işaret etmektedir. Bu durum, modellerin öğrenme sürecinde veri yapısını iyi kavradığını ve başarılı bir şekilde genelleme yaptığını göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapay sinir ağı (YSA) tabanlı modeller kullanılarak satış tahmini gerçekleştirilmiştir. Fiyat, ürün adı ve açıklama gibi çeşitli özniteliklerin kullanıldığı analizde, farklı mimarilere sahip çok katmanlı algılayıcı (MLP) modellerin tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan veri yapılarında derin sinir ağlarının yüksek başarı sağladığını ortaya koymuştur. MLP-4L (256-128-64-1) mimarili model, hem hata metrikleri hem de determinasyon katsayısı açısından en başarılı sonuçları vermiştir. Bu modelin RMSE, MAE ve MAPE değerlerinin oldukça düşük olması ve R^2 değerinin 1.0000 çıkması, tahminlerinin yüksek doğrulukla yapıldığını göstermektedir.

Öte yandan, Dropout gibi düzenleyici tekniklerin kullanıldığı MLP-3L-DO modeli de oldukça yüksek performans sergilemiş ve bu durum Dropout uygulamasının aşırı öğrenmeyi önlemede etkili olduğunu doğrulamıştır. Ancak, daha sade mimarilere sahip olan ve dar katmanlarla oluşturulan MLP-3L (64-32-1) gibi modellerin öğrenme kapasitesinin düşük olduğu ve başarımlarının belirgin biçimde azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde, daha derin ve karmaşık yapıya sahip MLP-5L-DO modelinin beklenenden düşük performans sergilemesi, aşırı karmaşıklığın öğrenme sürecine zarar verebileceğini göstermiştir.

Model tasarımı sürecinde, ne çok basit ne de aşırı karmaşık yapılar tercih edilmeli; katman ve nöron sayısı açısından dengeli bir yapı kurulmalıdır. Bu bağlamda, MLP-4L modeli en uygun yapı olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, overfitting'in önlenmesi ve modelin genellenebilirliğinin artırılması açısından Dropout gibi düzenleyici tekniklerin uygun oranlarda kullanılması önemli bir katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, ürün açıklamaları gibi metinsel verilerin daha etkin biçimde vektörleştirilmesi ve daha gelişmiş nitelik mühendisliği yaklaşımlarının uygulanması modelin başarımını artırabilir.

Son olarak, bu çalışmada kullanılan veri seti belirli bir zaman dilimini temsil ettiği için, gerçek zamanlı ve sürekli güncellenebilen veri kaynaklarının entegre edilmesi sistemin ticari değerini ve uygulanabilirliğini artıracaktır. Genel olarak değerlendirildiğinde, bu yaklaşım IKEA gibi büyük perakende zincirlerinin satış tahmin süreçlerinde YSA modellerinin etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda, benzer ürün çeşitliliğine ve müşteri profiline sahip diğer firmalar için de güçlü ve uygulanabilir bir karar destek yöntemi sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Lingitz, L., Gallina, V., Ansari, F., Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sihn, W. ve Monostori, L., *Lead time prediction using machine learning algorithms: A case study by a semiconductor manufacturer*, Procedia CIRP, 72, 1051-1056, 2018.
- [2] Bender, J. ve Ovtcharova, J., *Prototyping machine-learning-supported lead time prediction using AutoML*, Procedia Computer Science, 180, 649-655, 2021.
- [3] Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C. ve Thoben, K. D., *Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications*, Production & Manufacturing Research, 4(1), 23-45, 2016.
- [4] Lee, J., Bagheri, B. ve Kao, H. A., *A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems*, Manufacturing Letters, 3, 18-23, 2015.
- [5] Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M. ve Wahlster, W., *Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies*, 61, 2017.
- [6] Mayr, A., Kißkalt, D., Meiners, M., Lutz, B., Schäfer, F., Seidel, R. vd., *Machine learning in production—potentials, challenges and exemplary applications*, Procedia CIRP, 86, 49-54, 2019.
- [7] Masoumi, A. ve Bond, B. H., *Machine learning-based prediction of processing time in furniture manufacturing to estimate lead time and pricing*, European Journal of Wood and Wood Products, 83(1), 35, 2025.
- [8] Mirhoseini Taba Zavareh, S. M., Ghofrani, M. ve Masoumi, A., *The study of Effective Factors On Selecting Finish Type and Color Spectrum and Finishing Method In The*

Industry Of Home Furniture (Case Study: Tehran Province), Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 13(2), 147-160, 2022.

- [9] Friedman, J. H., *Greedy function approximation: a gradient boosting machine*, Annals of Statistics, 1189-1232, 2001.
- [10] Chen, T. ve Guestrin, C., *Xgboost: A scalable tree boosting system*, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785-794, 2016.
- [11] Emmert-Streib, F., Yang, Z., Feng, H., Tripathi, S. ve Dehmer, M., *An introductory review of deep learning for prediction models with big data*, Frontiers in Artificial Intelligence, 3, 4, 2020.
- [12] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O. vd., *Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions*, Journal of Big Data, 8(1), 53, 2021.
- [13] Nuhrija, M., *IKEA Indonesia Chair Product Dataset*, Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/mnuhrija/ikea-indonesia-chair-product> (Erişim tarihi: 02.08.2025)
- [14] Haykin, S., *Neural Networks and Learning Machines* (3rd ed.), Pearson Education, 2009.
- [15] Zhang, G., Patuwo, B. E. ve Hu, M. Y., *Forecasting with artificial neural networks: The state of the art*, International Journal of Forecasting, 14(1), 35-62, 1998.
- [16] Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I. ve Salakhutdinov, R., *Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting*, The Journal of Machine Learning Research, 15(1), 1929-1958, 2014.
- [17] Wang, J., Ma, Y., Zhang, L., Gao, R. X. ve Wu, D., *Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications*, Journal of Manufacturing Systems, 48, 144–156, 2018.
- [18] Chicco, D., Warrens, M. J. ve Jurman, G., *The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation*, PeerJ Computer Science, 7, e623, 2021.
- [19] Chai, T. ve Draxler, R. R., *Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature*, Geoscientific Model Development, 7(3), 1247-1250, 2014.
- [20] De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B. ve Rossi, F., *Mean absolute percentage error for regression models*, Neurocomputing, 192, 38-48, 2016.
- [21] Calasan, M., Aleem, S. H. A. ve Zobaa, A. F., *On the root mean square error (RMSE) calculation for parameter estimation of photovoltaic models: A novel exact analytical*

solution based on Lambert W function, Energy Conversion and Management, 210, 112716, 2020.

ÇOCUKLARDA SHOTBLOCKER UYGULAMASININ AĞRI ÜZERİNE ETKİSİ: BİR BİBLİYOMETRİK ANALİZ ÇALIŞMASI

Arş. Gör. Büşra KÜTÜK KURT

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, busra.kutuk@medeniyet.edu.tr.

ORCID ID: 0009-0007-2258-1415

Prof. Dr. Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, aynuraytekin25@hotmail.com-

ORCID ID: 0000-0002-4738-0747

ÖZET

Çocuklar genellikle iğne ile ilgili girişimleri, en acı verici ve en korkutucu tıbbi işlemler olarak tanımlamaktadır. Ağrı çok sayıda fizyolojik, psikolojik ve duygusal sonuçlara neden olabileceğinden tıbbi işlemler sırasında ağrı yönetimi son derece önemlidir. Pediatrik Anesteziye Uluslararası Rehber, çocuklarda tıbbi işlemlere bağlı akut ağrıyı önlemek ve etkili bir şekilde yönetmek için farmakolojik ve nonfarmakolojik yöntemleri önermektedir. Nonfarmakolojik yöntemler, tek başına ya da farmakolojik yöntemlerle birlikte kullanılması sonucu ağrının şiddetini azaltma yönünde etki gösterdiğinden özellikle son yıllarda kullanımı artmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, çocuklarda tıbbi işlem ağrısını yönetmek için çok sayıda farmakolojik ve nonfarmakolojik müdahale değerlendirilmiştir. Bu müdahalelerin çoğu yüksek maliyete sahip olması, uygulanma süresinin uzunluğu veya uygulama zorluğu gibi nedenlerle sağlık personeli tarafından tercih edilmemiştir. Bu bakımdan özellikle her zaman ebeveyn katılımının mümkün olmadığı klinik ortamlarda ebeveyninden bağımsız olarak kullanılabilecek ShotBlocker uygulaması gibi kullanımı kolay, pratik, invaziv olmayan, ucuz ve tekrar kullanılabilir bir nonfarmakolojik yöntemin etkinliğinin değerlendirilmesi önemlidir.

ShotBlocker, her yaş grubu için kullanılabilen, ilaç özelliği taşımayan, invaziv olmayan, küçük, yassı, at nalı (U şeklinde) şeklinde plastik bir araçtır. Ek olarak hızlı ve kolay uygulanabilme, önceden malzeme hazırlığı gerektirmeme ve ucuz bir yöntem olma özelliklerine sahiptir. Etki mekanizması, üzerindeki çıkıntıların deriye uyguladığı basıncın, daha küçük çaplı, daha hızlı sinir uçlarını uyarması şeklinde açıklanmaktadır. Bu uyarı, işlem sırasındaki daha yavaş olan ağrı sinyallerini geçici olarak bloke ederek, merkezi sinir sistemine olan kapıları kapatıp ağrıyı azaltabilmektedir. ShotBlocker aracı, araştırmalarda yaygınca yetişkin popülasyonda kullanılmıştır; çocuklarda iğne ile ilişkili ağrılı girişimlerde etkinliğinin incelendiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Önceki çalışmalarda ShotBlocker aracının tıbbi işlemlerde ağrıyı azaltıcı etkisi olduğunu kanıtlayan çalışmalara ek olarak etkisiz olduğunu bildiren çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmada, pediatrik hastalarda ağrılı tıbbi girişimlerde ShotBlocker uygulamasının ağrıya etkisine yönelik literatür incelenerek bibliyometrik olarak değerlendirme yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Akut ağrı, bebek, çocuk, ShotBlocker, tıbbi girişim.

1. GİRİŞ

Çocukluk döneminde iğne ile uygulanan tıbbi girişimleri son derece yaygın olup, bu girişimlere bağlı olarak ortaya çıkan ağrı çocuklarda en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biridir (İyi et al., 2024). Özellikle intramüsküler enjeksiyonların, çocuklar için sağlık hizmetlerinde yaşanan en can sıkıcı ve en ağrılı deneyimlerden biri olduğu bildirilmektedir (Yılmaz & Küçük Alemdar, 2019). Nitekim hastanede yatan çocuklar üzerinde yapılan çalışmalarda, enjeksiyon gibi iğne ile ilgili işlemlerin çocuklar tarafından en çok korkulan ve en fazla ağrı veren deneyimler arasında sayıldığı bulunmuştur (Hart & Bossert, 1994; Kortessluoma & Nikkonen, 2004). Birçok çocuk, iğne korkusu nedeniyle tıbbi işlemlerden kaçınma davranışı sergileyebilmektedir (Sokolowski et al., 2010). Çocuklarda anksiyete düzeyinin yüksek olması ise algılanan ağrı şiddetini artırarak ağrı ve korku döngüsünü beslemektedir (ENA, 2019). Bu nedenle, iğneyle yapılan işlemler sırasında ağrının etkin bir şekilde yönetilmesi, hem çocukların korku ve endişelerinin azaltılması hem de ileride gelişebilecek iğne fobisi ve sağlık hizmetlerinden kaçınmanın önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Ağrının kontrolü için kullanılmakta olan farmakolojik olmayan yöntemler kullanımı kolay, yan etkisi olmayan, ucuz ve zaman tasarrufu sağlayan yöntemlerdir (Erdogan & Aytekin Özdemir, 2021). Farmakolojik olmayan girişimler arasında dikkat dağıtma, soğuk uygulama veya basınç ve titreşim gibi fiziksel uyarı yöntemleri yaygın şekilde araştırılmaktadır. Kapı Kontrol Teorisi olarak bilinen kurama göre, enjeksiyon bölgesine aynı anda uygulanan ağrı oluşturmeyen dokunsal uyarılar, omurilik düzeyinde ağrı sinyallerinin iletimini engelleyerek ağrı algısını azaltabilmektedir (Cobb & Cohen, 2009). Bu teoriye dayanarak geliştirilen fiziksel girişimlerden biri de ShotBlocker adı verilen cihazdır. ShotBlocker, enjeksiyon bölgesine bastırıldığında deriye çoklu temas noktalarıyla basınç uygulayarak çevre duyuşal sinirlere geçici olarak uyarıp blokaj sağlayan, FDA onaylı plastik bir alettir ve invaziv olmayan yapısıyla tüm yaş gruplarında güvenle kullanılabilir (Çelik & Khorshid, 2015).

Yakın tarihli ve geniş örneklemli araştırmalar ShotBlocker'ın çocuklarda enjeksiyon ağrısını azaltmadaki etkinliğini destekleyen bulgular sunmaktadır (İyi et al., 2024; Sönmez Düzkaya et al., 2024; Aydın Yılmaz et al., 2024; Canbulat Sahiner et al., 2018; Çağlar et al., 2017). Pediatrik hastalarda tıbbi girişimlere bağlı ağrı yönetiminde ShotBlocker uygulamasının etkisinin incelenmesi hem çocuklarla çalışan sağlık profesyonelleri hem de aileler açısından önemlidir. Bu bakımdan uluslararası literatürde ShotBlocker'ın çocuklarda tıbbi işlem ağrısına etkisinin araştırıldığı çalışmaların incelenmesi, konuyla ilgili bilgi sahibi olmak ve ileri çalışmalara rehberlik etmesi açısından değerlidir. Bu bilgilerden yola çıkarak bu çalışmada, Cochrane Library arama motoru kullanılarak elde edilen pediatrik hastalarda tıbbi girişimlere bağlı ağrı yönetiminde ShotBlocker uygulamasının etkisinin incelendiği randomize kontrollü çalışmaların bibliyometrik analizinin yapılması amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Araştırmanın Tipi

Araştırma genel tarama modellerinden tekil tarama yöntemi ve doküman incelemesi tekniği ile yürütülmüş tanımlayıcı tiptedir.

Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri

- Çalışmanın erişime açık olması
- Çocukluk yaş gruplarında yapılmış olması

Verilerin Toplanması

Bu çalışmada, tarih aralığı belirtilmeksizin çocuklarda tıbbi işlemlerde ShotBlocker kullanımının ağrıya etkisine yönelik yapılmış çalışmalar, 10 Ağustos 2025 tarihinde İstanbul Medeniyet Üniversitesi erişim alt yapısı aracılığıyla Cochrane Library arama motoru üzerinde gelişmiş tarama seçeneği aracılığıyla taranarak incelenmiştir. Anahtar kelime olarak “pain, acute pain, pediatric pain, child, children, infant, neonates, babies, pediatric patients, young, shotblocker, painaway” kelimeleri kullanılmıştır. Toplam 17 araştırmaya ulaşılmış, dahil edilme kriterlerine uymayan, devam eden, yineleyen ve tam metin erişimi olmayan araştırmalar çıkarılmış (n=7) ve kalan 10 araştırma çalışmaya dahil edilmiştir. Araştırmalar; yılı, tipi, yöntemi ve sonuçları açısından incelenmiştir.

Araştırmanın Etik Yönü

Çalışma, geriye dönük inceleme modelinde yürütüldüğünden etik kurul onayı alınmamıştır.

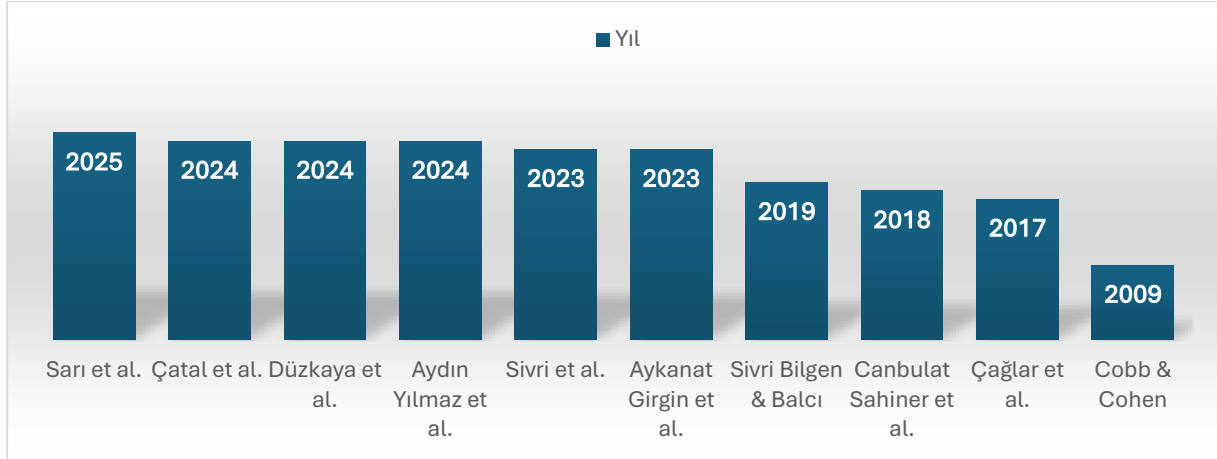
Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmada incelenen araştırmalar; yılı, tipi, yöntem ve sonuçları gibi değişkenler açısından incelenmiştir. Verilerin analizi SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 25 paket programı ve Microsoft Office 2016 programı kullanılarak sayı ve yüzde ile yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Cochrane Library arama motorunda taranan çocuklarda tıbbi işlemlerde ShotBlocker’ın ağrıya etkisinin incelendiği 10 araştırma ele alınmıştır. Bulgular; çalışma yılı, tipi, yöntem ve sonuçlar açısından değerlendirilmiştir (Çizelge 1).

Çocuklarda tıbbi işlem kaynaklı ağrının azaltılmasında ShotBlocker kullanımını inceleyen 10 çalışmanın 3’ü (%30) 2024 yılında, 2’si (%20) 2023 yılında, birer (%10) çalışma ise 2025, 2019, 2018, 2017 ve 2009 yıllarında yayımlanmıştır. Konuya ilişkin en eski çalışma 2009 yılında, en güncel çalışma ise 2025 yılında gerçekleştirilmiştir (Görsel 1).



Görsel 1. Araştırmaların yıllara göre dağılımı

Araştırmaların tamamı (%100) randomize kontrollü deneysel tasarımda yürütülmüştür. Ağrılı işlem türleri incelendiğinde, çalışmaların 6'sı (%60) intramüsküler (IM) enjeksiyon, 2'si (%20) subkutan insülin enjeksiyonu, 1'i (%10) venöz kan alma ve 1'i (%10) topuk kanı alma işlemleri sırasında uygulanmıştır. Katılımcı yaş gruplarına göre dağılım incelendiğinde, 2 çalışma (%20) yenidoğan grubunda, 8 çalışma (%80) ise 4–13 yaş aralığındaki çocuklarda yürütülmüştür. Ağrı değerlendirme araçları açısından bakıldığında, en sık kullanılan ölçek Görsel Analog Ölçeği (VAS) olup 4 çalışmada (%40) tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra, 3 çalışmada (%30) Wong–Baker Yüzler Ağrı Ölçeği, 2 çalışmada (%20) Yenidoğan Bebek Ağrı Ölçeği (NIPS) ve 1 çalışmada (%10) Çocuklar İçin Anksiyete ve Ağrı Ölçeği (CAPS) kullanıldığı belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çocuklarda ShotBlocker uygulamasının tıbbi işlem ağrısına etkisini inceleyen randomize kontrollü çalışmalar

Yazar, Yıl	Amaç	Yöntem	Ölçüm Araçları	Sonuç
Sarı et al., 2025	Okul çağındaki çocuklarda tetanoz-difteri aşısı sırasında ShotBlocker® ve Buzzy® uygulamalarının ağrı ve anksiyete üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi	Randomize kontrollü, deneysel n=138 (13 yaş) • Kontrol (n=46): Rutin tetanoz-difteri aşısı • Deney 1 (n=46): Buzzy • Deney 2 (n=46): ShotBlocker	• Visual Analog Scale (VAS)	Buzzy® ve ShotBlocker® cihazları, ağrı ve kaygıyı azaltmada faydalı olmuş ancak, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır.

Çatal et al., 2024	Sağlıklı term yenidoğanlarda topuk kanı alma işlemi sırasında mekanik vibrasyon ve ShotBlocker® uygulamasının ağrı düzeyi, ağlama süresi ve işlem süresi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi	Randomize kontrollü, deneysel n=105 (Term yenidoğan) • Kontrol (n=36): Rutin topuk kanı • Deney 1 (n=33): Mekanik vibrasyon • Deney 2 (n=36): ShotBlocker	• Neonatal Infant Pain Scale (NIPS)	Mekanik vibrasyon yöntemi ağrıyı azaltmada etkili bulunmuş; ShotBlocker® ise etkili bulunmamıştır.
Sönmez Düzkaya et al., 2024	6–12 yaş arası çocuklarda, pediatrik acil servislerde yapılan intramusküler enjeksiyon sırasında ShotBlocker® ve Helfer skin tap tekniğinin ağrı ve korku üzerindeki etkilerini belirlemek	Randomize kontrollü, deneysel n=177 (6-12 yaş) • Kontrol (n=59): Rutin IM enjeksiyon • Deney 1 (n=59): ShotBlocker • Deney 2 (n=59): Helfer skin tap tekniği	• Wong & Baker Yüzler Ağrı Ölçeği	ShotBlocker'ın ağrıyı azaltmada Helfer skin tap tekniğine göre daha etkili olduğu bulunmuştur.
Aydın Yılmaz et al., 2024	Çocuklarda intramusküler (IM) enjeksiyon sırasında yaşanan ağrı ve anksiyeteyi azaltmak için iki farklı farmakolojik olmayan yöntemin (ShotBlocker ve soğuk uygulama) etkinliğinin değerlendirilmesi	Randomize kontrollü, deneysel n=150 (7-12 yaş) • Kontrol (n=50): Rutin IM enjeksiyon • Deney 1 (n=50): Soğuk Uygulama • Deney 2 (n=50): ShotBlocker	• Wong & Baker Yüzler Ağrı Ölçeği	ShotBlocker, ağrıyı azaltmada soğuk uygulama ve kontrol grubundan daha etkili bulunmuştur.
Sivri Bilgen et al., 2023	Çocuklarda venöz kan alma sırasında ağrı ve anksiyeteyi azaltmada Buzzy, ShotBlocker ve DistrACTION Cards yöntemlerinin etkinliğini karşılaştırmak	Randomize kontrollü, deneysel n=242 (9-12 yaş) • Kontrol (n=61): Rutin venöz kan alma • Deney 1 (n=60): Buzzy • Deney 2 (n=61): ShotBlocker • Deney 3 (n=60): DistrACTION Cards	• Visual Analog Scale (VAS)	Buzzy ve DistrACTION Cards, ağrı azaltmada birbirine eşit ve ShotBlocker'dan daha etkili bulundu. ShotBlocker da kontrol grubuna göre anlamlı şekilde ağrıyı azaltmıştır.

Aykanat Girgin et al., 2023	6-12 yaş arası tip 1 diyabetli çocuklarda insülin enjeksiyonu sırasında manuel basınç ve ShotBlocker yöntemlerinin ağrı ve korku düzeylerini azaltmadaki etkinliğini değerlendirmek	Randomize kontrollü, deneysel n=90 (6-12 yaş) • Kontrol (n=30): Rutin SC insülin • Deney 1 (n=30): Manuel basınç • Deney 2 (n=30): ShotBlocker	• Wong & Baker Yüzler Ağrı Ölçeği	İki müdahale grubu (manuel basınç ve ShotBlocker) arasında ise ağrı puanları açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır. Kontrol grubuna göre etkili bulunmuştur.
Sivri Bilgen & Balcı., 2019	7-12 yaş arası çocuklarda IM penisilin enjeksiyonu sırasında Buzzy® ve ShotBlocker® cihazlarının ağrı azaltıcı etkilerini karşılaştırmak	Randomize kontrollü, deneysel n=150 (7-12 yaş) • Kontrol grubu (n=50): Rutin IM penisilin • Deney grubu 1 (n=50): Buzzy • Deney grubu 2 (n=50): ShotBlocker	• Visual Analog Scale (VAS)	Her iki yöntem de ağrıyı azaltmada faydalı bulunmuştur, ancak Buzzy® daha üstün bir etki göstermiştir.
Canbulat Sahiner et al., 2018	Tip 1 diyabetli çocuklarda insülin enjeksiyonu sırasında ağrıyı azaltmak için Buzzy ve ShotBlocker yöntemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi	Randomize kontrollü, deneysel n=60 (6-12 yaş) • Kontrol (n=20): Rutin SC insülin • Deney 1 (n=60): Buzzy • Deney 2 (n=61): ShotBlocker	• Children's Anxiety and Pain Scale (CAPS)	Hem Buzzy hem de ShotBlocker, insülin enjeksiyonu sırasında kontrol grubuna göre daha az ağrı hissetmiştir. ShotBlocker daha etkili bulunmuştur.
Çağlar et al., 2017	ShotBlocker'ın sağlıklı yenidoğanlarda hepatit B aşısı enjeksiyonuna bağlı ağrıyı azaltmadaki etkinliğini incelemek	Randomize kontrollü, deneysel n=100 (term yenidoğan) • Kontrol (n=50): Rutin Hepatit B aşısı • Deney (n=50): ShotBlocker	• Neonatal Infant Pain Scale (NIPS)	ShotBlocker cihazı, yenidoğanlarda hepatit B aşısı sırasında akut ağrıyı azaltmada etkili bulunmuştur.
Cobb & Cohen., 2009	4-12 yaş arası çocuklarda enjeksiyon sırasında ağrıyı azaltmak için kullanılan ShotBlocker'ın etkinliğini araştırmak	Randomize kontrollü, deneysel n=89 (4-12 yaş) • Kontrol (n=31): Rutin IM enjeksiyon • Deney 1 (n=29): Doğru ShotBlocker • Deney 2 (n=29): Ters ShotBlocker	• Visual Analog Scale (VAS)	ShotBlocker'ın çocuklarda aşı enjeksiyonları sırasında ağrıyı azaltmada etkili bir müdahale olduğunu desteklememiştir. 3 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Literatür taraması sonucunda, Çizelge 1’de yer alan 10 randomize kontrollü çalışmada ShotBlocker’ın pediatrik popülasyonda tıbbi işlem kaynaklı ağrı üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Sarı ve ark. (2025), okul çağındaki çocuklarda tetanoz-difteri aşısı sırasında Buzzy ve ShotBlocker kullanımının ağrı ve anksiyete düzeylerini azalttığını; ancak iki cihaz arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadığını bildirmiştir (Sarı et al., 2025). Çatal ve ark. (2024) ise sağlıklı term yenidoğanlarda topuk kanı alma işleminde mekanik vibrasyonun ağrıyı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığını ($p<0.05$), buna karşın ShotBlocker’ın ağrı kontrolünde etkili olmadığını rapor etmiştir (Çatal et al., 2024).

Sönmez Düzkaya ve ark. (2024), pediatrik acil serviste gerçekleştirilen intramüsküler enjeksiyonlarda ShotBlocker’ın Helfer skin tap tekniğine kıyasla daha yüksek etkinlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Sönmez Düzkaya et al., 2024). Aydın Yılmaz ve ark. (2024) ise intramüsküler enjeksiyonlarda ShotBlocker kullanımının hem soğuk uygulamaya hem de kontrol grubuna kıyasla daha düşük ağrı puanları ile ilişkili olduğunu bildirmiştir (Aydın Yılmaz et al., 2024). Sivri Bilgen ve ark. (2023), venöz kan alma işlemleri sırasında ShotBlocker’ın kontrol grubuna göre ağrıyı anlamlı düzeyde azalttığını; ancak Buzzy ve dikkat dağıtma kartlarına kıyasla daha düşük etkinlik gösterdiğini saptamıştır (Sivri Bilgen et al., 2023).

Aykanat Girgin ve ark. (2023), tip 1 diyabetli çocuklarda subkutan insülin enjeksiyonu sırasında manuel basınç uygulaması ile ShotBlocker’ın ağrı azaltıcı etkilerinin benzer düzeyde olduğunu, her iki yöntemin de kontrol grubuna üstünlük sağladığını rapor etmiştir (Aykanat Girgin et al., 2023). Sivri Bilgen ve Balcı (2019), intramüsküler penisilin enjeksiyonlarında ShotBlocker ve Buzzy’nin her ikisinin de ağrı düzeylerini anlamlı olarak azalttığını; ancak Buzzy’nin daha yüksek etki gösterdiğini bildirmiştir (Sivri Bilgen & Balcı, 2019). Canbulat Sahiner ve ark. (2018) ise tip 1 diyabetli çocuklarda insülin enjeksiyonu sırasında hem ShotBlocker hem de Buzzy’nin kontrol grubuna göre daha etkili olduğunu, bu çalışmada ShotBlocker’ın Buzzy’ye kıyasla üstün bulunduğunu ifade etmiştir (Canbulat Sahiner et al., 2018).

Çağlar ve ark. (2017), term yenidoğanlarda Hepatit B aşısı sırasında ShotBlocker’ın akut ağrı kontrolünde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Çağlar et al., 2017). Cobb ve Cohen (2009), 4–12 yaş arası çocuklarda aşı enjeksiyonları sırasında ShotBlocker’ın kontrol grubuna üstünlüğünü desteklememiş ve üç grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit etmemiştir (Cobb & Cohen, 2009).

Çalışmalarda uygulama protokolleri açısından heterojenlik mevcuttur. Çatal ve ark. (2024) ile Çağlar ve ark. (2017) cihazı işlem öncesinde yerleştirip işlem süresince kullanırken; Sarı ve ark. (2025), Sivri Bilgen ve ark. (2023), Aydın Yılmaz ve ark. (2024) ve Sivri Bilgen ve Balcı (2019) cihazı işlem esnasında uygulamaya başlamıştır (Çatal et al., 2024; Çağlar et al., 2017; Sarı et al., 2025; Sivri Bilgen et al., 2023; Aydın Yılmaz et al., 2024; Sivri Bilgen & Balcı, 2019). Aykanat Girgin ve ark. (2023) ile Canbulat Sahiner ve ark. (2018) enjeksiyonla eş zamanlı uygulama yapmıştır (Aykanat Girgin et al., 2023; Canbulat Sahiner et al., 2018). Cobb ve Cohen (2009) ise cihazın doğru ve ters yönde uygulanmasını karşılaştırmış, ancak her iki kullanım şekli de istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmamıştır (Cobb & Cohen, 2009). Bu

bulgular, ShotBlocker'ın etkinliğinin işlem türü, yaş grubu ve uygulama protokolü gibi değişkenlere duyarlı olabileceğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Cochrane Library arama motoru aracılığıyla yapılan literatür taraması sonucunda, pediatrik hastalarda ShotBlocker kullanımının tıbbi işlem kaynaklı ağrı üzerine etkisini inceleyen 10 randomize kontrollü çalışma belirlenmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde, intramüsküler enjeksiyon, subkutan enjeksiyon, venöz kan alma ve insülin uygulamaları sırasında kullanılan ShotBlocker aracının, çoğu araştırmada kontrol gruplarına kıyasla ağrı düzeylerini azaltmada etkili olduğu saptanmıştır. Ancak bazı çalışmalarda (örn; yenidoğan topuk kanı alma ve belirli aşı uygulamaları) istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilmemiştir. Elde edilen veriler, ShotBlocker'ın yenidoğanlar ve bebekler hariç olmak üzere daha büyük çocuklarda ve çeşitli klinik ortamlarda (aile sağlığı merkezleri, hastane poliklinikleri, pediatrik acil servisler, kan alma üniteleri) kullanılabilecek, noninvaziv, düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve genel olarak etkili bir nonfarmakolojik ağrı yönetim yöntemi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yöntemin etkinliğinin işlem türü, yaş grubu ve uygulama protokolü gibi faktörlere göre değişiklik gösterebileceği dikkate alınmalıdır. ShotBlocker'ın çocuklarda iğne ile ilişkili tıbbi işlemlerde ağrı yönetimi stratejilerinde rutin olarak kullanılmasının klinik uygulamalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak farklı yaş grupları ve işlem türleri için standardize edilmiş protokollerin oluşturulmasına, ayrıca uzun dönem etkilerinin ve hasta memnuniyeti üzerindeki sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Aykanat Girgin, B., Göl, İ., Gözen, D., Çarıkçı, F., & Kirmizibekmez, H. (2023). Effects of applications manual pressure and shotblocker to reduce needle-related pain and fear in children with type 1 diabetes mellitus. *Journal of Pediatric Nursing: Nursing Care of Children and Families*, 73, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2023.08.002>
- [2] Aydın Yılmaz, D., Alemdar, S. O. A., & Peker, H. N. (2024). Shotblocker or cold application; which one is more effective in reducing anxiety and pain associated with the intramuscular injection in children?: A randomized controlled trial. *Bezmialem Science*, 12(1), 98–106. <https://doi.org/10.14235/bas.galenos.2023.75010>
- [3] Canbulat Sahiner, N., Turkmen, A. S., Acikgoz, A., Simsek, E., & Kirel, B. (2018). Effectiveness of two different methods for pain reduction during insulin injection in children with type 1 diabetes: Buzzy and ShotBlocker. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 15(6), 464–470. <https://doi.org/10.1111/wvn.1232>
- [4] Çağlar, S., Büyükyılmaz, F., Coşansu, G., & Çağlayan, S. (2017). Effectiveness of ShotBlocker for immunization pain in full-term neonates: A randomized controlled trial. *The Journal of Perinatal & Neonatal Nursing*, 31(2), 166–171. <https://doi.org/10.1097/JPN.0000000000000256>

- [5] Çatal, R. A., Aytekin Özdemir, A., & Karatekin, G. (2024). Effect of mechanical vibration and ShotBlocker® on pain levels during heel lance in healthy term neonates: A randomized controlled trial. *Journal of Pediatric Nursing*, 79, e51–e59.
<https://doi.org/10.1016/j.pedn.2024.09.019>
- [6] Çelik, N., & Khorshid, L. (2015). The use of ShotBlocker for reducing the pain and anxiety associated with intramuscular injection: A randomized, placebo controlled study. *Holistic Nursing Practice*, 29, 261–271.
- [7] Cobb, J. E., & Cohen, L. L. (2009). A randomized controlled trial of the ShotBlocker for children's immunization distress. *The Clinical Journal of Pain*, 25(9), 790–796.
<https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e3181af1324>
- [8] Erdogan, B., & Aytekin Ozdemir, A. (2021). The effect of three different methods on venipuncture pain and anxiety in children: Distraction cards, virtual reality, and Buzzy® (Randomized Controlled Trial). *Journal of Pediatric Nursing*, 58, e54–e62.
<https://doi.org/10.1016/j.pedn.2021.01.001>
- [9] ENA Clinical Practice Guideline Committee, ENA Board of Directors Liaisons, Methodologist, & Staff Liaisons. (2019). Clinical practice guideline: Needle-related or minor procedural pain in pediatric patients. *Journal of Emergency Nursing*, 45, 437.e1–437.e32.
- [10] Hart, D., & Bossert, E. (1994). Self-reported fears of hospitalized school-age children. *Journal of Pediatric Nursing*, 9(2), 83–90.
- [11] İyi, Z., İşler, A., & Özer, Z. (2024). Effectiveness of ShotBlocker application on reducing the pain of needle-related procedures in children: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Pediatric Nursing*, 78, e438–e447.
<https://doi.org/10.1016/j.pedn.2024.08.006>
- [12] Kortessluoma, R. L., & Nikkonen, M. (2004). 'I had this horrible pain': The sources and causes of pain experiences in 4- to 11-year-old hospitalized children. *Journal of Child Health Care*, 8(3), 210–231.
- [13] Sarı, D., Erdem Onder, H., Taskiran, N., Yardimci, F., & Kislali Tas, S. (2025). Effects of Buzzy® and ShotBlocker® on pain and anxiety during immunization in children: A randomized controlled trial. *Pain Management Nursing*, 26(4), e325–e331.
- [14] Sivri, B. B., Balci, S., & Dolgun, G. (2023). The effect of 3 methods (Buzzy, ShotBlocker, and DistrACTION cards) used while taking blood samples from children with pain and anxiety: A randomized controlled trial. *Pediatric Emergency Care*, 39(8), 600–607. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000002866>
- [15] Sivri Bilgen, B., & Balci, S. (2019). The effect on pain of Buzzy® and ShotBlocker® during the administration of intramuscular injections to children: A randomized controlled trial. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 49(4), 486–494.
<https://doi.org/10.4040/jkan.2019.49.4.486>

- [16] Sokolowski, C. J., Giovannitti, J. A., Jr., & Boynes, S. G. (2010). Needle phobia: Etiology, adverse consequences, and patient management. *Dental Clinics of North America*, 54(4), 731–744.
- [17] Sönmez Düzkaya, D., Karakul, A., Akoy, İ., & Andi, S. (2024). Effects of ShotBlocker® and the Helfer skin tap technique on pain and fear experienced during intramuscular injection among children aged 6–12 years in pediatric emergency units: A randomized controlled trial. *International Emergency Nursing*, 76, Article 101502. <https://doi.org/10.1016/j.ienj.2024.101502>
- [18] Yilmaz, G., & Alemdar, D. K. (2019). Using Buzzy, Shotblocker, and bubble blowing in a pediatric emergency department to reduce the pain and fear caused by intramuscular injection: A randomized controlled trial. *Journal of Emergency Nursing*, 45(5), 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.jen.2019.04.003>

ADÖLESAN SAĞLIĞINI GELİŞTİRMeye YÖNELİK HEMŞİRELİK BAKIM YAKLAŞIMLARI

Arş. Gör. Büşra KÜTÜK KURT

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, busra.kutuk@medeniyet.edu.tr,
ORCID ID: 0009-0007-2258-1415

Prof. Dr. Aynur AYTEKİN ÖZDEMİR

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, aynuraytekin25@hotmail.com-
ORCID ID: 0000-0002-4738-0747

ÖZET

Dünya Sağlık Örgütü tanımına göre adölesan (ergenlik) dönem; biyokimyasal, fiziksel, sosyal ve ruhsal bakımdan hızlı büyümenin, gelişmenin ve olgunlaşmanın olduğu, 10-19 yaş arası kapsayan çocukluktan yetişkinliğe geçiş dönemidir. Adölesan dönem, sıklıkla toplumda yaşamın en sağlıklı evresi olarak değerlendirilir. Ancak birçok adölesan, erken dönemde önlenebilir nedenlerle hayatını kaybetmekte ya da çeşitli kronik hastalıklar ve bozukluklar nedeniyle acı çekmektedir. Bunun yanında yetişkin yaşlarda karşılaşılan birçok hastalığın köklerinin (tütün kullanımı, cinsel yolla bulaşan enfeksiyonlar, kötü beslenme ve egzersiz alışkanlıkları vb.) adölesan dönemde atıldığı bilinmektedir. Buna rağmen adölesan yaşlardaki çocukların/ gençlerin sağlığı için genellikle çok az çaba gösterilmektedir.

Hemşireler, bu sürecin dinamiklerine göre yapılandırdıkları adölesan sağlığı hizmetleri ile gençlerin sağlığını koruma ve geliştirmede kritik bir role sahip olan sağlık profesyonelleridir. Adölesanlar sağlığı hizmetleri kapsamında bedensel, psikolojik, sosyal ihtiyaçlarını birlikte ele alan bütüncül bir yaklaşım benimsenmesi bu dönemde etkili hemşirelik bakımının temelini oluşturur. Dünya Sağlık Örgütü de 2014 yılından bu yana sağlık profesyonellerinin ergenlere, çocuk ve yetişkin bakımından farklı, yaşlarına uygun ve özel gereksinimlerini karşılayan bir bakım sunulması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu da hemşirelerin ergen sağlığı alanında özel eğitim ve beceriler geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Hemşirelerin ergenlerle etkili iletişim kurma becerisine sahip olmasının yanı sıra ruh sağlığı, cinsel sağlık, madde kullanımı gibi ergenin sağlığı ve gelişimini tehdit eden önemli riskli alanlara yönelik olarak planlanmış bakım yaklaşımlarını hayata geçirmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, hemşirelerin ergenlere yönelik bazı riskli alanlarda uygulayabileceği bakım yaklaşımları ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler : Adölesan sağlığı, bakım, hemşirelik.

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü tanımına göre ergenlik dönemi yaklaşık 10-19 yaş arasını kapsayan, çocukluktan yetişkinliğe geçişte hızlı fiziksel, duygusal ve sosyal değişimlerin yaşandığı kritik bir süreçtir (WHO, 2018). Bu dönemde genç birey kimlik geliştirme, bağımsızlık kazanma ve akran ilişkilerini düzenleme gibi önemli gelişim görevleriyle karşı karşıyadır ve sosyal çevrenin etkisi önceki yaşam evrelerine göre çok daha belirgindir (SB, 2017). Ergenlikte ortaya çıkan birçok sağlık sorunu davranışsal risklerden kaynaklanabilir; bu nedenle iletişim, ergen sağlığı hizmetlerinin temel unsurlarından biri olup gençleri risklerden koruyacak koruyucu faktörlerin güçlendirilmesi ve riskli davranışların azaltılması odaklı bir yaklaşım benimsenmelidir (Svetaz et al., 2021). Etkili iletişim kurulamadığında ise gençlerin sağlık sorunlarını ifade etmesi güçleşebilir ve bu durum gerekli müdahalelerin zamanında yapılamamasına yol açarak ergenlerin gereksiz sıkıntı çekmesine neden olabilmektedir (McLaughlin et al., 2019). Bu bağlamda, hemşirelerin ergenlerle doğru ve güvene dayalı iletişim kurması, onların sağlık hizmetlerine katılımını artırmak ve sağlıklı gelişimlerini desteklemek açısından kritik önem taşımaktadır (Uzayisenga et al., 2024). Hemşirelerin ergenlerle etkili iletişim kurma becerisine sahip olmasının yanı sıra ruh sağlığı, cinsel sağlık, madde kullanımı gibi ergenin sağlığı ve gelişimini tehdit eden önemli riskli alanlara yönelik olarak planlanmış bakım yaklaşımlarını hayata geçirmesi oldukça önemlidir.

2. ADÖLESAN DÖNEMİNİN ÖZELLİKLERİ VE HEMŞİRELİKTE ÖNEMİ

Adölesan dönem, hızlı ve çok yönlü değişimlerin yaşandığı bir büyüme çağıdır. Bu çağdaki bireyler bir yandan biyolojik olarak olgunlaşır, bedenlerinde puberteyle birlikte hızlı büyüme, hormonal değişimler ve üreme kapasitesine geçiş görülürken; diğer yandan bilişsel ve duygusal olarak gelişim gösterirler. Somut düşünceden soyut düşünceye geçiş, kendi benliğini ve kimliğini keşfetme, duyguların dalgalanması ve kontrolünü öğrenme bu dönemin belirgin özelliklerindendir (Christie & Viner, 2005). Toplumsal açıdan ise adölesan, aileden kademeli olarak bağımsızlaşmaya başlar, akran ilişkileri ve arkadaş grupları ön plana çıkar, toplumsal rolleri deneme sürecine girer. Erikson'un psikososyal gelişim kuramına göre ergenliğin temel gelişim görevi "kimlik kazanmaya karşı rol karmaşasını çözmektir; adölesan, "Ben kimim?" sorusuna yanıt arayarak kendi değerlerini, inançlarını ve yaşam yönelimini oluşturmaya çalışır (Svetaz et al., 2021). Bu nedenle ergenlik, hem büyük bir potansiyel ve öğrenme dönemi, hem de belirsizlikler ve kırılganlıklar içeren bir süreçtir (Anta, 2023). Adölesan, bir yandan güçlü yönlerini ve yeteneklerini keşfederken, diğer yandan riskli davranışlarla (örn; sigara veya alkol kullanma, hızlı araç kullanma, korunmasız cinsel aktivite) sınırları zorlayabilir.

Hemşirelik bakımında adölesan döneminin özellikleri dikkate alınarak özel bir yaklaşım planlanmalıdır. Adölesanların klinik değerlendirmesi ve bakımı, hızlı gelişim değişimlerinin getirdiği bazı özel durumları içerir. Örneğin, adölesanlarda hastalık belirtileri çocuklardan veya yetişkinlerden farklı şekilde ortaya çıkabilir; aynı sağlık sorunu farklı yaşlarda farklı belirtiler verebilir. Bu da tanı ve tedavide zorluklar yaratabilir. Nitekim literatürde, ergen hastaların bakımında tüm tıbbi süreçlerin hızlı fiziksel, psikolojik ve sosyal değişim zemininde yaşandığı, bunun da kendine özgü hastalık modelleri, sıra dışı semptom sunumları ve özellikle de

benzersiz iletişim ve yönetim güçlükleri yarattığı vurgulanmaktadır (Christie & Viner, 2005). Adölesanlar ile çalışmak bu nedenle bazen güç olsa da uygun bilgi ve becerilerle donanmış sağlık profesyonelleri için son derece doyurucu bir alan olabilir.

Ergenlik döneminin hemşirelik bakımındaki önemini birkaç başlıkta özetlemek mümkündür:

Kimlik ve Otonomi: Adölesan, bağımsız bir birey olma yolunda ilerlerken sağlıkla ilgili kararlarında da söz sahibi olmak ister. Hemşire, gencin karar verme süreçlerine katılımını teşvik etmeli, onu sadece ebeveynlerinin uzantısı olarak görmemelidir. Bu geçiş sürecinde hemşire, başlangıçta ebeveyn odaklı yürüyen iletişim ve bakım sürecini zamanla ergenin aktif rol aldığı bir modele çevirebilmelidir (Koby Bulut, 2023).

Özgün Riskler ve Koruyucu Faktörler: Adölesan dönem, yeni risklerin belirdiği bir dönemdir. Dünya genelinde bu yaş grubunda en sık görülen sağlık riskleri arasında trafik kazaları, kendine zarar verme/intihar ve şiddet olayları ilk sıralardadır (WHO, 2025). Ayrıca depresyon, anksiyete gibi ruhsal sorunlar ve madde kullanımı ergen sağlığını tehdit eder hale gelebilir (Farley, 2020). Bu riskli davranışların bir kısmı “ergenlikte deneme” olarak görülse de ciddi sonuçlara yol açabilir. Hemşireler, ergenin yaşamındaki koruyucu faktörleri ve risk etmenlerini değerlendirmeli, gerektiğinde erken müdahale için diğer ekip üyeleriyle iş birliği yapmalıdır. Özellikle birinci basamakta ve okul sağlığında çalışan hemşireler, ergenlerin riskli davranışlarını belirleme ve yönlendirmede kilit rol oynar (Walsh et al., 2020).

Geçiş Dönemi ve Süreklilik: Ergenlik aynı zamanda sağlık hizmetlerinde çocuk bakımından yetişkin bakımına geçiş dönemidir. Hemşireler, geçiş programlarının planlanması ve uygulanmasında önemli rol oynar; gencin gelişimine uygun eğitimlerle kendi sağlığını yönetme becerisini kazandırmak, yeni bakıma adaptasyonunu kolaylaştırmak hemşirenin görevlerindendir (Anta, 2023).

Adölesan dönem çok boyutlu değişimlerin yaşandığı ve bireyin hem bugünkü hem de gelecekteki sağlığını şekillendiren bir süreçtir. Hemşireler, bu sürecin dinamiklerini iyi kavrayıp bakım planlarını buna göre uyarlayarak, gençlerin sağlığını koruma ve geliştirmede kritik bir rol oynar. Ergenin bedensel, psikolojik, sosyal ihtiyaçlarını birlikte ele alan bütüncül bir yaklaşım benimsemek, bu dönemde etkili hemşirelik bakımının temelidir (Salmerón Ruiz et al., 2017). Dünya Sağlık Örgütü de 2014 yılından bu yana sağlık profesyonellerinin ergenlere, pediatrik ve yetişkin bakımından farklı, yaşlarına uygun ve özel gereksinimlerini karşılayan bir bakım sunması gerektiğini vurgulamaktadır (Consejo Ejecutivo, 2016).

3. HEMŞİRELERİN GENÇLERLE ETKİLİ İLETİŞİM KURMA BECERİLERİ

Etkili iletişim, her yaş grubunda kaliteli bakımın anahtarı olmakla birlikte, adölesanlarla iletişim kurmak söz konusu olduğunda ayrı bir önem ve özen gerektirir. Adölesanlar ne çocuk ne de tam anlamıyla yetişkin oldukları için, hemşirenin iletişim tarzını bu duruma uyarlaması gerekir. İletişim kuramları açısından bakıldığında, birey odaklı iletişim yaklaşımı ergenlerle çalışırken özellikle yararlıdır. Bu yaklaşım, gencin deneyimlerini, psikososyal bağlamını ve bakış açısını anlamayı, kararı onunla paylaşmayı ve güvene dayalı bir terapötik ittifak

oluşturmayı hedefler (Martyn et al., 2013). Hem kuramsal hem de pratik olarak, ergenlerle terapötik iletişim kurabilmek özel bilgi ve beceriler gerektirir. Kobya Bulut (2023) ergen hasta ve ailesiyle etkili iletişim kurma konusunda hemşirelerin daha fazla eğitime ihtiyaç duyduğunu, adölesanla terapötik iletişimin başarılı olabilmesi için hemşirenin gencin bilişsel gelişim düzeyini ve kendini ifade dinamiklerini çok iyi kavraması gerektiğini vurgulamıştır (Kobya Bulut, 2023). Adölesanlar kendilerine çocuk muamelesi yapılmasından hoşlanmaz; onlara saygı gösterilmesi, fikirlerinin dinlenmesi güven oluşturur. Hemşirenin beden dili, ses tonu ve yaklaşımı da güven verici olmalıdır. Gencin sözünü kesmeden aktif dinleme, gerektiğinde sessiz kalarak düşünmesine fırsat tanıma ve empati gösterme gibi terapötik iletişim teknikleri, ergenlerle çalışırken çok etkilidir (Bell & Condren, 2016; Farley, 2020).

Adölesanlar ile iletişimde gizlilik ilkesinin önemi de vurgulanmalıdır. Gençler, paylaştıkları hassas bilgilerin hemen ailelerine iletileceğinden korkarlarsa sağlık personeline açılmaktan kaçınabilir. Bu nedenle hemşire, yasal ve etik sınırlar çerçevesinde, gence konuşulanların gizli kalacağını ancak hayati bir tehlike veya kendine/başkasına zarar riski olduğunda durumu ilgili kişilerle paylaşmak zorunda olduğunu en başta açıklamalıdır (Kelly et al, 2018). Amerikan Pediatri Akademisi, ergenlere sunulan hizmetlerde mahremiyetin temel olduğunu ve sağlık çalışanlarının gençlerle gizlilik konusunu açıkça konuşması gerektiğini belirtmektedir (ACOG, 2020). Adölesan sağlığı hizmetlerinde kimlik gelişiminin desteklenmesi, güçlü yönler vurgu yapılması ve adölesanın güçlendirilmesinin merkeze alınması önerilmektedir. Bu, iletişimde gencin olumlu özelliklerini takdir etmeyi ve ona güven vermeyi içerir (Svetaz et al.,2021).

4. ADÖLESANLARA YÖNELİK HEMŞİRELİK BAKIM YAKLAŞIMLARI

Ruh Sağlığı

Ergenlik dönemi, ruh sağlığı açısından hem risklerin hem de fırsatların yüksek olduğu bir süreçtir. Küresel veriler, 10-19 yaş arası gençlerin yaklaşık yedide birinin en az bir ruhsal bozukluk deneyimlediğini ve ergenlerdeki toplam hastalık yükünün %15'inin ruh sağlığı sorunlarından kaynaklandığını göstermektedir. En sık görülen sorunlar arasında depresyon, kaygı bozuklukları ve davranış bozuklukları yer almaktadır. Daha da endişe verici olan, gençlik çağındaki intihar oranlarının artış göstermesidir. Dünya genelinde 15-19 yaş grubunda intihar, üçüncü en sık ölüm nedenidir (WHO, 2024). Birçok ülkede ise 10-24 yaş aralığında ikinci en sık ölüm nedeni haline gelmiştir (NIMH, 2017).

Her adölesanın muayenesinde ruh sağlığı ile ilgili bir değerlendirme yapmak iyi bir uygulamadır. “Nasıl hissediyorsun? Son zamanlarda seni üzen ya da endişelendiren bir şey var mı?” diye sormakla iletişime başlanabilir. Düzenli sağlık kontrollerine ruh sağlığı tarama ölçeklerinin entegre edilmesi de önerilmektedir. Örneğin PHQ-9 Genç veya HEADSS/HEEADSSS gibi yapılandırılmış değerlendirmeler, depresyon belirtileri, ev/okul durumu, madde kullanımı, intihar düşünceleri gibi alanları sistematik olarak gözden geçirmeye yardımcı olabilmektedir (Svetaz et al, 2021). Her adölesan muayenesinde, belirgin bir şikâyet olmasa dahi ruh sağlığı değerlendirmesi yapılması önerilmektedir; çünkü adölesanlar fiziksel yakınmalarla gelseler bile altta yatan psikolojik sorunlarını dile getirmeyebilirler (Farley, 2020).

Ruh sağlığı konuları mahremdir ve ergenler genellikle yargılayıcı tepkilerden çekinir. Bu nedenle hemşire, gencin özel konuşmak istediği şeyler için uygun gizlilik ortamını sağlamalıdır. Yapılan bir çalışmada, ergenlerin akranlarına veya ebeveynlerine kıyasla hemşirelerle konuşurken kendilerini daha rahat ifade edebildikleri, bu nedenle hemşirenin resmi olmayan sohbetlerle bile bilgi toplayabileceği belirtilmiştir (Farley, 2020). Önemli olan, gencin hemşireyi bir destek figürü olarak görmesini sağlamak ve ilk etapta dirençle karşılaşılırsa sabırlı olmaktır. Hemşire, yaptığı değerlendirme sonucunda eğer bir ruh sağlığı sorunu olduğunu düşünürse, vakit kaybetmeden uygun adımları atmalıdır. Örneğin intihar riski sezdiğinde öncelikle güvenliğini sağlamalı, psikiyatri konsültasyonu ayarlamalıdır. Literatür, erken müdahalenin sonuçları belirgin biçimde iyileştirdiğini belirtir; dolayısıyla adölesanın belirtileri hafif bile olsa erken dönemde destek vermek önemlidir (Neufeld et al., 2017; Barry et al., 2017).

Cinsel Sağlık

Adölesan dönem, cinsel kimliğin ve cinsel ilgi/aktivitenin başladığı veya arttığı bir dönemdir. Adölesanlar ergenlikle birlikte bedensel olarak olgunlaşırken, cinsellik konusunda merakları artar ve deneyim arayışına girebilirler. Küresel eğilimler, ilk cinsel deneyim yaşının birçok toplumda giderek düştüğünü ve ergenlikte cinsel aktivitenin yaygın olduğunu göstermektedir (Sommart et al.,2013; Kaplan et al.,2013). Türkiye’de kültürel yapının etkisiyle ergenlerde cinsel deneyim oranları daha düşük olsa da araştırmalar, Türkiye’de 13-15 yaş arası ilk cinsel deneyim yaşayan gençlerin düşük bir oranda da olsa bulunduğunu ortaya koymaktadır (Başar et al., 2021).

Gençlerin cinsel sağlık konusunda doğru ve kapsamlı bilgiye erişimi sağlanmalıdır. Bu bilgiler, ergenin yaşına ve gelişimine uygun şekilde verilmelidir. Örneğin, erken adölesan dönemde daha çok vücutlarındaki değişimler, menstürasyon gibi konular ile mahremiyet eğitimi üzerinde durulurken; orta ve geç adölesan dönemde cinsel yolla bulaşan enfeksiyonlar, güvenli cinsel davranış, rıza kavramı ve sağlıklı ilişki dinamikleri gibi konular ele alınmalıdır. Sağlık profesyonellerinin ergenlere cinsel aktiviteyi geciktirme konusunda tavsiye vermesini, aktif olanlara ise etkin kontrasepsiyon ve kondom kullanımını mutlaka ele almasını önermektedir (UNESCO, 2018; WHO,2023).

Madde Kullanımı

Dünya genelinde ergenler arasında madde kullanımı önemli bir sağlık yükü oluşturmaya devam etmektedir; erken yaşta başlayan madde kullanımı, yaralanmalar, zehirlenmeler, riskli cinsel davranışlar ve okul terki gibi olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir (WHO, 2024). Türkiye’de adölesanlarda madde kullanımı konusunda yapılan araştırmalar, tütün ve alkol deneyimleme oranlarının özellikle lise döneminde arttığını ancak yasadışı madde kullanımının nispeten daha düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir. Örneğin, Türkiye’de 15 yaş altı gençler arasında sigara deneme oranının %10-15 aralığında olduğu, düzenli sigara kullanım oranının ise daha düşük olduğu saptanmıştır (Njie et al., 2023). Yüksek riskli gruplarda (sokakta yaşayan gençler, mülteci gençler, aile içinde madde bağımlılığı öyküsü olanlar vb.) madde kullanımına yönelik sürekli izleme ve önleme çalışmalarına ihtiyaç devam etmektedir.

Madde kullanımını önlemede hemşirelik yaklaşımı, sosyal-duygusal becerilerin güçlendirilmesine dayalı proaktif bir model olmalıdır (Renstrom et al., 2017). Okul ve birinci basamak hemşireleri adölesanlara yaşam becerileri eğitimi vererek adölesanların ders başarısında ani düşüş veya davranış değişiklikleri gibi erken uyarı bulgularını tespit etmeli ve psikososyal destek veya uzman tedavisine yönlendirmelidir (Pbert et al., 2011).

Kronik Hastalıklar

Kronik hastalıklı ergenlerin hemşirelik bakımında “bütüncül” yaklaşım, tıbbi tedavi ile birlikte psikososyal, gelişimsel ve aile odaklı desteği içerir. Hemşireler, ergenin normal gelişim sürecini sürdürmesini sağlamak için spordan sosyal hayata, eğitimi sürdürmekten yeni ortamlara uyuma kadar pek çok alanda planlama ve koordine edici rol üstlenirler. Örneğin epilepsi hastası bir gencin güvenli spor yapabilmesi için riskleri değerlendirip önlem alırken ona yüzme gibi aktivitelere katılma imkânı sağlarlar; kronik hastalığı olan bir gencin üniversiteye geçiş sürecinde ise yeni şehirdeki özel bakım merkezleri ve uzmanlar konusunda rehberlik ederler (Mororo et al., 2020). Hemşire, ekip içindeki “koordinatör” rolüyle tıbbi ekip, psikolog, sosyal hizmet uzmanı, diyetisyen ve aile arasında iletişimi sağlamalı ve adölesanın ihtiyaçlarına yönelik bireysel bakım planı geliştirmelidir (Fazel et al., 2021). Kronik hastalığı olan gençlerle çalışan hemşireler, sadece hastalığı yönetmekle kalmayıp gencin fiziksel, duygusal ve sosyal gereksinimlerini de entegre ederek, onların üretken, aktif ve doyumlu bir yaşam sürmelerine imkân tanıyan kapsamlı bir bakım sunmalıdır (Lindsey Reif et al., 2022).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Adölesan sağlığında hemşirelerin gençlerle etkili iletişimi ve bakım yaklaşımları, sağlıklı bir genç nüfus ve geleceğin sağlıklı yetişkinleri için vazgeçilmezdir. Türkiye’de ve dünyada bu alana ilgi giderek artmakta, yeni modeller ve stratejiler uygulanmaktadır. Hemşireler, gençlerin hem sağlık savunucusu hem eğiticisi hem sırdaşı hem de bakım vereni olarak çok yönlü bir görev üstlenirler. Bu görev, sabır, bilgi, empati ve etik duyarlılık gerektirir. Her gencin kendi hikayesi, değerleri ve hayalleri vardır; hemşirelik bakımı bu bireyselliğe saygı duyarak ve gencin güçlenmesini hedefleyerek planlanmalıdır. Böylece gençler, sağlık hizmetlerinde kendilerini daha görünür ve değerli hissedecek, bu da onların hizmet arama davranışlarını olumlu etkileyecektir. Unutulmamalıdır ki, onlara yapılan her yatırım, toplumun geleceğine yapılan bir yatırımdır. Hemşireler de bu yatırımın en önemli parçalarından biridir. Adölesan sağlığı alanında kültürel duyarlılığı yüksek, güncel bilgiye hâkim, iletişim becerileri güçlü ve etik ilkelere bağlı hemşireler yetiştirmek ve istihdam etmek hem Türkiye bağlamında hem de küresel ölçekte sağlıklı nesiller için kritik önemdedir. Hemşirelerin ergenlerle etkili iletişim kurma becerisine sahip olması, ruh sağlığı, cinsel sağlık, madde kullanımı ve kronik hastalıklar gibi ergenin sağlığı ve gelişimini tehdit eden önemli riskli alanlarda uygun bakım yaklaşımlarını hayata geçirmesi oldukça önemlidir.

6. KAYNAKLAR

- [1] American College of Obstetricians and Gynecologists. (2020). *Confidentiality in adolescent health care (ACOG Committee Opinion No. 803)*. Obstetrics & Gynecology, 135(4), e171–e177.
- [2] Anta, M. Á. Z. (2023). Transition in adolescents with chronic disease: It is an integral care. *Anales de Pediatría*, 99(6), 373–375. <https://doi.org/10.1016/j.anpede.2023.11.010>
- [3] Barry, C. T., Sidoti, C. L., Briggs, S. M., Reiter, S. R., & Lindsey, R. A. (2017). Adolescent social media use and mental health from adolescent and parent perspectives. *Journal of Adolescence*, 61, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2017.08.005>
- [4] Başar, F., Yavuz, B., & Sağlam, H. Y. (2021). Evaluation of the effectiveness of reproductive health education program given to adolescents. *The Journal of Pediatric Research*, 8(4), 469–478. <https://doi.org/10.4274/jpr.galenos.2021.99266>
- [5] Bell, J., & Condren, M. (2016). Communication strategies for empowering and protecting children. *Journal of Pediatric Pharmacology and Therapeutics (JPPT)*, 21(2), 176–184. <https://doi.org/10.5863/1551-6776-21.2.176>
- [6] Christie, D., & Viner, R. (2005). Adolescent development. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 330(7486), 301–304. <https://doi.org/10.1136/bmj.330.7486.301>
- [7] Consejo Ejecutivo. (2017). *Estrategia Mundial para la Salud de la Mujer, el Niño y el Adolescente (2016–2030): Salud del adolescente: Informe de la Secretaría* (EB140/9). Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/273363>
- [8] Farley, H. R. (2020). Assessing mental health in vulnerable adolescents. *Nursing*, 50(10), 48–53. <https://doi.org/10.1097/01.NURSE.0000697168.39814.93>
- [9] Fazel, M., Townsend, A., Stewart, H., Pao, M., Paz, I., Walker, J., Sawyer, S. M., & Sharpe, M. (2021). Integrated care to address child and adolescent health in the 21st century: A clinical review. *JCPP Advances*, 1(4), e12045. <https://doi.org/10.1002/jcv2.12045>
- [10] Kaplan, D. L., Jones, E. J., Olson, E. C., & Yunzal-Butler, C. B. (2013). Early age of first sex and health risk in an urban adolescent population. *Journal of School Health*, 83(6), 350–356. <https://doi.org/10.1111/josh.12036>
- [11] Kelly, M. S., Freed, H., Kubert, P., & Greibler, S. (2018). Depression education as primary prevention: The Erika's Lighthouse school-based program for high school students. *Advances in Social Work*, 18(4), 1206–1217.
- [12] Kobya Bulut, H. (2023). Hastanede yatan adölesanlar ve aileleri ile terapötik iletişim. In H. Çavuşoğlu (Ed.), *Çocuk ve Ailesi ile Terapötik İletişim* (1. baskı, s. 17–28). Türkiye Klinikleri.
- [13] Lindsey Reif, L. K., van Olmen, J., McNairy, M. L., Ahmed, S., Putta, N., Bermejo, R., Nugent, R., Paintsil, E., Daelmans, B., Varghese, C., Sugandhi, N., & Abrams, E. J. (2022). Models of lifelong care for children and adolescents with chronic conditions in

- low-income and middle-income countries: A scoping review. *BMJ Global Health*, 7, e007863. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-007863>
- [14] Renstrom, M., Ferri, M., & Mandil, A. (2017). Substance use prevention: Evidence-based intervention. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 23(3), 201–208.
- [15] Martyn, K. K., Munro, M. L., Darling-Fisher, C. S., Ronis, D. L., Villarruel, A. M., Pardee, M., Faleer, H. E., & Fava, N. M. (2013). Patient-centered communication and health assessment with youth. *Nursing Research*, 62(6), 383–393. <https://doi.org/10.1097/NNR.0000000000000005>
- [16] McLaughlin, C. A., Gordon, K., Hoag, J., Ranney, L., Terwilliger, N. B., Ureda, T., & Rodgers, C. (2019). Factors affecting adolescents' willingness to communicate symptoms during cancer treatment: A systematic review from the Children's Oncology Group. *Journal of Adolescent and Young Adult Oncology*, 8(2), 105–113. <https://doi.org/10.1089/jayao.2018.0111>
- [17] Mororó, D. D. S., Menezes, R. M. P., Queiroz, A. A. R., Silva, C. J. A., & Pereira, W. C. (2020). Nurse as an integrator in healthcare management of children with chronic condition. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 73(3), e20180453. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2018-0453>
- [18] National Institute of Mental Health. (2017). *Suicide*. <https://www.nimh.nih.gov/health/statistics/suicide.shtml>
- [19] Neufeld, S. A. S., Dunn, V. J., Jones, P. B., Croudace, T. J., & Goodyer, I. M. (2017). Reduction in adolescent depression after contact with mental health services: a longitudinal cohort study in the UK. *The lancet. Psychiatry*, 4(2), 120–127. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(17\)30002-0](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(17)30002-0)
- [20] Njie, G. J., Kirksey Jones, C., Jacques, N., Adetokun, A., Ross, J., Owens, A., ... Chambers, D. A. (2023). Changes in tobacco product use among students aged 13 to 15 years in 34 countries, Global Youth Tobacco Survey, 2012–2020. *Preventing Chronic Disease*, 20, 220410. <http://dx.doi.org/10.5888/pcd20.220410>
- [21] Pbert, L., Druker, S., DiFranza, J. R., Gorak, D., Reed, G., Magner, R., Sheetz, A. H., & Osganian, S. (2011). Effectiveness of a school nurse–delivered smoking-cessation intervention for adolescents. *Pediatrics*, 128(5), 926–936. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-0520>
- [22] Salmerón Ruiz, M. A., Casas Rivero, J., & Guerrero Alzola. (2017). Problemas de salud en la adolescencia: Patología crónica y transición. *Pediatría Integral*, XXI, 245–253.
- [23] Sommart, J., & Sota, C. (2013). The effectiveness of a school-based sexual health education program for junior high school students in Khon Kaen, Thailand. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 91, 208–214.
- [24] Svetaz, M. V., Miller, K., Gewirtz O'Brien, J., & McPherson, L. (2021). Adolescent health: Communication with adolescent patients. *FP Essentials*, 507, 11–18.

- [25] T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, Çocuk ve Ergen Sağlığı Daire Başkanlığı. (2017). *Birinci Basamak Sağlık Çalışanları İçin Ergen Sağlığına ve Sorunlarına Yaklaşım Cep Kitabı* (Yayın No. 1049). Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı.
- [26] UNESCO. (2018). *International technical guidance on sexuality education: An evidence-informed approach*. UNESCO Publishing.
- [27] Uzayisenga, J., Nshimiyimana, A., Kaberuka, G., Bazakare, M. L. I., Mbarushimana, V., Mukeshimana, M., & Nyirazinyoye, L. (2024). Adolescents' perspectives regarding their communication with reproductive health service providers in Rwanda: An explorative study. *BMC Health Services Research*, 24(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s12913-023-10526-3>
- [28] Walsh, S. D., Sela, T., De Looze, M., et al. (2020). Clusters of contemporary risk and their relationship to mental well-being among 15-year-old adolescents across 37 countries. *Journal of Adolescent Health*, 66(6), S40–S49. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2019.09.011>
- [29] World Health Organization. (2018). *Adolescent health*. <https://www.who.int/health-topics/adolescent-health/> (Erişim tarihi: 01 Nisan 2025)
- [30] World Health Organization. (2023). *Comprehensive sexuality education [Questions & Answers]*. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/comprehensive-sexuality-education>
- [31] World Health Organization. (2024, October 10). *Mental health of adolescents*. Retrieved April 24, 2025, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-mental-health>
- [32] World Health Organization. (2025). *Adolescent health*. https://www.who.int/health-topics/adolescent-health#tab=tab_2

YAPAY ZEKA DESTEKLİ SİSTEMLER İLE İLAÇ-İLAÇ ETKİLEŞİMLERİNİN ÖNLENMESİ

Doktor Öğretim Üyesi, TUĞÇE USKUR

Kırklareli Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Ana Bilim Dalı,
tugcebusraerdem@klu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-6626-4859>

ÖZET

Bir ilacın etkisinin başka bir ilaç tarafından kalitatif ve kantitatif olarak değiştirilmesi durumu ilaç-ilaç etkileşimi olarak tanımlanır. İlaç-ilaç etkileşimi istenmeyen yan etkilere veya tedavi başarısızlığına yol açabilir. Sinerjistik (etki artışı) veya antagonistik (etki azalması) olabilir. Bu nedenle, etkili kombinasyon tedavisini benimsemek ve tıbbi tedavinin kalitesini artırmak için ilaç-ilaç etkileşimlerine dikkat etmek büyük önem taşımakta ve bu konunun hekim, eczacı ve hasta için bilinmesi zorunludur.

Klinik tedavide, hastalıkların veya tıbbi durumların semptomlarını iyileştirmek veya hafifletmek için genellikle iki veya daha fazla ilaç türü gerekir çünkü kombinasyon tedavisinin monoterapiye göre daha yüksek iyileşme oranlarına sahip olma eğiliminde olduğuna dair birçok kanıt vardır. Ancak hastalar daha fazla ilaç türü aldıkça zararlı ilaç-ilaç etkileşimleri riski artar. Bununla birlikte, yeni bir ilaç onaylandıkça, farklı ilaç kombinasyonlarından kaynaklanan potansiyel ilaç-ilaç etkileşimleri katlanarak artacaktır.

Bu kritik noktada teknolojinin sunduğu olanaklar devreye girmekte özellikle gelişmiş ülkelerde hasta güvenliğini artırma amacıyla geliştirilen yeni nesil tıbbi bilgi sistemleri, ilaç reçetelemede hekimlere uyarılar ve hatırlatmalar sunan yapay zeka destekli klinik karar destek sistemlerinden (Clinical Decision Support Systems, CDSS) yararlanılmaktadır.

Türkiye’de kullanılan e-Reçete, Medula ve çeşitli Hastane Bilgi Yönetim Sistemleri, sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesi açısından büyük bir gelişme olsa da, ilaç etkileşimi uyarı sistemlerinin entegrasyonu konusunda eksikliklere sahiptir. Söz konusu bu sistemlerde yer alan etkileşim bildirimleri genellikle yüzeysel, sınırlı ve bağlamsızdır; hastanın cinsiyeti, yaşı, karaciğer/böbrek fonksiyonu, eşzamanlı hastalıkları, sigara/alkol/madde kullanımı ya da

farmakogenetik profili gibi bireysel faktörler çoğu zaman dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle, yapay zeka tabanlı algoritmaların bu sistemlere entegre edilmesi, ilaç güvenliğinde kişiselleştirilmiş risk yönetimi açısından büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu entegrasyonun başarıya ulaşabilmesi için, farmakologlar, klinisyenler ve yazılım geliştiricilerin birlikte çalıştığı multidisipliner ekipler oluşturulmalı; algoritmalar yalnızca teorik bilgiye değil, gerçek klinik senaryolara göre de şekillendirilmelidir.

Sonuç olarak, ilaç-ilaç etkileşimlerinin öngörülebilir, değerlendirilebilir ve yönetilebilir hale gelmesi için yapay zeka destekli karar sistemlerinin yaygınlaştırılması, yalnızca teknolojik bir tercih değil, hasta güvenliği açısından bir gerekliliktir.

Anahtar Kelimeler : İlaç-ilaç etkileşimi, e-reçete, medula, yapay zeka

DOKU PERFÜZYONU ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİ OLAN HISTİDİN-AKT1 VE TAURİN-HIF-1A ETKİLEŞİMLERİNİN İN SİLİCO HESAPLAMALI İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, REŞAT DİKME

Harran Üniversitesi, rdikme@harran.edu.tr-0000-0001-9157-7830

ÖZET

Amino asit ve proteinler hücrel sinyalizasyon ve düzenlemede temel roller üstlenmektedir. Histidin aminoasidi antioksidan özellikleri, metal iyon bağlama kapasitesi ve histamin/karnosin sentezi yoluyla PI3K/AKT/mTOR gibi kinaz yollarını dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Bu etkiler hücre büyümesi, stres yanıtı ve yara iyileşmesi gibi fizyolojik süreçlerde kritik rol oynar. AKT1 (Protein Kinaz B, PKB) proteini ise hücre büyümesi, hayatta kalma ve anjiyogenez gibi süreçlerde merkezi bir rol oynayan bir serin/treonin kinaz olup doku perfüzyonunun düzenlenmesinde kritik öneme sahiptir.

Taurin ise antioksidan, anti-inflamatuar ve hücre koruyucu özellikleriyle bilinen, yaygın bir biyojenik amino asittir. HIF-1 α (Hipoksi İndüklenebilir Faktör 1 alfa) proteini, hücrelerin düşük oksijen koşullarına adaptasyonunda merkezi bir rol oynar ve özellikle glikoliz, anjiyogenez ve hücrel hayatta kalma gibi süreçleri düzenler.

Bu çalışmada, histidin amino asidinin AKT1 proteiniyle, taurin amino asidinin HIF-1 α sinyal yoluyla olası etkileşimleri hesaplamalı (in silico) yöntemlerle araştırılmıştır. Bu çalışmalar, hücrel sinyal iletimi ve metabolik süreçlerin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında moleküler kenetleme (docking), moleküler dinamik (MD) simülasyonları ve bağlanma serbest enerjisi hesaplamaları kullanılarak bu etkileşimlerin bağlanma afinitesi ve kararlılığı incelenmiştir.

Yapılan çalışmada histidinin AKT1'in ATP bağlanma cebine -4,5 kcal/mol'lük düşük afinite ile bağlandığı ve 30 ns'lik MD simülasyonunda yalnızca geçici etkileşimler sergilediği bulunmuştur. Taurin de HIF-1 α 'yı düzenleyen prolin hidroksilaz-2 (PHD2) enzimine -5,8 kcal/mol'lük zayıf bir afinitesiyle bağlanmıştır.

Serbest enerji analizleri, bu bağlanmaların termodinamik olarak zayıf olduğunu ve histidin ile taurinin doğrudan güçlü inhibitör etkiler göstermediğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, bu amino asitlerin hücrel sinyal yollarındaki etkilerinin doğrudan bağlanmadan ziyade dolaylı mekanizmalarla olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Histidin, AKT1, Taurin, HIF-1 α , In Silico, Moleküler Doking

1. GİRİŞ

Amino asitler yalnızca proteinlerin yapıtaşları değil, aynı zamanda PI3K/AKT/mTOR ve hipoksiye yanıt (HIF) gibi kritik sinyal yollarını düzenleyen moleküllerdir (1,2). AKT1, serin/treonin kinaz ailesine ait olup hücre büyümesi, metabolizması, hayatta kalma, damar bütünlüğü ve anjiyogenez gibi süreçlerde merkezi bir rol oynayıp doku perfüzyonunun düzenlenmesinde kritik öneme sahiptir (3). Son yıllarda, AKT1'in çeşitli küçük moleküllerle etkileşimini inceleyen moleküler docking çalışmaları, bu proteinin farmakolojik olarak hedeflenmesinin yeni tedavi stratejileri geliştirilmesinde umut vadettiğini göstermiştir (3-5). Histidin, imidazol yan zincirine sahip, pozitif yüklü bir amino asittir ve enzim katalizinde ve metal iyon koordinasyonunda görev alır (6). Önceki çalışmalar histidinin ayrıca yara iyileşmesini ve hücresel fosforilasyon süreçlerini düzenleyebileceğini göstermiştir (7). Ancak histidinin AKT1'e doğrudan bağlanıp bağlanmadığı bilinmemektedir.

L-histidin (histidinin biyolojik olarak aktif formu) ve AKT1 proteini arasındaki etkileşimin doku perfüzyonu üzerindeki potansiyel etkilerini incelemek amacıyla yapılacak moleküler docking çalışmaları, hücresel sinyal iletimi ve metabolik süreçlerin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, L-histidin gibi biyolojik olarak aktif moleküllerin AKT1 ile olası etkileşimlerinin in silico yöntemlerle araştırılması, doku perfüzyonunu artırmaya veya düzenlemeye yönelik yeni yaklaşımların önünü açabilir.

HIF-1 α (Hipoksi İndüklenebilir Faktör 1 alfa), hipoksiye yanıtın temel transkripsiyon faktörü olup tümör ilerlemesinde kritik rol oynar (8). HIF-1 α , hücrelerin düşük oksijen koşullarına adaptasyonunda merkezi bir rol oynar ve özellikle glikoliz, anjiyogenez ve hücresel hayatta kalma gibi süreçleri düzenler. Bu protein, prolin hidroksilaz enzimleri (özellikle PHD2) tarafından hidroksillenerek proteazomal yıkıma yönlendirilir (9).

Taurin ise kükürt içeren bir amino asit türevi olup antioksidan, hücre koruyucu özellikleriyle bilinir (10). Hesaplamalı çalışmalar taurinin PHD2 ile etkileşime girebileceğini ve HIF-1 α stabilitesini etkileyebileceğini öne sürmüştür, ancak doğrudan bağlanma kanıtı sınırlıdır (11). Taurin ve HIF-1 α proteini arasındaki etkileşim, hücresel metabolizma, oksijen dengesi ve doku sağlığı açısından önemli biyolojik sonuçlar doğurabilir.

Son çalışmalar, taurin'in HIF-1 α sinyal yollarını inhibe ederek glikolizle ilişkili enzimlerin ekspresyonunu ve iskelet kasında glikolizi azalttığını, bu yolla enerji metabolizmasını düzenlediğini ve laktat üretimini baskıladığını göstermiştir (12). Ayrıca, taurin'in HIF-1 α /VEGFA ve Wnt/ β -katenin yollarını düzenleyerek kıkırdak hücrelerinin canlılığını artırdığı ve damar gelişimini desteklediği gösterilmiştir (13). Beyin kılcal damar endotel hücrelerinde ise, yüksek glikoz koşullarında HIF-1 α aktivasyonu taurinin taşınmasını azaltmakta, HIF-1 α ve VEGF inhibitörleri ise bu etkiyi tersine çevirebilmektedir (14).

Bu bilgiler ışığında, histidin-AKT1 ve taurin-HIF-1 α arasındaki olası moleküler etkileşimlerin in silico yöntemlerle incelenmesi, metabolik hastalıklar, doku onarımı ve oksijen dengesiyle ilişkili yeni tedavi hedeflerinin belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada moleküler yerleştirme (docking) analizi, moleküler dinamik (MD) simülasyonları, bağlanma serbest enerjisi hesaplamaları ve hidrojen bağı etkileşim analizleri

gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler yalnızca bilgisayar ortamında yapılarak in vitro ya da in vivo doğrulama bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda histidin'in AKT1'e, taurin'in-HIF-1 α 'e bağlanma eğilimi ve bu etkileşimin kararlılığı tartışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (MATERYAL VE YÖNTEM)

2.1. Protein ve Ligand Hazırlığı

İnsan AKT1 kristal yapısı (PDB ID: 3O96) Protein Veri Bankası'ndan alınmıştır. Histidinin fizyolojik formu PubChem veritabanından elde edilip AutoDock formatına dönüştürülmüştür. Histidin ligandı olarak L-histidin amino asidi kullanıldı. Taurin analizi için HIF-1 α 'yı düzenleyen PHD2 enziminin kristal yapısı (PDB ID: 3HQR) kullanıldı (9). 3HQR yapısı, PHD2'nin aktif bölgesinde bir küçük molekül (2-oksoglutarat analogu) bağlı halde çözülmüş yapıdır. Protein ve ligand dosyaları AutoDock Vina yazılımının gerektirdiği PDBQT formatına dönüştürüldü (AutoDock Tools veya PyRx arayüzü kullanıldı).

2.2. Moleküler Kenetleme (Docking)

Docking işlemleri PyRx arayüzü üzerinden AutoDock Vina yazılımıyla gerçekleştirilmiştir (15). AKT1 için ATP bağlanma cebi, PHD2 için Fe(II)-kofaktör bölgesi hedeflenmiştir. Taurin sonuçları α -ketoglutarat ve hipotaurin ile kıyaslanmıştır (11).

2.3. Moleküler Dinamik (MD) Simülasyonları

Docking sonrasında, ligand-protein komplekslerinin stabilitesini değerlendirmek üzere moleküler dinamik simülasyonları uygulanmıştır. MD simülasyonları, ligandın bağlanma bölgesinde kalma eğilimini ve kompleksin su ortamındaki doğal davranışını gözlemleyerek, docking sonucu elde edilen pozun gerçekçi olup olmadığını doğrulamak için kritik bir adımdır. MD simülasyonları GROMACS 2020 (16) ve CHARMM27 kuvvet alanı kullanılarak yapılmıştır. Sistemler TIP3P su modeliyle solvata edilip iyonlarla nötrale edilmiştir. Dengeleme sonrası 30 ns simülasyon yapılmış, RMSD, RMSF ve gyrasyon yarıçapı hesaplanmıştır.

2.4. Bağlanma Serbest Enerjisi Hesaplamaları

MD simülasyonundan elde edilen kararlı yapı örneklerine uygulanan MM-PBSA (Moleküler Mekanik Poisson-Boltzmann Yüzey Alanı) yöntemi ile aminoasit-protein kompleksinin bağlanma serbest enerjisi hesaplandı. MM-PBSA analizi, kompleksin serbest enerjisi ile ayrı ayrı protein ve ligandın serbestenerjilerinin farkını hesaplayarak ΔG değerini verir. MM-PBSA yöntemiyle 10 ns'lik dengelenmiş yapılar üzerinden bağlanma serbest enerjisi ($\Delta G_{\text{binding}}$) hesaplanmış, van der Waals, elektrostatik ve çözünürlük katkıları analiz edilmiştir (17).

2.5. Etkileşim Analizleri

LigPlot+ ve Discovery Studio Visualizer kullanılarak hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler belirlenmiş, MD simülasyonu boyunca bu etkileşimlerin sürekliliği incelenmiştir (18).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Histidin–AKT1 Docking ve MD Sonuçları

Histidin AKT1'in ATP bölgesine $-4,5$ kcal/mol'lük skorla bağlanmış, yalnızca tek hidrojen bağı kurabilmiştir. MD simülasyonunda ligandın RMSD değeri artmış, bağlanma cebinden kısmen ayrıldığı gözlenmiştir. MM-PBSA analizi zayıf bir bağlanma göstermiştir. Etkileşim haritaları histidinin stabil bir inhibitör olmadığını desteklemiştir.

3.2. Taurin–PHD2 Docking ve MD Sonuçları

Taurin PHD2'nin kofaktör bölgesine $-5,8$ kcal/mol skorla bağlanmış olup literatürdeki α -ketoglutarat ($-11,8$ kcal/mol) ve hipotaurinden ($-7,5$ kcal/mol) daha düşük afinite göstermiştir. Önceki MD analizleri hipotaurinin PHD2–HIF-1 α etkileşimini zayıflatıldığını, taurinin etkisinin ise çok daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Etkileşim diyagramları taurinin kritik kalıntılarla zayıf temas kurduğunu doğrulamaktadır.

3.3. Termodinamik Profil

Histidin ve taurinin bağlanma enerjileri zayıf olup (ΔG yaklaşık sıfıra yakın), van der Waals katkıları küçük, polar çözünürlük maliyetleri yüksek bulunmuştur. Bu durum düşük bağlanma gücünü açıklamaktadır.

3.4. Değerlendirme-Tartışma

Bu çalışmada histidin–AKT1 ve taurin–HIF-1 α etkileşimleri kapsamlı in silico yöntemlerle analiz edilmiş ve her iki amino asidin de hedef proteinlerine zayıf bağlandığı gösterilmiştir. Moleküler kenetleme, dinamik simülasyonlar ve MM-PBSA serbest enerji analizleri tutarlı sonuçlar vermiştir. Bu bulguların literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

3.4.1. Histidin–AKT1 Etkileşimi

AKT1 proteini, PI3K/AKT/mTOR sinyal yolunun merkezinde yer almakta olup, hücre büyümesi, apoptozun engellenmesi ve metabolik süreçlerin düzenlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (1). Literatürde güçlü AKT inhibitörleri (örneğin MK-2206) -30 kcal/mol seviyelerine varan bağlanma enerjileri gösterirken (4), histidin için elde edilen $-4,5$ kcal/mol'lük skor oldukça zayıf bir etkileşim olduğunu göstermektedir. MD simülasyonu sırasında histidinin aktif bölgeden kısmen uzaklaşması, bağlanmanın termodinamik olarak da istikrarsız olduğunu doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, histidinin tek başına AKT1'i doğrudan inhibe etme potansiyelinin düşük olduğunu, olası biyolojik etkilerinin ise daha çok yukarı akışta PI3K aktivitesini veya oksidatif stres yanıtlarını modüle ederek dolaylı yoldan olabileceğini düşündürmektedir (7).

3.4.2. Taurin–HIF-1 α Etkileşimi

Taurin, hipoksi yanıtı ve hücrel koruma mekanizmalarında rol oynayan kükürt içeren bir amino asit türevidir. HIF-1 α 'nın stabilitesi, oksijen-bağımlı prolin hidroksilazlar tarafından düzenlenmekte olup bu enzimler α -ketoglutarat gibi kofaktörlerle hidroksilasyon sürecini

yürütmektedir (9). Çalışmamızda, taurin PHD2'nin kofaktör cebine α -ketoglutarata kıyasla çok daha düşük bir afiniteyle bağlanmış ($-5,8$ kcal/mol), MD simülasyonlarında kararlı bir kompleks oluşturamamıştır. Daha önce yapılan çalışmalar, taurinin biyolojik öncülü olan hipotaurinin PHD2-HIF-1 α kompleksini daha belirgin şekilde zayıflattığını göstermektedir (11). Bulgularımız, taurinin HIF-1 α 'yı doğrudan stabilize etme potansiyelinin sınırlı olduğunu ve antioksidan/anti-inflamatuar etkilerinin dolaylı mekanizmalarla gerçekleşebileceğini ortaya koymaktadır.

3.4.3. Moleküler Mekanizmalar ve Klinik Yansımalar

Bu sonuçlar, amino asitlerin sinyal proteinleri üzerindeki etkilerinin her zaman doğrudan bağlanma ile açıklanamayacağını göstermektedir. Histidin ve taurinin in vivo veya klinik çalışmalarda gösterilen faydalı etkileri (örneğin yara iyileşmesinin hızlanması, hipoksiye karşı hücrel koruma) daha çok redoks dengesi, membran stabilitesi ve yukarı akış sinyal proteinlerinin modülasyonu ile ilişkili olabilir (8, 10). Hesaplamalı analizler, küçük ve polar amino asitlerin büyük kinaz cepleri veya metal kofaktör bölgelerinde güçlü inhibitörlük göstermediğini desteklemektedir.

3.4.4. Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmanın yalnızca in silico yöntemlerle yürütülmüş olması bir sınırlılıktır. Bulguların biyolojik geçerliliğini doğrulamak için:

- In vitro enzim aktivite deneyleri ile histidin ve taurinin AKT1 kinaz aktivitesi ve PHD2 enzim fonksiyonu üzerindeki etkileri ölçülmelidir.
- Hücre kültürü modelleri kullanılarak PI3K/AKT/mTOR ve HIF-1 α yollarındaki dolaylı etkiler araştırılmalıdır.
- Histidin ve taurinin kimyasal türevleri tasarlanıp, daha hidrofobik veya çok noktadan bağlanabilen moleküller geliştirilerek afinite artırılabilir.
- Moleküler dinamik süresi 100 ns ve üzerine çıkarılarak uzun dönem kararlılık daha net değerlendirilebilir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, histidin-AKT1 ve taurin-HIF-1 α etkileşimlerinin in silico yöntemlerle zayıf ve kararsız olduğunu, dolayısıyla bu amino asitlerin doğrudan inhibitör potansiyellerinin düşük olabileceğini göstermiştir. Bulgular, bu moleküllerin sinyal proteinlerini doğrudan bloke etmekten ziyade dolaylı düzenleyici mekanizmalarla etkili olabileceğine işaret etmektedir. Gelecekte, yapısal analogların tasarlanması ve in vitro/in vivo deneylerle hesaplamalı öngörülerin doğrulanması, ilaç keşfi ve biyolojik mekanizmaların aydınlatılması açısından kritik önem taşıyacaktır.

KAYNAKÇA

1. Dibble, C. C., & Cantley, L. C. (2015). Regulation of mTORC1 by PI3K signaling. *Trends in Cell Biology*, 25(9), 545-555. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2015.06.002>
2. Gao, P., Yang, C., Nesvick, C. L., Feldman, M. J., Sizdahkhani, S., Liu, H., Chu, H., Yang, F., Tang, L., Tian, J., Zhao, S., Li, G., Heiss, J. D., Liu, Y., Zhuang, Z., & Xu, G. (2016). Hypotaourine evokes a malignant phenotype in glioma through aberrant hypoxic signaling. *Oncotarget*, 7(12), 15200-15214. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.7710>
3. Wang, Z., Wang, X., Guo, Z., Liao, H., Chai, Y., Wang, Z., & Wang, Z. (2022). In silico high-throughput screening system for AKT1 activators with therapeutic applications in sepsis acute lung injury. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, 1050497. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.1050497>
4. Gu, X., Wang, Y., Wang, M., Wang, J., & Li, N. (2019). Computational investigation of imidazopyridine analogs as protein kinase B (Akt1) allosteric inhibitors by using 3D-QSAR, molecular docking and molecular dynamics simulations. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 39(1), 63-78. <https://doi.org/10.1080/07391102.2019.1705185>
5. Humaedi, A., Kurniawan, M., & Halimatushadyah, E. (2024). Potential inhibition of AKT1 and P53 protein in colon cancer by gallic acid derivatives compound with molecular docking approach. *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, 10(2). <https://doi.org/10.31603/pharmacy.v10i2.10390>
6. Raum, H., Modig, K., Akke, M., & Weininger, U. (2024). Proton transfer kinetics in histidine side chains determined by pH-dependent multi-nuclear NMR relaxation. *Journal of the American Chemical Society*, 146(40), 22284-22294. <https://doi.org/10.1021/jacs.4c04647>
7. Kim, Y., Kim, E., & Kim, Y. (2019). L-histidine and L-carnosine accelerate wound healing via regulation of corticosterone and PI3K/Akt phosphorylation in D-galactose-induced aging models in vitro and in vivo. *Journal of Functional Foods*, 58, 227-237. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.060>
8. Semenza, G. L. (2012). Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. *Cell*, 148(3), 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.01.021>
9. RCSB PDB. (2010). PHD2 structure (3HQR).
10. Ripps, H., & Shen, W. (2012). Review: taurine: a "very essential" amino acid. *Molecular Vision*, 18, 2673-2686.
11. Patel, J., Poyya, J., Padakannaya, A., Kurdekar, N., Khandagale, A., Joshi, C., Kanade, S., & Satyamoorthy, K. (2025). Mechanistic insights into gut microbe derived siderophores and PHD2 interactions with implications for HIF-1 α stabilization. *Scientific Reports*, 15, 83730. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83730-8>
12. Chen, X., An, W., Huang, Z., Jia, G., & Zhao, H. (2024). Taurine reduces glycolysis of pig skeletal muscle by inhibiting HIF-1 α signaling. *Journal of Cellular Physiology*, 240(1). <https://doi.org/10.1002/jcp.31461>
13. Ding, Y., Yao, W., Kulyar, M., Mo, Q., Pan, H., Zhang, Y., Li, B., He, Y., Zhang, M., Hong, J., Waqas, M., & Li, J. (2021). Taurine is an effective therapy against thiram induced tibial dyschondroplasia via HIF-1 α /VEGFA and β -catenin/GSK-3 β pathways in broilers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 228, 112981. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112981>

14. Lee, N., & Kang, Y. (2015). The changes by hypoxia inducible factor-1alpha (HIF-1 α) on taurine uptake in brain capillary endothelial cells at high glucose conditions. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 803, 501-511. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15126-7_40
15. Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455-461. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>
16. Abraham, M. J., Murtola, T., Schulz, R., Páll, S., Smith, J. C., Hess, B., & Lindahl, E. (2015). GROMACS: High performance molecular simulations through multi-level parallelism from laptops to supercomputers. *SoftwareX*, 1-2, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2015.06.001>
17. Kumari, R., Kumar, R., & Lynn, A. (2014). g_mmpbsa--a GROMACS tool for high-throughput MM-PBSA calculations. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 54(7), 1951-1962. <https://doi.org/10.1021/ci500020m>
18. Wang, Y., & Wang, Y. (2024). HBCalculator: A tool for hydrogen bond distribution calculations in molecular dynamics simulations. *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.4c00054>

***IN SILICO* COVALENT BINDING ANALYSIS OF 4-BENZYL-4-PENTYLMORPHOLIN-4-IUM CHLORIDE ON NF- κ B P65 (RELA): EVALUATION OF APOPTOSIS POTENTIAL IN PANCREATIC CANCER**

Assoc. Prof. BAHRI GÜR

Iğdır University, bahri.gur@igdir.edu.tr – ORCID: 0000-0003-0579-6354

ABSTRACT

Cancer is one of the most important global health problems and is increasing in severity every year. Pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC) is one of the most aggressive malignancies, characterised by a high mortality rate and limited response to treatment. Epidemiological data show a steady increase in new cases and morbidity rates worldwide (~510,000 new cases, data for 2022). Current clinical practice for pancreatic cancer includes treatment options such as chemotherapy, radiotherapy, and surgery. Some targeted/immunotherapeutic approaches result in limited improvement in survival, highlighting the need for new drug candidates. The aim of this study is to investigate the covalent binding potential of the newly synthesised 4-benzyl-4-pentylmorpholine-4-ium chloride compound to NF- κ B p65 (I- κ B α /NF- κ B complex; PDB: 1NFI) and its potential to induce apoptosis in pancreatic cancer cells *in silico*. In the study, ligand-protein interactions were investigated using covalent docking protocols targeting the critical Cys-38 amino acid residues in the p65 subunit. The results obtained were discussed in the context of the EC/ECG-p65 results of Suhail et al. (colour band, Cys adduct zoom, Cys-S atom display, covalent bond/purple line, hydrogen bonds/green line, interaction drawings, and circling of common interaction residues). It has been predicted that the newly synthesized morpholine derivative may not directly covalently bind to Cys-38; however, through a synergistic effect, its co-administration with standard agents such as EGCG could disrupt the DNA-binding activity of NF- κ B, thereby reducing the expression of anti-apoptotic target genes (e.g., the Bcl-2 family, A20, etc.). As a result, the apoptotic sensitivity of PDAC cells can be increased. The results were evaluated based on the covalent binding geometry between ligand and Cys-38, the hydrogen bond networks, the binding energies, and the amino acids involved in the interaction. Based on the *in silico* results, further validation studies using target-specific cell culture studies and *in vitro* apoptosis assays are recommended.

Keywords: Morpholine, pancreatic cancer, molecular modeling, apoptosis, 26S proteasome inhibitors

**4-BENZYL-4-PENTYLMORPHOLIN-4-IUM CHLORIDE'IN NF- κ B P65 (RELA)
ÜZERİNE *IN SILICO* KOVALENT BAĞLANMA ANALİZİ: PANKREAS
KANSERİNDE APOPTOZ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doç. Dr. BAHİR GÜR

Iğdır Üniversitesi, bahri.gur@igdir.edu.tr – ORCID: 0000-0003-0579-6354

ÖZET

Küresel sağlık sorunlarının başında kanser gelmektedir ve her geçen yıl bu ciddiyetini artırarak devam etmektedir. Pankreas duktal adenokarsinomu (PDAC), halen yüksek mortalite ve sınırlı tedavi yanıtları ile karakterize edilen en agresif malignitelerden biridir. Epidemiyolojik veriler, dünya genelinde giderek artan yeni vaka ve morbidite değerlerini göstermektedir (~510.000 yeni vaka, 2022 verisi). Güncel klinik uygulamalarda pankreas kanseri için mevcut tedavi seçenekleri kemoterapi, radyoterapi ve cerrahi müdahale olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı hedefe yönelik / immünoterapi yaklaşımları sonucunda sağkalım artışı sınırlı olmakta ve bu durum yeni ilaç adayı molekül gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma, yeni sentezlenen 4-benzyl-4-pentylmorpholin-4-ium chloride bileşiğinin NF- κ B p65 (I- κ B α /NF- κ B kompleksi; PDB: 1NFI) üzerindeki kovalent bağlanma potansiyelini ve bunun pankreas kanseri hücrelerinde apoptozu tetikleme ihtimalini *in silico* olarak araştırmayı amaçlar. Çalışmada, p65 alt birimindeki kritik Cys-38 amino asit residuesine yönelik kovalent docking protokolleri ile ligant-protein etkileşimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Suhail ve ark.'nın EC/ECG-p65 sonuçları ile (kromatik ribbon, Cys adduct zoom, Cys S-atomu gösterimi, kovalent bağ/purple line, hidrojen bağları/green line, etkileşim çizimleri ve ortak etkileşim rezidülerinin çemberlenmesi) ile tartışılmıştır. Yeni sentezlenen morfolin türevi bileşiğin Cys-38'e doğrudan kovalent bağlanma potansiyelinin öngörülmediği ancak sinerjestik etki sonucu diğer standart ve EGCG gibi etken maddelerle birlikte uygulanma sonucu NF- κ B'nin DNA-bağlama aktivitesini bozarak anti-apoptotik hedef genlerin (ör. Bcl-2 ailesi, A20 vb.) ekspresyonunu azaltılabileceği öngörülmüştür. Bunun sonucunda PDAC hücrelerinde apoptotik duyarlılığın artırabilecektir. Sonuçlar, ligand-Cys-38 kovalent bağlanma geometrisi, hidrojen bağ ağları, bağlanma enerjileri ve etkileşimde ortak kalan aminoasitler üzerinden değerlendirildi. *In silico* bulgular sonucunda hedefe yönelik hücre kültürü çalışmaları ile *in vitro* apoptoz deneyleri ile ileri doğrulama çalışmaları önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Morfolin, pankreas kanseri, moleküler modelleme, programlı hücre ölümü, 26S proteazom inhibitörleri

1. GİRİŞ

Pankreas duktal adenokarsinomu (PDAC), erken dönemde belirti vermemesi sonucu tespitinin genellikle geç evrede gerçekleşmesi ve agresif doğası sebebiyle en yüksek mortalite oranlarına sahip kanser türlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Cereda & D'Andrea, 2025). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) raporuna göre pankreas kanseri, kanser kaynaklı ölümlerin önde gelen nedenlerinden biridir (WHO, 2022). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) raporunda 2022 yılında 500.000'den fazla kişi pankreas kanseri teşhisi aldığı, dünya genelinde en sık görülen 12. kanser türü olduğu, kanser kaynaklı ölümlerin altıncı en yaygın nedeni olduğu ve 2022 yılında yaklaşık 470.000 kişinin ölümüne neden olduğu bildirilmiştir (Cancer, 2024). ABD'deki 2018–2022 Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER) verilerine göre, prognozu en kötü kanser türlerinden biri olan pankreas kanserinin yaşa göre istatistiki değerlendirme sonucuna göre yeni tanı oranı yılda 100.000 kişide 13.8, ölüm oranı ise 11.3 olarak bildirilmiştir. Yaşam boyu tanı riski ise yaklaşık olarak %1.6 'dır (SEER, 2025). Ayrıca Amerikan Kanser Derneği 2025 yılı tahmin raporunda yaklaşık 67.440 yeni Parkinson vakası görülebileceğini ve buna bağlı olarak 51.980 mortalite beklendiğini açıklamıştır. Bu verilere göre pankreas kanserinin ABD'de en ölümcül üçüncü kanser tipi olduğu anlaşılmıştır. Sağkalım oranları açısından değerlendirildiğinde, bölgesel hastalıkta 5 yıllık relatif sağkalım %44 iken, bölgesel yayılımda %16, uzak metastazlı vakalarda ise sadece %3 civarındadır (ACS, 2025).

Bu olumsuz tabloya rağmen, son yıllarda pankreas kanseri tedavisinde umut veren yeni çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle KRAS mutasyonunu hedef alan inhibitörlerin erken evre klinik çalışma sonuçları sağkalım oranını uzattığını göstermiştir (Cereda & D'Andrea, 2025). Ayrıca, radyofrekans ablasyon (RFA), cryoablasyon gibi girişimsel tekniklerin rezektabl olmayan tümörlerde sağkalım sürelerinde iyileşme sağladığı meta-analizlerle bildirilmiştir (Wang et al., 2025). Bu bağlamda, pankreas kanserine yönelik stratejilerin hem erken tanı hem de tedavi hedefli inovasyonlarla çeşitlenmesi kritik önem taşımaktadır. Mevcut zorlu tablo ve yükselen tedavi potansiyelleri, bu çalışma kapsamında önerilen moleküler yaklaşımların aciliyetini ve araştırma değerini vurgulamaktadır.

Nükleer faktör- κ B (NF- κ B), hücre proliferasyonu, inflamatuvar yanıtlar, anjiyogenez ve apoptozun baskılanması gibi pek çok biyolojik süreci düzenleyen, transkripsiyon faktörlerinden oluşan bir protein ailesidir (Gilmore, 2021). PDAC dâhil olmak üzere birçok solid tümörde NF- κ B'nin konstitutif (sürekli) aktivasyonu bildirilmiştir. PDAC hücrelerinde NF- κ B sinyal yolunun sürekli uyarılmış olması, anti-apoptotik genlerin (Bcl-2, Bcl-xL, XIAP) aşırı ekspresyonuna ve proinflamatuvar sitokinlerin (IL-6, TNF- α) üretiminin artmasına yol açarak tümör hücrelerinin kemoterapiye direnç geliştirmesine neden olur (Li et al., 2018; Suhail et al., 2023). Ayrıca NF- κ B, KRAS mutasyonu ile aktive olan MAPK ve PI3K/AKT yolları ile çapraz regülasyon göstererek tümör mikroçevresinde immün kaçış mekanizmalarını güçlendirir (Wang et al., 2024). Bu nedenle NF- κ B aktivitesinin farmakolojik veya moleküler inhibitörlerle baskılanması, hem tümör hücrelerinin apoptoza duyarlılığını artırmakta hem de kemoterapi ve radyoterapinin etkinliğini sinerjistik olarak yükseltmektedir. Son yıllarda küçük moleküllü inhibitörler, peptidomimetikler ve doğal ürün türevleri ile NF- κ B p65 alt biriminin DNA bağlama yeteneğinin veya I κ B α degradasyonunun engellenmesine yönelik çalışmalar, pankreas kanseri tedavisinde umut verici ön klinik sonuçlar ortaya koymuştur. Dolayısıyla NF- κ B,

PDAC’de ilaç geliştirme çalışmalarında yüksek translasyonel potansiyele sahip, kritik bir terapötik hedef olarak öne çıkmaktadır (Chen et al., 2025).

Morfolin türevleri, ilaç tasarımıyla sıklıkla kullanılan heterosiklik yapıya sahip olan ve protein–ligand kompleks oluşumlarında hidrojen bağı donör/akseptör rolü oynayabilen, lipofilik amino asit residuellerle uyumlu bağlanma özelliği gösteren bileşiklerdir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar, belirli morfolin içeren bileşiklerin NF-κB sinyal yolunu baskılayabildiğini göstermektedir. Bu baskılama, genellikle IκBα degradasyonunun engellenmesi veya p65 alt biriminin nükleer translokasyonunun inhibisyonu yoluyla ortaya çıkmaktadır. Morfolin-türevi PI3K/mTOR inhibitörü, NF-κB p65’in çekirdeğe geçişini azaltarak proinflatuvar gen ekspresyonunu düşürmüştür (Hu et al., 2021; Suhail et al., 2023). Morfolin türevleri yapısal olarak NF-κB’nin transkripsiyonel aktivitesini bozabilecek özelliklere sahip olduğunu ve bu nedenle kanser tedavisi araştırmalarında değerli bir farmakofor iskeleti sunduğunu göstermektedir (Kourounakis et al., 2020).

Morfolin türevi bileşikler için bahsedilen bu özellikler, NF-κB p65 sinyal yolunda Cys-38 amino asidi ve çevresi ile etkileşime girerek bu bileşiklerin potansiyel inhibitör adayları haline gelmesini mümkün kılmaktadır (Suhail et al., 2023). İlaç adayı bileşiklerin antikanserojenik özellikleri arasında hücre çoğalmasını, tümör hücrelerinde hücre ölümünü ve katı tümörlerde vasküler anjiyogenezi kontrol etmek yer alır.

Bu bağlamda, mevcut çalışma, Yakhshilikova ve arkadaşları tarafından sentezlenerek sonuçları 2025 yılında *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications* dergisinde yayımlanan (Yakhshilikova et al., 2025) bir morfolin türevi bileşiğin pankreas kanseri hücrelerinde proliferasyonu engelleyici veya azaltıcı bir etkiye sahip olup olmadığını *in silico* yaklaşımlar aracılığıyla incelemeyi amaçlamaktadır. 4-benzyl-4-pentyl-morpholin-4-ium chloride (BPMI) bileşiğinin NF-κB’ye karşı inhibe edici bir etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla BPMI bileşiğinin Cys-38’e kovalent bağlanması sonucu NF-κB’nin DNA-bağlama aktivitesini bozarak anti-apoptotik hedef genlerin ekspresyonu üzerine etkisi araştırılmıştır.

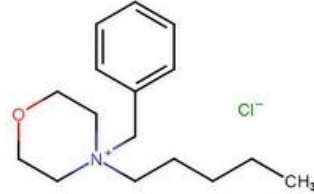
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kimyasallar ve moleküler modelleme çalışmaları

Bu çalışmada yeni sentezlenen morfolin türevi bir bileşik olan 4-benzyl-4-pentyl-morpholin-4-ium chloride (BPMI) bileşiğinin NF-κB p65 üzerine inhibisyon etkisi araştırılarak antikanser bir ilaç olarak kullanıma potansiyeli *in silico* çalışmalar ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla, NF-κB p65 alt biriminde fonksiyonel açıdan kritik konumda yer alan Cys-38 amino asit rezidüsüne yönelik olarak kovalent bağlanma protokolleri uygulanmış ve ligant–protein etkileşimleri ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Elde edilen bağlanma modelleri, Suhail ve ark. tarafından raporlanan EC/ECG–p65 komplekslerine ilişkin yapısal veriler ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sürecinde; kromatik ribbon temsilleri, Cys adduct bölgelerinin yakın plan görselleştirilmesi, Cys’in S-atomunun vurgulanması, kovalent bağların ve hidrojen bağlarının gösterimi, ligand–protein etkileşim diyagramları ve ortak etkileşim rezidülerinin belirtilmesi gibi yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, hem bağlanma

modlarının yapısal tutarlılığını hem de potansiyel biyolojik etkilerin literatür ile uyumunu ortaya koymayı amaçlamaktadır.

BPMI ilaç adayı bileşiğin sdf uzantılı yapısı ligand.sdf olarak <https://journals.iucr.org/e/issues/2025/09/00/ev2018/index.html> adresinden indirildi. Bileşiğin kimyasal yapısı Görsel 1’de gösterilmiştir.



Görsel 1. 4-benzyl-4-pentyl-morpholin-4-ium chloride (BPMI) bileşiğinin kimyasal yapısı

Moleküler yerleştirme çalışmalarında İkappaBalpha/NF-kappaB kompleksine ait (NF-κB p65) üç boyutlu (3D) kristal yapı RCSB protein databank veri bankasından PDB: 1NFI (I-κBα/NF-κB kompleksi) kodu ile indirildi (<https://www.rcsb.org/structure/1NFI>). BIOVIA Discovery Studio Visualizer programı kullanılarak ilgili protein kompleksi moleküler yerleştirme çalışmaları için uygun forma dönüştürüldü.

BPMI bileşiği, moleküler yerleştirme analizlerinde ligand olarak seçilmiştir. Ligandın NF-κB p65 proteini ile potansiyel etkileşimleri, yapısal görselleştirme ve bağlanma bölgesi analizi amacıyla BIOVIA Discovery Studio Visualizer yazılımı kullanılarak ön işleme tabi tutulmuş, ardından bağlanma afinitesinin ve etkileşim profilinin hesaplanabilmesi için PyRx 0.8 (Trott & Olson, 2010) programı kullanılmıştır. PyRx yazılımında uygulanan metodoloji, docking protokolü, hedef proteinin hazırlanması, ligand optimizasyonu ve bağlanma enerjilerinin hesaplanmasına ilişkin adımlar, literatürde yer alan standart prosedürler, Gür ve ark.’nın önceki çalışmalarında raporlanan yöntemler dikkate alınarak yapılandırılmıştır (Gür et al., 2021). Bu yaklaşım, elde edilen sonuçların hem karşılaştırılabilirliğini hem de metodolojik tutarlılığını sağlamayı amaçlamaktadır. Moleküler yerleştirme sonucu elde edilen BPMI@p65 kompleksi ayrıca termodinamik parametreler açısından değerlendirildi. p65 alt birimindeki kritik Cys-38 amino asit residuesi ile BPMI’nın etkileşimlerine ek olarak hidrojen bağ etkileşimleri (konvensiyonel hidrojen bağ ve karbon hidrojen bağ) ve hidrofobik etkileşimler (Alkil, Pi-Alkil, Pi-Sulfur) olmak üzere diğer amino asit residueleri ile meydana gelen etkileşimler de araştırıldı.

BPMI@p65 kompleks oluşumunda ligand ile makromolekülün p65 alt birimi amino asitlerinin bulunduğu boşluğa yerleştirilmesinde 1NFI-p65’te Cys-38 merkezli belirlenen koordinat ve ızgara kutu bilgileri PyRx.0.8 programı kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. 1NFI-p65 ile BPMI arasındaki etkileşimler için belirlenen koordinatlar ve ızgara kutu değerleri (exhaustiveness= 20)

	BPMI
1NFI-p65	Grid Box Center coordinates
	center_x = 10.36
	center_y = 39.69
	center_z = 37.41

Grid Box Dimension (Å)

size_x = 25.00

size_y = 25.00

size_z = 25.00

2.2. Pozitif kontrol çalışma sonuçları ile karşılaştırma

Ökaryotik hücrelerdeki başlıca proteaz olan 26S proteazom için tespit edilen gempitabinin ve bortezomib gibi standart inhibitörler, tümörlerin standart kemoterapiye duyarlılığını artırma yöntemi olarak klinik çalışmalara giren bileşiklerdir (Fahy et al., 2003). Bortezomib genellikle multipl myeloma tedavisinde tek başına kullanım için endike olan 26S proteazomun oldukça seçici ve geri dönüşümlü bir inhibitörüdür (Boccadoro et al., 2005; Sincan et al., 2017). Bortezomib kaynaklı proteazom inhibisyonu IκBα'nın stabilizasyonuna ve dolayısıyla NF-κB'nin inhibisyonuna yol açar. Bu hücresel proteinin seviyesinin değişmesi, kanser hücrelerinin proliferasyonunu engelleyerek, kanser hücrelerinin göçünün ve anjiyogenezinin inhibisyonuna ve apoptozunun artışına yol açar (Boccadoro et al., 2005).

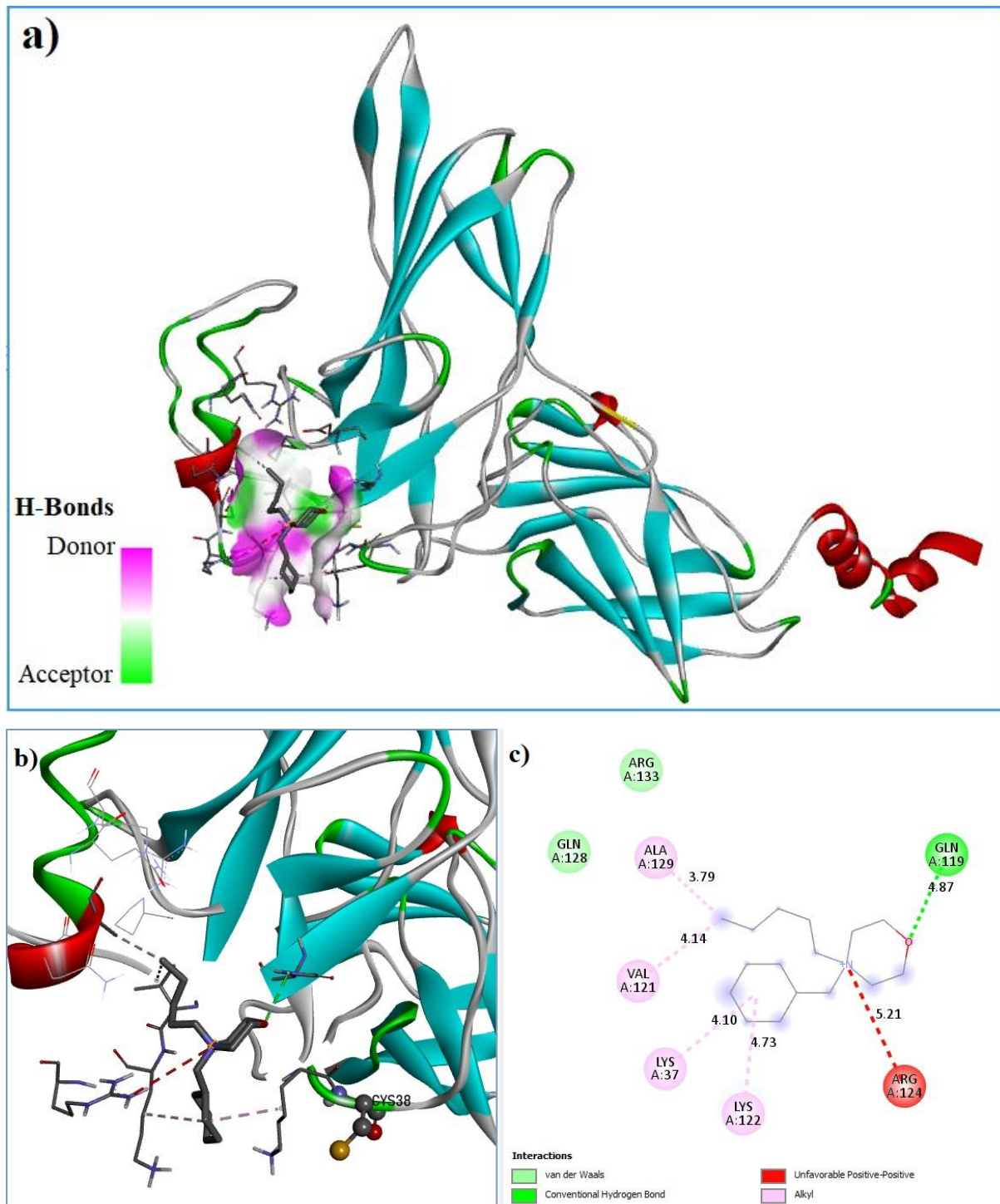
NF-κB, sitozolde inhibitör IκBα ile kompleks hâlinedir ve çekirdeğe translokasyonu için IκBα'nın fosforilasyon, ubiquitinasyon ve proteazomal degradasyonu gereklidir. Bortezomib, IκBα'nın degradasyonunu engelleyerek NF-κB aktivasyonunu baskılar; böylece kanser hücrelerinde apoptozu indükler ve bu hücreleri kemoterapi, radyoterapi ve immünoterapiye karşı duyarlılaştırır (Boccadoro et al., 2005; Hideshima et al., 2001; Ma et al., 2003; Russo et al., 2001; Tan & Waldmann, 2002). Sonuç olarak bortezomib proteazomu inhibe eder, akabinde IκBα degradasyonu engellenir ve p65/p50 sitoplazmada tutulur. Bunun sonucunda NF-κB aktivitesi düşer ve apoptoz artar. 26S proteazom inhibisyonu NF-κB'yi klasik yoldan baskılayarak pankreas kanseri hücrelerinde duyarlılığı artırır (Bard et al., 2018; Fahy et al., 2003; Pakjoo et al., 2024).

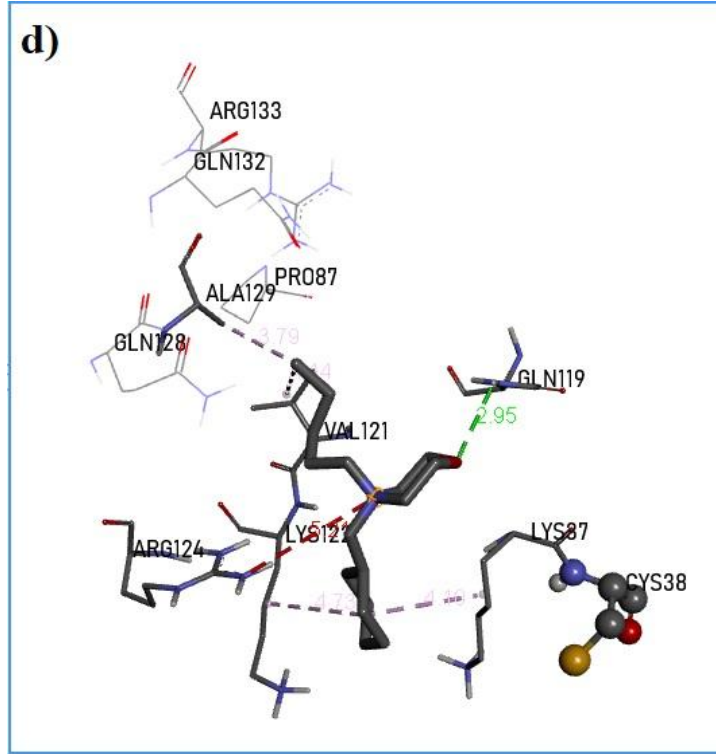
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yeni sentezlenen morfolin türevi BPMI bileşiğinin NF-κB'nin transkripsiyonel aktivitesini bozabilecek özelliklere sahip olma potansiyeli (inhibisyon özelliği) moleküler yerleştirme çalışmaları ile araştırılmış, literatür çalışmaları ve pozitif kontrol çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar BPMI bileşiğinin pankreas kanseri tedavisinde ilaç olarak kullanma potansiyelinin ligand-Cys-38 etkileşimleri dikkate alınarak araştırılmıştır. *In silico* sonuçlar ayrıca PMI@p65 kompleks oluşumuna bağlı olarak termodinamik parametreler ve amino asit-ligand etkileşim dinamikleri açısından iki alt başlıkta açıklanmıştır.

3.1. BPMI@p65 kompleks oluşum sonuçları

BPMI bileşiğinin NF-κB p65'in p65 (RelA) zincirine PyRx (version 0.8) programı ile moleküler yerleştirilmesi p65 zincirinin Cys-38 amino asit bölgesi cebine gerçekleştirildi (Görsel 2). Yerleştirme sonuçlarında p65'in kristalografik yapısının Cys-38 içeren bağlanma cebi BPMI ligandını içeriyordu.





Görsel 2. BPMI ile NF-κB p65 proteini arasındaki etkileşimlerin moleküler yerleştirme sonuçları; a) BPMI'nin NF-κB p65 arasında meydana gelen donor-acceptor etkileşimlerini gösteren 3D görünüm (BPMI: Çubuk yapı), b) BPMI'nın p65 Cys-38 bağlanma cebi ile etkileşimini gösteren 3D-zoomed görünüm, c) BPMI'nın p65 amino asit residue'leri ile etkileşimini gösteren 2D görünüm d) BPMI-Cys-38 kovalent bağ oluşturma ihtimalinin değerlendirilmesini gösteren 2D görünüm

BPMI bileşiğinin NF-κB'nin transkripsiyonel aktivitesini bozabilecek özelliklere sahip olma potansiyelinin araştırılmasına bağlı moleküler yerleştirme çalışmaları sonucunda elde edilen BPMI@p65 kompleks oluşum sonuçları ligandın Cys-38 bağlanma cebinde hidrojen ve hidrofobik etkileşimlerin gerçekleştiğini göstermiştir (Görsel 2 b ve c). Aktif bölge amino asitleri ile gerçekleştirilen bu etkileşimler termodinamik parametrelerle de ayrıca değerlendirilmiştir. NF-κB p65 sinyal yolağı amino asitleri ile BPMI'nin kenetlenmesi sonucunda Gibbs Serbest Enerji Değişimi (ΔG : -5.01 kcal/mol) olarak hesaplanmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Pankreas kanseri dünya genelinde en sık görülen 12. kanser türü olarak görülürken kanser kaynaklı ölümlerde 6. Sırada olan bir hastalıktır (WHO, 2022). 2020 Türkiye Kanser İstatistikleri'ne göre, yıllık 8.392 yeni vaka ile pankreas kanseri en sık görülen 8. kanser türü idi. Bununla birlikte yıllık 8.214 yaşam kaybı ile bu bağlamda 3. sıradadır. Agresif bir kanser türü olan pankreas kanserinin tedavisinde günümüzde yeni uygulamalar ile birlikte kemoterapi yaygın tedavi metodu olarak uygulanmaktadır. Ancak kemoterapi sağlıklı hücrelerin de ölümüne neden olduğu için kanser tedavilerinde yeni alternatif tedavi stratejilerinin

geliştirilmesi önemli bir amaç olmuştur. Bu çalışma morfolin türevi olan BMPI bileşiğinin NF- κ B p65 sinyal yolunun inhibisyonu sonucu pankreas kanseri ilerlemesinde doğrudan ya da sinerjistik antikanser ilaç olma potansiyeli moleküler modelleme çalışmaları ile keşfetmeyi amaçlamıştır.

BMPI bileşiği için öncelikle ligandın Cys-38 amino asit residuesi ile kovalent etkileşim potansiyeli değerlendirildi. Daha sonra Cys-38 yakınında, reaksiyona uygun geometriyi non-kovalent olarak alıp alamadığını gösterildi. Görsel 2 d, BMPI molekülünün Cys-38'in sülfidril S-atomuna ≤ 3.5 Å mesafe ile konumlanmadığı için kovalent bir bağ oluşturma potansiyeli öngörülmedi. Ancak NF- κ B inhibisyonuna katkı sağlayan 4 tane önemli Alkyl bağ etkileşimine ek olarak 1 tane konvansiyonel hidrojen bağ etkileşimi meydana getirdi (Görsel 2 c). *In silico* sonuçlar non-kovalent ön-kompleks oluşumunu gösterdi. Bunun nedeni ise 4-benzyl-4-pentylmorpholin-4-ium'un elektrofil eksikliği olarak değerlendirildi.

Pozitif kontrol değerlendirmesi amacıyla öncelikle 26S proteazom İnhibitörleri dikkate alındı. Ökaryotik hücrelerdeki başlıca proteaz olan 26S proteazom için tespit edilen gemitabinin ve bortezomib gibi standart inhibitörler, tümörlerin standart kemoterapiye duyarlılığını artırma yöntemi olarak klinik çalışmalara giren bileşiklerdir.

Gemitabinin ve bortezomib kaynaklı proteazom inhibisyonu I κ B α 'nın stabilizasyonuna ve dolayısıyla NF- κ B'nin inhibisyonuna yol açar. I κ B α , NF- κ B transkripsiyon faktörünü inhibe etme işlevi gören bir hücre protein ailesinin bir üyesidir. I κ B α , NF- κ B proteinlerinin nükleer lokalizasyon sinyallerini maskeleyerek ve onları sitoplazmada inaktif bir durumda sekestre ederek NF- κ B'yi inhibe eder. Bu hücre proteinin seviyesinin değişmesi, kanser hücrelerinin proliferasyonunu engelleyerek, kanser hücrelerinin göçünün ve anjiyogenezinin inhibisyonuna ve apoptozunun artışına yol açar. I κ B α 'nın degradasyonunu engelleyerek NF- κ B aktivasyonunu baskılar; böylece kanser hücrelerinde apoptozu indükler. Kanser hücreleri kemoterapi, radyoterapi ve immünoterapiye karşı duyarlılaştırır. Sonuç olarak bortezomib proteazomu inhibe eder, akabinde I κ B α degradasyonu engellenir ve p65/p50 sitoplazmada tutulur. Bunun sonucunda NF- κ B aktivitesi düşer ve apoptoz artar.

Suhail ve ark. (2023) çalışmalarında EGCG, pankreas kanseri hücrelerinde NF- κ B aktivitesini inhibe ettiğini *in vitro* olarak gösterdiler. NF- κ B yolunun aktivasyonundan sonra, p65 (RelA) çekirdeğe taşındığını, bu nedenle pankreas kanseri hücrelerinde proliferasyonun arttığını bildirdiler. EGCG ile tedavi ettikten sonra NF- κ B aktivitesi için p65 (RelA) alt biriminin varlığında artış gözlemlendi ve apoptoz indüklendi.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular morfolin türevi BMPI bileşiğinin NF- κ B p65'e karşı iyi bir afiniteye sahip olduğunu ortaya koydu. BMPI'nin özellikle Cys-38 amino asit residuesi çevresindeki diğer amino asitlerle hidrofobik ve hidrofilik etkileşimler meydana getirmesi NF- κ B p65 aktivasyonunu baskılayabileceğini gösterdi. BMPI ile Suhail ve ark.'nın çalışmalarında önerdikleri EGCG birlikte kullanılarak insan pankreas kanseri hücrelerinde fosforile (p65)-nükleer faktör- κ B (p65-NF- κ B) ekspresyonunun modülasyonu *in vitro* çalışmalarla değerlendirilebilir.

BMPI'nin NF- κ B p65 sinyal yoluna ilişkin etkileri henüz *in vitro* veya *in vivo* düzeyde doğrulanmamıştır. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmaların, fare ve sıçanlarda pankreas

kanseri modelleri kullanılarak elde edilen *in silico* bulguları teyit etmeyi hedeflemesi gerekmektedir.

Bunun yanı sıra, BPMT'nin olası bir ilaç adayı olarak değerlendirilmesinde, bileşiğin absorpsiyon, dağılım, metabolizma ve eliminasyon (ADME) özelliklerinin ayrıntılı şekilde incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu parametreler, terapötik ajanların farmakokinetik profili, klinik etkinliği ve potansiyel yan etkileri üzerinde doğrudan belirleyici etkiye sahiptir (Alqahtani, 2017). Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen veriler, ileride yürütülecek *in vitro* ve *in vivo* doğrulama çalışmalarına temel oluşturabilecek niteliktedir.

KAYNAKÇA

- ACS, A. C. S. (2025). *Key Statistics for Pancreatic Cancer*. A. C. Society. <https://www.cancer.org/cancer/types/pancreatic-cancer/about/key-statistics.html>
- Alqahtani, S. (2017). In silico ADME-Tox modeling: progress and prospects. *Expert opinion on drug metabolism & toxicology*, 13(11), 1147-1158.
- Bard, J. A. M., Goodall, E. A., Greene, E. R., Jonsson, E., Dong, K. C., & Martin, A. (2018). Structure and Function of the 26S Proteasome. *Annu Rev Biochem*, 87, 697-724. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-062917-011931>
- Boccardo, M., Morgan, G., & Cavenagh, J. (2005). Preclinical evaluation of the proteasome inhibitor bortezomib in cancer therapy. *Cancer Cell Int*, 5(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1475-2867-5-18>
- Cancer, I. A. f. R. o. (2024). Predictions of the future cancer incidence and mortality burden worldwide up until 2050. In.
- Cereda, V., & D'Andrea, M. R. (2025). Pancreatic cancer: failures and hopes-a review of new promising treatment approaches. *Explor Target Antitumor Ther*, 6, 1002299. <https://doi.org/10.37349/etat.2025.1002299>
- Chen, X., Sun, F., Wang, X., Feng, X., Aref, A. R., Tian, Y., Ashrafizadeh, M., & Wu, D. (2025). Inflammation, microbiota, and pancreatic cancer. *Cancer Cell International*, 25(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s12935-025-03673-6>
- Fahy, B. N., Schlieman, M. G., Virudachalam, S., & Bold, R. J. (2003). Schedule-dependent molecular effects of the proteasome inhibitor bortezomib and gemcitabine in pancreatic cancer. *Journal of Surgical Research*, 113(1), 88-95. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-4804\(03\)00201-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-4804(03)00201-4)
- Gilmore, T. D. (2021). NF- κ B and Human Cancer: What Have We Learned over the Past 35 Years? *Biomedicines*, 9(8).
- Gür, F., Cengiz, M., & Gür, B. (2021). Alternations in nuclear factor kappa beta activity (NF- κ B) in the rat brain due to long-term use of atomoxetine for treating ADHD: In vivo and in silico studies. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 534, 927-932. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.10.072>
- Hideshima, T., Richardson, P., Chauhan, D., Palombella, V. J., Elliott, P. J., Adams, J., & Anderson, K. C. (2001). The proteasome inhibitor PS-341 inhibits growth, induces apoptosis, and overcomes drug resistance in human multiple myeloma cells. *Cancer research*, 61(7), 3071-3076.
- Hu, J., Zhang, Y., Tang, N., Lu, Y., Guo, P., & Huang, Z. (2021). Discovery of novel 1,3,5-triazine derivatives as potent inhibitor of cervical cancer via dual inhibition of PI3K/mTOR. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 32, 115997. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bmc.2021.115997>
- Kourounakis, A. P., Xanthopoulos, D., & Tzara, A. (2020). Morpholine as a privileged structure: A review on the medicinal chemistry and pharmacological activity of

- morpholine containing bioactive molecules. *Medicinal Research Reviews*, 40(2), 709-752.
- Li, Q., Yang, G., Feng, M., Zheng, S., Cao, Z., Qiu, J., You, L., Zheng, L., Hu, Y., & Zhang, T. (2018). NF- κ B in pancreatic cancer: Its key role in chemoresistance. *Cancer letters*, 421, 127-134.
- Ma, M. H., Yang, H. H., Parker, K., Manyak, S., Friedman, J. M., Altamirano, C., Wu, Z.-q., Borad, M. J., Frantzen, M., & Roussos, E. (2003). The proteasome inhibitor PS-341 markedly enhances sensitivity of multiple myeloma tumor cells to chemotherapeutic agents. *Clinical Cancer Research*, 9(3), 1136-1144.
- Pakjoo, M., Ahmadi, S. E., Zahedi, M., Jaafari, N., Khademi, R., Amini, A., & Safa, M. (2024). Interplay between proteasome inhibitors and NF- κ B pathway in leukemia and lymphoma: a comprehensive review on challenges ahead of proteasome inhibitors. *Cell Communication and Signaling*, 22(1), 105.
- Russo, S. M., Tepper, J. E., Baldwin Jr, A. S., Liu, R., Adams, J., Elliott, P., & Cusack Jr, J. C. (2001). Enhancement of radiosensitivity by proteasome inhibition: implications for a role of NF- κ B. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 50(1), 183-193.
- SEER, S., Epidemiology, and End Results Program). (2025). *Cancer Stat Facts: Pancreatic Cancer*. U.S. Department of Health and Human Services: National Cancer Institute Retrieved from <https://seer.cancer.gov/statfacts/html/pancreas.html>
- Sincan, G., Bilen, Y., Erdem, F., Sincan, S., & Aksakal, E. (2017). Bortezomib Induced Congestive Cardiac Failure in a Patient with Multiple Myeloma. *Kafkas Journal of Medical Sciences*, 7(1), 78-80. <https://doi.org/10.5505/kjms.2017.20082>
- Suhail, M., Rehan, M., Tarique, M., Tabrez, S., Husain, A., & Zughaibi, T. A. (2023). Targeting a transcription factor NF- κ B by green tea catechins using in silico and in vitro studies in pancreatic cancer. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1078642.
- Tan, C., & Waldmann, T. A. (2002). Proteasome inhibitor PS-341, a potential therapeutic agent for adult T-cell leukemia. *Cancer research*, 62(4), 1083-1086.
- Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of computational chemistry*, 31(2), 455-461.
- Wang, R., Su, D., Liu, Y., Huang, H., Qiu, J., Cao, Z., Yang, G., Chen, H., Luo, W., Tao, J., Weng, G., & Zhang, T. (2024). The NF- κ B/NUAK2 signaling axis regulates pancreatic cancer progression by targeting SMAD2/3. *iScience*, 27(4), 109406. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109406>
- Wang, Y., Yan, R., Lu, J., Guo, J., & Teng, G. (2025). Interventional management of pancreatic cancer: Current strategies and future horizons. *Oncology and Translational Medicine*. https://journals.lww.com/otm/fulltext/9900/interventional_management_of_pancreatic_cancer.92.aspx
- WHO. (2022). *Cancer*. W. H. O. (WHO). <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- Yakhshilikova, Z., Kholikov, T., Zhurakulov, S., & Turgunov, K. (2025). Synthesis and crystal structure of 4-benzyl-4-pentylmorpholin-4-ium chloride. *Structure Reports*, 81(9).

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF POSITIVE SAFETY CULTURE AND AWARENESS IN PREVENTING WORK ACCIDENTS

Assoc. Prof. BAHRI GÜR

Iğdır University, bahri.gur@igdir.edu.tr – ORCID: 0000-0003-0579-6354

ABSTRACT

In the workplace, a people and environment-centred approach is critical to an organisation's sustainability. For this reason, proactive approaches are being developed to prevent accidents at work. The aim of our study is to evaluate the effectiveness of a positive safety culture and awareness in preventing workplace accidents. With increasing industrialisation, occupational accidents and diseases continue to be a significant global problem. The cause of this problem is often human rather than technical. In this study, we investigated how strengthening the psychological, behavioural, and structural dimensions of a positive workplace safety culture improves employees' awareness of occupational safety and health and their proactive behaviour. The impact of a positive safety culture and safety awareness on employee attitudes and its role in reducing unsafe conditions and behaviours was investigated through an extensive literature review. The transfer and sustainability of positive safety culture behaviours are explained in the context of theoretical approaches such as Bandura's social learning theory . In addition, a comparative analysis of the safety culture in companies with low and high accident rates is carried out. The results show that continuous training, management involvement, and effective communication play a crucial role in establishing an effective, positive safety culture. This study provides important insights for policy makers, health and safety professionals and managers who want to create a safer and more conscious working environment.

Keywords: Occupational health and safety, occupational accidents, behaviour-based safety, safety communication, organisational learning.

POZİTİF GÜVENLİK KÜLTÜRÜ VE FARKINDALIĞIN İŞ KAZALARINI ÖNLEMEDE ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. BAHİRİ GÜR

Iğdır Üniversitesi, bahri.gur@igdir.edu.tr – ORCID: 0000-0003-0579-6354

ÖZET

Çalışma hayatında insan ve çevre öncelikli yaklaşım işletmelerin sürdürülebilirliğinde temel gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle iş kazalarının önlenmesi amacıyla proaktif yaklaşımlar ortaya koyulmaktadır. Çalışmamız iş kazalarının önlenmesinde pozitif güvenlik kültürü ve farkındalığın etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Artan sanayileşme ile birlikte iş kazaları ve meslek hastalıkları küresel ölçekte hâlâ önemli bir sorundur. Bu sorunun kaynağı çoğunlukla teknik nedenler olmayıp insan kaynaklı nedenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, iş yerlerinde pozitif güvenlik kültürü oluşturma psikolojik, davranışsal ve yapısal boyutlarıyla güçlendirilmesi sonucu çalışanların iş sağlığı ve güvenliği farkındalığını ve proaktif davranışlarını nasıl geliştirdiği araştırılmıştır. Pozitif güvenlik kültürü ve farkındalığın çalışan tutumları üzerindeki etkisi ve güvensiz durum ve güvensiz davranışları azaltmadaki rolü detaylı literatür incelemesiyle ele alınmıştır. Pozitif güvenlik kültürü davranışlarının aktarımı ve sürdürülebilirliği Bandura'nın Sosyal Öğrenme Teorisi gibi teorik yaklaşımlar çerçevesinde açıklanmıştır. Ayrıca, düşük ve yüksek kaza oranına sahip işletmelerdeki güvenlik kültürünün karşılaştırmalı analizine de yer verilmiştir. Bulgular, sürekli eğitim, liderlik katılımı ve etkili iletişimin etkili bir pozitif güvenlik kültürü oluşturmada kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, daha güvenli ve bilinçli çalışma ortamları inşa etmek isteyen politika geliştiriciler, iş güvenliği uzmanları ve yöneticiler için önemli sonuçlar ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, iş kazaları, davranış temelli güvenlik, güvenlik iletişimi, örgütsel öğrenme.

1. GİRİŞ

İşletmeler çalışma hayatında mal üretimi ve hizmet üretimi olmak iki temel alanda faaliyet göstermektedir. Bu faaliyetlerin sürdürülebilirliği öncelikle işverenler ve çalışanlar açısından oldukça önemlidir. İşletmelerin sürdürülebilirliği iş sağlığı ve güvenliği kapsamında insan öncelikli yaklaşım ve çevre başlıkları altında iki temel esasa dayanmaktadır. “*Genel anlamda iş sağlığı ve güvenliği (İSG), çalışma hayatında işyerinden veya yapılan işten kaynaklanan tehlikelerin öngörülmesi, tanımlanması ve bu tehlikelerden ortaya çıkabilecek risklerin değerlendirilerek kabul edilebilir seviyeye getirilmesi amacını ortaya koyan bir kontrol bilimidir*” şeklinde tanımlanmıştır (Gür, 2023). Bu amaçla İSG ile ilgili kanun ve yönetmeliklere dayanarak iş kazası veya meslek hastalıkları vuku bulmadan önce alınması gereken tedbirlerin alınması olarak tanımlanan “*proaktif yaklaşım*” ve bu yaklaşımın etkili bir şekilde iş yerlerinde uygulanmasını sağlayan “*pozitif güvenlik kültürü*” kavramı ortaya çıkmıştır. Proaktif yaklaşımın ve pozitif güvenlik kültürünün yerleşmediği iş yerlerinde ramak kala olaylarının, iş kazası ve meslek hastalıklarının meydana gelmesi kaçınılmaz olacaktır.

Sanayileşme ile birlikte endüstriyel faaliyetlerde küresel ölçekte gözlenen hızlı artış, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önemli bir iş sağlığı, halk sağlığı ve ekonomik problem olarak gündemde kalmasına neden olmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre her yıl milyonlarca Uluslararası Çalışma Örgütü’nün (ILO) verilerine göre, her yıl yaklaşık 2,3 milyon insan iş kazaları veya meslek hastalıkları nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Bu kazaların önemli bir bölümü ölüm, kalıcı sakatlık veya uzun süreli iş göremezlik (maluliyet) ile sonuçlanmaktadır. Bu kazalar analiz edildiğinde kökeninde yalnızca makine ekipman kaynaklı olarak tanımlanan teknik yetersizlikler değil, aynı zamanda yönetim, örgütsel ve bireysel düzeydeki davranışsal ve kültürel eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu kazaların önemli bir bölümü, önlenabilir nitelikte olup, genellikle insan hatası, kurumsal ihmaller, yetersiz risk yönetimi ve düşük güvenlik kültüründen kaynaklanmaktadır. Günümüzde, İSG yönetiminde iş kazası veya meslek hastalığı meydana geldikten sonra alınan tedbirlerden (*reaktif eylem*) proaktif stratejilere geçiş insan öncelikli yaklaşımı, pozitif güvenlik kültürünü ve farkındalığı merkeze alan çok boyutlu programların geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Pozitif güvenlik kültürü iş yerlerinde çalışanların güvenli davranışları benimsemesini, güvensiz durumları fark etmesini ve rapor etmesini teşvik eden, liderlik desteği, sürekli eğitim, açık iletişim ve karşılıklı güven esaslarına dayalı bir örgütsel iklim kavramı olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, pozitif güvenlik kültürünün çalışan tutumlarını iyileştirdiği, iş kazası oranlarını düşürdüğü ve sürdürülebilir işletme amacına katkı sağlayarak İSG uygulamalarının etkinliğine katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, farklı kaza oranlarına sahip işletmeler arasında güvenlik kültürü bileşenlerinin nasıl farklılık gösterdiği ve bu farklılıkların çalışanların proaktif güvenlik davranışları üzerindeki etkileri konusunda hâlâ araştırma boşlukları bulunmaktadır.

Öte yandan, çalışanların bireysel düzeyde tehlikeleri algılaması, risklere karşı bilinç geliştirmesi ve güvenli davranışlar sergilemesi, “*farkındalık*” kavramını ortaya çıkarmaktadır. Bu kavram İSG konularında sadece eğitilmiş olmakla yetinmeyi kabul etmez aynı zamanda bilgi, dikkat, motivasyon ve deneyimle şekillenen bir bilinç hali olarak bütünsel değerlendirilir.

Bu nedenle güvenlik farkındalığı, organizasyonun gerektirdiği kültürle birlikte değerlendirilmesi gereken stratejik bir unsur haline gelmiştir.

Bu derleme çalışması, pozitif güvenlik kültürü ile çalışan farkındalığının iş kazalarının önlenmesindeki rolünü sistematik olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Yapılan çalışmalarda pozitif güvenlik kültürü ve çalışan farkındalığı kavramları genellikle ayrı başlıklar altında değerlendirilse de İSG açısından birbirini tamamlayan ve etkileşimli iki unsur olarak ayrılmış oldukları görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, pozitif güvenlik kültürü ile çalışan farkındalığı ilişkisinin bilimsel kanıtlarını değerlendirerek kavramsal bir çerçeve sunmak ve politika geliştiriciler ile işveren ve uygulayıcılara önerilerde bulunmaktır. Ayrıca Bandura'nın Sosyal Öğrenme Teorisi çerçevesinde değerlendirmeler yapılarak, güvenli davranışların örgüt içinde nasıl öğrenildiği, aktarıldığı ve sürdürüldüğü açıklanmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, proaktif yaklaşımın önemli öncüllerinden olan pozitif güvenlik kültürü ve çalışan farkındalığının iş kazalarının önlenmesine etkisini incelemeyi amaçlayan bir derleme çalışmasıdır. Literatür taramalarında yöntemsel olarak sistematik bir tarama yaklaşımı ile nitel veri analizi çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır.

2.1. Araştırma Modeli

Bu çalışmada pozitif güvenlik kültürü ve farkındalığın İSG bağlamında iş kazaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma modeli pozitif güvenlik kültürü (bağımsız değişken), çalışan güvenlik farkındalığı (ara değişken) ve iş kazalarının sıklığı ve şiddeti (bağımlı değişken) olmak üzere üç temel kavram üzerine kurulmuştur.

2.2. Literatür Tarama Süreci

Çalışma kapsamında, 2010–2025 yılları arasında yayınlanmış ulusal ve uluslararası makaleler taranmıştır. Bu kapsamda Scopus, Web of Science (WoS), PubMed, Google Scholar ve TR Dizin veri tabanları kullanılmıştır.

2.3. Anahtar kelimeler

Literatür taramalarında “safety culture”, “safety awareness”, “occupational accidents”, “positive safety climate”, “behavior-based safety”, “iş sağlığı ve güvenliği”, “farkındalık”, “güvenlik kültürü” ve “iş kazası önleme” terimleri anahtar kelimeler olarak tercih edilmiştir.

2.4. Veri Analizi

Elde edilen çalışmalar tematik analiz yöntemi ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda ortak bulgular belirlenmiş ve kavramsal çerçeve oluşturulmuştur. Elde edilen veriler kategorilere ayrılmış ve içerik analizi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca bazı çalışmaların metodolojisi, örneklem büyüklüğü ve bulguları karşılaştırmalı olarak tablolarla sunulmuştur.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde pozitif güvenlik kültürü ve çalışan farkındalığının iş kazalarının azaltılmasında etkili olduğu anlaşılmıştır. Bulgular tematik analiz yöntemiyle güvenlik kültürü ile iş kazaları arasındaki ilişki, farkındalık düzeyinin etkisi, entegre güvenlik kültürü ve farkındalık uygulamaları ve nicel sonuçlar başlığı altında dört ana tema altında değerlendirilmiştir.

Güvenlik kültürü ile iş kazaları arasındaki ilişki bağlamında değerlendirildiğinde İSG konularında güçlü bir pozitif güvenlik kültürüne sahip işletmelerde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının daha az yaşandığı bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda üst yönetim desteği olan kurumlarda iş kazalarının önemli oranda (%40) azaldığı, yapılan işin gereklilikleri ve İSG mevzuatı kapsamında uygulanan güvenlik prosedürlerinin çalışanlarda bilişsel düzeyde farkındalığı artırması sonucu kaza riskini önemli derece düşürdüğü ve kurum içi güvenlik iletişimi yüksek olan firmalarda, ramak kala olay bildirimi ve risk yönetimi farkındalığının önemli derece arttığı anlaşılmıştır.

İşletmelerde İSG risklerinin değerlendirilmesinde, iş kazası ve meslek hastalıklarının azaltılmasında farkındalık düzeyinin etkisi değerlendirildiğinde, çalışanların İSG güvenlik farkındalığı ile kazalardan korunma davranışları arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki ortaya çıkmıştır. İSG farkındalık düzeyi yüksek olan çalışanlar, tehlikeyi kaynağında önleme, tehlikeli durumları daha erken fark etme ve etkili risk değerlendirme sonucu daha az riskli davranış göstermektedir. Ayrıca farkındalık düzeyinin artmasına yönelik eğitimlerin kişisel koruyucu ekipman (KKD) kullanımında %25'e varan artış sağladığı bildirilmiştir. Farkındalık düzeyinin iş kazalarında ve meslek hastalıklarında azalmaya katkısı işe yeni başlayan çalışanların farkındalık düzeyinin düşük olması sonucu özellikle ilk 6 ayda kaza oranı diğer çalışanlara göre daha yüksek olması nedeni ile daha da önemli olmaktadır.

Çalışanlara yönelik farkındalık eğitimlerinin ve pozitif güvenlik kültürü geliştirme uygulamalarının sinerjistik etki ortaya çıkardığı gözlenmiştir. Entegre güvenlik kültürü ve farkındalık uygulamaları sonucunda özellikle davranış temelli güvenlik programları ile hem bireysel farkındalık hem kurumsal güvenlik kültürü aynı anda gelişmektedir. TS EN ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi'nin ortaya koyduğu katılımcı yönetim anlayışına sahip firmalarda, çalışanların sürece dâhil olmasıyla hem İSG farkındalık düzeyi hem de pozitif güvenlik performansı artmaktadır.

Yapılan çalışmalar nicel olarak değerlendirildiğinde pozitif güvenlik kültürü ve yüksek farkındalık düzeyinin olduğu işletmelerde kaza sıklık oranının %50'ye kadar azaldığı, güvenli davranış tutumlarının sıklığının %40'a kadar arttığı ve İSG risklerinin dikkate alınmaması sonucu ortaya çıkan riskli davranışların %30 oranında azaldığı ortaya çıkmıştır.

3.1. Tartışma

Bu çalışma, iş kazası ve meslek hastalıklarını önlemede pozitif güvenlik kültürü ve çalışan farkındalığının etkilerini inceleyen literatürü derleyerek kapsamlı bir değerlendirme ortaya koymuştur. Bulgular, İSG performansında bu iki faktörün belirleyici roller üstlendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Araştırmalar iş kazalarının sadece makine ekipman kaynaklı olmadığını aynı zamanda insan davranışı ve kurumsal tutum eksikliklerinden de kaynaklandığını ortaya koymuştur. Özellikle pozitif güvenlik kültürü, yalnızca İSG kurallarının ortaya konması ile değil aynı zamanda İSG kurallarının benimsenmesi, uygulanması ve içselleştirilmesi süreci olarak kabul edilmektedir. Pozitif güvenlik kültürü çalışanların güvenli davranışları sürdürmesini destekleyen bir iş yeri ortamı oluşturduğu ve bu ortamın da farkındalık düzeyini artırmıştır. Bu döngüsel ilişki, çalışanların güvenlik algısını güçlendirir ve sonuçta hem bireysel hem de örgütsel düzeyde proaktif yaklaşımın yapısını oluşturmaktadır.

İSG bağlamında farkındalığı sadece bireysel bir bilinç durumu olarak değerlendirmeyip aynı zamanda örgütsel yapının ve iletişim kanallarının yansıması olarak ta değerlendirmek gerekmektedir. Çalışanlar kendilerini sürecin bir parçası olarak hissettiklerinde, tehlikeleri daha iyi algılayabilir ve uygun güvenlik davranışları ortaya koyabilirler. Bu nedenle yönetsel olarak İSG süreçlerinin desteklenmesi, eğitim programlarının sürdürülebilirliğini ve katılımcı iş yeri kültürünün farkındalık düzeyini doğrudan etkilediği ortaya çıkmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

İSG’de güvenlik kültürü; işyerinde çalışanların güvenliğe dair paylaşılan değer, norm ve davranış biçimleri olup, güvenlik iklimi ölçümleri ile operasyonel düzeyde izlenir. Son on yılda yapılan meta-analiz ve sistematik derlemeler güvenlik kültürü/ikliminin güvenli davranış, kaza/yaralanma oranları ve hatta finansal performans üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Pozitif güvenlik kültürü, çalışan farkındalığını artırarak iş kazalarının sıklığını ve şiddetini azaltmada etkili bir araçtır. Pozitif güvenlik kültürü, üst yönetim taahhüdü, açık raporlama, sürekli eğitim ve katılımcı liderlik ile karakterize edilmektedir. Son meta analiz çalışmalarında proses güvenliği iklimi gibi ölçeklerin risk algısı ve güvenli davranış öngörüsünde daha güçlü olduğunu; genel ölçeklerin ise hata/ramak kala gibi çıktıları daha iyi açıkladığını göstermiştir. Pozitif güvenlik kültürünün kaza riskini dolaylı ve doğrudan azalttığı, liderlik eğitimi ve koçluğun iklim ve davranışları iyileştirdiği bildirilmiştir. Ayrıca, finansal performansa güvenlik performansı üzerinden pozitif yansıdığı da rapor edilmiştir.

Negatif güvenlik kültürü çoğunlukla biçimsel uyum, suçlama odaklı tepki, zayıf iletişim ve kaynak yetersizliği sonucu ortaya çıkmaktadır. “*Just culture*” uygulamalarına ilişkin son yıllardaki sistematik derlemeler ve rehberler, öğrenme ve adalet eksenini kurulmadıkça raporlama ve öğrenmenin baskılandığını, insan hatası, riskli ve umursamaz davranış tutumları ile sistematik olarak negatif güvenlik kültürünün ortaya çıktığı vurgulamıştır. Havacılık ve inşaat gibi büyük endüstriyel kazalarda da kültürel arızalar negatif güvenlik kültürünün tipik sonuçları olarak tartışılmıştır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, NOSACQ-50 gibi geçerli ve ölçüm eşdeğerliği sağlanmış araçlarla güvenlik ikliminin sektörler arası değerlendirilmesini, geriye dönük kayıtlara bağımlılığı azaltacak proaktif metriklerle desteklemektedir. Bulgular, güvenlik kültürünün iklim aracılığıyla davranış ve kaza sonuçlarını etkilediğini; psikososyal güvenlik iklimi, örgütsel/bireysel dayanıklılık, liderlik tarzları ve stres-yorgunluk gibi faktörlerin bu ilişkide

aracı veya düzenleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu çerçevede, üst yönetim liderliği ve koçluk programları, “just culture” temelli olay öğrenmesi, sektör özelinde iklim ölçümü, sürekli eğitim–geri bildirim döngüleri ve ödüllendirme sistemlerini izleyen veri temelli yaklaşımlar, pozitif güvenlik kültürünün geliştirilmesinde öne çıkan uygulamalardır.

İş Sağlığı ve Güvenliği perspektifinde aşağıdaki teorik çerçeveler ile iş yerlerinde pozitif güvenlik kültürü ve farkındalık seviyeleri artırılabilir:

- Bandura’nın Sosyal Öğrenme Teorisi: Güvenli davranışların gözlem, modelleme ve pekiştirme yoluyla öğrenilmesi.
- High Reliability Organization (HRO) İlkeleri: Hatalara karşı yüksek farkındalık, sürekli öğrenme ve adaptasyon.
- Reason’ın İsviçre Peyniri Modeli: Pozitif kültür, bariyerlerin güçlendirilmesi ile kazaları önler; negatif kültür, bariyerlerde “delikler” oluşturur.
- İş yerlerinde davranışsal gözlem sistemleri ve farkındalık ölçüm araçları kullanılmalıdır.
- Eğitimler sadece bilgi aktarıcı değil, risk algısını geliştiren interaktif yöntemlerle tasarlanmalıdır.
- Yöneticiler, rol model olmalı ve güvenlik kültürünü davranışsal olarak da desteklemelidir.
- Çalışan katılımı teşvik edilmeli, geri bildirim mekanizmaları güçlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Ali, Y., Washington, S., & Haque, M. M. (2023). Estimating real-time crash risk at signalized intersections: A Bayesian Generalized Extreme Value approach. *Safety science*, 164, 106181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106181>
- Bandura, A., & Walters, R. H. (1977). *Social learning theory* (Vol. 1). Prentice hall Englewood Cliffs, NJ.
- Carra, S., Bottani, E., Vignali, G., Madonna, M., & Monica, L. (2024). Implementation of Behavior-Based Safety in the Workplace: A Review of Conceptual and Empirical Literature. *Sustainability*, 16(23), 10195. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10195>
- Cedergren, A., & Hassel, H. (2022). Using Action Design Research for Developing and Implementing a Method for Risk Assessment and Continuity Management. *Safety science*, 151, 105727. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105727>
- Choudhry, R. M., Fang, D., & Mohamed, S. (2007). The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. *Safety science*, 45(10), 993-1012.
- Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety science*, 36(2), 111-136.
- Draghici, A., Dursun, S., Başol, O., Boatca, M. E., & Gaureanu, A. (2022). The Mediating Role of Safety Climate in the Relationship between Transformational Safety Leadership and Safe Behavior—The Case of Two Companies in Turkey and Romania. *Sustainability*, 14(14), 8464. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8464>

- Geller, E. S. (2016). *The psychology of safety handbook*. CRC press.
- Guldenmund, F. W. (2007). The use of questionnaires in safety culture research—an evaluation. *Safety science*, 45(6), 723-743.
- Gür, B. (2023). İş Sağlığı ve Güvenliği. In S. D. Murat Darçın (Ed.), *Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi*. Paradigma. <https://www.paradigmaakademiyayinlari.com/10402/is-sagligi-ve-guvenligi/>
- Jiang, L., Lavaysse, L. M., & Probst, T. M. (2019). Safety climate and safety outcomes: A meta-analytic comparison of universal vs. industry-specific safety climate predictive validity. *Work & Stress*, 33(1), 41-57. <https://doi.org/10.1080/02678373.2018.1457737>
- Lee, B., & Kim, H. (2024). Evaluating the effects of safety incentives on worker safety behavior control through image-based activity classification. *Frontiers in Public Health*, 12, 1430697.
- Murray, J., Sorra, J., Gale, B., & Mossburg, S. (2024). Ensuring patient and workforce safety culture in healthcare. *Ensuring Patient and Workforce Safety Culture in Healthcare*.
- Neal, A., Griffin, M. A., & Hart, P. M. (2000). The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety science*, 34(1-3), 99-109.
- Payne, S. C., Vechot, L., & Ashraf, A. M. (2023). Extending the empirical evidence for process safety climate. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 734-740.
- Reason, J. (2016). *Managing the risks of organizational accidents*. Routledge.
- Reason, J., Hollnagel, E., & Paries, J. (2006). Revisiting the Swiss cheese model of accidents. *Journal of Clinical Engineering*, 27(4), 110-115.
- Schüler, M. (2025). Validating a shortened version of the Nordic safety climate questionnaire (NOSACQ) on a military population. *Safety science*, 191, 106946.
- Sutcliffe, K. M. (2011). High reliability organizations (HROs). *Best practice & Research clinical anaesthesiology*, 25(2), 133-144.
- Zhao, L., Yang, D., Liu, S., & Nkrumah, E. N. K. (2022). The effect of safety leadership on safety participation of employee: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 13, 827694.
- Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: testing the effect of group climate on microaccidents in manufacturing jobs. *Journal of applied psychology*, 85(4), 587.

ALGLER VE SU KALİTESİ: EKOLOJİK GÖSTERGELER VE YÖNETİM AÇISINDAN ÖNEMİ

Doç. Dr, LATİFE CEYDA İRKİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Fakültesi,
latifeirkin@gmail.com – 0000-0001-6603-8413

ÖZET

Algler, tatlı su ve denizel ortamlarda yaygın olarak bulunan, fotosentetik organizmalardır ve sucul ekosistemlerin temel birincil üreticileri arasında yer alırlar. Bu mikroorganizmalar, karbon fiksasyonu, oksijen üretimi ve besin zincirinin temeli olmaları açısından ekosistem dengesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, alglerin varlığı, tür çeşitliliği ve yoğunluğu, su kalitesinin biyolojik göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu yönüyle algler, sadece ekosistemin işleyişi değil, aynı zamanda su kirliliğinin tespiti ve yönetimi açısından da büyük öneme sahiptir. Su ortamlarında besin maddelerinin (özellikle azot ve fosforun) aşırı artışı, ötrifikasyon olarak adlandırılan bir sürece neden olur ve bu süreçte alglerin hızlı ve kontrolsüz çoğalması söz konusudur. Bu olay, alg patlamaları (algal bloom) olarak tanımlanır ve sıklıkla zararlı türlerin (örneğin toksin üreten siyanobakteriler) baskın hale gelmesiyle sonuçlanır. Bu tür patlamalar; sudaki oksijen seviyesini düşürerek balık ölümlerine yol açabilir, içme suyu kaynaklarını tehdit edebilir ve insan sağlığı açısından toksik etkiler yaratabilir. Algler aynı zamanda biyogösterge (bioindicator) olarak kullanılabilecek canlılardır. Farklı türlerin belirli çevresel koşullara duyarlılığı sayesinde, suyun pH'ı, çözünmüş oksijen seviyesi, sıcaklığı ve besin yükü gibi parametreler hakkında dolaylı bilgi elde edilebilir. Ayrıca, mikroalgler modern çevre mühendisliği uygulamalarında biyoremediasyon (biyolojik arıtım) amacıyla da kullanılmaktadır. Bazı alg türleri, ağır metaller, pestisitler ve azot-fosfor bileşiklerini gibi kirlenici maddeleri absorbe ederek, suyun doğal yollarla arıtılmasına katkı sağlar.

Anahtar Kelimeler: Ötrifikasyon, biyogösterge, biyoremediasyon, alg patlaması.

1. GİRİŞ

Algler, sucul ekosistemlerde birincil üreticiler olarak kritik roller üstlenirler. Tür çeşitliliği, yoğunluğu ve kompozisyonları, su kalitesinin belirlenmesinde önemli biyolojik göstergeler sunar. Bu makalede, alglerin ekosistem sağlığındaki rolü, su kalitesiyle ilişkili biyolojik göstergeler olarak kullanımları, alg patlamalarının (özellikle siyanobakteriyel türlerin) çevresel etkileri ve entegre su yönetimi açısından önemi ele alınmaktadır.

Küresel su kaynakları üzerindeki antropojenik baskılar, tatlı ve deniz suyu ekosistemlerinin sağlığını tehdit etmektedir. Tarımsal faaliyetler, sanayi atıkları, kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, besin maddesi yüklenmesini artırarak su kalitesinde bozulmalara yol açmaktadır. Bu bağlamda, algler, su kalitesini izlemek için güvenilir biyolojik göstergeler olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde su kalitesinin izlenmesinde fiziksel ve kimyasal analizlerin

yanı sıra, biyolojik izleme (biomonitoring) teknikleri de kullanılmakta ve bu tekniklerin merkezinde algler yer almaktadır. Özellikle fitoplankton topluluk yapısı, kirliliğin derecesi ve kaynağı hakkında uzun vadeli ve bütünsel bilgi sağlar. Bu bağlamda, algler yalnızca pasif bir bileşen değil, aktif çevresel sensörler olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, mikroalgler modern çevre mühendisliği uygulamalarında biyoremediasyon (biyolojik arıtım) amacıyla da kullanılmaktadır. Bazı alg türleri, ağır metaller, pestisitler ve azot-fosfor bileşikler gibi kirlletici maddeleri absorbe ederek, suyun doğal yollarla arıtılmasına katkı sağlar. Bu yönüyle algler, sürdürülebilir su yönetimi politikalarının geliştirilmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

2. ALGLERİN EKOLOJİK ROLÜ

2.1. Birincil Üretim ve Besin Zinciri

Algler, fotosentez yoluyla organik madde üreterek sucul gıda zincirinin temelini oluştururlar. Fitoplankton ve bentik algler, zooplanktonlar ve diğer sucul canlılar için başlıca besin kaynağıdır.

2.2. Oksijen Dengesi ve Ekosistem Fonksiyonu

Fotosentetik faaliyetleriyle sudaki oksijen seviyesini artıran algler, solunumsal aktiviteleriyle gece saatlerinde oksijen tüketimine de neden olabilirler. Denge bozulduğunda, gece oksijen eksikliği nedeniyle balık ölümleri yaşanabilir.

3. ALGLER VE SU KALİTESİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

3.1. Biyolojik Göstergeler Olarak Algler

Alg türleri, su kalitesi parametrelerine (besin maddeleri, çözünmüş oksijen, ışık geçirgenliği, pH, sıcaklık) son derece duyarlıdır. Bu nedenle, belirli türlerin varlığı veya yokluğu, suyun kimyasal ve fiziksel durumu hakkında bilgi verir.

3.2. Endeks Kullanımı (TDI, PSI vb.)

Tatlı su sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Trofik Diatom İndeksi (TDI), diatomların (silisli algler) kompozisyonuna dayalı olarak trofik durumu belirler. Ayrıca Periphyton Sensitivite İndeksi (PSI) gibi göstergeler, periphyton topluluklarının organik kirliliğe tepkilerini değerlendirir.

4. ALG PATLAMALARI (EUTROFİKASYON VE HAB'LER)

4.1. Siyanobakteriyel Patlamalar ve Toksisite

Azot ve fosfor gibi besin maddelerinin aşırı birikimi, siyanobakteri (mavi-yeşil alg) patlamalarına yol açar. Bu olaylar yalnızca oksijen azalmasına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda mikrosistin gibi hepatotoksinler üreterek canlılar üzerinde toksik etkiler oluşturur.

4.2. Ekonomik ve Ekolojik Sonuçlar

Alg patlamaları, içme suyu kaynaklarını kirletir, balıkçılığı olumsuz etkiler ve rekreasyonel kullanımları sınırlar. Ayrıca, ekosistem işleyişini bozar ve biyolojik çeşitliliği azaltır.

5. SU KALİTESİNİN İZLENMESİNDE ALG TABANLI YAKLAŞIMLAR

5.1. Uzaktan Algılama ve Otomatik Ölçüm Sistemleri

Günümüzde alg biyokütlesi (örneğin klorofil-a düzeyleri), uzaktan algılama sistemleri ve uydu verileri kullanılarak geniş alanlarda izlenebilmektedir. Bu yöntemler, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

5.2. Mikroskopik ve Moleküler Teknikler

Alg kompozisyonu geleneksel mikroskopik yöntemlerle belirlenebilse de, DNA barkodlama ve metagenomik analizler, taksonomik çözünürlükte devrim yaratmıştır. Bu sayede tür düzeyinde tanımlama daha hızlı ve kesin hale gelmiştir.

6. ALG YÖNETİMİ VE POLİTİKALAR

6.1. Entegre Su Yönetimi Yaklaşımı

Alg patlamalarını önlemek için besin girdilerinin kontrolü (özellikle azot ve fosfor), arıtma tesislerinin etkinliği ve havza yönetimi büyük önem taşır. Entegre su yönetimi, hem su kalitesini hem de ekosistem sağlığını korumaya yönelik çok paydaşlı bir yaklaşımı gerektirir.

6.2. Avrupa Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye

Avrupa Birliği'nin Su Çerçeve Direktifi (WFD), biyolojik kalite ögeleri arasında fitoplanktonu da kapsamaktadır. Türkiye'de de bu direktif temel alınarak su kütlelerinin ekolojik durumları belirlenmekte ve kalite sınıflandırmaları yapılmaktadır.

7. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ARAŞTIRMA ALANLARI

İklim değişikliği ile birlikte su sıcaklığının artması, alg kompozisyonunu değiştirecek ve siyanobakteri baskınlığını artıracaktır. Doğal biyolojik rekabet ve biyomanipülasyon, alg kontrolünde kullanılabilecek potansiyel biyolojik stratejilerdir. Yapay zeka tabanlı modelleme ve otomatik tanıma sistemleri, izleme süreçlerini hızlandırarak karar alma mekanizmalarını destekleyebilir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Algler, su ekosistemlerinin işleyişinde temel rol oynamakla birlikte, aynı zamanda su kalitesinin belirlenmesinde vazgeçilmez biyolojik göstergelerdir. Siyanobakteri patlamaları gibi olaylar, su kaynaklarının kalitesini ve güvenliğini tehdit etmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir ve bütüncül bir su yönetimi politikası geliştirilerek, hem su kaynakları korunmalı hem de alg temelli izleme sistemleri güçlendirilmelidir. Algler, yalnızca sucul ekosistemlerin doğal bileşeni değil, aynı zamanda su kalitesinin değerlendirilmesinde ve korunmasında stratejik bir role sahiptir. Zararlı alg patlamalarının kontrolü, alglerin biyolojik göstergeler olarak kullanımı ve arıtma sistemlerinde değerlendirilmeleri, hem ekosistem sağlığı hem de

insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, alglerin su kalitesiyle ilişkisini anlamaya yönelik disiplinler arası çalışmaların önemi giderek artmaktadır.

Alglerin tür çeşitliliği, bolluğu ve kompozisyonu, su ortamının fiziksel ve kimyasal koşulları hakkında bilgi verir. Bazı alg türleri belirli kirlilik düzeylerine hassas olup yalnızca temiz sularda yaşarken, bazıları kirli, az oksijenli ortamlarda gelişebilir. Bu nedenle, alg topluluklarının analiz edilmesi, suyun genel sağlığını belirlemede etkili bir yöntem Algler, biyolojik izleme programlarının merkezinde yer alan biyoidikatörlerdir. Özellikle diatomlar, çok hassas çevresel göstergeler olarak kullanılmakta ve pH, çözünmüş oksijen, su sertliği ve kirlenmeler gibi parametreleri temsil etmektedir. Bu özellikleri sayesinde, fiziksel ve kimyasal analizlerle birlikte kullanıldığında, su kalitesinin daha bütüncül ve dinamik bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Algler sadece gözlem aracı değil, aynı zamanda su kalitesinin iyileştirilmesinde aktif olarak kullanılabilir. Mikroalgler, azot ve fosfor gibi besin maddelerini tüketerek ötrifikasyon riskini azaltabilir. Ayrıca bazı türler ağır metalleri ve toksik organik bileşikler absorbe ederek suyun temizlenmesine katkı sağlar.

Küresel iklim değişikliği, su sıcaklıklarındaki artış ve yağış rejimindeki düzensizlikler aracılığıyla alglerin kompozisyonu ve yoğunluğu üzerinde etkili olmaktadır. Sıcaklığın artması, özellikle toksin üreten siyanobakterilerin büyük avantaj kazanmasına neden olabilir ve bu durum su kalitesini daha da olumsuz etkileyebilir. Alglerin su kalitesi üzerindeki etkileri dikkate alındığında, su yönetim politikalarının bilim temelli ve çok disiplinli yaklaşımlarla yürütülmesi gereklidir. Alg temelli biyoidikatör sistemlerinin izleme programlarına entegre edilmesi, su kaynaklarının korunmasında etkili bir strateji oluşturabilir. Algler, su kalitesinin hem pasif gözlemlenmesi hem de aktif yönetimi için stratejik bir kaynak oluşturmaktadır. Zararlı alg patlamaları ve ötrifikasyon gibi sorunların kontrol altına alınması, alglerin biyolojik izleme ve biyoremediasyon alanlarındaki rolüyle mümkün olabilir. Bu nedenle, su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde alg biyolojisinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Reynolds, C. S. (2006). The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press.
- European Commission. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy.
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems (3rd ed.). Academic Press.
- Carvalho, L., Poikane, S., Solheim, A. L., et al. (2019). Protecting and restoring Europe's waters: An overview of policy and technical approaches. Sustainability, 11(23), 6313.
- Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2013). Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. Microbial Ecology, 65(4), 995–1010.
- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. Estuaries, 25(4), 704-726.
- Falkowski, P. G., & Raven, J. A. (2007). Aquatic Photosynthesis. Princeton University Press.

- Palmer, C. M. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. *Journal of Phycology*, 5(1), 78-82.
- Paerl, H. W., & Paul, V. J. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research*, 46(5), 1349-1363.
- Pittman, J. K., Dean, A. P., & Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, 102(1), 17-25.
- Reynolds, C. S. (2006). *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179-196.
- Stoermer, E. F., & Smol, J. P. (1999). *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press.

ALGLERİN İLAÇ YAPIMINDA KULLANIMI: BİYOLOJİK POTANSİYEL VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Doç. Dr, LATİFE CEYDA İRKİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Fakültesi,
latifeirkin@gmail.com – 0000-0001-6603-8413

ÖZET

Algler, sahip oldukları zengin biyokimyasal içerikleri ve biyolojik olarak aktif bileşenleri sayesinde farmasötik bilimlerde büyük bir ilgi odağı haline gelmiştir. Mikroalgler (örneğin *Spirulina*, *Chlorella*) ve makroalgler (örneğin kahverengi, kırmızı ve yeşil deniz algleri) başta olmak üzere birçok alg türü, antibakteriyel, antiviral, antioksidan ve antikanser etkileriyle çeşitli hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde potansiyel ajanlar olarak değerlendirilmektedir. Alglerin içeriğinde bulunan karotenoidler (astaksantin, fucoxanthin), sülfatlanmış polisakkaritler (fucoidan, ulvan), fenolik bileşikler ve omega-3 yağ asitleri gibi doğal ürünler; serbest radikallerle savaşarak oksidatif stresi azaltmakta, bağışıklık sistemini desteklemekte ve hücresel hasarı engellemektedir. Bu biyolojik aktiviteleri sayesinde algler hem geleneksel hem de modern tıpta alternatif veya tamamlayıcı tedavi yaklaşımları için umut verici kaynaklardır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, alglerin özellikle antibiyotik direnci ile mücadele, kanser hücrelerinin büyümesinin baskılanması, sinir sistemi hastalıklarının hafifletilmesi ve yaşlanma karşıtı (anti-aging) kozmetik ürünlerin geliştirilmesi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Örneğin, *Ecklonia cava* türünden izole edilen polifenoller, UV kaynaklı hücre hasarına karşı koruyucu etki gösterirken, *Spirulina platensis* gibi mikroalgler geniş spektrumlu antimikrobiyal etkilere sahiptir. Sonuç olarak, algler hem doğaya duyarlı sürdürülebilir üretim modelleri sunmaları hem de çok yönlü farmakolojik özellikleri sayesinde ilaç keşfinde yenilikçi ve doğal bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte yapılacak olan detaylı araştırmalar ve klinik çalışmalar, alg bazlı biyoaktif bileşiklerin insan sağlığına yönelik etkilerini daha iyi anlamamıza ve bunları etkili tedavi araçlarına dönüştürmemize katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Farmasötik uygulamalar, antikanser, nöroprotektif etkiler, doğal ilaç hammaddesi.

1. GİRİŞ

Algler, fotosentetik mikroorganizmalar olup hem tatlı sularda hem de denizel ortamlarda yaygın olarak bulunurlar. Biyoteknolojik uygulamalar arasında gıda, kozmetik ve özellikle farmasötik ürünlerin geliştirilmesi yer almaktadır. Yüksek oranda polifenoller, karotenoidler, polisakkaritler ve proteinler içeren algler, yeni nesil ilaçların geliştirilmesinde umut vaat etmektedir (Raposo et al., 2013). İlaç endüstrisi, yeni bileşiklerin keşfi ve geliştirilmesi konusunda doğal kaynaklara her zaman büyük ilgi göstermiştir. Bu kaynaklar arasında, mikro ve makro algler (fitoplanktonlar ve deniz yosunları), içerdikleri zengin biyokimyasal bileşikler sayesinde son yıllarda ön plana çıkmıştır. Alglerin içerdiği polisakkaritler, fenolik bileşikler, steroller, karotenoidler, pigmentler, peptitler ve alkaloidler, çeşitli farmakolojik aktiviteler göstermektedir (antibakteriyel, antikanser, antiinflamatuvar vb.). Ayrıca alglerin kozmetik ürünlerde doğal, sürdürülebilir ve cilt dostu içerik kaynağı olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Nörolojik hastalıklar bağlamında ise, astaksantin gibi karotenoidlerin nöroprotektif etkiler gösterdiği ve Alzheimer gibi dejeneratif hastalıklarla mücadelede destekleyici ajan olarak değerlendirilebileceği yönünde güçlü bulgular elde edilmiştir. Her ne kadar alg bazlı ilaçların geliştirilmesi umut verici olsa da, bu alanda bazı zorluklar da bulunmaktadır. Özellikle etken maddelerin düşük derişimlerde bulunması, üretim maliyetleri, standardizasyon zorlukları ve klinik verilerin sınırlı olması gibi etkenler, geniş ölçekli ticari uygulamaların önünde engel teşkil etmektedir. Bununla birlikte, biyoteknolojik yöntemlerin gelişmesi, genomik ve metabolomik yaklaşımların devreye girmesiyle bu engellerin aşılması beklenmektedir.

2. ALGLERİN BİYOLOJİK BİLEŞENLERİ VE FARMAKOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Algler genel olarak mikroalgler (örneğin *Chlorella*, *Spirulina*) ve makroalgler (deniz yosunları) olarak ikiye ayrılır. Bu organizmaların hücresel yapılarında; Karotenoidler (örneğin astaksantin, fucoxanthin), Polisakkaritler (örneğin laminarin, ulvan), Yağ asitleri (omega-3, omega-6), Fenolik bileşikler gibi farmasötik açıdan değerli sekonder metabolitler bulunur (Plaza et al., 2009). Algler, doğal içerikleri ve biyolojik olarak aktif bileşenleri sayesinde kozmetik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cilt yenilenmesini destekleyen, anti-aging etkili ve UV koruyucu özelliklere sahip bileşenler alglerden elde edilmektedir (Pulz & Gross, 2004). Özellikle kahverengi alglerden elde edilen fucoïdan ve phlorotanninler, serbest radikallerin neden olduğu cilt yaşlanmasını geciktirici etki gösterir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, alglerin nöroprotektif etkilerinin olabileceğini ortaya koymuştur. Oksidatif stresin

Alzheimer, Parkinson ve diğer nörodejeneratif hastalıklarda önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Alglerden elde edilen karotenoidler (özellikle astaksantin) ve polifenoller, nöron hücrelerini serbest radikallerin zararlı etkilerinden koruyabilir (Hussein et al., 2006).

2.1. Polisakkaritler

Alglerde bulunan sülfatlı polisakkaritler antiviral, antikoagülan ve immunomodülatör özellikler gösterir. Özellikle kırmızı alglerden elde edilen karrajenan ve agaroz, çeşitli viral enfeksiyonlara karşı etkinlik göstermektedir. Kahverengi alglerden elde edilen aljinat ise yara iyileştirici ve taşıyıcı ajan olarak değerlidir.

2.2. Fenolik Bileşikler ve Antioksidanlar

Polifenoller, alglerin oksidatif strese karşı korunmasında rol alır. Bu bileşikler aynı zamanda insan vücudunda serbest radikalleri nötralize ederek antioksidan etki gösterir. Örneğin, kahverengi alglerden elde edilen florotanin grubu bileşiklerin kanser önleyici etkileri rapor edilmiştir. *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* gibi türlerden elde edilen ekstraktlar, çeşitli gram pozitif ve negatif bakterilere karşı etkilidir (El-Baz et al., 2013). Alg kaynaklı antioksidanlar, hücresel hasarı önleyerek yaşlanma, kanser ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde rol oynar. Özellikle *Ecklonia cava* türünden elde edilen polifenoller güçlü antioksidan özellik göstermektedir (Heo & Jeon, 2009). Alglerde bulunan fucoidan, apoptoz indüksiyonu ve tümör büyümesini baskılama özellikleriyle öne çıkar. Kolon, göğüs ve lösemi hücrelerine karşı sitotoksik etkiler gösterilmiştir (Ale et al., 2011).

2.3. Karotenoidler

Karotenoidler, özellikle astaksantin, β -karoten ve fucoxanthin gibi pigmentler, hem antioksidan hem de antikanser özellikler taşır. Astaksantin, kırmızı renkli mikroalg olan *Haematococcus pluvialis*'ten elde edilir ve hücre yaşlanmasını geciktirici etkilere sahiptir. Kahverengi alglerden izole edilen sülfatlanmış polisakkaritlerin HIV ve herpes virüsüne karşı antiviral etkili olduğu belirlenmiştir (Witvrouw & De Clercq, 1997).

2.4. Proteinler ve Peptitler

Alglerin içerdiği bazı biyolojik aktif peptitlerin hipertansiyon, diyabet ve kanser gibi hastalıklarda terapötik etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca antimikrobiyal peptitlerin enfeksiyonlara karşı koruma sağladığı bildirilmektedir.

3. ALG TÜREVİ ÜRÜNLERİN İLAÇ ENDÜSTRİSİNDEKİ KULLANIMI

3.1. Antikanser Uygulamalar

Alglerden elde edilen bazı bileşenler hücre çoğalmasını engelleyerek antikanser ajan olarak kullanılmaktadır. Özellikle fucoidan gibi sülfatlı polisakkaritlerin, lösemi ve solid tümör hücre hatlarında apoptotik etki oluşturduğu gösterilmiştir.

3.2. Antiviral ve Antibakteriyel Uygulamalar

COVID-19 pandemisi sonrası yapılan araştırmalarda, bazı alg türevli bileşenlerin SARS-CoV-2'ye karşı potansiyel inhibitör etkileri olduğu ileri sürülmüştür. Ayrıca mikroalglerden elde edilen bileşiklerin Gram pozitif ve negatif bakterilere karşı etkili olduğu gösterilmiştir.

3.3. Taşıyıcı Sistemler ve İlaç Salımı

Alglerden elde edilen biyopolimerler, kontrollü ilaç salımı sistemlerinde kullanılmaktadır. Özellikle aljinat mikrokapsüller, oral yolla alınan ilaçların bağırsakta çözünmesini sağlayarak hedefe yönelik tedavi imkânı sunmaktadır.

4. BİYOTEKNOLOJİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Alglerin büyük ölçekte ilaç yapımında kullanılabilmesi için biyoteknolojik üretim yöntemlerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Fotobiyoreaktör sistemleri, genetik mühendislik, CRISPR/Cas9 tabanlı modifikasyonlar ve fermantasyon teknolojileri, bu sürecin temel yapı taşlarıdır. Mikroalglerin genetik yollarla metabolit üretimini artıracak şekilde modifiye edilmesi, ilaç sektörüne yönelik üretimi hızlandırmaktadır. Alg bazlı ilaç adaylarının izolasyonu, saflaştırılması ve klinik testlerden geçerek onaylanması uzun ve maliyetli bir süreçtir. Bununla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik ve biyoyararlanım gibi avantajlar, algleri geleceğin ilaç hammaddeleri arasında önemli bir yere koymaktadır.

5. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ZORLUKLAR

5.1. Sürdürülebilirlik

Alglerin hızlı büyüme kapasiteleri ve az kaynak gereksinimi, onları sürdürülebilir bir kaynak haline getirir. Ancak doğal stokların aşırı kullanımı, ekosistem dengesi açısından risk oluşturabilir. Bu nedenle kültür bazlı üretim teşvik edilmelidir.

5.2. Regülasyon ve Onay Süreçleri

Alg bazlı ürünlerin farmasötik alanda kullanımı için toksikolojik değerlendirmeler ve klinik testler gereklidir. Avrupa İlaç Ajansı (EMA) ve FDA gibi otoritelerin belirlediği standartlara uygunluk, ticari ürünlerin piyasaya çıkışını belirler.

5.3. Ar-Ge ve Yatırım Potansiyeli

Alg biyoteknolojisi alanında yürütülen araştırmalar, ilaç sektöründe yeni moleküllerin keşfine kapı aralamaktadır. Üniversite-sanayi iş birliğinin artırılması, bu alanda yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Alglerin farmasötik kullanımı konusunda karşılaşılan başlıca zorluklar şunlardır: Biyoaktif bileşiklerin düşük derişimde bulunması, Standardizasyon ve dozaj zorlukları, Klinik veri eksikliği. Buna karşın, sentetik biyoloji, omik teknolojileri ve biyo-rafineri sistemlerinin gelişmesi, alg bazlı ilaçların daha verimli ve yaygın kullanımını mümkün kılabilir.

6. SONUÇ

Algler, içerdikleri zengin biyolojik bileşenler sayesinde ilaç yapımında büyük bir potansiyele sahiptir. Antikanser, antiviral, antioksidan ve taşıyıcı sistem özellikleriyle, farmasötik endüstride umut vaat eden doğal kaynaklardır. Biyoteknolojik gelişmelerle birlikte, alg bazlı ilaçların üretimi ve pazara sunumu daha erişilebilir hale gelmektedir. Ancak bu sürecin başarılı olabilmesi için sürdürülebilirlik, regülasyonlar ve bilimsel iş birlikleri temel unsurlar olarak önem kazanmaktadır. Algler, doğada bol bulunan, hızlı büyüyen ve zengin biyoaktif içeriklere sahip organizmalardır. Farmasötik alanda, özellikle antikanser ve antiviral ilaçların geliştirilmesinde önemli bir kaynak olabilirler. Ayrıca kozmetik ve nörolojik alanlarda da umut vaat eden doğal kaynaklar olarak dikkat çekmektedirler. Gelecekteki çalışmalar, bu potansiyelin daha iyi anlaşılması ve klinik uygulamalara aktarılması açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543–597. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>

Kim, S. K., & Bhatnagar, I. (2011). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: a review. *Food Chemistry*, 120(4), 749–757.

Plaza, M., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2008). In the search of new functional food ingredients from algae. *Trends in Food Science & Technology*, 19(1), 31–39.

Pangestuti, R., & Kim, S. K. (2015). Biological activities and health benefit effects of natural pigments derived from marine algae. *Journal of Functional Foods*, 17, 1–15.

Wijesinghe, W. A. J. P., & Jeon, Y. J. (2012). Exploiting biological activities of brown seaweed *Ecklonia cava* for potential industrial applications: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(2), 225–235.

TURKEY'S PROJECTED TARGETS UNDER THE FRAMEWORK OF THE CLIMATE LAW

Assist. Prof. Dr. Berna CAPAR*

¹Munzur University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Department of Hydrolics, Tunceli, TURKEY
bernacapar@gmail.com
ORCID:0009-0006-0834-9241

Assoc. Prof. Dr. Gokhan Onder ERGUVEN

² Munzur University, Faculty of Economics And Administrative Sciences, Department of Urbanization And Environmental Issues, Tunceli, TURKIYE
gokhanondererguven@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1573-080X

ABSTRACT

The Climate Law aims to establish a national strategy in the fight against climate change by taking steps that balance environmental sustainability with economic development. Within the scope of this law, a Provincial Climate Change Coordination Board will be established in each province under the chairmanship of the governor. The law, which was enacted by the Grand National Assembly of Turkey (GNAT), outlines the fundamental objectives of combating climate change, including the reduction of greenhouse gas emissions and the planning and implementation of adaptation activities. It also sets forth the procedural and institutional framework regarding these actions.

The legislation emphasizes key legal and policy concepts related to climate law, including "Climate Justice," "Climate Finance," "Net Zero Emissions," "Just Transition," "Primary Market," "Carbon Credit," "Offsetting," "Emissions Trading System (ETS)," "Embedded Greenhouse Gas Emissions," and "Voluntary Carbon Markets." Furthermore, the law presents the targets that Türkiye aims to achieve through its implementation.

This study discusses the contents of the legislative articles included in the Climate Law, which was adopted by the Grand National Assembly of Turkey (GNAT) on July 2, 2025, and analyzes the objectives Türkiye seeks to accomplish through this legislation. Additionally, it provides detailed explanations of the aforementioned concepts within the context of climate law.

Keywords: Climate law, environmental sustainability, greenhouse gas

1. INTRODUCTION

Climate change presents a complex array of legal and regulatory challenges regarding how to effectively mitigate global warming and curb greenhouse gas emissions. While law plays a fundamentally significant role in this effort, its influence is frequently underappreciated or misinterpreted. On both domestic and international fronts, legal systems serve as essential

frameworks for adjudicating environmental disputes, resolving conflicts, and facilitating policy implementation. They also establish environmental norms and enable the operationalization of adaptation and mitigation efforts (McEldowney, 2021). Nevertheless, legal responses are often constrained by political realities and the discretion of policymakers, whose reluctance or inability to enact decisive climate policies may hinder progress.

The global discourse on collaborative governance mechanisms to combat climate change has drawn sustained attention from the international community. This concern has been embedded within the framework of international law since the 1980s. Particular emphasis has been placed on the vulnerability and responses of coastal and marine ecosystems. Notably, a World Wide Fund for Nature (WWF, 2015) report suggests that if the ocean were an economy, it would rank as the world's seventh largest. This underscores the critical importance of marine and coastal regions in supporting human development and ecological resilience in the face of climate change. Consequently, scholarly interest in international legal approaches and governance mechanisms has steadily increased in recent years.

In general terms, climate refers to the long-term patterns of atmospheric conditions observed in a specific geographic area. It encompasses variables such as temperature, humidity, wind patterns, and precipitation, which are monitored over extended periods to understand prevailing weather tendencies.

Climate change exerts widespread impacts across natural systems, influencing the geographical distribution of plant and animal species, tree and coral growth patterns, ice accumulation in polar and alpine regions, oceanic and freshwater chemistry, as well as sediment dynamics such as erosion and deposition on the Earth's surface (Jackson, 2023). In addition to environmental alterations, climate change undermines essential determinants of human health, jeopardizes livelihoods, disrupts ecological integrity, exacerbates social inequalities, and poses threats to fundamental human rights (Zema, 2007). Agriculture is particularly vulnerable, with negative effects on crop production, livestock health, and fisheries, all of which contribute to declining yields, increased pest outbreaks, and disease proliferation.

There is growing consensus that addressing climate change now necessitates not only scientific understanding and political discourse but also the implementation of practical and measurable solutions. The global focus has shifted from awareness to action, prioritizing initiatives that actively reduce greenhouse gas emissions, prevent surpassing critical temperature thresholds, and avoid triggering irreversible ecological tipping points.

The relationship between climate change and soil conservation is profound. Soils serve as foundational components of ecosystems and are vital to the provision of environmental services. However, climate-induced hazards can severely compromise soil stability and hinder its sustainable management (Sambo et al., 2021). Soil organic matter plays a pivotal role in preserving soil functionality by mitigating degradation processes such as erosion, declining fertility, and the release of carbon into the atmosphere (Kibugi, 2019). Accordingly, soil management emerges as a key element in climate mitigation strategies, enabling the balancing of greenhouse gas emissions and carbon sequestration potentials (Ruppel, 2022).

The governance of soil resources demands an integrative approach that spans all sectors of human activity. Effective soil governance frameworks are essential for identifying and addressing the root causes of degradation (Ginzky, 2019), and such efforts should extend beyond merely responding to climate change (Boddle, 2022).

From a legal and regulatory standpoint, climate change presents multifaceted challenges concerning the appropriate mechanisms for addressing global warming and reducing emissions. Despite the indispensable role of law, its contribution is frequently underestimated or misrepresented. Both nationally and internationally, legal systems provide avenues for conflict resolution, norm-setting, and enforcement of environmental commitments. They facilitate the enactment of adaptation and mitigation policies and serve as platforms for coordinated action. Nevertheless, legal effectiveness is often constrained by political will, with legislative outcomes highly contingent on the agendas and responsiveness of decision-makers (McEldowney, 2021).

Although various policy instruments have incorporated climate change considerations, there remains an absence of comprehensive, standalone legislation exclusively addressing this issue. Nevertheless, certain legal frameworks contain provisions that make reference to climate change, highlighting a fragmented but emerging legal landscape.

The notion of climate justice emphasizes equitable resource governance and active community participation in addressing the adverse consequences of climate change (Walker, 2012). It also provides a normative framework that connects environmental law and policy with broader concerns of social justice, revealing how climate-related harms intersect with systemic socioeconomic inequalities and structural injustices (Porter et al., 2020). On the global stage, the growing severity of climate-induced disruptions has prompted the development of climate justice-centered laws, policies, and institutional responses aimed at mitigating the multifaceted social, economic, and ecological vulnerabilities that disproportionately affect marginalized populations (Bullard & Müller, 2012; Puaschunder, 2019).

In line with these developments, the recent national legislation incorporates a range of key legal definitions within the scope of climate law. These include concepts such as climate justice, climate finance, net zero emissions, just transition, primary market, carbon credits, offsetting mechanisms, Emissions Trading System (ETS), embedded greenhouse gas emissions, and voluntary carbon markets. Such terminology reflects the multidimensional nature of climate governance and illustrates Türkiye's evolving legal approach to addressing the complexities of climate change through a more structured and integrated legal framework.

2. CLIMATE LAW IN TURKEY

The Türkiye Climate Law is a legislative framework that constitutes the foundation of the Republic of Türkiye's strategy to combat climate change and implement its roadmap for green transformation. Anchored in Türkiye's commitment to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the law aims to fulfill the obligations outlined in the Nationally Determined Contribution (NDC) submitted under the Paris Agreement. It is designed to regulate the processes of green transition and climate change adaptation through legally binding mechanisms.

Law No. 7552 on the Türkiye Climate Law officially entered into force following its publication in the Official Gazette on July 9, 2025. In light of the growing global threat posed by climate change impacting both natural ecosystems and human well-being nations worldwide are increasingly adopting legal and policy instruments at both national and international levels. The principal objective of this legislation is to support Türkiye's green development agenda and realize the national goal of achieving net-zero greenhouse gas emissions by 2053.

The Türkiye Climate Law establishes a comprehensive institutional framework for emissions reduction, climate adaptation, and the transition to a green economy. It also provides legal definitions for a range of key climate-related concepts. For instance, the term "Just Transition" refers to policy approaches that prioritize vulnerable groups while promoting the creation of green jobs. Similarly, "Climate Justice" is defined as a set of policies and practices aimed at eliminating inequalities exacerbated by the impacts of climate change.

The Climate Law grounds Türkiye's climate-action strategy in a set of core principles—equality, climate justice, precaution, public participation, policy integration, sustainability, transparency, just transition and continual improvement. These guiding norms constitute the legal and ethical framework for every measure the Republic will take to confront climate change.

Consistent with its Nationally Determined Contribution (NDC) under the Paris Agreement and its domestic pledge of net-zero greenhouse-gas (GHG) emissions by 2053, Türkiye will implement a programme of emission-reduction and adaptation measures delineated in the Law. In effect, the statute converts the country's international promises into enforceable national obligations and supplies a detailed roadmap for achieving them.

A central mechanism concerns high-emitting industrial installations already subject to the GHG Monitoring Regulation. Under the Climate Law, facilities with large carbon footprints will, for the first time, face explicit administrative penalties if they fail to curb emissions. Because many enterprises have operated without a formal emission cap, the legislation closes a significant regulatory gap. Industrial operators are therefore incentivised to engage sustainability consultants, whose technical guidance can facilitate compliance and accelerate decarbonisation.

Legislative history underscores the urgency attached to this agenda. After extensive preparatory work, a draft Climate Law was re-introduced to the Grand National Assembly in June 2025; it was passed on 3 July 2025 and entered into force as Law No. 7552 upon its publication in the Official Gazette on 9 July 2025. By institutionalising the principles and enforcement tools outlined above, Türkiye has taken a decisive step toward a green transformation aligned with its long-term climate objectives.

3. TERMS RELATED WITH CLIMATE LAW

Net Zero Emissions: Refers to a state in which anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions released into the atmosphere are balanced by an equivalent amount of removals achieved through technological interventions and/or natural sinks, such that there is no net increase in overall emissions.

Just Transition: Describes a policy approach within climate change mitigation and green economic transformation that ensures inclusive participation—particularly prioritising groups most vulnerable to socio-environmental change, such as children, women, the elderly, and persons with disabilities. It emphasizes the equitable management of employment impacts through the creation of new job opportunities and the implementation of supportive measures, while maximizing economic, environmental, and social benefits.

Carbon Credit: Denotes a tradable unit, equivalent to one metric ton of carbon dioxide or its equivalent in other GHGs, generated through verified and certified emission reduction or removal activities. These credits are issued by independent verification bodies and accredited standard-setting organizations.

Offsetting (Carbon Offsets): Represents the use of carbon credits either within an Emissions Trading System (ETS) or as part of voluntary climate commitments to compensate for unavoidable GHG emissions by supporting equivalent reductions elsewhere.

Emissions Trading System (ETS): A market-based mechanism designed to cap and reduce GHG emissions by setting an upper limit on total emissions and allowing the trading of emission allowances. Operated at national or international levels, the system incentivizes reductions by assigning economic value to emission savings in line with net-zero targets.

Embedded (Embodied) Emissions: Refers to the sum of direct emissions generated during a product's manufacturing process, along with indirect emissions resulting from the consumption of energy inputs such as electricity, heat, steam, cooling, and compressed air used in production.

Voluntary Carbon Markets: Designate platforms where carbon credits are traded on a non-mandatory basis, allowing businesses, institutions, or individuals to offset their emissions voluntarily, typically as part of corporate sustainability or climate responsibility initiatives.

4. TURKEY'S PROJECTED TARGETS UNDER THE FRAMEWORK OF THE CLIMATE LAW

The purpose of this Law is to combat climate change in line with the green growth vision and the net-zero emissions target. It establishes the legal and institutional framework, including the principles, mechanisms for planning and implementation, revenues, permits, and monitoring processes, which are essential for reducing greenhouse gas emissions and implementing climate adaptation measures.

The Law is founded on core principles such as equity, environmental justice, precaution, participation, integration, sustainability, transparency, and just transition. These policies have

been developed in accordance with international agreements to which the country is a party, as well as scientific evidence. To strengthen climate action, effective implementation tools are employed, and it is emphasized that all stakeholders especially public institutions, civil society, the private sector, and citizens must collaborate to achieve the established goals. This approach aligns with Article 56 of the Constitution, which guarantees the right to live in a healthy and balanced environment and assigns responsibility to both the State and citizens to protect and improve the environment. Additionally, it complies with the United Nations Framework Convention on Climate Change, ratified by Law No. 4990, and published in the Official Gazette No. 25266 on October 21, 2003, acknowledging the varied capacities and responsibilities of countries.

Within this legal framework, the primary objectives include reducing greenhouse gas emissions and adapting to climate change. To achieve mitigation targets, measures such as enhancing energy efficiency, promoting renewable energy use, and sector-specific emission reduction strategies are outlined. Adaptation goals focus on identifying climate-related risks and minimizing their impacts through strategies including water management, ecosystem conservation, and the reinforcement of climate-resilient infrastructure.

The Law further elaborates on the establishment of planning and implementation tools at both national and local levels to combat climate change. Specifically, it mandates the preparation of National Climate Change Strategy and Action Plans aimed at reducing emissions and enhancing adaptation capacity. Moreover, under Article 6, it requires metropolitan municipalities and provincial governorates to coordinate and develop Local Climate Change Action Plans. Furthermore, the establishment of a Carbon Market and Emissions Trading System is foreseen to provide economic incentives designed to limit emissions.

Institutions and individuals are obligated to comply with the prescribed measures for combating climate change. Additionally, the Climate Change Presidency is authorized to oversee the implementation of necessary actions and coordination efforts, which requires it to submit annual reports on progress. Recognizing the critical importance of timely and accurate data sharing across sectors in climate action, the Law mandates that data dissemination be conducted through the National Geographic Information Platform in accordance with relevant legislation.

Article 6 of the Law outlines the establishment of financial mechanisms to support climate change mitigation. Through the Emissions Trading System, carbon allowances will be allocated, facilitating the development of a carbon market. Furthermore, climate-friendly projects will receive financial backing via the Climate Change Financing Mechanism. The revolving fund system will also be employed to channel revenues generated from emission trading and other financial resources to bolster the country's green transition process.

5. CONCLUSION

Climate change, a global threat, has intensified its impact worldwide and in Turkey. Turkey, located in the Mediterranean basin and a developing country, is among the countries most affected by climate change. In this context, the transition to a low-carbon economy, green transformation, reduction of greenhouse gas emissions, and increased capacity to adapt to climate change are essential. Moreover, impacts such as drought, disasters and food security have demonstrated that it is not too late to fight.

To combat climate change, Turkey has become a party to the UN Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement and has set a 2053 Net Zero Emissions Target. This goal aims to foster collaboration among public institutions, the private sector, and local governments to develop local climate change action plans and implement strategies such as a circular economy, renewable energy, and zero waste. Furthermore, it was stated that greenhouse gas emissions will be monitored and green investments will be incentivized through new regulations such as the Emissions Trading System (ETS) and carbon credits..

The law aims to raise public awareness about combating climate change, protect natural resources, and increase capacity to adapt to climate change. It also aims to clarify the responsibilities of local governments and the private sector in combating climate change, establish sanctions and monitoring mechanisms related to climate change, and ensure Turkey takes a leading role in combating climate change at the national and international levels.

REFERENCES

- Bodle, R., 2022. International soil governance. 6 Soil Security.
- Bullard, N., Müller T. Beyond the ‘green economy’: system change, not climate change?. Development, 55 (1) (2012), pp. 54-62
- Ginzky, H.. Legal Instruments for Sustainable Soil Management in Africa. Springer, Switzerland (2019)
- Jackson, S.T. Climate Change. Encyclopedia Britannica (2023)
- John F. McEldowney,. Chapter 22 - Climate change and the law,. Editor(s): Trevor M. Letcher, The Impacts of Climate Change, Elsevier, 2021, Pages 503-519,
- Kibugi, R.. Salvation of African Soils: Exploring the Window of Opportunity Through. Nationally Determined Contributions to Implement Sustainable Soil Management. Legal Instruments For Sustainable Soil Management in Africa Springer, Switzerland (2019)
- Porter, L., Rickards, L., Verlie, B., Bosomworth, K., Moloney, S., Lay, B., Latham, B., Angelovski, I., Pellow, D. Climate justice in a climate-changed world. Plan. Theory Pr., 21 (2) (2020), pp. 293-321
- Puaschunder, J. M. (2019). Governance and climate justice.
- Ruppel, O.C., 2022. Overview of international soil law. 6 Soil Security.

Sambo, P.T., Nkunika, A., Zulu, N.. Country Report For Zambia. African Soil Protection Law (2021)

Walker, G. Environmental justice: Concepts, evidence and politics Routledge (2012) Google Scholar

ZEMA. Zambia Environment Outlook Report 4. ZEMA, Lusaka (2017)

SUSTAINABLE AGRICULTURE PRACTICES IN WASTE MANAGEMENT

Assoc. Prof. Dr. Gokhan Onder ERGUVEN

Munzur University, Faculty of Economics And Administrative Sciences, Department of
Urbanization And Environmental Issues, Tunceli, TURKIYE

gokhanondererguven@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1573-080X

Assist. Prof. Dr. Berna CAPAR*

Munzur University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Department of
Hydrolics, Tunceli, TURKEY

bernacapar@gmail.com

ORCID: 0009-0006-0834-9241

Abstract

Global climate change continues to disrupt natural ecosystems, weather systems, and human livelihoods. Agriculture, operating largely within an industrial framework, accounts for approximately 10% of worldwide greenhouse gas emissions. Despite this, food production must grow by 70% by the year 2050 to meet future demands an increasingly complex goal in the face of shifting climatic conditions and their associated consequences. This paper reviews the role of environmental adaptation engineering in reshaping agriculture into a more sustainable, resilient, and low-carbon model that maintains productivity while safeguarding the environment. Drawing on an integrative review of current literature, it examines innovations in agricultural techniques, environmental engineering solutions, adaptive biotechnologies, policy frameworks, socioeconomic dimensions, and the importance of community engagement. Notably, this study addresses a critical gap by analyzing recent developments in anaerobic digestion and microalgae-based systems as a unified adaptation approach to climate-related agricultural risks. These technologies offer promising opportunities for emission reduction, biofuel generation, CO₂ capture and transformation into biomass, water conservation, nutrient recycling, crop improvement, and ecological restoration. The integration of such strategies demonstrates how sustainable agricultural engineering can reconcile food production goals with environmental integrity. Ultimately, the findings underscore the necessity of embedding adaptive technologies into agricultural systems to reduce vulnerability to climate change and support the development of resilient, inclusive, and environmentally sound food systems for the future.

Keywords: Global climate change, low-carbon model, sustainable agricultural engineering,

Introduction

Anthropogenic drivers chiefly fossil fuel consumption and alterations in land use have markedly elevated atmospheric concentrations of greenhouse gases (GHGs), particularly carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). As a result, the global average

surface temperature has risen by approximately 1.4 °C since the pre-industrial period, triggering adverse impacts on ecosystems, freshwater availability, and public health (Gabric, 2023).

The agricultural sector is a notable contributor to global GHG emissions, accounting for roughly 10% of total emissions. When emissions associated with land use change and forestry are included, under the Agriculture, Forestry, and Other Land Use (AFOLU) category, this share increases to between 13% and 21%. Conventional agricultural activities often lead to the depletion of soil organic carbon (SOC), thereby weakening the soil's natural capacity for carbon sequestration. Furthermore, the leaching of agrochemicals into water bodies exacerbates water quality deterioration and poses significant threats to aquatic ecosystems (EPA, 2024).

Effectively addressing the interconnected challenges posed by climate change and environmental degradation requires a comprehensive transformation toward circular economy models that emphasize resource optimization, reduction of waste, and continuous material reuse. Within this context, adaptation engineering plays a critical role by integrating technological and systemic innovations aimed at strengthening the resilience, sustainability, and emissions efficiency of agricultural systems (Adewusi et al., 2024). These innovations are aligned with circular economy principles, offering scalable and durable solutions to mitigate greenhouse gas emissions, recover essential nutrients, and enhance agricultural productivity.

Moreover, the successful implementation of these technologies is influenced by a range of socioeconomic drivers, including knowledge dissemination, affordability, and the presence of enabling policy frameworks (Javaid et al., 2024). The primary objectives of this review are twofold: (1) to examine the contributions of the agricultural sector to climate change and environmental pressures, and (2) to highlight sustainable agricultural practices that support circular economy principles.

This study integrates the concepts of climate change mitigation, sustainable agriculture, and resource efficiency into a unified analytical framework by positioning adaptation engineering as a systems-oriented strategy. A bibliometric assessment of the existing literature further reveals the central thematic intersections among climate adaptation, circular economy, and sustainable development.

Climate Change Effects On Agricultural Applications

Land use patterns, forestry operations, and broader land management strategies exert a substantial influence on atmospheric greenhouse gas (GHG) concentrations. Within the agricultural sector, primary anthropogenic sources of GHG emissions include land management practices and energy consumption related to agricultural machinery and input use (Nsabiyeze et al., 2024). Notably, methane (CH₄) emissions predominantly arise from livestock particularly cattle and paddy rice cultivation, while carbon dioxide (CO₂) is released through the combustion of crop residues and animal waste. Comprehensive identification and quantification of both GHG emission sources and potential carbon sinks in agriculture are essential for designing effective adaptation and mitigation strategies, as well as for establishing accurate GHG inventories.

Although agricultural production continues to expand globally, the direct implications of this growth on net GHG emissions and the sector's mitigation potential remain insufficiently understood. Increasing scientific attention is being directed toward the significant climate impact of livestock farming, with growing evidence linking cattle production to elevated GHG levels (Rosenzweig et al., 2020). At the same time, agriculture is under increasing pressure to satisfy the rising food demands associated with global population growth. Consequently, improving the efficiency and sustainability of agricultural production is imperative in order to reconcile climate objectives with food security needs. This underscores the importance of accurately assessing agriculture's ecological footprint and its broader environmental consequences.

In addition to carbon dioxide (CO₂), anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions from agriculture encompass significant contributions from non-CO₂ gases, particularly methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). While agriculture does emit CO₂, these emissions are generally regarded as carbon-neutral due to their integration within the annual cycles of photosynthesis and respiration. Through photosynthesis, plants absorb atmospheric CO₂, and this uptake largely offsets the CO₂ released via soil respiration. The rate of organic matter decomposition and microbial respiration in soils is governed by their physical, chemical, and biological properties, which influence soil microbial and faunal activity (Józefowska et al., 2017).

Soils serve as the largest terrestrial carbon sink, storing approximately three times more carbon than vegetation and nearly twice as much as the atmosphere (Liu et al., 2025). Among terrestrial ecosystems, peatlands represent the most substantial natural carbon reservoirs, holding more carbon than all global vegetation combined. When degraded, these peatlands become significant GHG sources, responsible for over 5% of anthropogenic CO₂ emissions (IUN, 2021). Therefore, the restoration of damaged peatlands is increasingly recognized as a cost-effective nature-based solution to enhance long-term carbon sequestration and prevent further emissions.

In compiling agricultural GHG inventories, it is thus essential to account for both the emission and removal processes of CO₂ linked to land use and management practices. Accurate, standardized methodologies for evaluating the climate–agriculture nexus are necessary to ensure scientific credibility and effective policy formulation. Misjudging agriculture's contribution to climate change risks undermining public trust and may lead to policy inaction and further environmental degradation.

Sustainable Development Principles Related With Agricultural Perspectives

According to the Brundtland Report, sustainable development entails a comprehensive alignment of resource utilization, investment priorities, technological innovation, and institutional reforms in a manner that enhances the capacity of both current and future societies to fulfill their needs and aspirations. Table 1 outlines various studies that explore the application of sustainable development principles within the agricultural sector.

Modern interpretations of sustainable development emphasize the inseparable integration of three core dimensions: (1) social equity and well-being, (2) environmental integrity, and (3)

economic viability. These pillars collectively form a normative framework akin to universally upheld values such as justice, freedom, and democracy (Pickering et al., 2022).

Table 1. Studies Exploring the Application of Sustainable Development Principles in Agriculture

Principle	Description	Reference
Water management	Promoting the efficient utilization of water resources through techniques such as drip irrigation, rainwater harvesting, and the prevention of water pollution.	Halkos and Gkampoura (2021).
Soil health	Preserving and improving soil quality through agronomic practices such as crop rotation, cover cropping, and conservation tillage.	E. Lichtfouse et al (2009)
Energy Efficiency	Reducing energy consumption and relying more on renewable energy sources like solar and wind power	Bastan et al. (2018).
Biodiversity	Enhancing biodiversity through the cultivation of diverse crop species and the preservation of habitats that support beneficial organisms.	
Integrated Pest management (IPM)	Implementing integrated pest management strategies that combine biological, cultural, and chemical approaches to achieve environmentally sustainable pest control.	Fenibo et al. (2021)
Climate change Mitigation	Adopting agricultural practices that mitigate greenhouse gas emissions and enhance carbon sequestration, including agroforestry systems and conservation tillage.	Gamage et al (2024)
Innovation and Technology	Integrating emerging technologies and innovative methodologies to enhance both efficiency and sustainability within agricultural systems.	

Important Techniques of Mitogation

Climate change mitigation and adaptation constitute the fundamental strategies to counteract the adverse effects of global warming (Smith et al., 2021). Mitigation strategies primarily aim to reduce greenhouse gas emissions within agriculture while ensuring adequate food supply for the expanding global population. These strategies not only promote efficient resource use but

also contribute to lowering human-induced emissions and enhancing the ability of ecosystems to sequester carbon. Forest ecosystems are particularly significant in mitigation efforts, providing substantial carbon storage opportunities through activities such as afforestation, reforestation, and curtailing emissions linked to forest loss and degradation (Johnson & Brown, 2023). Sustainable land management techniques such as crop rotation, the use of cover crops, and reduced tillage are extensively employed to prevent soil erosion, improve soil quality, and augment carbon sequestration in farmlands. Collectively, these methods bolster the capacity of soils to act as carbon sinks.

To facilitate the inclusion of farmers in carbon markets, robust policy frameworks are crucial. Achieving recognition for conservation agriculture within carbon trading systems requires extensive stakeholder engagement to produce sufficient carbon credits. Additionally, carbon trading schemes can integrate initiatives focused on soil restoration and sustainable land use, thereby advancing both soil health and climate mitigation goals.

Agricultural Waste Management Strategies for Promote Environmental Sustainability

Agricultural waste encompasses a diverse and complex array of materials, including crop residues such as stalks, husks, and straw; livestock manure and uneaten feed; poultry droppings; by-products from slaughterhouses like blood, flesh, and bones; agro-industrial leftovers including molasses, fruit peels, and oilseed cakes; as well as aquaculture waste such as uneaten feed and fecal matter (Zhang et al., 2022). Each category of agricultural waste carries distinct challenges and potential for resource valorization, yet these opportunities are often overlooked within conventional linear production and consumption frameworks.

Due to the large volumes of biomass produced, the agriculture sector holds substantial promise in advancing the bioeconomy. Adopting agricultural waste management strategies based on circular bioeconomy concepts presents an effective alternative to environmentally harmful practices such as open-field burning and inadequate disposal of animal waste (Kumar et al., 2021). Sustainable management of agricultural residues not only mitigates ecological degradation but also contributes to enhancing food security, public health, rural economic stability, and the resilience of agroecosystems. Moreover, as much agricultural waste is nutrient-rich and biodegradable, its controlled decomposition can significantly improve soil characteristics including fertility, structure, and water retention, which are vital for sustainable agricultural productivity.

Ecological Farm Model

Within the agricultural sector, activities such as livestock farming, crop processing, storage, and transportation generate considerable amounts of both organic and inorganic waste annually. While recent studies have drawn attention to the environmental impacts of inadequate agricultural waste disposal namely groundwater contamination and nutrient loading leading to eutrophication many waste management investigations fail to address the systemic inefficiencies embedded in the prevailing industrialized production systems. This highlights the urgent need for a transformative paradigm shift, rather than incremental reforms within the

existing industrial framework. Table 2 summarizes diverse waste management strategies specifically designed for different categories of agricultural residues.

Table 2. Agricultural Waste Management Techniques for Specific Waste Types.

Agricultural waste	Management technique
Straw, grass clippings, sawdust, compost, bark chips, plant leaves, and rice hulls.	Surface mulching
Sugarcane, wheat, maize, soybean, grain, sorghum, and vegetables	Animal feed
Food scraps, grass clippings, leaves, plant debris	Composting
Straw, Cotton linter, softwood, cotton rags	Paper industry
Palm leaf, water reeds, straw	Roof thatching
Corn stalks, banana, bamboo, oil palm, rice husk, bagasse, coir, pineapple	Fibers
Shell, neem bark, sugarcane bagasse, oil palm, sawdust, Rice husk, coconut husk	adsorbents of heavy metal removal
Paddy straw, sawdust, cotton straw, wheat straw, molasses, rice bran, rice straw, tea, peanut shell	Vegetable cultivation
Cashew nut, sawdust, rice straw, pinewood, and sugarcane straw	Pyrolysis
Wheat, rice, sugarcane bagasse	Biofuel

Recycling is generally favored over landfilling as a waste management strategy; however, it often demands higher labor inputs and can lead to increased greenhouse gas (GHG) emissions during the material processing stages. Nonetheless, comprehensive comparative assessments of emissions from composting versus anaerobic digestion remain scarce, especially when considering varying agricultural contexts (Lee et al., 2022). The incorporation of bulking materials such as sawdust has shown potential in reducing methane (CH₄) and nitrogen oxide (NO_x) emissions throughout composting operations (Martinez and Silva, 2023). Still, further empirical investigations under real-world field conditions are required to confirm the effectiveness of these mitigation approaches.

Wastewater Management Techniques

The food processing industry generates wastewater rich in organic matter and nutrients, presenting significant opportunities for microbial cultivation and the extraction of high-value

bioproducts (Fernandez et al., 2023). Although certain case studies, such as enhanced nattokinase production from soybean wastewater and elevated propionic acid synthesis using potato and apple residues, have demonstrated promising results (Gonzalez et al., 2022), these findings are often context-specific and lack generalizability. Furthermore, essential aspects including microbial strain selection, substrate variability, and process optimization remain insufficiently investigated, underscoring the necessity for standardized protocols and scalability studies.

Advanced recovery methods for proteins and enzymes from food industry effluents, such as ultrafiltration, nanofiltration, and spray drying, have shown notable effectiveness (Lee & Park, 2021). However, challenges like protein denaturation, membrane fouling, and high energy consumption pose significant barriers to large-scale implementation. Additional issues related to food safety regulations, consumer perception, and complexities in downstream processing continue to limit practical application. Emerging technologies like foam fractionation and targeted peptide recovery demonstrate potential but depend heavily on precise process control and economic feasibility, which require further evaluation (Martinez et al., 2022). Moreover, utilizing saline wastewater for microalgal cultivation aimed at producing docosahexaenoic acid (DHA) is an appealing strategy, though limitations concerning strain halotolerance and downstream purification remain critical technical challenges (Sharma et al., 2019).

Conclusion

This review underscores the pivotal role of adaptation engineering in enabling sustainable development within agricultural systems, particularly as a means to counteract the escalating impacts of climate change on farming communities globally. To foster resilience and sustainability, it is essential to implement novel, integrated strategies that both mitigate climate risks and transition agriculture toward circular and regenerative paradigms. Such approaches contribute to lowering greenhouse gas emissions, enhancing carbon sequestration, and optimizing the use of natural resources throughout the entire production cycle, including post-harvest stages. These innovations facilitate the recovery of energy, nutrients, and water, effectively converting waste streams into valuable resources at every stage from production to consumption.

Furthermore, applying circular economy principles universally across the agricultural value chain demands comprehensive resource management that spans from input supply to post-consumer recovery. This holistic framework addresses current food and resource demands while safeguarding ecological balance and ensuring long-term sustainability. By integrating climate mitigation, waste valorization, and closed-loop resource utilization, adaptation engineering offers a forward-looking blueprint for building inclusive, circular, and resilient agricultural systems.

Based on these insights, it is recommended that policymakers advance adaptation engineering in agriculture by developing supportive regulatory frameworks, providing financial incentives, and investing in innovation and capacity-building initiatives. Extension services and farm managers should be encouraged to adopt environmentally sound technologies such as anaerobic

digestion, hydroponic cultivation, and microalgae-based production systems to reduce environmental footprints and improve productivity. Moreover, fostering multi-stakeholder collaborations among research institutions, farming communities, and government agencies can accelerate the co-creation and implementation of location-specific solutions, promoting equitable and widespread adoption of sustainable agricultural practices.

References

- A. Gamage, R. Gangahagedara, S. Subasinghe, J. Gamage, C. Guruge, S. Senaratne, T. Randika, C. Rathnayake, Z. Hameed, T. Madhujith, et al. Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture *Curr Plant Biol*, 40 (2024)
- A. Nsabiyeze, R. Ma, J. Li, H. Luo, Q. Zhao, J. Tomka, M. Zhang. Tackling climate change in agriculture: A global evaluation of the effectiveness of carbon emission reduction policies. *J Clean Prod*, 468 (2024)
- A.J. Gabric. The climate change crisis: A review of its causes and possible responses. *Atmosphere (Basel)* (2023).
- A.O. Adewusi, O.F. Asuzu, Olorunsogo, T., Iwuanyanwu, C., Adaga, E., Daraojimba, D.O.. (2014). AI in precision agriculture: a review of technologies for sustainable farming practices. *World J. Adv. Res. Rev.*, 21 (1) (2024), pp. 2276-2285
- Agnieszka Józefowska, Marcin Pietrzykowski, Bartłomiej Woś, Tomáš Cajthaml, Jan Frouz, Relationships between respiration, chemical and microbial properties of afforested mine soils with different soil texture and tree species: Does the time of incubation matter, *European Journal of Soil Biology*, 80, 2017, 102-109,
- C. Rosenzweig, C. Mbow, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, et al.. Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat Food*, 1 (2) (2020), pp. 94-97
- E. Lichtfouse, M. Navarrete, P. Debaeke, V. Souchère, C. Alberola. *Sustainable Agriculture* Springer Netherlands (2009). ISBN 9789048126651
- Fernandez, M., Ramirez, J., & Lopez, A. (2023). Valorization of food processing wastewater for microbial bioproduct synthesis: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, 367, 128281. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128281>
- G. Halkos, E.C. Gkampoura. Where do we stand on the 17 sustainable development goals? An overview on progress. *Econ Anal Policy*, 70 (2021), pp. 94-122,
- Gonzalez, R., Torres, L., & Jimenez, S. (2022). Production of value-added compounds from agro-industrial residues: A review of microbial approaches. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1385–1397.
- J. Pickering, T. Hickmann, K. Bäckstrand, A. Kalfagianni, M. Bloomfield, A. Mert, H. Ransan-Cooper, A.Y. Lo. Democratising sustainability transformations: Assessing the transformative potential of democratic practices in environmental governance. *Earth Syst. Gov.*, 11 (2022)

- Javaid, M., Haleem, A., Ravi Pratap Singh, Anil Kumar Sinha., Digital economy to improve the culture of industry 4.0: A study on features, implementation and challenges,. *Green Technologies and Sustainability*, 2, 2, 2024, 100083,
- Johnson, L., & Brown, K. (2023). Carbon storage potential of forest ecosystems under different management scenarios. *Global Environmental Change*, 78, 102560.
- Kumar, V., Singh, A., & Gupta, R. (2021). Circular bioeconomy and sustainable agricultural waste management: Opportunities and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 61890–61908.
- Lee, J., Park, H., & Kim, S. (2022). Greenhouse gas emissions from agricultural waste treatment: A comparison between composting and anaerobic digestion. *Waste Management*, 142, 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.019>
- Lee, S., & Park, J. (2021). Recovery of proteins and enzymes from food industry wastewater: A review of membrane technologies. *Separation and Purification Technology*, 263, 118364. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118364>
- M. Bastan, R. Ramazani Khorshid-Doust, S. Delshad Sisi, A. Ahmadvand. Sustainable development of agriculture: A system dynamics model. *Kybernetes*, 47 (2018), pp. 142-162,
- Martinez, A., & Silva, R. (2023). Effect of bulking agents on gaseous emissions during composting of agricultural residues. *Journal of Environmental Management*, 321, 115858. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115858>
- Martinez, P., Alvarez, M., & Silva, J. (2022). Emerging techniques for peptide recovery from food processing effluents: A critical review. *Food Chemistry*, 373, 131454. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131454>
- Sharma, V., Singh, R., & Gupta, N. (2019). Microalgal cultivation in saline wastewater for DHA production: Current status and future perspectives. *Algal Research*, 39, 101433. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101433>
- Smith, P., Davis, S. J., Creutzig, F., et al. (2021). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press.
- U. EPA, C. Change Division. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990–2022 – main text (2024)
- Yanli Liu, Xin Chen, Jianyun Zhang, Xing Yuan, Tiesheng Guan, Junliang Jin, Guoqing Wang, Nature-Based Global Land Surface Soil Organic Carbon Indicates Increasing Driven by Climate Change, *Engineering*, 2025,
- Zhang, Y., Liu, S., & Chen, H. (2022). Comprehensive review on agricultural waste composition and management practices. *Journal of Cleaner Production*, 367, 133181. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133181>

REVERSE OSMOSIS REDUCTION OF MINERALS IN PURIFIED DRINKING WATER AND HEALTH EFFECTS

Prof. Dr. AYSE DILEK ATASOY¹, Prof. Dr. AHMET FERIT ATASOY²,

¹ Harran University, Eng. Faculty, Department of Environmental Eng,
Sanliurfa, Türkiye, adilek@harran.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-8689-7300

² Harran University, Eng. Faculty, Department of Food Eng,
Sanliurfa, Türkiye, fatasoy@harran.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-3390-1177

ABSTRACT

The quality of drinking water and its relevance to health, as its requirement of daily living is the actual and important is-sue for societies. People are increasingly worried about the quality of drinking water and its relevance to health. Conven-tional water treatment processes such as coagulation and flocculation, sedimentation, filtration, adsorption and disin-fection are insufficient to remove micropollutants. Reverse osmosis (RO) purification of city tap water from a conven-tional treatment plant is a widely used method, especially for the removal of specific pollutants. However, drinking RO fil-tered water on a daily basis can be hazardous because of es-sential mineral reduction of water.

- Aim of the study was to compare the mineral contents of tap water (from conventional water treatment plant) and RO purified tap water (from under counter purifier).
- As a result, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Mo, Ni and Zn were found below the detection limit (0.05 mg/L). Major elements in RO purified tap water were below the rec-ommended limit values of World Health Organization (WHO). Ca, Mg, Na and K were found as 1.488, 0.388, 1.310 and 0.515 mg/L.
- Low mineral drinking water consumption for a long time will increase the risk of acidosis which may be a precur-sor to many diseases, e.g. cardiovascular diseases, diabetes, osteoporosis and cancer.
- Additionally, there is a relationship between the fluoride in remineralized water and the associated dental health effects with water consumption.

Keywords: Water Quality, Water Treatment, Mineral Deficiency, Contamination.

1. INTRODUCTION

Access to clean drinking water, which is a life-sustaining resource for all societies, is an important goal to be achieved. However, due to a wide variety of specific pollutants, taking raw water from the source and distributing it to the city without adequate treatment poses some health risks [1]. Conventional water treatment comprises coagulation and flocculation, sedimentation, filtration, adsorption and disinfection that are all the physical-chemical processes which remove turbidity, organic matter and pathogens. To improve the water quality, reverse osmosis (RO) may be also applied to separate the dissolved solutes from water through membranes [2]. Surface water may be contaminated with pesticides from the agricultural irrigation. In order to be used as the source of drinking water, similar pollutants in surface water should be removed. RO not only removes dissolved solids in surface water but also removes pollutants to meet the standard of drinking water [3].

Membrane processes are used today in a wide range of applications especially in water treatment. RO is now being used for various applications both for purification and concentration and becomes a leading technology for brackish and seawater desalination. RO system separates dissolved solutes (includes single charged ions, such as Na^+ , Cl^-) from water via a semipermeable membrane that passes water in preference to the solute. However, these filtration methods often remove essential minerals along with impurities [4].

Tap water from conventional drinking water treatment with domestic reverse osmosis showed presented the lowest potential environmental impacts and appeared as the most inexpensive alternative from the consumers' point of view, being the best alternative for improving tap water organoleptic characteristics from an environmental perspective [5].

It has been understood that reducing the beneficial minerals of drinking water to almost non-existent levels in purification systems is no longer a healthy method. The World Health Organization (WHO) [6] determined that the calcium and magnesium content in drinking water each with a minimum requirement is 20 mg of calcium and 10 mg of magnesium in one liter of drinking water. A significant part of the essential minerals needed by the body should be obtained from quality drinking water consumed daily. Therefore, the aim of the study was

to compare the mineral contents of tap water (from conventional water treatment plant) and RO purified tap water (from under counter purifier).

2. MATERIALS AND METHODS

There were two types of water samples (tap water and RO purified tap water) used in this study. The tap water was municipal drinking water in Sanliurfa, and it was treated with coagulation and flocculation, sedimentation, filtration and disinfection in Municipal treatment plant before it was consumed. RO purified tap water treated with an under-counter RO system (aura CEBILON).

Water samples were analyzed for 16 elements in inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) (Perkin Elmer Optima 5300 DV model). All the tests were conducted in duplicate. Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Mo, Ni and Zn were not evaluated due to their extremely low levels (below the detection limit of 0.05 mg/L).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The water qualities of the two types of drinking water samples are shown in Table 1. Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Mo, Ni and Zn were found below the detection limit (0.05 mg/L). As shown on the table, Ca, Mg, Na and K concentration of tap water was determined as approximately 22, 11, 9 and 2 mg/L, respectively. Conventional water treatment which comprised the physical-chemical processes caused a noticeable reduction in the amounts of these elements.

In addition, due to the widespread usage habits of households, tap water is passed through reverse osmosis filters with under-counter purification system, and the mineral values of the water have almost become zero. Thus, Ca, Mg, Na and K concentrations of RO purified tap water measured at very low levels.

Table 1. Element concentration in tap water and RO purified tap water (from under counter purifier).

Elements (mg/L)	Tap water (from conventional water treatment plant)	RO Purified tap water (from under counter purifier).	TS 266 (Turkish drinking water standards (recommended)	WHO desirable limit [8]
Ca	21.78	1.488	100	100
Mg	10.94	0.388	30	50
Na	8.935	1.310	20	200
K	1.699	0.515	10	20
Si	0.625	0.198	-	-
Al	0.155	0.114	0.05	0.2
Fe	0.067	0.062	0.05	0.3
Ba	<0.05	<0.05	0.10	-
Cd	<0.05	<0.05	-	-
Co	<0.05	<0.05	-	-
Cu	<0.05	<0.05	0.10	2.0
Cr	<0.05	<0.05	-	-
Mn	<0.05	<0.05	0.02	0.1-0.5
Mo	<0.05	<0.05	-	-
Ni	<0.05	<0.05	-	-
Zn	<0.05	<0.05	0.10	0.01-3.00

Essential minerals in two types of drinking water samples were found below the recommended TS 266 standards and WHO desirable limits. However, these minerals were almost non-existent in RO Purified tap water. The long-term consumption of low-mineral water can cause harm to human health [7]. Continually mineral-poor water consumption will increase the risk of acidosis which may be a precursor to many diseases, e.g. cardiovascular diseases, diabetes, osteoporosis and cancer. Addition-ally, there is a relationship between the fluoride in remineralized water and the associated dental health effects with water consumption.

It is very important to comprehend the health implications associated with inadequate mineral intake. Low-mineral drinking water will trap the minerals of foods. Due to their disposing, the body lacks minerals in the long run. Water with low minerals will also reduce the process of mineral absorption in digestion, and can even bind minerals from the body if consumed without other food.

4. CONCLUSIONS

As a conclusion, to illuminate the potential health effects of consuming water with low mineral content providing insights into the optimal mineral requirements essential for

promoting and sustaining human health is an important issue. Studies to protect public health by promoting the quality drinking water should be expanded. People should know the quality and mineral values of the water they drink. Quality drinking water should not contain any toxic substances harmful to health, and should also be rich in beneficial minerals.

REFERENCES

- [1] Lemos, D., Dias, A.C., Gabarrell,X., Arroja, L.: Environmental assessment of an urban water system. *Journal of Cleaner Production* 54, 157-165, 2013.
- [2] Crittenden, J. C. Trussell, R. R. Hand, D. W. Howe, K. J. Tchobanoglous, G.: *Water Treatment: Principles and Design*, second ed. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2005.
- [3] Wenten, I.G. Khoiruddin, K.: Reverse osmosis applications: Prospect and challenges. *Desalination* 391, 112-125, 2016.
- [4] Manoj, S. Kartheeshwari, M. R. Keerthan, L. Elango, L.: Effects of low mineral content in bottled drinking water on human health and evaluation of optimal requirements. *Journal of Food Composition and Analysis* 128, 106052, 2024.
- [5] Garfi, M. Cadena, E. Sanchez-Ramos, D. Ferrer, I.: Life cycle assessment of drinking water: Comparing conventional water treatment, reverse osmosis and mineral water in glass and plastic bottles. *Journal of Cleaner Production* 137,997-1003, 2016.
- [6] WHO, The World Health Organization, *Guidelines for drinking water quality: training pack*. 4th ed. Geneva (Switzerland): Incorporating the First Addendum, 2017.
- [7] Wang, J. Qiu, Z. Zeng, H. Tan, Y. Huang, Y. Luo, J. Shu, W.: Long-Term Consumption of Purified Water Altered Amino Acid, Fatty Acid and Energy Metabolism in Livers of Rats. *Metabolites* 14, 289, 2024.
- [8] Yazici-Karabulut, B. Kocer, Y. Yesilnacar, M. I.: Bottled water quality assessment through entropy-weightedwater quality index (EWQI) and pollution index of groundwater (PIG): a case study in a fast-growing metropolitan area in Türkiye. *International Journal of Environmental Health Research* 34, 1, 61–72, 2024.

MİKRO HAVZA REHABİLİTASYON PROJELERİNDE ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ ÖNEMİ

Doç. Dr. MEHMET ÖZCAN

Düzce Üniversitesi, mehmetozcan@duzce.edu.tr, 0000-0002-0994-4679

ÖZET

Havzalarda yanlış arazi kullanımı sonucunda doğal kaynakların tahrip edilmesi şiddetli yağışlarla sel, taşkın erozyon gibi doğal afetlerin daha sık yaşanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle havzada yapılan yanlış uygulamalar ne kadar bir birinden bağımsız yapılsa yapılsın havzada yaşayan insanların yaşam koşullarını da etkilemektedir. Yaşam koşulları bozulan insanlar ise göçe zorlanmaktadır. Havzada yaşayan insanların burada kalması veya geri dönüşlerin sağlanması ise tüm paydaş kurumların katılımı ile kaynakların doğru planlanması ile mümkün olabilmektedir. Bu çalışmaların gerçekleştirilmesi ise entegre havza yönetimi ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada da mikro havza planlarında entegre havza yönetiminin gereklilikleri Sivas ili bağlamında değerlendirilmiştir. Çalışma Sivas ili Yıldızeli ilçesi sınırları içerisinde kalan iki adet mikro havzada ve bu havzalar içerisinde kalan 40 adet köyde gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında köy halkı ile yüz yüze görüşmek suretiyle anket çalışması yapılmıştır. Yapılan bu anket çalışmasına göre havzadaki sorunlar öncelik sırasına göre listelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre havzadaki sorunlar öncelik sırasına göre sıralandığında içme suyu sorunu (%21), hayvancılık desteği (%14), sulama suyu desteği (%11) ve köy yolu sorunu (%8,6) gibi sorunlar ön plana çıkmaktadır. Bu sonuçlarda göstermektedir ki havzadaki sorunlar çok çeşitlilik arz etmekte, her sorunu çözebilecek yetki ve sorumluluk farklı kurum ve kuruluştadır. Örneğin içme suyu sorunu İl Özel İdaresi tarafından çözüme kavuşturulabilecekken hayvancılık desteği ise Tarım İl Müdürlüğü tarafından sağlanabilecektir. Bu bağlamda sorunu çözebilecek bir kurumun projeye dahil edilmemesi sorunun çözümsüz kalacağı anlamına gelmektedir. Havzada çözüme kavuşturulamayan sorunlar ise yeni sorunların ortaya çıkmasına neden olabilecektir. Bu nedenle mikro havza rehabilitasyon projelerinin katılımcı yaklaşımla yapıla bilmesi için ilgili her kurumun proje katılımının tercihen değil zorunluluk şeklinde olması son derece önemlidir.

Anahtar Kelimeler : Mikro havza, Entegre havza yönetimi, Rehabilitasyon

MINERALOGY OF THE ARIZLI MANGANESE DEPOSIT (AFYONKARAHISAR, TÜRKİYE)

Dr. Hatice Kara

Fırat Üniversitesi, haticekara@firat.edu.tr - 0000-0003-3441-9865

ABSTRACT

The Arızlı Mn deposit (Afyonkarahisar, Türkiye) is situated within radiolarian chert–limestone alternations of an Upper Cretaceous ophiolitic mélange belonging to the İzmir–Ankara–Erzincan Suture Zone. Regionally, manganese mineralization in Türkiye is widespread, closely associated with ophiolitic mélanges, radiolarian cherts, and sedimentary basin-margin environments linked to the closure of the Neo-Tethyan Ocean. The local geology comprises Middle–Upper Triassic carbonates, Jurassic–Cretaceous limestones, and ophiolitic sequences intruded by strike-slip faults that have facilitated hydrothermal fluid circulation and Mn remobilization. X-ray diffraction (XRD) analysis reveals that the primary manganese minerals are pyrolusite (MnO_2) and psilomelane, with minor quartz and calcite. These mineralogical features, in conjunction with global analogues from Morocco, North China, and Iran, suggest that the Arızlı deposit developed through a combination of diagenetic deposition and subsequent supergene enrichment. The structural setting within the suture zone, coupled with fluid–rock interactions, played a critical role in enhancing Mn-oxide concentrations. This study provides new mineralogical constraints for the Arızlı Mn deposit, contributing to the broader understanding of manganese metallogenesis in Tethyan ophiolitic belts and offering a comparative framework for similar deposits worldwide.

Key Words : Mn deposit, X-ray diffraction (XRD), pyrolusite, ophiolitic mélange

MINERALOGICAL CHARACTERISATION OF A LATE CRETACEOUS DIORITIC GABBRO FROM NW ELAZIG (EASTERN ANATOLIA): EVIDENCE OF HYDROTHERMAL ALTERATION BASED ON XRD ANALYSIS

Asst. Prof. Dr. Mehmet Ali ERTÜRK

Fırat Üniversitesi, erturkmae@gmail.com - 0000-0003-1197-9202

ABSTRACT

The Late Cretaceous dioritic gabbro unit exposed in the northwestern part of Elazığ, within the Southeastern Anatolian Orogenic Belt, provides important insights into the region's magmatic evolution and subsequent hydrothermal processes. In this study, mineralogical differences between the core and rim sections of the unit were investigated using X-ray diffraction (XRD) analysis. The core section contains andesine, anorthite, tremolite, and trace amounts of hedenbergite, reflecting a mafic composition with low silica content. In the rim section, in addition to dominant plagioclase and tremolite, quartz and faujasite minerals were identified. The presence of quartz indicates a more silica-rich composition, while faujasite, a zeolite-group mineral, suggests low-temperature hydrothermal alteration processes. Field observations of concentric exfoliation and concretion-like structures are interpreted as the result of convective circulation of hydrothermal fluids localised along fracture-controlled pathways. Furthermore, the abundance of amphibole-group minerals and the presence of microscopic mineral alignment suggest that the magmatic unit may have undergone low-grade metamorphism or metasomatic alteration. The mineralogical data offer significant geodynamic clues regarding Late Cretaceous magmatism and the alteration dynamics that followed in the region.

Key Words : Late Cretaceous, dioritic gabbro, X-ray diffraction (XRD), hydrothermal alteration

APİTERAPİ UYGULAMALARINDA YENİ YAKLAŞIMLAR NEW APPROACHES ON APITHERAPY APPLICATIONS

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye

banu.yucel@ege.edu.tr ; ORCID ID:0000-0003-4911-7720

Dr. Ekin VAROL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi

ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4382-5427

Özet: Dünya nüfusunun artışına paralel olarak sağlık sorunları da çeşitlenerek farklılaşmış, bu hastalıkların tedavisine ve insan ömrünün uzatılmasına yönelik çalışmalar ağırlık kazanmaya başlamıştır. Bal, polen, arı ekmeği, balmumu, apilarnil, arı sütü, arı zehiri gibi arı ürünleri insan sağlığı açısından yaşamsal düzeyde öneme sahiptir. Arı ürünlerinin içerdiği zengin besin komponentleri ve biyoaktif maddeler, uygun sürede, dozda, terkipte ve şekilde Apiterapist bir hekim gözetiminde uygulanırsa, hem bağışıklık sistemini destekleyerek hastalıktan korunma, hem de kanıta dayalı bilimsel çalışmaların sonuçları dikkate alınarak tıbbi tedaviye destek amacıyla iyileşmede önemli bir güç olarak değerlendirilebilir. Apiterapi ile ilgili ilk bilimsel çalışmalar 1800’lü yılların sonlarına doğru başlamış, geçen süreçte Dünya’nın çeşitli ülkelerinde kurulan Apiterapi dernekleri yapılan apiterapötik araştırmaların birçoğunu desteklemeye ve bilimsel dergilerde yayınlamaya başlamıştır. Türkiye’de ise 2010 yılında Apiterapi Derneği, Dünya’nın farklı yerlerinde çalışmalarını sürdüren Apiterapi kuruluşlarıyla iş birliği içerisinde kanıta dayalı çalışmalar yapmak amacıyla kurulmuş olup, halen faaliyetlerini sürdürmektedir. Sağlık Bakanlığı tarafından 2014 yılında yayınlanarak yürürlüğe giren “Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği” kapsamında Apiterapi uygulamaları da resmi bir yapı kazanmıştır. Üretilen arı ürünlerinin sağlık amacıyla kullanımında nelere dikkat edilmesi gerektiği; kimlerin, hangi ürünü, ne amaçla, nasıl kullanabileceği; ürünlere karşı hassasiyet ve alerjik durumlarla karşılaşıldığında ne yapılması gerektiği gibi konular, olası riskler ve çözüm yolları iyi bilinmeli ve tedbirler alınmalıdır. Apiterapötik çalışmada, etki mekanizması ve doz düzeylerinin bilimsel düzeyde çift kör çalışmalarla, multidisipliner çalışma gruplarıyla ortaya konması önem taşımaktadır. Sistem

içerisinde halen kimi sorunlar olsa da, bilimsel temele dayalı olarak bu handikapların süreç içerisinde çözülebileceği ön görülmektedir. Bu noktada hem ülkesel hem de uluslararası bilimsel iş birliği ve araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Apiterapi, sağlık, arı ürünleri.

Giriş

Apiterapi, Latince Arı anlamına gelen ‘Apis’ kelimesinden türetilmiş bir terim olup kısaca arının ve arı ürünlerinin sağlık alanında, hastalıktan koruyucu ve tıbbi tedaviye destek amacıyla kullanılmasıdır (1,2,3). Arkeolojik bulgular, günümüzden binlerce yıl önce Hintliler, Sümerler, Mısırlılar, Çinliler ve Anadolu’da yaşayan bazı antik uygarlıklarda arı ürünlerinin reçetelerde kullanıldığını ortaya koymaktadır. İslam medeniyetinde ise özellikle arı ürünlerinden balın, Kuran’da şifalı özelliğinin vurgulanmış olması nedeniyle özel bir yere sahip olduğu bilinmektedir (4).

Dünya nüfusunun artışına paralel olarak sağlık sorunları da çeşitlenerek farklılaşmış, bu hastalıkların tedavisine ve insan ömrünün uzatılmasına yönelik çalışmalar ağırlık kazanmaya başlamıştır. Yakın zamanda yaşadığımız küresel pandemiden sonra “doğal beslenme” bilincinin ve farkındalığının artması, insanların doğal gıda talebine yönelimini artırmış, özellikle arı ürünlerinin sağlık koruma ve tedavi desteği amacıyla “apiterapötik” amaçlı kullanımı daha fazla gündeme gelmiştir (5). Bal, polen, arı ekmeği, balmumu, apilarnil, arı sütü, arı zehiri gibi arı ürünleri; gıda, gıda takviyesi, kozmetik ve ilaç desteği amaçlı kullanılmakta, bu ürünlerin bazılarının klinik öncesi çalışmalarına çok sık rastlanmakla birlikte, insanlar üzerindeki etkilerini inceleyen klinik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Arı ve arı ürünleri kullanılarak yapılan bu tedavi yöntemlerinin uygulandığı apiterapi merkezleri Dünya’da hızla yayılmaktadır. Burada çalışan sağlık araştırmacılarının tıp alanında elde ettikleri umutvar sonuçlar konuya ilgiyi daha da artırmaktadır (6).

Dünya’da Apiterapi konusunda gelişmeler

İlk bilimsel çalışmalar 1800’lü yılların sonlarına doğru, Avusturyalı Dr. Phillip Terc’in çabalarıyla başlamış olmakla birlikte "Apiterapi" kelimesi ilk olarak Dr Bodog Beck'in 1935'de yayınlanan "Arı Zehiri Terapisi" adlı kitabında kullanılmıştır (6, 7,8). Geçen süreçte Dünya’nın çeşitli ülkelerinde kurulan Apiterapi dernekleri ve Uluslararası Arıcılar Federasyonu (Apimondia), yapılan apiterapötik araştırmaların birçoğunu desteklemeye ve bilimsel dergilerinde yayınlamaya başlamıştır. Bunun yanı sıra, 2012’de Passau’da, halen aktif olarak

Dünya genelinde farklı bilim disiplinlerinde yer alan bilim insanları, apiterapi dernekleri, araştırmacılar, uzmanlar ve geniş katılımlı komisyonları ile çalışmalarını yürüten “Uluslararası Apiterapi Federasyonu (IFA)” kurulmuştur. Apiterapi çalışmalarının Dünya genelinde bilimsel olarak gelişmesini hedefleyen ve Yönetmeliğini yayınlayan Federasyon’da farklı disiplinlerden oluşan komisyonlar (Bilimsel ve Akademik çalışma komisyonu, Tıbbi arı bitkileri, biyoçeşitliliği ve ekolojik sürdürülebilirliği komisyonu, Arı biyolojisi, arı sağlığı ve apiterapi komisyonu, Sürdürülebilir kırsal gelişme ve apiterapi komisyonu, Tıbbi arıcılık ve apiterapi komisyonu, Arı ürünleri kalite güvncesi ve teknolojik inovasyon komisyonu, İğnesiz arıların tedavi uygulamaları Komisyonu, Tıpta apiterapi uygulamaları komisyonu, Ön klinik araştırmalar ve klinik apiterapi komisyonu, Çocuk sağlığı ve gelişiminde apiterapi (Api-pediatric/Api-pedagoji) komisyonu, Veterinerlikte apiterapi komisyonu, Çocuk eğitiminde apiterapi komisyonu, Apiterapi profesyonel eğitimi ve uygulamaları komisyonu, Estetik tıp ve kozmetikte apiterapi komisyonu, Geleneksel ve naturapatik tıpta apiterapi komisyonu, Apiterapi etik, standart, yasal mevzuat ve sertifikasyon komisyonu, Apiterapi işbirliği, iş gelişimi ve geniş ölçekli projeler komisyonu, Sağlık turizmi ve iyileşme çalışmalarında apiterapi komisyonu, Apiterapide yapay zeka ve inovatif araştırmalar komisyonu) çalışmalarını sürdürmektedir. Apiterapi; zootekni, biyoloji, kimya, gıda, ecza, tıp, çevre, mühendislik, hukuk, eğitim, turizm, veterinerlik gibi çok sayıda disiplinin birlikte eşgüdüm ve sinerji içerisinde çalışmasını gerektiren bir bilimdir. Dünyada apiterapi konusunda yapılan çalışmalar, bilimsel toplantılar (kongreler, çalıştaylar, sempozyumlar, kurslar vb), bilimsel dergiler, web sayfaları oldukça yaygındır ve gün geçtikçe popülerlik kazanmaktadır (4, 9,10).

Türkiye’de Apiterapi konusunda gelişmeler

Türkiye’de ise 2010 yılında Apiterapi Derneği, Dünya’nın farklı yerlerinde çalışmalarını sürdüren Apiterapi kuruluşlarıyla iş birliği içerisinde kanıta dayalı çalışmalar yapmak amacıyla kurulmuş olup, halen faaliyetlerini sürdürmektedir. Sağlık Bakanlığı tarafından 2014 yılında yayınlanarak yürürlüğe giren “Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği” kapsamında Apiterapi uygulamaları da resmi bir yapı kazanmıştır. Bu yönetmelik, pek çok Dünya ülkesinde Apiterapi çalışmalarının resmi tanınırlığı bakımından örnek bir uygulama olmuştur. Süreçten günümüze konuyla ilgili kanıta dayalı bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Yayınlanan yönetmelikle Doğal Tıp Yöntemlerinin uygulanması, dünyadaki pek çok ülke örneğinde olduğu gibi, liyakatli sağlık profesyonellerinin eline verilmiş, uygulanabilir ve sürdürülebilir bir denetim mekanizmasına dâhil etmiştir. Yönetmeliğe göre; Apiterapi

uygulamaları Sağlık Bakanlığı tarafından onaylı bir Apiterapi Ünitesi veya Apiterapi Uygulama Merkezinde, Apiterapi Uzmanlığı sertifikalı tabip tarafından yapılabilmektedir. Büyük bir arıcılık potansiyeline sahip olan ülkemizde kaliteli ve çeşitli arı ürünlerinin üretilerek, hekim gözetiminde kanıta dayalı klinik uygulamaların ve araştırmaların gerçekleştirileceği donanımlı apiterapi merkezlerinin kurulması ve geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde halen; Düzce Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul Bağcılar Hastanesi, NKÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Batman Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Muğla Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul Medipol Üniversitesi Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulama Merkezi, Erzurum Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, resmi olarak “Apiterapi” uygulaması yapma yetkisine sahiptirler (4).

Arı Ürünleri ve Apiterapi

Arı ürünleri insan sağlığı açısından yaşamsal düzeyde öneme sahiptir. Arı ürünlerinin içerdiği zengin besin komponentleri ve biyoaktif maddeler, uygun sürede, dozda, terkipte ve şekilde Apiterapist bir hekim gözetiminde uygulanırsa, hem bağışıklık sistemini destekleyerek hastalıktan korunma, hem de kanıta dayalı bilimsel çalışmaların sonuçları dikkate alınarak tıbbi tedaviye destek amacıyla iyileşmede önemli bir güç olarak değerlendirilebilir. Göz ardı edilemeyecek konuların başında bu ürünlerin “kalite” meselesi gelmektedir. Zira beklenen olumlu etki için kullanılan ürünün kaliteli olması şarttır. Apiterapötik amaçlı üretimi hedeflenen arı ürünlerinin gerek çevre koşulları gerekse bakım-yönetim uygulamaları bakımından, pestisid ve sentetik ilaç kalıntılarından arı arılıklarda, “organik, hassas veya iyi arıcılık uygulamaları” kapsamında üretilmesinin ve üretimin, çıkarılacak apiterapötik arı ürünleri üretim mevzuatı çerçevesinde sistematik olarak Tarım ve Orman Bakanlığı’nın ilgili birimlerince denetlenmesinin çok önem taşıdığını belirtmekte yarar vardır. Konvansiyonel arıcılıkla elde edilen arı ve arı ürünlerinin tıbbi ürün olarak kullanılamayacağı göz önüne alınmalıdır. İlgili yönetmelik, kaliteli arı ürünü üretilmesi hususunu dikkate alarak oral kullanılacak ürünlerde kimyasal analizlerin yapılmış olması ve Türk Gıda Kodeksi’ne ve ilgili mevzuata uygunluk şartı getirmiştir (11). Türk Gıda Kodeksi, Uluslararası Bal Komisyonu’nun tavsiyelerine paralel kriterler getirmiş olup, Apiterapide kullanılacak diğer arı ürünlerinin kalite kriterleri üzerinde çalışılmakta, bilimsel literatür dikkate alınarak kalite kriterleri güncellenmektedir. Bununla birlikte en azından şu kadar rahatlıkla söylenebilir ki, şifa amaçlı kullanılacak bu ürünlerin ‘hakiki ve doğal’ oluşu yanında, işlenmesi, ambalajlanması ve depolanması süreçlerinde her açıdan ‘saf ve temiz’ olması, ‘taze’ olarak tüketilmesi önem taşımaktadır (4). Bu konuda

ürünlerin kalitesi yanında ambalajlarının da kaliteli olması ve üstünde ‘içerik’, ‘kullanım şekli’, ‘uyarılar ve ‘saklama şartları’ ile ilgili bilgilerin açık ve net olarak yazılması da önem taşımaktadır. Apiterapide kullanılacak arı ürünlerinin temel içerikleri ve biyolojik etki mekanizması üzerinden değerlendirilmesi gerekmektedir. Arı ürünlerinin etkinliğinin vurgulanarak coğrafi işaret alınması, kullanılabilirlik açısından da yarar sağlayacaktır (4,12).

Apiterapi Uygulamaları

Üretilen arı ürünlerinin sağlık amacıyla kullanımında nelere dikkat edilmesi gerektiği; kimlerin, hangi ürünü, ne amaçla, nasıl kullanabileceği; ürünlere karşı hassasiyet ve alerjik durumlarla karşılaşıldığında ne yapılması gerektiği gibi konular, olası riskler ve çözüm yolları iyi bilinmeli ve tedbirler alınmalıdır. Ayrıca, hastanın kendisi hakkında tıbbi kararları kendisinin verebilmesi için yeterli bilgiye sahip olması, dolayısıyla apiterapi seansları öncesi aydınlatılmış onam formu doldurulması önem arz etmektedir. Aydınlatılmış onam, iyi hekimlik uygulaması önkoşullarından biridir ve tıp etiğinin temel ilkelerinden olan özerklik ilkesine dayanmaktadır. Tıbbi deontoloji ve etik, sağlık hizmeti verenlere ve alanlara yetki verirken, sorumluluk da yüklemektedir. Arı ürünlerinin içeriğinde bulunan bazı maddelerin, sağlık açısından olumsuz etki oluşturabileceği hekim tarafından detaylı olarak irdelenmeli, hastaya uygulama sırasında mutlaka göz önüne alınmalı, arı ürünlerinin neden olabileceği alerjik reaksiyon özellikleri saptanmalıdır (3,4,13).

Apiterapi’de karşılaşılan sorunlara yönelik stratejik yaklaşımlar

Sistem içerisinde halen kimi sorunlar olsa da, bilimsel temele dayalı olarak bu handikapların süreç içerisinde çözülebileceği ön görülmektedir. Beklenti o ki, bir sonraki adımda, Avrupa’daki pek çok ülkede olduğu gibi Sosyal Güvenlik Kurumu ile yapılacak bir çalışma sonrasında en azından belirli endikasyonlarda Apiterapi de dahil olmak üzere Tamamlayıcı Tıp Uygulamalarının sağlık sektöründe geri ödeme kapsamına alınması ile halkımızın gelir düzeyi ayrımı olmaksızın bu tedavilere erişiminin artırılması sağlanabilir. Ayrıca Fakültelerde (tıp, eczacılık, veteriner, diş hekimliği ve sağlık bilimleri fakültelerinde) müfredatta seçmeli ders olarak “Apiterapi-Arı ürünleri uygulamaları” dersinin önerilmesi/açılması gündeme getirilerek, hasta tedavisinde modern batı tıbbının, geleneksel, tamamlayıcı ve fonksiyonel tıp tedavileri ile bütünleştirilmesi, hekim adayının hasta ve hastalığa bakışını daha zengin bir değerlendirmeye tabi tutacaktır (4).

“Temiz” ve “kalıntısız”, mevzuata uygun üretilmiş arı ürünleri, uygun işleme ile sağlık profesyonellerinin, Uzman Apiterapist hekimlerin uygulamalarına sunulmalıdır. Piyasada nasıl üretildiği belli olmayan arı ürünlerine yönelik, ilgili kurumlarca ivedi önlemler alınmalı, yönetmelikler düzenlenmeli, ciddi denetimlerle yaptırım uygulanmalıdır. Sağlıklı kişilerin de günlük hayatlarında arı ürünlerini düzenli olarak tüketmesi apiterapist hekim kontrolünde teşvik edilmeli, olası hastalıklara karşı koruyucu etkisinden yararlanılmalı, arı ürünleri konusunda farkındalık ve toplum bilinci geliştirilmelidir. Arı ürünlerine, sağlıkta tamamlayıcı gıda ve gıda takviyesi temelinden yaklaşılmasının, arı ürünlerinin farkındalığı ve kullanımı konusunda daha esnek bir platform oluşmasına zemin sağlayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (14,15).

Sağlık bakanlığının geleneksel tıbbi ürün ruhsatı bitkisel ürünleri kapsadığı ve arı ürünleri hayvansal ürün kapsamında değerlendirildiği için, sağlık bakanlığının ilgili yönetmelikte düzenleme çalışmasının yapılması hususu değerlendirilmelidir. Bu şekilde arı ürünlerine de tıbbi ürün ruhsatı alınabilir. Bu şekilde yüksek kaliteli arı ürünlerinin insan sağlığı üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan bilimsel araştırmaların, geleneksel ve tamamlayıcı tıp çerçevesinde daha kapsamlı ve multidisipliner olarak çalışılabilmesi mümkün olacaktır.

Üniversitelerin altyapılarına göre yapabilecekleri arı ürünleri analizlerini belirleyip, sabit ve önceden belirlenmiş yöntemlerle metotların validasyonlarının tamamlanması, biyoyararlılıklarının analiz edilebileceği yapının kurulması, apiterapide kullanılacak arı ürününün kalite ve niteliğinin belirlenmesi açısından yarar ve kolaylık sağlayacaktır (15).

Gerek Dünya’da gerekse ülkemizde arı ürünleri ve arı ürünlerinin apiterapi’de kullanımına yönelik çalışmalar çoğu kez laboratuvar ve hayvan modeli çalışmaları ile sınırlı kalmakta, gerek yasal ve etik sınırlamalar, gerekse çalışmaların izinlerinin alınmasında yaşanan güçlükler nedeniyle, insan üzerindeki kanıta dayalı çalışmalar bilimsel olarak yeterli kantitede yapılamamaktadır. Apiterapötik özellikli arı ürünlerinin hangi endikasyonda, hangi stabil ve güvenli dozda kullanılabileceği ile ilgili kanıta dayalı klinik çalışmaların sayısının artırılabilmesi için daha kolaylaştırıcı bir yapılanmaya gereksinim duyulmaktadır (13).

Apiterapötik çalışmada *In vivo* aşamada etki mekanizması ve doz düzeylerinin bilimsel düzeyde çift kör çalışmalarla, multidisipliner çalışma gruplarıyla ortaya konması önem taşımaktadır. Bir sonraki hedef; ülkemizdeki kaynakları kullanarak geleneksel kullanımı olan arı ürünlerinin

mevcut bilgi birikimi, deneyim ve altyapı kullanılarak dozaj şekline getirilmesi (apisötik), ruhsatlandırılması ve tıbbi tedaviye destek amacıyla kullanıma sunulması olmalıdır. Arı ürünlerinin Apisötik hale gelmesinde izlenice; saflık analizlerinin yapılması, içerdiği asgari etken madde ya da etkiden sorumlu maddelerin miktarlarının belirlenmesi, formülasyon geliştirilmesi, kalite kontrolünün yapılması, *In vitro* ve *In vivo* etkinlik testlerinin gerçekleştirilmesi şeklinde olmalıdır. Apisötik ürünlerin etkinliği, yararlılığı ve güvenilirliği, Apiterapide büyük önem taşımaktadır. Bu noktada hem ülkesel, hem de uluslararası bilimsel işbirliği ve araştırmaların yapılması gerekmektedir (4,13).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) günümüzden itibaren 10 yıllık süreçte hazırladığı taslak “Geleneksel Tıp Stratejisi (2025-2034)”nde, Geleneksel tıbbın toplumların sağlıklı kalmasındaki rolünü güçlendirmek için proaktif politikalar, uygulanabilir stratejiler ve eylem planları geliştirmeyi hedeflediğini belirtmektedir (16). Ülkemiz, Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları konusundaki perspektifini; güçlü arıcılık potansiyelinden elde edilecek apiterapötik arı ürünlerinin sürdürülebilir üretimi, kanıta dayalı bilimsel çalışmalar, doğru eylem planları ile geliştirecektir.

Kaynaklar

1. Bogdanov, S. Royal jelly, bee brood: composition, health, medicine: a review. Bee product science. 2012.(www.bee-hexagon.net)
2. Cherbuliez, T. Apitherapy–the use of honeybee products. In: Grassberger M et al (eds) Biotherapy-history, principles and practice. Springer, Dordrecht. 2013:113–146.
3. Tolon, B. Apiterapi; Arı ürünlerinin insan sağlığındaki önemi. Hayvansal Üretim. 1997: 37:73-83.
4. Yücel, B. Arı ürünleri ve sağlığa etkisi. 7. Sağlık Halk Kongresi, Pusulanız Sağlık Olsun-4.,26-28 Şubat, İzmir. 2009: 207-218.
5. Strant, M., Yücel, B. Miera Ca Aliment. Api Nutritia. Lumea Apicola. 2018: 123-127.
6. Aydın, Y., Tekeoğlu, İ. Tamamlayıcı tıp ve güncel apiterapi uygulamaları. J Biotechnol and Strategic Health Res 2018: 2(2):64-73.
7. Bónai, A. Book Re-view: The Life of Dr. Bódog Félix Beck, APIS, 2024: 1:1 .
8. Körmendy-Racz J. Literatura Apiterapie Dr.Beck Felix Bodog elete. Első Kiadas, Hungary. 2019: 239.

9. Dhinsa K, Dhinsa G, Narang R, Mittal L, Verma R. Apitherapy: a novel approach to health. *Indian J Contemp Dent*. 2013; 1(1):34–38.
10. Enders, P. An Introduction To Apitherapy: When Nothing Else Helps, Try the Power of the Honey Bee. Bod - Books on Demand. 2021: 72.
11. Çukur, F., Yücel, B., Demirbaş, N. AB ve Türkiye'de Arıcılık Faaliyetine Yönelik Gıda Güvenliği Uygulamaları: Sorunlar ve Öneriler. *Tarım Ekonomisi Dergisi*. 2019; 22(2): 87-91.
12. Yücel, B., Doğaroğlu, M. Quality Assurance in Bee Products; “Good Manufacturing Practises (GMP)”. 1st Marmaris International Apitherapy and Bee Products Symposium. 20-22 November, Marmaris-Muğla/Turkey. 2015: 25.
13. Gupta, R. K., Stangaciu, S. Apitherapy: Holistic Healing Through the Honeybee and Bee Products in Countries with Poor Healthcare System . In: Gupta et al. (eds.), *Beekeeping for Poverty Alleviation and Livelihood Security*. Springer Dordrecht. 2014: 413-446.
14. Mizrahi A, Lensky Y. Bee products. Products, applications and apitherapy. Plenum Press, New York. 1997: 269.
15. Yücel, B. Üniversitelerin bal arısı zehri üretimi ve ticarileşmesindeki rolü. Düzce Üniversitesi Arıcılık Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi (DAGEM), Bal Arısı Zehri Paneli, 10 Mart, Düzce. 2021: 1-3.
16. Anonymous. WHO: Draft global traditional medicine strategy (2025–2034) Report by the Director-General. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB156/B156_16-en.pdf (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2025)

BAL ARISI KOLONİLERİNDE NEKTAR TOPLAMA DAVRANIŞI ve KOLONİ YAŞAMINA YANSIMALARI

NECTAR COLLECTING BEHAVIOUR IN HONEY BEE COLONIES and ITS REFLECTIONS ON COLONY LIFE

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye

banu.yucel@ege.edu.tr ; ORCID ID:0000-0003-4911-7720

Dr. Ekin VAROL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi

ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4382-5427

Özet: Bal arısı kolonileri bir ana arı, yavrular, erkek arılar ve işçi arılardan oluşur. İşçi arılar popülasyonun çoğunluğunu oluşturur ve hayatta kalmak için gerekli görevlerin çoğunu yerine getirirler. İşçi arıların tarlacı grubu; su, nektar ve polen olmak üzere besin kaynağı aramakla görevlidir. Tarmacı arılar, yaklaşık üç haftalık olduklarında besin toplama görevini üstlenmeye hazır fizyolojik olgunluğa ulaşırlar. Yaşamlarının sonuna dek kovan için besin aramaya ve toplamaya devam ederler. Nektar toplama davranışı, bal arılarında sosyal yaşam döngüsünün önemli bir parçası olup, bu örüntü; nektar kaynağının şeklini ve yapısını öğrenme, nektar toplama alanını ve nektar toplama saatlerini belirleme şeklinde gerçekleşir. Işık yoğunluğu, kovandaki besin stokları, nektar kaynağının türü ve kovandan uzaklığı, nektardaki şeker konsantrasyonu, çiçeklerin türü, sayısı ve boyutu ve bal arılarının nektar uçuş miktarı gibi faktörler bu örüntüyü etkiler. Bal arılarının nektar toplama eğilimi, nektar kaynağının kalitesi ve kalitesi arttıkça artış gösterir. Bal arıları nektar kaynağının kaliteli ve bol olduğu bölgelere daha fazla ilgi göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Nektar, bal arısı, davranış, besin toplama.

Giriş

Bal arıları son derece gelişmiş sosyal böceklerdir. Sosyal yaşamlarının en önemli gereksinimleri olan nektar toplama, işleme, depolama yetenekleri mükemmel işleyen bir organizma halindedir. Koloni faaliyetlerinin canlı ve sürekli olduğu aktif dönemlerde nektar kaynakları kıt olsa bile bal arıları, nektar arama ve toplama içgüdülerini sürdürürler. Kolonide yüksek verim elde edilmesinde koloni davranışlarının, arıların hangi çevre şartlarında ne tür reaksiyon gösterdiğinin bilinmesi gerekir. Arının en önemli sosyal özelliği çok miktardaki nektarı, çok sayıdaki nektar kaynaklarından toplayıp kovana taşımalarıdır (1). Bir bal arısı kolonisinin günde 163.000 nektar toplama uçuşu gerçekleştirdiği belirtilmektedir. Arıların son derece gelişmiş yapıdaki görme ve koklama duyuları nektar kaynaklarının bulunduğu yerleri kusursuz şekilde keşfetmelerini sağlar (2,3).

Nektar Toplama ve Taşıma: Önemli sosyal böcekler olan bal arıları kısmi dehidrasyon ve şekerin inversiyonu ile topladıkları bala dönüştürürler. Arıların nektar topladıkları çiçeklerin kimilerinin nektar salgılama oranları diğerlerinden daha az, kimilerinin ise daha fazladır. Bir tarlacı arı bir ökaliptüs çiçeğini ziyaretinde midesini büyük ölçüde nektarla doldurabildiği halde, Limnanthes (çayır bataklık çiçeği) çiçeğinde yaklaşık 1446 ziyaret sonunda bal midesini doldurabilmektedir. Bununla birlikte çevrede nektar akımı az ise arının topladığı nektar miktarı az olmakta, nektar toplama isteği azalmakta ve besin kaynağına daha çok gidip gelme durumunda kalmaktadır. Arının nektar toplamak için dolaştığı çiçek sayısı; çiçeğin türüne, büyüklüğüne, günün belirli saatlerine, toprak nemine, nektar toplama durumuna göre değişiklik gösterir. Arılar genelde şeker oranı yüksek olan nektar kaynaklarını tercih ederler. Kurak yaz aylarında nektar akımı az iken, binlerce çiçeğe süresi birkaç saate dek uzayan pek çok ziyaret yapılır (3).

Arıların nektar toplama paterni; çiçeği rengini, şeklini ve yapısını öğrenme, belirli bir bölgeyi tanıma, gün içerisinde nektar toplama zamanını öğrenme şeklinde oluşturulur. Bölgedeki çiçek baskınlığı nektar toplama isteğini ve oranını artırır. Karışık ve eşit çekicilikte çiçeklerin olduğu bölgede bile bir arı yalnız bir tek çiçek üzerinde çalışabilir. Buna benzer şekilde, çevrede baskın tür olarak bulunan çiçek üzerinde daha hızlı çalıştıkları bilinmektedir. Çiçek üzerinde en doğru duruş pozisyonunu ve dillerini hangi yöne ne kadar derinlikte sokacaklarını öğrenmişlerdir (4). Arıların davranışındaki değişiklikler ve nektar miktarındaki yükselmeler, arının nektar kaynağı üzerinde deneyim ve bilgisinin arttığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Arının nektar

toplama eğilimi çiçek türü geniş alana yayıldıkça azalmakta, bunun yanı sıra aynı çiçek türünün belli bir alana lokalize olması durumunda artış göstermektedir. Hatta kimi arıların çiçeklenme dönemi bitene dek aynı nektar bölgesindeki çiçeği tekrar tekrar ziyaret ettikleri bilinmektedir. Bunun yanı sıra bal arıları, yeterli kalite ve kantitede nektar bulunduğunu bildiği alanları, yeni nektar kaynaklarına tercih etmektedir. Çünkü arılar bildikleri nektar kaynağına, yeni keşfettiklerinden daha hızlı uçmaktadırlar. Bal arıları genellikle kovanın birkaç yüz metre çevresindeki nektar kaynakları elverişli ise, bu uzaklıkta nektar toplamayı tercih ederler. Nektar toplama uçuşu için bal arıları, aralarındaki iletişim ile nektar toplam planı oluştururlar. Tarlacı arılar koloninin bilgi merkezidir. Nektar kaynaklarınca en uygun bölgede yuva kurulması için tarlacılar kılavuzluk yaparlar. “Bilgi merkezi arılar” gün içerisinde en ideal nektar kaynağının bulunduğu bölgeyi saptar (5).

Kimi çiçekler günün yalnız belirli saatlerinde nektar salgırlar. Bu durum arı tarafından içsel bir zaman ayarlamasıyla bilinmekte ve genellikle nektar kaynağı gün içerisinde en yüksek nektar salgıladığı zaman ziyaret edilmektedir. Bal arılarıyla yapılan çalışmalarda arıların içsel zaman ayarlaması, ışık yoğunluğu ve çiçek kokusu gibi dış uyarıcılara tepki gösterdiği belirtilmektedir. Arıların kovana dönüş mekanizması yine içsel zaman ayarlaması ile mümkün olmaktadır. Arılar 24 saatlik süre düzenine ayarlanmış bir zaman algısına sahiptirler. Günlük yaşam döngülerini güneşin hareketine göre ayarlarlar ve buna “sundial etki” denir. Işık yoğunluğu kovanda bulunan besin stoku, nektar kaynağının kovana uzaklığı, nektar çeşidi, nektarın şeker konsantrasyonu, nektar kıtlığı gibi değişik çevresel etkiler arının nektar toplama uçuşunu etkiler. Ana arı feromonu ve kovanda yavru bulunması nektar toplamayı teşvik eden koşullardır. Nektar salgılayan bitkiler de, nektar toplayan arının günlük sefer sayısını ve kovana getirilen nektar miktarını olumlu yönde etkiler. Nektar toplama uçuşuna çıkan tarlacı arılar, zenin nektar kaynağını bulduktan sonra kovana dönerek diğer arıları da bu kaynağa yöneltirler (6). Arılar nektar kaynağının zenginliğini bir çiçekten diğerine giderek bulamazlar. Çünkü bir arı zamanının tümünü karşılaştırma ile bulduğu nektar alanında harcamakta, diğer bölgelere gitmemektedir. Arılar buldukları nektar kaynağının zenginliğini içerdiği şeker konsantrasyonuna bağlı olarak enerji analizi yoluyla saptarlar. Bir bal arısı topladığı nektarın enerjisini en yüksek düzeye getirme durumuna bağlı olarak, nektar kaynağının zenginliğine ölçüt getirmektedir. Tarlacı arının bulduğu nektar kaynağının zenginliği, arının aldığı enerji ve nektar kaynağına gidiş süresi toplamına bağlı olarak tahminlenebilir. Arı çiçekte nektar bulursa hortumunu daldırarak nektar tükeninceye dek emer. Çiçeğin büyüklüğü olanak tanıyorsa arı

çiçek üzerine, çiçek büyüklüğü arı konmasına uygun değilse bitkinin arının ağırlığını taşıyabileceği uygun bir noktasına konar. Konduktan sonra çenesinin altında kıvrık şekilde duran hortumunu ileri doğru uzatarak, genellikle çiçek tüpünün tabanında yer alan nektar dolu alana sokar. Arı hortumunu bir çiçeğe sokmadan nektar varlığını keşfedemez. Ancak bu yöntemle arı çiçekte nektar durumunu çok hızlı şekilde keşfeder. Nektar bulunmama durumunda ise hortumunu çekerek, bir başka çiçeğe doğru hareket eder (7, 8).

Tarlacı arının nektar toplama uçuşunu; nektar kaynağına gidiş-dönüş zamanı, nektar yükleme için geçen zaman ve yapılan her tur için alınan enerji miktarı belirler. Nektar yükü hacmi besin bölgesinde harcanan sürenin azalması ve yolculuk süresinin uzamasıyla artış gösterir. Nektar yükü hacminin temelde sabit olduğu düşünülürse, her besin uçuşu için kazanılan enerji miktarı nektarın şeker konsantrasyonuna bağlıdır. Bal arılarının topladığı nektarlar %10-70 arasında şeker içerirler. Tarmacı arıların nektardaki şeker konsantrasyonu yüksek nektarı kovana taşımaları esnasında kovan içi hizmeti yapan arıların nektar yükünü yüklü gelen arıdan hızla boşalttıkları gözlenmiştir (9). Kovana en çok ve en tatlı nektarı getiren arının yükü en hızlı şekilde boşaltılır. Nektar toplamada sefer sayısı ve kovana getirilen yükün ağırlığı, nektar akımının bol ve yoğun olduğunun işaretidir. Çiçeği ziyaret süresi, çiçeğin türüne bağlı olarak değişiklik gösterir(10,11). Nektar toplama uçuşunda, kovandaki tarlacı arı sayısı ve bu arılar arasındaki iş bölümü belirlenir. Kolonide nektar toplama için ayrılacak işgücü, çevredeki nektarın durumuna göre değişir. Nektar akımı çok olduğu zaman işçi arılar daha erken yaşlarda nektar toplamaya yönelebilir. Bu durum her ne kadar birim alanda daha fazla nektar toplanmasını sağlasa da, tarlacı olabilmek için gerekli fiziksel gelişimlerini henüz tamamlamamış genç işçi arıların daha hızlı yaşlanmasına sebep olabilir. Dolayısıyla böyle bir durumdan kaçınmak amacıyla, koloninin arıcı tarafından ana nektar akımına en yüksek tarlacı popülasyonla girecek şekilde manejman düzenlemesi yapılması gereklidir. Bu şekilde hem kolonideki arıların yaşlarına göre görev yaparak, en sağlıklı şekilde koloniye en yüksek düzeyde nektar taşınması gerçekleştirilmiş olur (3).

Arılar belli bir nektar kaynağından nektar toplama eğiliminde olmalarına rağmen, daha zengin bir nektar kaynağı bulmaları halinde bu kaynağa da yönelebilirler. Bir çiçeğin nektar bakımından tercih edilebilirliği; çiçeğin etrafındaki uçuş yoğunluğuna, arının çiçeğe dilini ne kadar derinlikte ve süre ile batırdığına, nektar miktarına göre belirlenir (9).

Tarlacı arıların çiçek çeşitlerini ayırmadaki yetenekleri, çiçeklerin taç yapraklarının rengine ve yapısına bağlıdır. Bir çiçeğe bir kez ziyaret yapılınca, aynı çiçeğin arı tarafından tanınması olasılığı %90 doğrulukta olmaktadır. Üçüncü ziyaret sonunda bu oran %100 isabetle gerçekleştirilmektedir. Genelde nektar kaynağında bu tür çiçek yoğunluğu mevcut ise, bu çiçeğin arı tarafından tanımlanması çiçeğin bölgesel lokasyonu ile imgelenir (5,6). Nektar kaynağı ve yeri seçildikten sonra tarlacı arı davranışlarını buradaki bitki çeşidine göre ayarlar. Genel olarak zengin bitkiler nektar alanında bir örnek dağılım göstermezler. Bunun nedeni bölgedeki toprak yapısı, bitkideki genetik farklılıklar ve bölgeye daha önce gelen tarlacı arılardır. Nektar arayan tarlacılar kısa süre önce ziyaret ettikleri çiçek üzerinde ziyaretçi arı tarafından bırakılan kokuyu tanıdıklarından, başka arılar tarafından ziyaret edilip edilmediğini anladıklarından bu tip çiçekleri ziyaret ederek zaman kaybetmekten kaçınırlar. Çiçek, tekrar nektar kazanmasının ardından sistematik olarak ziyarete açık hale gelir. Bu da bir çok çiçeğin sabit ve düzenli sıklıkta ziyaret edildiğini gösterir. Daha cüsseli arılar daha uzun mesafe uçuşu gerçekleştirerek, daha hızlı nektar toplayabilirler. Bal arısının uçuş mesafesinin 13.5 km'ye dek ulaşabildiği belirtilse de, bu mesafedeki uçuş için arının çok fazla miktarda balı enerji olarak kullanacağı ve kovana daha az bal depolayacağı düşünülürse, bu denli uzak nektar kaynağına arı kolonilerinin yerleştirilmesinden kaçınılmalıdır. Nektar bol olduğu zaman arılar daha az çalışmakta ve nektar toplama alanlarını 10-40 m²'lik alana sığdırmaktadır. Ancak nektar kıtlığında arılar dinlenmeden çalışmaya başlamakta ve daha kaliteli nektar kaynakları bulabilmek için uzun mesafe uçuşları gerçekleştirmek zorunda kalmaktadır (3,4).

Kaynaklar

- 1.Afzaa, M., Ali, H., Amin,F., Younus, M., Israr,M. Pollen and nectar collection preferences of the European honeybee (*Apis mellifera*Linnaeus). Pure Appl. Biol. 2023: 12(1):583-589.
2. Elton, W., Herbert, J.R. Honeybee nutrition. The hive and the honeybee,1992: 197-233.15.
- 3.Tolon, B., Altan, Ö. Bal arılarının nektar (bal özü) toplama davranışları. E.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi. 1996: 33 (1):185-191.
- 4.Ghosh S, Jeon H, Jung, C. Foraging behaviour and preference of pollen sources by honey bee (*Apis mellifera*) relative to protein contents. J Ecol Envir. 2020: 44(1): 1-7.10.
- 5.Firsch, K. The foraging bee, how she find and exploits sources of food. Bee world. 1969: 50(4):
- 6.Seeley, T.D. The Wisdom of the Hive Harvard University Press.Cambridge, Massachusetts, London,England.1995: 55-110.

141-152.

7. Seeley, T.D. Honey bee ecology. A study of adaptation of social life. Princeton Univ. Press. 1985: S:80-106.

8. Gary, N.E. Activities and behaviour of honeybees. The Hive and the honeybee. 1975: S:318-328.

9. Ali, H., Iqbal, J., Raweh, H.S., Alqarni, A.S. Proboscis behavioral response of four honey bee *Apis* species towards different concentrations of sucrose, glucose, and fructose. Saudi J Biol Sci. 2021: 28(6): 3275-3283.7.

10. Nicolson, S. W. Bee food: the chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. Afric. Zoo. 2011: 46(2): 197-204.14.

11. Younas, M., Israr, M., Ali, Y. Comparative study of foraging behavior of *Apis mellifera* L. at two different agroclimatic conditions in different seasons. Pure Appl Biol. 2021: 11(2): 548-552.

12. Michener, C.D. The social behaviour of the bees. Comparative study. Harvard Univ. Press. 1974: 138-178.

YAĞIŞ BENZETİCİ KOŞULLARINDA FARKLI MALÇ MALZEMELERİNİN DRENAJ, YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYBI ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. HOUNDONUGBO MARIUS HOUNDONUGBO

Ege Üniversitesi, jecnosh@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3293-6885

Prof. Dr. GÖKÇEN YÖNTER

Ege Üniversitesi, gokcen.yonter@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0823-1893

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar koşullarında, yağış benzetici altında farklı malç malzemelerinin drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malç malzemeleri olarak biyokömür, vermikompost ve buğday samanı kullanılmıştır. Denemeler, %9 eğim, 100 mm/saat yağış şiddeti, Fulljet 50WSQ püskürtücü ve killi tın bünyeli toprak ile kontrollü yapay yağış altında gerçekleştirilmiştir. Bu koşullarda farklı dozlarda, biyokömür (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da), vermikompost (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da) ve saman (0.25 - 0.50 - 1.00 t/da) malç malzemeleri toprağa karıştırma ve serme şeklinde uygulanmıştır. Sonuçlar, farklı malç malzemelerinin drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı üzerinde önemli farklılıklar yarattığını göstermiştir. Özellikle, saman malçı, yüzey akışı azaltarak drenajı artırmış, aynı zamanda toprak kaybını da önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, saman malçının uygulama dozlarının 0.5 t/da'ya ulaştığında yüzey akış ve toprak kaybının sıfırlandığı gözlemlenmiştir. Biyokömür ve vermikompost malçları ise samana göre, drenaj ve yüzey akışını daha az etkilemiş, fakat toprak kaybını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, biyokömür ve vermikompost, toprağa serme şeklinde uygulandığında, 5.0 t/da uygulama dozuyla yüzey akışı ve toprak kaybını engellediğini göstermiştir. Bu bulgular, erozyon kontrolü ve su yönetimi stratejilerinde malç kullanımının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmanın erozyon kontrol yöntemlerinin geliştirilmesine ve toprak koruma stratejilerinin iyileştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Biyokömür, Vermikompost, Saman malçı, Drenaj, Yüzey akış, Toprak kaybı ve Yağış benzetici.¹

¹ Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen Doktora Tez Projesinden (Proje No: 23206) üretilmiştir.

EFFECTS OF DIFFERENT MULCH MATERIALS ON DRAINAGE, RUNOFF AND SOIL LOSS UNDER RAIN SIMULATOR CONDITIONS

Dr. HOUNDONUGBO MARIUS HOUNDONUGBO

Ege Üniversitesi, jecnosh@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3293-6885

Prof. Dr. GÖKÇEN YÖNTER

Ege Üniversitesi, gokcen.yonter@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0823-1893

ABSTRACT

In this study, the effects of various mulch materials on drainage, runoff and soil loss under rainfall simulator were investigated under laboratory conditions. Biochar, vermicompost and wheat straw were used as mulch materials. The experiments were conducted under controlled artificial rainfall with 9% slope, 100 mm/saat rainfall intensity, Fulljet 50WSQ nozzle and clay loam soil. Under these conditions, different doses of biochar (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da), vermicompost (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da) and straw (0.25 - 0.50 - 1.00 t/da) mulch materials were applied by mixing and laying on the soil. The results showed that different mulch materials produced significant differences in drainage, runoff and soil loss. In particular, straw mulch improved drainage by reducing runoff, but also significantly reduced soil loss. It was also observed that when the application doses of straw mulch reached 0.5 t/da, runoff and soil loss were zero. Biochar and vermicompost mulches affected drainage and runoff less than straw, but significantly reduced soil loss. Furthermore, biochar and vermicompost, when applied as mulches, completely prevented runoff and soil loss at an application rate of 5.0 t/da. These findings emphasize the importance of mulch in erosion control and water management strategies. This study is expected to contribute to the improvement of erosion control methods and soil conservation strategies.

Keywords: Biochar, Vermicompost, Straw mulching, Drainage, Runoff, Soil Loss, Rainfall simulator.²

¹ This study was produced from the Doctoral Thesis Project (Project No: 23206) supported by the Ege University Scientific Research Projects Coordination Unit.

1. INTRODUCTION

In agricultural lands, heavy rainfall causes erosion in the soil, deep grooves are opened and the fertile elements of the soil are carried away. The movement of sediments and deterioration of water quality with runoff are caused by the erosion of agricultural lands. It is important to prevent soil erosion by water in terms of regaining soil fertility and protecting the environment. Nowadays, various types of mulches, biochar and vermicompost are used as a precaution to protect the soil against water erosion.

In this thesis study, it was aimed to determine the effects of different mulch materials (biochar, vermicompost and straw mulch) on drainage, runoff and soil loss in a clay loam soil sample under rainfall simulating conditions (100 mm/hour; Fulljet 50WSQ nozzle).

2. SOURCE STATEMENTS

Various types of waste (mulch) spread on the soil surface protect the soil against the impact of raindrops, reduce runoff and soil losses, and increase infiltration. The use of different mulch materials is quite effective in preventing soil erosion (Prats et al., 2017). Rhoades et al. (2017) found that a biochar-wood mulch increased soil N availability and water availability, but did not measure the effects on erosion. Jien and Wang (2013) found reductions in erosion mainly due to increased aggregate stability using biochar. According to some studies, vermicompost has been determined to significantly reduce runoff and soil loss by increasing soil aggregate stability (Dominguez and Edwards, 2011; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023).

Straw mulch also prevents raindrops from hitting the soil directly, reducing runoff and soil loss, while increasing infiltration (Blanco-Canqui and Lal, 2009; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023; Parhizkar et al., 2024). Sadeghi et al. (2015) investigated the effects of straw mulch (500, 300 and 50 g/m²), fertilizer and polyacrylamide (PAM) on soil loss by applying different rainfall intensities (30, 50, 70 and 90 mm/h) with a soil channel with adjustable slope (30%) and a rain simulator, considering bare soil and three different soil covers. According to the research, they reported that straw mulch reduced soil loss by 45.60%, fertilizer by 8.98% and PAM by 4.74%, respectively. Another study found that straw mulch reduced soil loss by 80-90% (Selma and Halil, 2021). Mulch types have varying levels of effectiveness in controlling and reducing soil erosion and even improving soil properties (de Lima et al., 2019). Plant mulch types such as leaf litter, cut shrub barriers, wood chips, crop residues and straw are generally found to be significant in affecting soil erosion rates (Jordán et al., 2010). Parhizkar et al. (2021) found that rice straw mulch significantly reduced soil erosion and runoff in loamy soil under high and low frequency rainfall (98 mm/h) under laboratory conditions.

3. MATERIAL AND METHODS

3.1. Procurement of Mulch Materials and Preparation for Testing

Biochar, vermicompost and wheat straw mulch were used in the study. Straw mulch was provided by Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, vermicompost was obtained from barnyard manure, and biochar was obtained from olive

pruning residues by pyrolysis at 550°C. In the study, biochar, vermicompost and straw mulch were weighed and stored in nylon bags and then stored in a laboratory environment. Before this process, biochar and vermicompost mulch materials were sieved through an 8 mm sieve, and straw was chopped into 5-10 cm pieces with a pair of scissors. Biochar, vermicompost and straw materials used in the study are presented in Figure 1.



Figure 1. Straw, biochar and vermicompost mulch materials prepared according to application doses.

3.2. Collection of Soil Samples and Preparation for Analysis

The soil sample used in the research was taken from the upper layer (0-30 cm) of the Olive Experimental Area of the Plant Protection Department of the Faculty of Agriculture of Ege University and was air-dried in the laboratory (Anonymous, 1954).

3.3. Physical and Chemical Analysis of Soil Sample

In this research, a 1.5-2 kg portion of the soil sample was sieved through a 2 mm sieve, and the other portion was sieved through an 8 mm sieve and used in physical, chemical and erosion-related analyses (Anonymous, 1954). In the soil sample, respectively; skeleton (Anonymous, 1993), bulk density (Hunt and Gilkes, 1992), body analysis (Gee and Bauder, 1986), clay content and silt content (Neal, 1938), suspension % and dispersion ratio (%) (Middleton, 1930; Anonymous, 1954), field capacity (%) (Anonymous, 1954), percolation rate (%) (Lal, 1988), erosion rate (%) (Akalan, 1967), aggregate stability (%) (Kempler and Rosenau, 1986), pH (Pansu and Gautheyroux, 2006), water-soluble total salt (%) (Anonymous, 1993), lime (%) (Nelson, 1982) and organic matter (%) (Nelson and Sommers, 1982) analyses were performed.

3.4. Preparation of Erosion Plots

Under rainfall simulating conditions, an erosion plot of 30x45x15 cm dimensions was used. The erosion plot with a drainage hole at the bottom was first leveled by placing 7 cm thick gravel on the bottom and then cheesecloth was spread on the surface and then a 5 cm thick soil sample sifted through an 8 mm sieve was filled on the cheesecloth towards the runoff outlet and leveled (Yönter and Uysal 2015). Three different doses of biochar and vermicompost mulches of 1.25, 2.50 and 5.00 t/da and three different doses of straw mulch of 0.25, 0.50 and 1.00 t/da were applied on the soil sample by spreading and mixing (Figures 2, 3, 4).

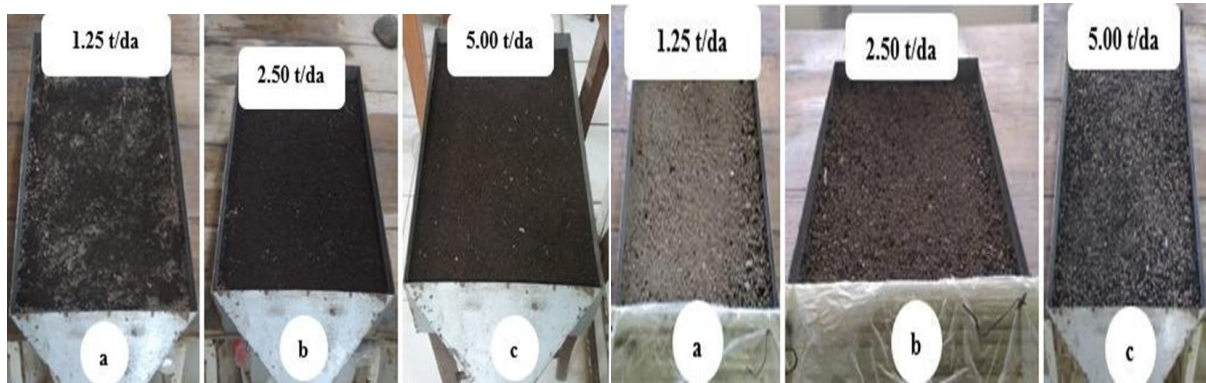


Figure 2. Application of different doses of biochar to the soil sample by spreading and mixing.



Figure 3. Application of different doses of vermicompost to the soil sample by spreading and mixing.



Figure 4. Application of different doses of straw mulch to the soil sample by spreading and mixing.

After these prepared trial plots were placed on a platform with a 9% slope, artificial rainfall was applied at a rainfall intensity of 100 mm/hour. The application of each mulch dose was carried out in 3 repetitions.

3.5. Rain Simulator Device and Application of Rainfall

The image of the precipitation simulator used in this thesis is presented in Figure 5.



Figure 5. Image of the precipitation simulator.

A Fulljet 50 WSQ type spray head is mounted on the upper part of the rain simulator. A Fulljet 50 WSQ type spray head is approximately 2 m above the surface of the erosion plots and produces vertical and constant rainfall.

3.6.Determination of Drainage, Runoff and Soil Losses

During the application of rainfall, the start times of surface flow in the experimental plots were recorded. In order to determine drainage, surface flow and soil losses, water was taken from under the surface flow outlet of the experimental plot every 10 minutes during the application of rainfall, and from under the drainage outlet after 1 hour was completed. The amounts of drainage and “surface flow + sediment” were determined by weighing the containers taken during the rainfall and known weights. The surface flow waters were siphoned after settling and the settled sediments were transferred to glass beakers with a toilet bowl and dried in an oven. Then, the dried sediments were weighed and soil losses were calculated.

3.7. Evaluation of Data Obtained from Trials

In this study, the data obtained at the end of the trials were statistically analyzed using the RStudio (R version 4.2.2) Statistical Package Program. Q-Q Plot and Shapiro-Wilk tests provided by the RStudio software were applied for normality (Ghasemi and Zahediasl, 2012). Differences between means were determined by the Kruskal Wallis-H test (Köklü et al., 2007).

4. FINDINGS AND DISCUSSION

4.1. Physicochemical Indicators and Evaluation of Research Soil

The physical and chemical properties of the soil sample taken from the research area are given in Table 1.

Table 1. Physical and Chemical Properties of the Trial Soil.

pH	7.54	Clay ratio	1.78
Salt(%)	0.0380	Silt ratio	1.05
Lime(%)	12.35	Volume weight (g/cm ³)	1.24
OM (%)	3.26	Skeleton (%)	4.42
Sand (%)	26.44	Aggregate Stability (%)	39.16
Silt (%)	37.59	Suspension (%)	6.73
Clay (%)	35.97	Dispersion (%)	70.76
Texture class	Killi Tın	Dispersion ratio	9.51

The soil used in the research has a pH of 7.54 (slightly alkaline), soluble salt content of the soil is 0.0380% (salt-free), lime content is 12.35% (calcareous), organic matter is 3.26% (high class) and its texture is clayey loam. Clay and silt ratios of the soil were determined as 1.78 and 1.05, respectively. The bulk density of the research soil was determined as 1.24 g/cm³, and the skeleton percentage was determined as 4.42%. The aggregate stability, suspension and dispersion percentages of the soil were determined as 39.16%, 6.73% and 70.76%, respectively. The dispersion ratio was determined as 9.51%.

4.3.Drainage, Runoff and Soil Losses from Mulch Applications

In this study conducted under laboratory conditions, three different mulches were applied to the experimental plots in three replicates by spreading and mixing. Mulch applications on the soil surface were made as 1.25 - 2.50 - 5.00 t/da biochar and vermicompost and 0.25 - 0.50 - 1.00 t/da straw.

4.3.1.Drainage amounts and evaluation

Drainage amounts obtained from the trial plots are given in Table 2.

Table 2. Drainage amounts obtained from the trial (mm/hour)

	Drainage amount (mm/hour)						
Dose (t/da)	Biochar		Vermicompost		Dose (t/da)	Straw	
	Spread	Mixed	Spread	Mixed		Spread	Mixed
0	13.57		13.57		0	13.57	
1.25	22.93	16.27	22.77	12.32	0.25	40.14	66.47
2.50	41.19	24.01	71.27	32.13	0.50	75.92	92.71
5.00	76.65	25.40	75.41	26.17	1.00	71.59	82.85

A drainage of 13.57 mm/h was determined from the control plots. While the drainage amounts in biochar plots applied by spreading increased by 1.7-5.6 times compared to the control plots,

in biochar plots applied by mixing, the drainage amounts increased by 1.2-1.9 times. In both mulch applications, 1.00 t/da dose was effective. While the drainage amounts obtained from the application of vermicompost by spreading increased by 1.7-5.6 times compared to the control plots, it was found that it increased by 0.9-2.4 times in the applications by mixing. When vermicompost was applied by spreading, a dose of 5.00 t/da was effective, while when it was applied by mixing, it was found that 2.50 t/da and 5.00 t/da applications were effective. While the drainage amounts of straw mulch applied in the spreading method increased by 2.95-5.59 times, the drainage amounts in the straw mulch applied in the mixing method increased by 4.90-6.83 times. 0.50 t/da was effective in both applications. These results are also supported by some studies (Blanco-Canqui and Lal, 2019; Gao et al., 2022; Rivieret al., 2022; Rehman et al., 2023; Parhizkar et al., 2024).

4.3.2.Surface flow amounts and evaluation

Surface flows obtained from the experimental plots are given in Table 3.

Table 3. Surface flow obtained from the experiment (mm/hour)

	Runoff (mm/saat)						
Dose (t/da)	Biochar		Vermicompost		Dose (t/da)	Straw	
	Spread	Mixed	Spread	Mixed		Spread	Mixed
0	53.74		53.74		0	53.74	
1.25	52.82	61.86	51.12	65.25	0.25	11.54	12.10
2.50	32.49	48.77	11.37	58.53	0.50	0	0
5.00	0	49.92	0	52.10	1.00	0	0

In the experiment, 53.74 mm/h runoff was determined from the control plots. Biochar applied by spreading method reduced runoff by 1.71-100% compared to the control. In biochar plots applied by mixing method, runoff decreased by 9.24% in 2.50 t/da application, by 7.12% in 5.00 t/da application and by 15% in 1.25 t/da application. It has been stated by some researchers that biochar reduces runoff and soil losses by increasing soil porosity and hence water holding capacity (Jien and Wang, 2013). In vermicompost application (spreading), runoff decreased by 4.89-100% compared to the control. While runoff decreased by 3% in 5.00 t/da mixing applications, it increased by 8.90-15% in 1.25 t/da and 2.50 t/da mixing applications, respectively. Similar results were found in some studies (Dominguez and Edwards, 2011; Gao et al., 2022; Rivier et al., 2022; Rehman et al., 2023). Runoff decreased by 79-100% in straw mulch plots applied by spreading and by 77-100% in straw mulch plots applied by mixing, respectively. These findings are also supported by some studies (Blanco-Canqui and Lal, 2019; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023).

4.3.3. Soil loss amounts and evaluation

Soil losses obtained from the trial plots are given in Table 4.

Table 4. Soil losses obtained from the trial (kg/da)

Soil loss (kg/da)							
Dose (t/da)	Biochar		Vermicompost		Dose (t/da)	Straw	
	Spread	Mixed	Spread	Mixed		Spread	Mixed
0	308.87		308.87		0	308.87	
1.25	75.89	127.74	77.04	120.26	0.25	48.47	53.45
2.50	41.07	89.93	7.06	90.22	0.50	0	0
5.00	0	79.89	0	80.32	1.00	0	0

In the experiment, 308.96 kg/da soil loss was determined from the control plots. Biochar applied by spreading reduced soil losses by 75-100%, while biochar applied by mixing reduced soil losses by 58-100%. Similar results have been emphasized in some studies (Jien and Wang, 2013). Vermicompost applied by spreading reduced soil losses by 75-100% and vermicompost applied by mixing reduced soil losses by 61-100%. These results are also supported by some studies (Dominguez and Edwards, 2011; Gao et al., 2022; Rivier et al., 2022; Rehman et al., 2023). Straw mulch applied by spreading reduced soil losses by 84-100%, while straw mulch applied by mixing reduced soil losses by 83-100%. Similar results were found in some studies with straw mulches (Jordan et al., 2010; Liu et al., 2013; Sadeghi et al., 2015; Blanco-Canqui and Lal, 2019; de Lima et al., 2019; Selma and Halil, 2021; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023; Parhizkar et al., 2024).

4.2. Statistical evaluation of research results

In this research conducted under laboratory conditions, Q-Q plot (Figure 6) and Shapiro-Wilk normality (Table 5) tests were performed to check whether the data in R obtained from different mulch applications conform to a normal distribution in terms of drainage, runoff and soil loss, respectively.

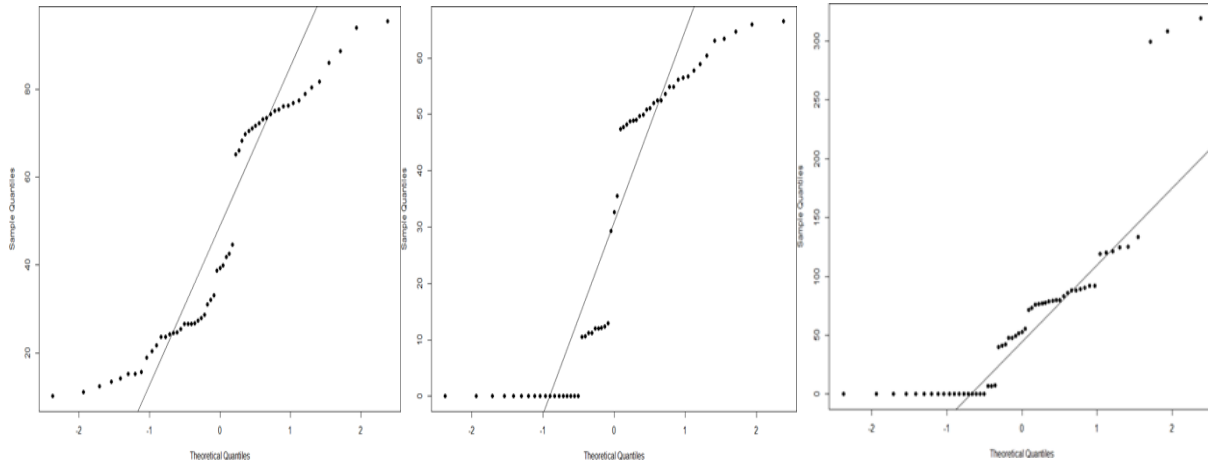


Figure 6. Q-Q Plot Graph for Drainage, Runoff and Soil Loss, respectively.

Table 5. Shapiro-Wilk Normality Test of Data Obtained from Mulch Applications

Variant	W	P-value
Drainage	0.88113	0.00004397
Runoff	0.81493	0.000005493
Soil Loss	0.75562	0.00000002243

In this study, according to the Q-Q Plot graphs of drainage, runoff and soil loss data, the distribution of the data sets did not conform to the normal distribution since the observations did not spread around a straight line. According to the P-values of the Shapiro-Wilk tests below 0.05, the data deviates significantly from the normal distribution (Ghasemi and Zahediasl, 2012).

4.4.Relationships Between Drainage, Runoff and Soil Loss Results Obtained from Different Mulch Doses

In this study, differences of mulch applications according to drainage, runoff and soil loss variables were determined by Kruskal Wallis-H test (Table 6). Statistically significant difference was found in the mean results obtained from different mulch applications according to drainage, runoff and soil loss variables ($P < 0.01$).

Table 6. Kruskal Wallis-H Test Results Obtained from Mulch Applications

Variant	N (Sample size)	H	Serbestlik Derecesi	P
Drainage	57	55,2	18	0.000012**
Runoff	57	54,4	18	0.0000157**
Soil Loss	57	55,4	18	0.0000109**

(** : There is a statistically significant difference ($P < 0.01$) between the means.).

4.5.Binary Relationships Between Drainage, Runoff and Soil Loss

As a result of this research, the relationships between drainage, runoff and soil loss and the coefficients showing these relationships are given in Table 7.

Table 7. Relationships between drainage, runoff and soil loss and coefficients showing these relationships.

Spread				Mixed			
	Drainage	Runoff	Soil loss		Drainage	Runoff	Soil loss
Drainage	1.00	-0.94**	-0.78**	Drainage	1.00	-0.98**	-0.95**
Runoff		1.00	0.72**	Runoff		1.00	0.95**
Soil loss			1.00	Soil loss			1.00

A positive relationship was found between runoff and soil loss (Mixing $R = 0.95^{**}$; Spreading $R = 0.72^{**}$). Heavy rainfall can cause more soil transportation by increasing runoff (Morgan, 2005). However, mulching directly affects runoff and thus soil erosion. For example, in this study, biochar, vermicompost and straw mulch materials applied by mixing and spreading reduced soil erosion by reducing runoff. A significant negative relationship was found between runoff and drainage (Mixing $R = -0.98^{**}$; Spreading $R = -0.94^{**}$). When the amount of drainage increases, runoff decreases. This is because, in areas with sufficient drainage, water infiltration into the soil increases and runoff decreases (Chow et al., 1988). On the other hand, a significant negative relationship was obtained between drainage and soil loss (Mixing $R = -0.95^{**}$; Spreading $R = -0.78^{**}$). When the amount of drainage increases, soil loss decreases. The risk of erosion is reduced by the design of drainage systems. It has been reported that when water is directed in a controlled manner, the amount of water leaving the ground decreases and causes soil displacement (Morgan, 2005; Novotny and Brown, 2007; Brady and Weil 2008).

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, which was conducted to reveal the effects of different mulch materials on erosion, the relationships between drainage, runoff and soil loss were determined under laboratory conditions and rainfall simulation under the mixing and spreading methods of different doses of biochar, vermicompost and straw mulch. It was found that biochar, vermicompost and straw mulch materials had significant effects in increasing drainage and reducing runoff and soil loss. In this study, straw mulch was found to be more effective than biochar and vermicompost mulches. Therefore, it was also revealed in this study that the wastes (stubble and mulch) of plants grown in agriculture can be easily used to reduce soil losses. In our country, such studies should be conducted under both laboratory and field conditions using different mulch types and application rates in reducing soil erosion.

REFERENCES

- [1] Akalan, İ., *Toprak Fiziksel Özellikleri ve Erozyon*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, (3-4): 490-503, 1967.
- [2] Anonymous, *Diagnosis and Improvement of Saline And Alkali Soils*, Government Print. Office, Washington, 1954.
- [3] Anonymous, *Application of methods and models for prediction of land surface erosion and yield*, U.S army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, USA, 1993.
- [4] Blanco-Canqui, H. and Lal, R., Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil Science Society of America Journal*, 73(2), 418-426, March, 2009.
- [5] Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 1988.
- [6] De Lima, J. L. M. P., Santos, L., Mujtaba, B., and de Lima, M. I. P., Laboratory assessment of the influence of rice straw mulch size on soil loss, *Advances in Geosciences*, 48, 11-18, April, 26, 4, 2019.
- [7] Dominguez, J. and Edwards, C. A., *Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting*, In Edwards, C. A., Arancon, N. Q., and Sherman, R. (Eds.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (pp. 27-40). CRC Press, December, 20, 12, 2011.
- [8] Gao, Z., Xu, Q., Si, Q., Zhang, S., Fu, Z. and Chen, H., Effects of Different Straw Mulch Rates on the Runoff and Sediment Yield of Young Citrus Orchards with Lime Soil and Red Soil under Simulated Rainfall Conditions in Southwest China. *Water*, 14, 1119, March, 31, 3, 2022.
- [9] Gee, G.W. and Bauder, J.W., *Particle size analysis*. In: Klute, A., Campbell, G.S., Jackson, R.D., Mortland, M.M., Nielsen, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, pp. 400–402, 1986.

- [10] Ghasemi, A and Zahediasl, S., *Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians*. Int J Endocrinol Metab 10 (2): 486–89, 2012.
- [11] Hunt, N. and Gilkes, R., *Farm Monitoring Handbook*. The University of Western Australia: Netherlands, WA, 1992.
- [12] Jien, S.H., Wang, C.S., Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena 110, 225–233, June, 24, 6, 2013.
- [13] Jordan, A., Zavala, L. M., and Gil, J., Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain, Catena, 81, 77-85, April, 15, 4, 2010.
- [14] Kemper, W.D. and R.C. Rosenau, R.C., *Aggregate Stability and Size Distribution*. In A. Klute et al., *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 425-442, 2nd Edition, Agronomy Monograph, Soil Science of America, Madison, USA, 1986.
- [15] Köklü, N, Büyüköztürk, Ş. ve Çokluk Bökeoğlu, Ö., *Sosyal Bilimler İçin İstatistik (2. baskı)*. Ankara: Pegem Akademi. 2007.
- [16] Lal, R., *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society, Iowa, 1988.
- [17] Liu, X.Y., Zhang, A.F, Ji, C.Y., Joseph, S., Bian, R.J., Li, L.Q., Pan, G.X. and Paz-Ferreiro, J., Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions - a meta-analysis of literature data. Plant Soil, 373, pp. 583-594, July, 6, 6, 2013.
- [18] Maticic, M., Dugan, I. and Bogunovic, I., Challenges in Sustainable Agriculture The Role of Organic Amendments, Agriculture, 14, 643, April, 22, 4, 2024.
- [19] Middleton, H.E., *Properties of some soil which influence soil erosion*. USDA TECH. Bull 178, 1930.
- [20] Parhizkar, M., Shabanpour, M., Lucas-Borja, M.E., Zema, D.A., Li, S., Tanaka, N., and Artemio Cerdà, Effects of length and application rate of rice straw mulch on runoff and soil loss under laboratory simulated rainfall, International Journal of Sediment Research, Volume 36, Issue 4, Pages 468-478, ISSN 1001-6279, August, 1, 8, 2021.

- [21] Morgan, R.P.C., *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, 2005.
- [22] Neal, J.H. *The Effect of The Degree of Slope and Rainfall Characteristics on Runoff and Soil Erosion*. Agricultural of Experiments of Strategies Research Bultenin, No: 280, 1938.
- [23] Nelson, R.E., *Carbonate and gypsum: Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*, part 2, Ed: Page, A.L., American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-579, 1982.
- [24] Nelson, D.W. and Sommers, L.E., *Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Analysis*. Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd Edition, No:9, 539-579, Madison, Wisconsin, USA, 1982.
- [25] Pansu, M. and J. Gautheyroux. *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*, Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [27] Prats, S.A., Abrantes, J.R.C.B., Crema, I.P., Keizer, J.J. and de Lima, J.L.M.P., Runoff and soil erosion mitigation with sieved forest residue mulch strips under controlled laboratory conditions, *For. Ecol. Manag.* 396, 102–112, July, 15, 6, 2017.
- [28] R version 4.2.2, *The R Foundation for Statistical Computing Platform*: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit), 2022.
- [29] Rehman, S. U, De Castro, F., Avril, A., Benedetti, M. and Fanizzi, FP, Vermicompost: Amélioration de la croissance des plantes et lutte contre le stress abiotique et biotique. *Agronomie*, 13, 1134, April, 16, 4, 2023.
- [30] Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z. and Kiani Harchegani, M., Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biyokömür, *Sci. Total Environ.*, 541, 483–490, January, 15, 1, 2016.
- [31] Selma Y. K. and Halil Ş., The effects of mulching with organic materials on the soil nutrient and carbon transport by runoff under simulated rainfall conditions, *Journal of African Earth Sciences*, Volume 176, 104152, ISSN 1464-343X, April, 21, 4, 2021.
- [32] Yönter, G., Uysal, H., Zeytin atığının tınlı bünyeli bir toprakta yüzey akısı, toprak kaybı, drenaj, pH ve EC üzerindeki etkileri, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 52 (3), 243–248, Aralık, 24, 12, 2015.

YAĞIŞ BENZETİCİ KOŞULLARINDA FARKLI MALÇ MALZEMELERİNİN DRENAJ, YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYBI ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. HOUNDONUGBO MARIUS HOUNDONUGBO

Ege Üniversitesi, jecnosh@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3293-6885

Prof. Dr. GÖKÇEN YÖNTER

Ege Üniversitesi, gokcen.yonter@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0823-1893

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar koşullarında, yağış benzetici altında farklı malç malzemelerinin drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malç malzemeleri olarak biyokömür, vermikompost ve buğday samanı kullanılmıştır. Denemeler, %9 eğim, 100 mm/saat yağış şiddeti, Fulljet 50WSQ püskürtücü ve killi tın bünyeli toprak ile kontrollü yapay yağış altında gerçekleştirilmiştir. Bu koşullarda farklı dozlarda, biyokömür (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da), vermikompost (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da) ve saman (0.25 - 0.50 - 1.00 t/da) malç malzemeleri toprağa karıştırma ve serme şeklinde uygulanmıştır. Sonuçlar, farklı malç malzemelerinin drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı üzerinde önemli farklılıklar yarattığını göstermiştir. Özellikle, saman malçı, yüzey akışı azaltarak drenajı artırmış, aynı zamanda toprak kaybını da önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, saman malçının uygulama dozlarının 0.5 t/da'ya ulaştığında yüzey akış ve toprak kaybının sıfırlandığı gözlemlenmiştir. Biyokömür ve vermikompost malçları ise samana göre, drenaj ve yüzey akışını daha az etkilemiş, fakat toprak kaybını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, biyokömür ve vermikompost, toprağa serme şeklinde uygulandığında, 5.0 t/da uygulama dozuyla yüzey akışı ve toprak kaybını engellediğini göstermiştir. Bu bulgular, erozyon kontrolü ve su yönetimi stratejilerinde malç kullanımının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmanın erozyon kontrol yöntemlerinin geliştirilmesine ve toprak koruma stratejilerinin iyileştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Biyokömür, Vermikompost, Saman malçı, Drenaj, Yüzey akış, Toprak kaybı ve Yağış benzetici.³

³ Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen Doktora Tez Projesinden (Proje No: 23206) üretilmiştir.

EFFECTS OF DIFFERENT MULCH MATERIALS ON DRAINAGE, RUNOFF AND SOIL LOSS UNDER RAIN SIMULATOR CONDITIONS

Dr. HOUNDONOUGBO MARIUS HOUNDONOUGBO

Ege Üniversitesi, jecnosh@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3293-6885

Prof. Dr. GÖKÇEN YÖNTER

Ege Üniversitesi, gokcen.yonter@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0823-1893

ABSTRACT

In this study, the effects of various mulch materials on drainage, runoff and soil loss under rainfall simulator were investigated under laboratory conditions. Biochar, vermicompost and wheat straw were used as mulch materials. The experiments were conducted under controlled artificial rainfall with 9% slope, 100 mm/saat rainfall intensity, Fulljet 50WSQ nozzle and clay loam soil. Under these conditions, different doses of biochar (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da), vermicompost (1.25 - 2.50 - 5.00 t/da) and straw (0.25 - 0.50 - 1.00 t/da) mulch materials were applied by mixing and laying on the soil. The results showed that different mulch materials produced significant differences in drainage, runoff and soil loss. In particular, straw mulch improved drainage by reducing surface runoff, but also significantly reduced soil loss. It was also observed that when the application doses of straw mulch reached 0.5 t/da, runoff and soil loss were zero. Biochar and vermicompost mulches affected drainage and runoff less than straw, but significantly reduced soil loss. Furthermore, biochar and vermicompost, when applied as mulches, completely prevented runoff and soil loss at an application rate of 5.0 t/da. These findings emphasize the importance of mulch in erosion control and water management strategies. This study is expected to contribute to the improvement of erosion control methods and soil conservation strategies.

Keywords: Biochar, Vermicompost, Straw mulching, Drainage, Runoff, Soil Loss, Rainfall simulator.⁴

¹ This study was produced from the Doctoral Thesis Project (Project No: 23206) supported by the Ege University Scientific Research Projects Coordination Unit.

1.GİRİŞ

Tarım arazilerinde, şiddetli yağışlar toprakta erozyona neden olur, derin oluklar açılır ve toprağın verimli unsurları taşınır. Yüzey akışla sedimentlerin hareketi ve su kalitesinin bozulması, tarım arazilerinin erozyonundan kaynaklanmaktadır. Toprağın verimliliğinin yeniden kazanılması ve çevrenin korunması açısından toprağın su tarafından erozyona uğratılmasının önlenmesi önemlidir. Günümüzde, su erozyonuna karşı toprağın korunması için çeşitli tip malçlar, biyokömür ve vermikompost önlem olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, farklı malç malzemelerinin (biyokömür, vermikompost ve saman malçı) yağış benzetici koşullarında, (100 mm/saat; Fulljet 50WSQ püskürtücü) killi tınlı bir toprak örneğinde drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı üzerindeki etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

2.KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Toprak yüzeyine serilen çeşitli tip atıklar (malç), toprağı yağmur damlalarının etkisine karşı korumakta, yüzey akışı ve toprak kayıpları azaltmakta, infiltrasyonu ise arttırmaktadır. Farklı malç malzemelerinin kullanılması toprak erozyonunu önlemede oldukça etkilidir (Prats et al., 2017). Rhoades et al. (2017), bir biyokömür-odun malçının toprak N mevcudiyetini ve su mevcudiyetini arttırdığını, ancak erozyon üzerindeki etkileri ölçmediğini bulmuştur. Jien and Wang (2013) ise esas olarak biyokömür kullanarak artan agregat stabilitesine bağlı erozyonda azalmalar bulmuşlardır. Bazı çalışmalara göre, vermikompostun, toprak agregat stabilitesini arttırarak yüzey akışı ve toprak kaybını önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir (Dominguez and Edwards, 2011; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023).

Saman malçı da, yağmur damlalarının toprağa doğrudan çarpmasını önleyerek yüzey akışı ve toprak kaybını azaltmakta buna karşılık infiltrasyonu arttırmaktadır (Blanco-Canqui and Lal, 2009; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023; Parhizkar et al., 2024). Sadeghi et al. (2015) çıplak toprak ve üç farklı toprak örtüsü dikkate alınarak, eğimi ayarlanabilir (% 30) bir toprak kanalı ve bir yağmur benzetici ile farklı yağış şiddetlerini (30, 50, 70 ve 90 mm/saat) uygulayarak toprak kaybının üzerinde saman malçının (500, 300 ve 50 g/m²), gübrenin ve poliakrilamidin (PAM) etkilerini araştırmışlardır. Araştırmaya göre, sırasıyla saman malçının toprak kaybını % 45.60, gübrenin % 8.98 ve PAM'da % 4.74 azalttığını bildirmişlerdir. Yapılan bir başka araştırmada ise, saman malçının toprak kaybını % 80-90 oranında azalttığı saptanmıştır (Selma ve Halil, 2021). Malç türleri, toprak erozyonunu kontrol etme ve azaltmada ve hatta toprak özelliklerini iyileştirmede değişen düzeylerde etkinliğe sahip olmaktadır (de Lima et al., 2019). Yaprak çöpü, kesilmiş çalı bariyerleri, ağaç yongaları, ürün artıkları ve saman gibi bitki malç türleri genellikle toprak erozyon oranlarını etkilemede önemli bulunmuştur (Jordán et al., 2010). Parhizkar et al. (2021), pirinç saman malçının, laboratuvar koşullarında yüksek ve düşük frekanslı yağış altında (98 mm/saat) tınlı toprakta toprak erozyonu ve yüzey akışı önemli ölçüde azaldığını saptamışlardır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Malç Malzemelerinin Temini ve Denemeye Hazırlanması

Araştırmada biyokömür, vermikompost ve buğday samanı malçı kullanılmıştır. Saman malçı Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü'nden temin edilmiş, vermikompost ahır

gübresinden elde edilmiş, biyokömür ise 550°C’de piroliz yoluyla zeytin budama artıklarından elde edilmiştir. Araştırmada biyokömür, vermikompost ve saman malçı tartılıp naylon torbalarda saklandıktan sonra laboratuvar ortamında saklanmıştır. Bu işlem yapılmadan önce biyokömür ve vermikompost malç materyalleri 8 mm’lik elekten elenmiş, saman ise bir makas yardımıyla 5-10 cm boyutlarda parçalanmıştır. Araştırmada kullanılan biyokömür, vermikompost ve saman materyalleri Görsel 1’de sunulmuştur.



Görsel 1. Uygulama dozlarına göre hazırlanmış saman, biyokömür ve vermikompost malç malzemeleri.

3.2.Toprak Örneğinin Alınması ve Analizlere Hazırlanması

Araştırmada kullanılan toprak örneği Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Zeytin Deneme Alanının üst katmanından (0-30 cm) alınmış ve laboratuvarda hava kurusu haline getirilmiştir (Anonymous, 1954).

3.3.Toprak Örneğinin Fiziksel ve Kimyasal Analizleri

Bu araştırmada kullanılan toprak örneğinin 1.5-2 kg’lık bir kısmı 2 mm’lik elekten elenmiş, diğer bir kısmı da 8 mm’lik elekten elenmiş fiziksel, kimyasal ve erozyonla ilgili analizlerde kullanılmıştır (Anonymous, 1954). Toprak örneğinde sırasıyla; iskelet (Anonymous, 1993), hacim ağırlığı (Hunt and Gilkes, 1992), bünye analizi (Gee and Bauder, 1986), kil oranı ve mil oranı (Neal, 1938), süspansiyon %’si ve dispersiyon oranı (%) (Middleton, 1930; Anonymous, 1954), tarla kapasitesi (%) (Anonymous, 1954), perkolasyon oranı (%) (Lal, 1988), erozyon oranı (%) (Akalan, 1967), agregat stabilitesi (%) (Kempner and Rosenau, 1986), pH (Pansu and Gautheyroux, 2006), suda eriyebilir toplam tuz (%) (Anonymous, 1993), kireç (%) (Nelson, 1982) ve organik madde (%) (Nelson and Sommers, 1982) analizleri yapılmıştır.

3.4.Erozyon Parsellerinin Hazırlanması

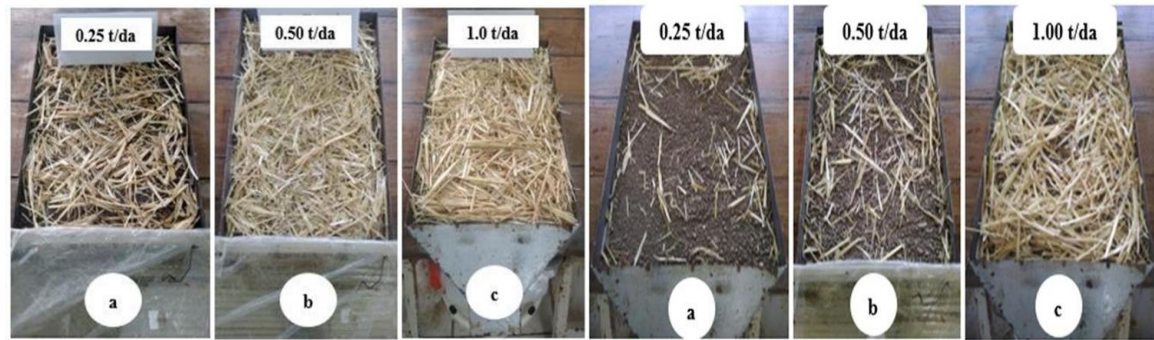
Yağış benzetici koşullarında 30x45x15 cm boyutlarında erozyon parseli kullanılmıştır. Alt kısmında drenaj deliği bulunan erozyon parselinin tabanına, önce 7 cm kalınlığında çakıl konularak yüzeyi düzeltilmiş ve yüzeyine tülbent bezi serildikten sonra tülbent bezinin üzerine yüzey akış çıkışı gelecek şekilde, 5 cm kalınlıkta, 8 mm’lik elekten elenmiş toprak örneği doldurularak üzeri düzeltilmiştir (Yönter ve Uysal 2015). Toprak örneği üzerine, 1.25, 2.50 ve 5.00 t/da üç farklı dozda biyokömür ve vermikompost malçları ve 0.25, 0.50 ve 1.00 t/da üç farklı dozda saman malçı serme ve karıştırma şeklinde uygulanmıştır (Görsel 2, 3, 4).



Görsel 2. Toprak örneğine farklı dozlardaki biyokömürün serme ve karıştırma şeklinde uygulanması.



Görsel 3. Toprak örneğine farklı dozlardaki vermikompostun serme ve karıştırma şeklinde uygulanması.



Görsel 4. Toprak örneğine farklı dozlardaki saman malçının serme ve karıştırma şeklinde uygulanması.

Hazırlanan bu deneme parselleri, %9 eğim verilmiş olan platform üzerine yerleştirildikten sonra 100 mm/saat yağış yoğunluğunda yapay yağış uygulanması yapılmıştır. Her bir malç dozunun uygulanması 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür.

3.5.Yağış Benzetici Düzenegi ve Yağışların Uygulanması

Bu tez çalışmasında kullanılan yağış benzeticinin görüntüsü Görsel 5’de sunulmuştur.



Görsel 5. Yağış benzeticinin görüntüsü.

Yağış benzeticinin üst bölümünde Fulljet 50 WSQ tipi bir püskürtücü başlık monte edilmiştir. Fulljet 50 WSQ tipi bir püskürtücü başlık erozyon parsellerinin yüzeyinden yaklaşık 2 m yükseklikte olup düşey yönde ve sabit yağış yağdırmaktadır.

3.6.Drenaj, Yüzey Akış ve Toprak Kayıplarının Saptanması

Yağış uygulanması sırasında, deneme parsellerinde yüzey akışın başlangıç zamanları kaydedilmiştir. Yağış başlangıcından itibaren, drenaj, yüzey akış ve toprak kayıplarının belirlenebilmesi için yağışın uygulanması sırasında deneme parselinin yüzey akış çıkış ağzının altından her 10 dakikada bir alınmış, drenaj çıkış ağzının altından ise 1 saat tamamlandıktan sonra alınmıştır. Yağış sırasında alınan ve ağırlıkları bilinen kaplar tartılarak drenaj ve “yüzey akış + sediment” miktarları saptanmıştır. Yüzey akış suları en az 16 saat bekletilerek çöktükten sonra sifonlanmış ve çöken sedimentler ise bir pisetle cam beherlere aktararak etüvde kurutulmuştur. Daha sonra, kurutulmuş sedimentler tartılarak toprak kayıpları hesaplanmıştır.

3.7.Denemelerden Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Bu araştırmada, denemelerin sonunda elde edilen veriler, RStudio (R version 4.2.2) İstatistik Paket Programı kullanılarak istatistik analizleri yapılmıştır. Normallik için RStudio yazılımı tarafından sağlanan Q-Q Plot ve Shapiro-Wilk testleri uygulanmıştır (Ghasemi and Zahediasl, 2012). Ortalamalar arasındaki farklar Kruskal Wallis-H testi ile belirlenmiştir (Köklü vd., 2007).

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Araştırma Toprağının Fizikokimyasal Göstergeleri ve Değerlendirilmesi

Araştırma alanından alınmış toprak örneğine ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme Toprağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.

pH	7.54	Kil Oranı	1.78
Tuz (%)	0.0380	Mil oranı	1.05
Kireç (%)	12.35	Hacim ağırlık (g/cm ³)	1.24
OM (%)	3.26	İskelet (%)	4.42
Kum (%)	26.44	Agregat Stabilitesi (%)	39.16
Mil (%)	37.59	Süspansiyon (%)	6.73
Kil (%)	35.97	Dispersiyon (%)	70.76
Bünye sınıfı	Killi Tın	Dispersiyon oranı	9.51

Araştırmada kullanılan toprağın pH'sı 7.54 (hafif alkali), toprağın suda eriyebilir tuz % 0.0380 (tuzsuz), kireç kapsamı % 12.35 (kireçli), organik madde % 3.26 (yüksek sınıfı) ve bünyesi killi tınıdır. Toprağın kil ve mil oranları, sırasıyla 1.78 ve 1.05 olarak saptanmıştır. Araştırma toprağının hacim ağırlığı 1.24 g/cm³, iskelet yüzdesi ise % 4.42 olarak saptanmıştır. Toprağın agregat stabilitesi, süspansiyon ve dispersiyon yüzdeleri, sırasıyla % 39.16, % 6.73 ve % 70.76 olarak saptanmıştır. Dispersiyon oranı ise %9.51 olarak saptanmıştır.

4.3.Malç Uygulamalarından Elde Edilen Drenaj, Yüzey Akış ve Toprak Kayıpları

Laboratuvar koşullarında yürütülen bu araştırmada, deneme parsellerine üç tekrarlı ve üç farklı malç, toprağa serme ve karıştırma şeklinde uygulanmıştır. Toprak yüzeyine malç uygulamaları 1.25 - 2.50 – 5.00 t/da biyokömür ve vermikompost ve 0.25 - 0.50 – 1.00 t/da saman, şeklinde yapılmıştır.

4.3.1.Drenaj miktarları ve değerlendirilmesi

Deneme parsellerinden elde edilen drenaj miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Denemeden elde edilen drenaj miktarları (mm/saat)

Drenaj miktarı (mm/saat)							
Doz (t/da)	Biyokömür		Vermikompost		Doz (t/da)	Saman	
	Serme	Karıştırma	Serme	Karıştırma		Serme	Karıştırma
0	13.57		13.57		0	13.57	
1.25	22.93	16.27	22.77	12.32	0.25	40.14	66.47
2.50	41.19	24.01	71.27	32.13	0.50	75.92	92.71
5.00	76.65	25.40	75.41	26.17	1.00	71.59	82.85

Tanık parsellerden 13.57 mm/saat drenaj saptanmıştır. Serme şeklinde uygulanan biyokömür parsellerinde drenaj miktarları tanığa göre 1.7-5.6 kat artarken, karıştırma şeklinde uygulanan biyokömür parsellerinde ise drenaj miktarları 1.2-1.9 kat artmıştır. Her iki malç uygulamasında da 1.00 t/da doz etkili olmuştur. Vermikompostun serme şeklinde uygulanmasından elde edilen drenaj miktarları tanık parsellere göre 1.7-5.6 kat artarken, karıştırma şeklinde yapılan uygulamalarda ise 0.9-2.4 kat arasında artışı saptanmıştır. Vermikompost serme şeklinde uygulandığında 5.00 t/da doz etkili olurken karıştırma şeklinde uygulandığında, 2.50 t/da ve 5.00 t/da uygulamalarının etkili olduğu saptanmıştır. Serme şeklinde uygulanmış saman malçının drenaj miktarları 2.95-5.59 kat artarken, karıştırma şeklinde uygulanmış saman malçı parsellerinde ise drenaj miktarları 4.90-6.83 kat artmıştır. Her iki uygulamada da 0.50 t/da etkili olmuştur. Bu sonuçlar yapılan bazı araştırmalar tarafından da desteklenmektedir (Blanco-Canqui and Lal, 2019; Gao et al., 2022; Rivieret al., 2022; Rehman et al., 2023; Parhizkar et al., 2024).

4.3.2. Yüzey akış miktarları ve değerlendirilmesi

Deneme parsellerinden elde edilen yüzey akışlar Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Denemeden elde edilen yüzey akış (mm/saat)

Yüzey akış (mm/saat)							
Doz (t/da)	Biyokömür		Vermikompost		Doz (t/da)	Saman	
	Serme	Karıştırma	Serme	Karıştırma		Serme	Karıştırma
0	53.74		53.74		0	53.74	
1.25	52.82	61.86	51.12	65.25	0.25	11.54	12.10
2.50	32.49	48.77	11.37	58.53	0.50	0	0
5.00	0	49.92	0	52.10	1.00	0	0

Denemede tanık parsellerden 53.74 mm/saat yüzey akış saptanmıştır. Serme şeklinde uygulanan biyokömür yüzey akışları tanığa göre % 1.71-100 arasında azaltmıştır. Karıştırma şeklinde uygulanan biyokömür parsellerinde ise yüzey akış 2.50 t/da uygulamasında % 9.24, 5.00 t/da uygulamasında % 7.12 azalırken; 1.25 t/da uygulamasında ise % 15 artmıştır. Biyokömürün, toprakta gözenekliği ve dolayısıyla su tutma kapasitesini artırarak yüzey akış ve toprak kayıplarını azalttığı bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Jien and Wang, 2013). Vermikompost uygulamasında (serme) yüzey akış tanığa göre, % 4.89-100 arasında azalmıştır. 5.00 t/da karıştırma uygulamalarında yüzey akış % 3 azalırken 1.25 t/da ve 2.50 t/da karıştırma uygulamasında ise sırasıyla % 8.90-15 arasında artmıştır. Yapılan bazı araştırmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur (Dominguez and Edwards, 2011; Gao et al., 2022; Rivier et al., 2022; Rehman et al., 2023). Serme şeklinde uygulanan saman malçı parsellerinde yüzey akış % 79-100, karıştırma şeklinde uygulanan saman malçı parsellerinde ise sırasıyla % 77-100 arasında azalmıştır. Bu bulgular yapılan bazı çalışmalarla da desteklenmektedir (Blanco-Canqui and Lal,

2019; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023).

4.3.3. Toprak kaybı miktarları ve değerlendirilmesi

Deneme parsellerinden elde edilen toprak kayıpları Çizelge 4’de verilmiştir.

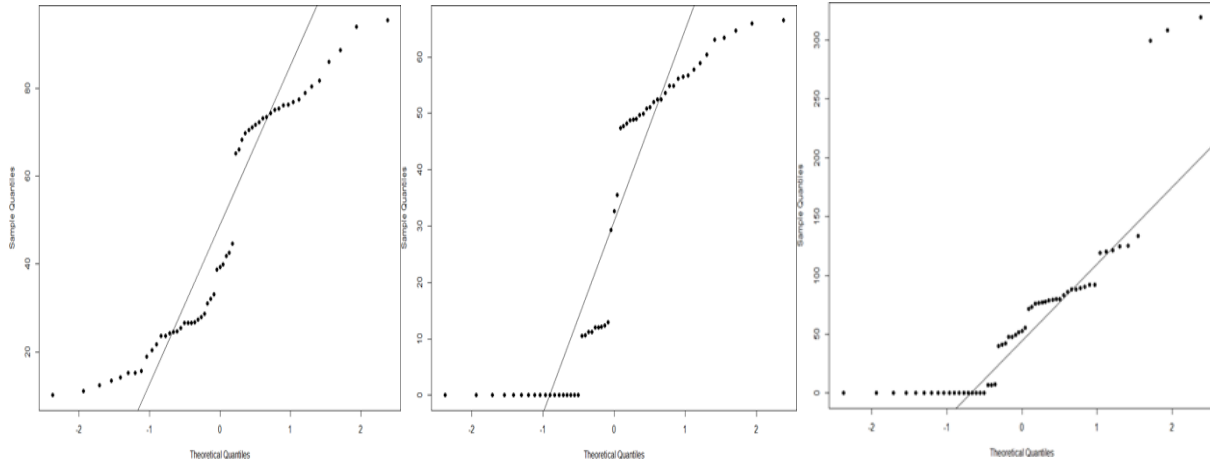
Çizelge 4. Denemeden elde edilen toprak kayıpları (kg/da)

Toprak kaybı (kg/da)							
Doz (t/da)	Biyokömür		Vermikompost		Doz (t/da)	Saman	
	Serme	Karıştırma	Serme	Karıştırma		Serme	Karıştırma
0	308.87		308.87		0	308.87	
1.25	75.89	127.74	77.04	120.26	0.25	48.47	53.45
2.50	41.07	89.93	7.06	90.22	0.50	0	0
5.00	0	79.89	0	80.32	1.00	0	0

Denemede, tanık parsellerden 308.96 kg/da toprak kaybı saptanmıştır. Serme şeklinde uygulanan biyokömür, toprak kayıplarını % 75-100, karıştırma şeklinde uygulanan biyokömür ise toprak kayıplarını % 58-100 arasında azaltmıştır. Yapılan bazı araştırmalarda benzer sonuçlar vurgulanmıştır (Jien and Wang, 2013). Serme şeklinde uygulanan vermikompos, toprak kayıplarını % 75-100 karıştırma şeklinde uygulanan vermikompost ise toprak kayıplarını % 61-100 arasında azaltmıştır. Bu sonuçlar bazı araştırmalar tarafından da desteklenmektedir (Dominguez and Edwards, 2011; Gao et al., 2022; Rivier et al., 2022; Rehman et al., 2023). Serme şeklinde uygulanan saman malcı, toprak kayıplarını % 84-100, karıştırma şeklinde uygulanan saman malcı ise toprak kayıplarını % 83-100 arasında azaltmıştır. Saman malçlarıyla yapılan bazı araştırmalarda benzer sonuçlar saptanmıştır (Jordan et al., 2010; Liu et al., 2013; Sadeghi et al., 2015; Blanco-Canqui and Lal, 2019; de Lima et al., 2019; Selma ve Halil, 2021; Gao et al., 2022; Rehman et al., 2023; Parhizkar et al., 2024).

4.2. Araştırma sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Laboratuvar koşullarında yürütülen bu araştırmada, sırasıyla drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı bakımından, farklı malç uygulamalarından elde edilen R’deki verilerin normal bir dağılıma uyup uymadığını kontrol etmek için Q-Q plot (Görsel 6) ve Shapiro-Wilk normality (Çizelge 5) testleri yapılmıştır.



Görsel 6. Drenaj, Yüzey Akış ve Toprak Kaybı Bakımından Q-Q Plot Grafiği.

Çizelge 5. Malç Uygulamalarından Elde Edilen Verilerin Shapiro-Wilk Normality Testi

Değişken	W	P-value
Drenaj	0.88113	0.00004397
Yüzey Akış	0.81493	0.000005493
Toprak Kaybı	0.75562	0.00000002243

Bu araştırmada drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı verilerin Q-Q Plot grafiklerine göre, gözlemler düz bir doğru etrafında yayılım göstermediğinden, veri setlerinin dağılımı normal dağılıma uymamıştır. Shapiro-Wilk testlerinin P-value değerleri 0.05'in altında olmasına göre veriler normal dağılımdan önemli ölçüde sapmaktadır (Ghasemi and Zahediasl, 2012).

4.4.Farklı Malç Dozlarından Elde Edilen Sonuçların Drenaj, Yüzey Akış ve Toprak Kaybı Arasındaki İlişkiler

Bu çalışmada malç uygulamalarının drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı değişkenlerine göre farklılıkları Kruskal Wallis-H testi ile belirlenmiştir (Çizelge 6). Farklı malç uygulamalarından elde edilen sonuç ortalamaları drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı değişkenlerine göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur ($P < 0.01$).

Çizelge 6. Malç Uygulamalarından Elde Edilen Sonuçların Kruskal Wallis-H Testi

Değişken	N (Örnek büyüklüğü)	H	Serbestlik Derecesi	P
Drenaj	57	55,2	18	0.000012**
Yüzey Akış	57	54,4	18	0.0000157**
Toprak Kaybı	57	55,4	18	0.0000109**

(** : Ortalamalar arasında istatistiksel anlamda fark ($P < 0.01$) bulunmaktadır).

4.5.Drenaj, Yüzey Akış ve Toprak Kaybı Arasındaki İkili İlişkiler

Bu araştırma sonucunda, drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı arasındaki ilişkiler ve bu ilişkileri gösteren katsayılar Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı arasındaki ilişkiler ve bu ilişkileri gösteren katsayılar.

Spread				Mixed			
	Drainage	Runoff	Soil loss		Drainage	Runoff	Soil loss
Drainage	1.00	-0.94**	-0.78**	Drainage	1.00	-0.98**	-0.95**
Runoff		1.00	0.72**	Runoff		1.00	0.95**
Soil loss			1.00	Soil loss			1.00

Yüzey akış ile toprak kaybı arasında pozitif bir ilişki saptanmıştır (Karıştırma $r = 0.95^{**}$; Serme $r = 0.72^{**}$). Yoğun yağışlar, yüzey akışı artırarak toprağın daha fazla taşınmasına neden olabilmektedir (Morgan, 2005). Fakat malçlama, yüzey akışı ve dolayısıyla toprak erozyonunu doğrudan etkilemektedir. Örneğin, bu çalışmada, karıştırma ve serme şeklinde uygulanan biyokömür, vermikompost ve saman malçı malzemeleri, yüzey akışı azaltarak toprak erozyonunu da azaltmışlar. Yüzey akış ve drenaj arasında çok önemli bir negatif ilişki bulunmuştur (Karıştırma $r = -0.98^{**}$; Serme $r = -0.94^{**}$). Drenaj miktarı arttığında yüzey akış azalmaktadır. Bunun nedeni, drenajın yeterli olduğu alanlarda, suyun toprağa infiltrasyonu artmakta ve yüzey akış azalmaktadır (Chow et al.,1988). Diğer taraftan, drenaj ile toprak kaybı arasında çok önemli bir negatif ilişki elde edilmiştir (Karıştırma $r = -0.95^{**}$; Serme $r = -0.78^{**}$). Drenaj miktarı arttığında toprak kaybı azalmaktadır. Drenaj sistemlerinin tasarımıyla erozyon riski azaltılır. Suyun kontrollü bir şekilde yönlendirilmesi durumunda yerden ayrılan su miktarının azaldığı ve toprağın yer değiştirmesine neden olduğu bildirilmiştir (Morgan, 2005; Novotny and Brown, 2007; Brady and Weil 2008;).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı malç malzemelerinin erozyona olan etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla yürütülen bu çalışmada, farklı dozlarda biyokömür, vermikompost ve saman malçlarının karıştırma ve serme şeklinde uygulamalarının laboratuvar koşullarında ve yağış benzetici altında drenaj, yüzey akış ve toprak kaybı ilişkileri saptanmıştır. Biyokömür, vermikompost ve saman malçı malzemelerinin, drenajı arttırmada, yüzey akış ve toprak kaybını azaltmada önemli etkileri olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada, saman malçı, biyokömür ve vermikompost malçlarından daha etkili bulunmuştur. Bu nedenle tarımda yetiştirilen bitkilerin atıkları (anız ve malç) toprak kayıplarının azaltılması amacıyla kolaylıkla kullanılabileceği bu çalışmada da ortaya konulmuştur. Toprak erozyonunu azaltmada ülkemizde değişik malç tipleri ve uygulama oranları kullanılarak bu tür araştırmalar hem laboratuvar hem de arazi koşullarında yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Akalan, İ., *Toprak Fiziksel Özellikleri ve Erozyon*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, (3-4): 490-503, 1967.
- [2] Anonymous, *Diagnosis and Improvement of Saline And Alkali Soils*, Government Print. Office, Washington, 1954.
- [3] Anonymous, *Application of methods and models for prediction of land surface erosion and yield*, U.S army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, USA, 1993.
- [4] Blanco-Canqui, H. and Lal, R., Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil Science Society of America Journal*, 73(2), 418-426, March, 2009.
- [5] Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 1988.
- [6] De Lima, J. L. M. P., Santos, L., Mujtaba, B., and de Lima, M. I. P., Laboratory assessment of the influence of rice straw mulch size on soil loss, *Advances in Geosciences*, 48, 11-18, April, 26, 4, 2019.
- [7] Dominguez, J. and Edwards, C. A., *Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting*, In Edwards, C. A., Arancon, N. Q., and Sherman, R. (Eds.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (pp. 27-40). CRC Press, December, 20, 12, 2011.
- [8] Gao, Z., Xu, Q., Si, Q., Zhang, S., Fu, Z. and Chen, H., Effects of Different Straw Mulch Rates on the Runoff and Sediment Yield of Young Citrus Orchards with Lime Soil and Red Soil under Simulated Rainfall Conditions in Southwest China. *Water*, 14, 1119, March, 31, 3, 2022.
- [9] Gee, G.W. and Bauder, J.W., *Particle size analysis*. In: Klute, A., Campbell, G.S., Jackson, R.D., Mortland, M.M., Nielsen, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, pp. 400–402, 1986.

- [10] Ghasemi, A and Zahediasl, S., *Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians*. Int J Endocrinol Metab 10 (2): 486–89, 2012.
- [11] Hunt, N. and Gilkes, R., *Farm Monitoring Handbook*. The University of Western Australia: Netherlands, WA, 1992.
- [12] Jien, S.H., Wang, C.S., Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena 110, 225–233, June, 24, 6, 2013.
- [13] Jordan, A., Zavala, L. M., and Gil, J., Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain, Catena, 81, 77-85, April, 15, 4, 2010.
- [14] Kemper, W.D. and R.C. Rosenau, R.C., *Aggregate Stability and Size Distribution*. In A. Klute et al., *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 425-442, 2nd Edition, Agronomy Monograph, Soil Science of America, Madison, USA, 1986.
- [15] Köklü, N, Büyüköztürk, Ş. ve Çokluk Bökeoğlu, Ö., *Sosyal Bilimler İçin İstatistik (2. baskı)*. Ankara: Pegem Akademi. 2007.
- [16] Lal, R., *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society, Iowa, 1988.
- [17] Liu, X.Y., Zhang, A.F, Ji, C.Y., Joseph, S., Bian, R.J., Li, L.Q., Pan, G.X. and Paz-Ferreiro, J., Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions - a meta-analysis of literature data. Plant Soil, 373, pp. 583-594, July, 6, 6, 2013.
- [18] Maticic, M., Dugan, I. and Bogunovic, I., Challenges in Sustainable Agriculture The Role of Organic Amendments, Agriculture, 14, 643, April, 22, 4, 2024.
- [19] Middleton, H.E., *Properties of some soil which influence soil erosion*. USDA TECH. Bull 178, 1930.
- [20] Parhizkar, M., Shabanpour, M., Lucas-Borja, M.E., Zema, D.A., Li, S., Tanaka, N., and Artemio Cerdà, Effects of length and application rate of rice straw mulch on surface runoff and soil loss under laboratory simulated rainfall, International Journal of Sediment Research, Volume 36, Issue 4, Pages 468-478, ISSN 1001-6279, August, 1,

8, 2021.

- [21] Morgan, R.P.C., *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, 2005.
- [22] Neal, J.H. *The Effect of The Degree of Slope and Rainfall Characteristics on Runoff and Soil Erosion*. Agricultural of Experiments of Strategies Research Bultenin, No: 280, 1938.
- [23] Nelson, R.E., *Carbonate and gypsum: Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*, part 2, Ed: Page, A.L., American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-579, 1982.
- [24] Nelson, D.W. and Sommers, L.E., *Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Analysis*. Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd Edition, No:9, 539-579, Madison, Wisconsin, USA, 1982.
- [25] Pansu, M. and J. Gautheyroux. *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*, Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [27] Prats, S.A., Abrantes, J.R.C.B., Crema, I.P., Keizer, J.J. and de Lima, J.L.M.P., Runoff and soil erosion mitigation with sieved forest residue mulch strips under controlled laboratory conditions, *For. Ecol. Manag.* 396, 102–112, July, 15, 6, 2017.
- [28] R version 4.2.2, *The R Foundation for Statistical Computing Platform*: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit), 2022.
- [29] Rehman, S. U, De Castro, F., Avril, A., Benedetti, M. and Fanizzi, FP, Vermicompost: Amélioration de la croissance des plantes et lutte contre le stress abiotique et biotique. *Agronomie*, 13, 1134, April, 16, 4, 2023.
- [30] Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z. and Kiani Harchegani, M., Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biyokömür, *Sci. Total Environ.*, 541, 483–490, January, 15, 1, 2016.
- [31] Selma Y. K. and Halil Ş., The effects of mulching with organic materials on the soil nutrient and carbon transport by runoff under simulated rainfall conditions, *Journal of African Earth Sciences*, Volume 176, 104152, ISSN 1464-343X, April, 21, 4, 2021.
- [32] Yönter, G., Uysal, H., Zeytin atığının tınlı bünyeli bir toprakta yüzey akıs, toprak kaybı,

drenaj, pH ve EC üzerindeki etkileri, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg. 52 (3), 243–248, Aralık, 24, 12, 2015.

THE EFFECT OF DEFOLIANT APPLICATION TIMES ON SOME CHARACTERISTICS OF COTTON IN DIFFERENT COTTON (*Gossypium hirsutum* L.) VARIETIES

Agricultural Engineer (MSc) Yakup Denizedalan¹

Harran University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Field Crops, Şanlıurfa, Türkiye

denizedalan1989@hotmail.com, ¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-1761-7515>

Assoc. Prof. Dr Hasan Haliloğlu^{2*}

Harran University Agriculture Faculty Department of Field Crops, Şanlıurfa, Türkiye

haliloglu@harran.edu.tr, ²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6826-3320>

Corresponding Author: haliloglu@harran.edu.tr

ABSTRACT

This study was aimed to determine the effect of defoliant application times on some Characteristics OF cotton in different cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties The research was carried out at the Gözelek village of Siverek district of Sanliurfa province in 2018 growing season, according to the in a randomized complete block as split plot design with three replications. In study, cultivars (Candia, Stoneville-468, BA-440) were consist the main plots and defoliant application times (opened boll periods of 30-40%, 50-60% and 70-80%) were subplots. In this research, plant height (cm), number of leaves before application, number of leaves after 7, 14 and 21 days from application (pcs plant⁻¹), number of bolls before application (pcs plant⁻¹), number of opened bolls before application (pcs plant⁻¹), number of opened bolls after 7, 14 and 21 days from application (pcs plant⁻¹) and boll seed cotton weight (g) properties were investigated. As a result of the study; the highest plant height values from control plots, the highest number of leaves from BA-440 cultivar, the highest number of leaves before application, number of bolls before application and the number of opened bolls before application when 70-80% of bolls opened period defoliant application, the highest number of leaves after 7, 14 and 21 days from application in control plots, the highest number of opened boll and boll seed cotton weight were obtained from 50-60 % and 70-80 % of boll opened periods application after 7, 14 and 21 days from application. The best defoliant application time for producers is the period of 50-60 % of bolls opened and Stoneville-468 cultivar can be recommended for Siverek ecological conditions.

Keywords: Cotton, cultivar, defoliation, boll.

FARKLI PAMUK (*Gossypium hirsutum* L.) ÇEŞİTLERİNDE DEFOLIANT UYGULAMA ZAMANLARININ PAMUĞUN BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışma farklı pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşitlerinde defoliant uygulama zamanlarının pamuğun verim ve lif teknolojik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma, Şanlıurfa İli Siverek İlçesi Gözelek köyünde 2018 yılı yetiştirme sezonunda tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Denemede çeşitler (Candia, Stoneville-468, BA-440) ana parselleri, defoliant uygulama zamanları ise (kozaların % 30-40, % 50-60 ve % 70-80'i açtığı dönem) alt parselleri oluşturmuştur. Çalışmada, bitki boyu (cm), uygulama öncesi yaprak sayısı, uygulamadan 7, 14 ve 21 gün sonra yaprak sayısı (adet/bitki), uygulama öncesi koza sayısı (adet/bitki), uygulama öncesi açmış koza sayısı (adet/bitki) ve uygulamadan 7, 14 ve 21 gün sonra açmış koza sayısı (adet/bitki) ve koza kütlü pamuk ağırlığı (g) özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda; en yüksek bitki boyu değerleri kontrol parsellerinden, en fazla yaprak sayısı BA-440 çeşidinden, en yüksek uygulama öncesi yaprak sayısı, uygulama öncesi koza sayısı ve uygulama öncesi açan koza sayısı %70-80 koza açma dönemindeki defoliant uygulamasından, uygulamadan 7, 14 ve 21 gün sonra en yüksek yaprak sayısı kontrol parsellerinden, uygulamadan 7, 14 ve 21 gün sonra en yüksek açmış koza sayısı ve koza kütlü pamuk ağırlığı %50-60 ve %70-80 koza açma dönemindeki defoliant uygulamasından elde edilmiştir. Üreticiler için en iyi defoliant uygulama zamanı olarak kozaların %50-60'nın açıldığı dönem ve Siverek ekolojik koşullarında Stoneville-468 pamuk çeşidi önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Pamuk, çeşit, yaprak döktürme, koza

TERMİK SANRAL KAYNAKLI KÜL İLE KARIŞTIRILMIŞ TOPRAKTA MISIRIN VE SEMİZOTUNUN FİTOREMİDASYON KAPASİTELERİNİN VE BAKIR ALIMIN KARŞILAŞTIRILMASI

ELMIRA RUSTAMOVA

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, elmirarustamova 1122@gmail.com -

<https://orcid.org/0009-0008-4336-6164>

DİLEK YILDIZ

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, dyildiz@mu.edu.tr –

<https://orcid.org/0000-0003-3341-8107>

AHMET DEMİRAC

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, ademirak@mu.edu.tr –

<https://orcid.org/0000-0002-6815-8037>

ÖZET

Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin artmasıyla çevreye taşınan kirleticilerin toprakta birikmesi endişe verici seviyelere ulaşmıştır. Kirlenen toprakların çevre dostu ve uygun maliyetli bir teknoloji olan fitoremediasyon, toprak metal kirliliğini azaltmak için umut vadeden yöntemlerden biridir. Bu çalışmada termik santralden temin edilen uçucu kül ile muamele edilmiş topraktaki Cu (Bakır)'ın potansiyel hiperakümülatör olan Mısır (*Zea mays*) ve Semizotu (*Portulaca oleracea* L) bitkileri kullanılarak topraktan fitoremediasyon yöntemiyle giderimi araştırılmıştır. Araştırmada toprak kirletici olarak termik santralden temin edilen uçucu külü 23 litrelik saksılarda, toprakla %0 kül + %100 toprak, %10 kül + %90 toprak, %30 kül + %70 toprak ve %50 kül + %50 toprak oranlarında karıştırılarak, kül ile toprağın tam karışımın sağlanması için 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldı. Saksılarda ekilen semizotu ve mısır bitkileri 60 gün sonra hasat edildikten sonra, kök, gövde ve yapraklarındaki Cu konsantrasyonları analiz edilmiştir. Mısırın topraktaki bakır alımı kül oranı arttıkça %46 dan %44 düştüğü, semizotunun topraktaki bakır alımı ise kül oranı arttıkça %40 den %42 artığı tespit edilmiştir. Her iki bitkinin fitoremediasyon kapasitelerini ölçmek için Translokasyon (TF), Biyokonsantrasyon (BCF) ve Biyoakümülyasyon (BAC) Faktörleri hesaplandı. Topraktaki kül oranı arttıkça mısırın TF değerleri 0.765 den 0.985 artarken semiz otun da ise 1.011 den 0.785 düştüğü, ayrıca topraktaki kül oranı arttıkça mısırın BCF değerleri 0.212 den 0.297 artarken, semizotunda 0.208 den 0.256 artığı tespit edildi. Topraktaki kül oranı arttıkça mısırın BAC değerleri 0.167 den 0.293 e artarken semizotunda ise değerlerin 0.210 ise 0.201 arasında değiştiği bulunmuştur. Sonuçlar, topraktaki konsantrasyonu her iki bitki arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ancak kül oranının her iki bitkinin bakır alımına ve fitoremediasyon kapasitelerine çok etki etmemesi ve bitkilerin farklı özellik göstermesi araştırmanın en ilgi çekici sonuçlarıdır.

Anahtar Kelimeler: Fitoremediasyon, Cu (Bakır), Mısır, Semizotu, Kül

1. GİRİŞ

Toprak kirliliği, toprak özelliklerinin insan faaliyetleri sonucunda bozulmasıdır ve dünyamızda giderek önemli bir sorun haline gelmektedir. Toprak kirliliğinin en yaygın kategorilerinden biride ağır metal kirliliğidir (Widmer ve Norgrove, 2023). Ağır metal kirliliği, toprak erozyonu, fosil yakıt, madencilik ve pestisit uygulaması gibi doğal veya antropojenik nedenlerden kaynaklanmaktadır (Ali vd., 2021).

Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd) ve Bakır (Cu) gibi zararlı ağır metaller, eser miktarlarda bile toprak sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir ve mikrobiyal aktiviteye zarar vererek ürün verimini azaltmaktadır (Souri and Neumann, 2018; Asati vd., 2016). Ağır metallerin kendine özgü özelliklerinden biri, antagonistik ve sinerjik karakterleridir. Bu metaller doğal olarak toksik olmayan formlara ayrıştırılamaz, ancak toprakta kapsamlı ve uzun süreli tutulur (Ismael vd., 2019).

Son yıllarda ağır metallerin giderimi için birçok yöntem ve teknolojiler geliştirilmektedir. Bu yöntemlerden biri de fitoremediasyon teknolojisidir. Fitoremediasyon, çevre dostu ve düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır (Daryabeigi ve Mühling, 2022). Bu yöntem, toprağın ağır metallerden temizlenmesi için bitkileri kullanmayı içerir ve böylece çevresel riskleri azaltarak ekosistem restorasyonunu teşvik eder (Cao vd., 2022).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deney düzeneği

Deneyisel çalışmalar Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi (MÜÇEMER) laboratuvarlarının çatı katında, doğrudan güneş ışığına maruz kalacak şekilde konumlandırılan saksılarda gerçekleştirildi.

Bu çalışmada toplam 24 adet 23 kg hacimlik saksılar kullanıldı. Saksıların 12'si mısır 12'si ise semizotu için kullanılmıştır. Her bir saksı içerisine 12 kg toprak ve kül karışımı yerleştirildi. Kullanılan karışım oranları bunlardır: %100 toprak + 0% kül; %90 toprak + %10 kül; %70 toprak + %30 kül; %50 toprak + %50 kül.

Bu karışımlar saksılarda hazırlandıktan sonra 30 gün boyunca karıştırılarak homojen bir yapıya ulaşana kadar bekletildi. Daha sonra Mısır ve Semizotu tohumları ekildi ve bitki yetiştirme süreci başlatıldı.

2.2. Kullanılan termik santral kaynaklı kül ve bitkiler

Deneyde kullanılan uçucu kül Muğla ilindeki termik santralden temin edildi. Külün kullanma nedeni ve fitoremediasyona sağladığı katkılar şunlardır:

- Kül bir atık yada yan ürün olarak ortaya çıktığı için, fitoremediasyon sürecinde kullanılması, atıkların geri dönüştürülmesine ve çevresel sürdürülebilirliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır.
- Kül, toprağın su tutma kapasitesini artırdığından bitkilerin kök sistemlerini daha verimli bir şekilde geliştirmelerine imkân sağlamaktadır.
- Kül, toprakta bulunan bazı metallerle kimyasal bağlar kurarak, bu metallerin bitkiler tarafından daha kolay alınmasını sağlamaktadır.

°°°giderimi için fitoremediasyonda tercih edilmelerinin nedenleri şunlardır:

- Yüksek Cu konsantrasyonlarında bile büyümeye devam edebilen bitkilerdir.
- Hızlı ve yoğun biyokütle üretimine sahipler.
- Her ikisinde kolay temin edilir, bakım gereksinimleri düşüktür ve farklı iklim koşullarına uyum sağlayabilen bitkilerdir.
- Tarımsal açıdan yaygın oldukları için ekonomik olarak avantajlıdır.
- Mısır derin ve etkili kök sistemi ile en derin tabakadaki Cu çeker. Semizotuysa yüzeysel kökleriyle üst toprak tabakasındaki metalleri etkin bir şekilde alır.

2.3. Bitki ve toprak analizleri

Bitki tohumları ekildikten 60 gün sonra hasat edildi. Her biri kök, gövde ve yaprak kısmına ayrıldı. Ardından yıkanarak toprak kalıntılarından temizlendi ve 2 gün boyunca 70 °C’de kurutuldu. Hepsini öğütüldükten sonra mikrodalga yöntemi kullanılarak çözelti haline getirildi. Toprak örnekleride bitki tohumları ekilmeden önce ve bitkiler hasat edildikten sonra alınarak kurutuldu ve aynı yöntemle çözündürüldü.

Ardından Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon cihazında toprak ve bitkilerin Cu konsantrasyonları ölçüldü ve gerekli dönüşümler yapılarak mg/kg olarak belirlendi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çizelge 1. Mısırın farklı kül + toprak karışım oranlarında kök, gövde ve yapraklarında biriken Cu (bakır) konsantrasyonu

Mısır Cu konsantrasyonu(mg/kg)			
Oran	Kök	Gövde	Yaprak
100%	6,97±0,08	5,09±0,15	5,33±0,32
90%	7,05±0,09	5,37±0,39	5,56±0,42
70%	6,84±0,23	6,12±0,24	6,52±0,21
50%	9,63±0,07	9,32±0,06	9,49±0,008

Çizelge 2. Semizotunun farklı kül + toprak karışım oranlarında kök, gövde ve yapraklarında biriken Cu (bakır) konsantrasyonu

Semizotu Cu konsantrasyonu(mg/kg)			
Oran	Kök	Gövde	Yaprak
100%	6,99±0,02	6,43±0,10	6,91±0,07
90%	5,13±0,17	4,84±0,04	5,3±0,08
70%	5,03±0,18	4,35±0,31	5,11±0,01
50%	8,49±1,51	5,37±0,12	6,69±0,03

Çizelge 3. Mısır ve Semizotunun TF değerleri

TF değerleri (Taşıma Faktörü)		
Toprak oranları	Mısır	Semizotu
100%	0,76±0,05	1,01±0,005
90%	0,78±0,05	1,03±0,003
70%	0,95±0,02	1,02±0,004
50%	0,98±0,006	0,78±0,002

Çizelge 4. Mısır ve Semizotunun BCF değerleri

BCF değerleri (Biyobirikim Faktörü)		
Toprak oranları	Mısır	Semizotu
100%	0,21±0,007	0,20±0,007
90%	0,20±0,007	0,20±0,008
70%	0,21±0,009	0,20±0,01
50%	0,29±0,004	0,25±0,05

Çizelge 3. Mısır ve Semizotunun BAC değerleri

BAC değerleri (Biyolojik Birikim Katsayısı)		
Toprak oranları	Mısır	Semizotu
100%	0,16±0,008	0,20±0,008
90%	0,16±0,009	0,21±0,004
70%	0,20±0,006	0,20±0,01
50%	0,29±0,002	0,20±0,009

Çizelgeler dikkate alındığında mısırın topraktaki bakır alımı kül oranı artıkça %46 dan %44 düştüğü, semizotunun topraktaki bakır alımı ise kül oranı artıkça %40 den %42 artığı tespit edildi. Her iki bitkinin fitoremidasyon kapasitelerini ölçmek için Translokasyon (TF), Biyokonsantrasyon (BCF) ve Biyoakümülyasyon (BAC) Faktörleri hesaplandı. Topraktaki kül oranı artıkça mısırın TF değerleri 0.765 den 0.985 artarken semiz otun da ise 1.011 den 0.785 düştüğü, ayrıca topraktaki kül oranı artıkça mısırın BCF değerleri 0.212 den 0.297 artarken, semizotunda 0.208 den 0.256 artığı tespit edildi. Topraktaki kül oranı artıkça mısırın BAC değerleri 0.167 den 0.293 e artarken semizotunda ise değerlerin 0.210 ise 0.201 arasında değiştiği belirlendi.

4. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada termik santralden temin edilen uçucu kül ile muamele edilmiş topraktaki Cu (Bakır)'ın potansiyel hiperakümülatör olan Mısır (*Zea mays*) ve Semizotu (*Portulaca oleracea* L.) bitkileri kullanılarak topraktan fitoremidasyon yöntemiyle giderimi araştırıldı. Araştırmada toprak kirletici olarak termik santralden temin edilen uçucu külü 23 litrelik saksılarda, toprakla %0 kül + %100 toprak, %10 kül + %90 toprak, %30 kül + %70 toprak ve %50 kül + %50 toprak oranlarında karıştırılarak, kül ile toprağın tam karışımın sağlanması için 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldı. Saksılarda ekilen semizotu ve mısır bitkileri 60 gün sonra hasat edildikten sonra, kök, gövde ve yapraklarındaki Cu konsantrasyonları analiz edildi. Mısırın topraktaki bakır alımı kül oranı artıkça düştüğü, semizotunun topraktaki bakır

alımını ise kül oranı artıkça arttığı tespit edildi. Topraktaki kül oranı artıkça mısırın TF değerleri artarken semizotun da ise düştüğü görüldü. Aynı zamanda topraktaki kül oranı artıkça mısırın ve semizotunun BCF değerlerinin arttığı tespit edildi. Topraktaki kül oranı artıkça mısırın BAC değerleri artarken semizotunda ise değerlerin biraz azaldığı görüldü. Sonuç olarak, mısır bitkinin tüm organlarda (kök, gövde ve yaprak) semizotuna göre daha fazla bakır biriktiriyor.

Not. Bu çalışmada Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi BAP tarafından desteklenen “Cd, Pb ve Cu Elementlerinin Isırgan Otu (*Urtica urens*) ve Mısır (*Zea mays*) Bitkileri Kullanılarak Fitoremediasyon ile Giderimi” yüksek lisans tez araştırma projesinin verileri kullanılmıştır. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederiz. 25/14 Nolu BAP projesinden Elmira RUSTAMOVA’ya yüksek lisans tezi üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Ali, Mir Mohammad, et al. "Environmental pollution with heavy metals: A public health concern." Heavy metals-their environmental impacts and mitigation (2021): 771-783.
- Asati, Ambika, Mohnish Pichhode, and Kumar Nikhil. "Effect of heavy metals on plants: an overview." International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management 5.3 (2016): 56-66.
- Cao, Yini, et al. "Phytoremediation potential evaluation of multiple *Salix* clones for heavy metals (Cd, Zn and Pb) in flooded soils." Science of the Total Environment 813 (2022): 152482.
- Daryabeigi Zand, A.; Mühling, K.H. Phytoremediation Capability and Copper Uptake of Maize (*Zea mays* L.) in Copper Contaminated Soils. Pollutants 2022, 2, 53–65. <https://doi.org/10.3390/pollutants2010007>
- Ismael, Marwa A., et al. "Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers." Metallomics 11.2 (2019): 255-277.
- Souri, Mohammad Kazem, and Gunter Neumann. "Indications for passive rather than active release of natural nitrification inhibitors in *Brachiaria humidicola* root exudates." Journal of Plant Nutrition 41.4 (2018): 477-486.
- Widmer, J., Norgrove, L., dentifying candidates for the phytoremediation of copper in viticultural soils: A systematic review . Environmental Research Volume 216, Part 2, 1 January 2023, 114518.

BİTKİ BİYOSTİMULATÖRÜ OLARAK BİYOÇARIN KROM TOKSİSİTESİ ALTINDAKİ ÇİVİT OTUNDA (*Isatis tinctoria* L.) FİZYOLOJİK TEPKİLERİ

Yüksek Lisans Öğrencisi SEDA ŞAHİN

Düzce Üniversitesi, sedasahin9797@gmail.com- 0000-0001-7123-7417

Doç. Dr. HÜLYA TORUN

Düzce Üniversitesi, hulyatorun@duzce.edu.tr- 0000-0002-1118-5130

ÖZET

İnsan ve çevre sağlığı için tehlikeli metaller arasında yer alan krom (Cr), bitkilerde oksidatif strese yol açıp DNA’da hasar meydana getirerek büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkiler. Bu çalışmada, bitki biyostimulatörü olarak kullanılan biyoçarın Cr’un toksik etkilerini hafifletmedeki rolü araştırılmıştır. Doğal mavi boya kaynağı olarak kullanılan çivit otu (*Isatis tinctoria* L.), zorlu çevre koşullarına dayanıklılığı nedeniyle tarımsal ve endüstriyel açıdan değerli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Bu yönüyle ele alınan çivit otu yüksek Cr konsantrasyonları altında yetiştirilerek biyoçarın fizyolojik süreçlerdeki etkileri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda yaprak nisbi su içeriği, elektrolit sızıntı miktarı, osmotik potansiyel ve pigment içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, biyoçarın çivit otu bitkisinde Cr’un meydana getirdiği zararı hafifletmede bitkinin su durumu, membran kararlılığı ve fotosentetik olaylar gibi fizyolojik süreçleri olumlu etkileyerek potansiyel iyileştirici etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal stresi, biyoçar, biyostimulant, *Isatis tinctoria*, krom

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF BIOCHAR AS A PLANT BIOSTIMULANT IN WOAD (*Isatis tinctoria* L.) UNDER CHROMIUM TOXICITY

Master Student SEDA ŞAHİN

Düzce University, sedasahin9797@gmail.com- <https://orcid.org/0000-0001-7123-7417>

Assoc. Prof. Dr. HÜLYA TORUN

Düzce University, hulyatorun@duzce.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0002-1118-5130>

ABSTRACT

Chromium (Cr), one of the metals hazardous to human and environmental health, causes oxidative stress in plants and damages DNA, there by negatively affecting growth and development. In this study, the role of biochar, used as a plant biostimulant, in mitigating the toxic effects of Cr was investigated. *Isatis tinctoria* L., used as a natural blue dye source, is a valuable medicinal and aromatic plant from an agricultural and industrial perspective due to its resistance to harsh environmental conditions. In this context, woad was cultivated under high Cr concentrations to elucidate the effects of biochar on physiological processes. Within this scope, leaf relative water content, electrolyte leakage rate, osmotic potential and pigment contents were determined. The obtained data indicate that biochar has a potential mitigating effect by positively influencing physiological processes such as the plant's water status, membrane stability, and photosynthetic events, thereby mitigating the damage caused by Cr in the woad.

Keywords: Heavy metal stress, biochar, biostimulant, *Isatis tinctoria*, chromium

1.GİRİŞ

İnsan ve sanayi faaliyetleri sonucu çevreye yayılan ağır metaller, tarım arazilerini kirleterek bitki, hayvan ve insan sağlığı için çeşitli riskler oluşturmaktadır (Kumar vd., 2022; Sahito vd., 2024; Sharafi ve Salehi, 2025). Bu metaller arasında krom (Cr), doğal olarak bulunan en tehlikeli elementlerden biri olmasıyla öne çıkar (Rahman ve Singh, 2019). Redoksa duyarlı bir element olan Cr, doğada Cr(III) ve Cr(VI) formlarında bulunur; özellikle Cr(VI), yüksek çözünürlük ve hareketliliği nedeniyle Cr(III)'e göre bitkiler için daha toksik olup verimi ciddi şekilde düşürür (Jiang vd., 2019; Sawicka vd., 2021; Xie, 2024). Yüksek konsantrasyonda bulunan Cr, kloroplastların yapısını bozarak kloroza, pigment kaybına, kök hasarı ve su-mineral dengesizliğine yol açar; ayrıca elektrolit sızıntıyı artırarak hücre membranının bütünlüğünü zayıflatır, reaktif oksijen türlerinin üretimini çoğaltır ve fotosentez ile besin alımını olumsuz etkiler. Dolayısıyla Cr, bitkide fizyolojik süreçlerin olumsuz yönde etkilenmesine neden olur (Sharma vd., 2020; Ashraf vd., 2022; Yadav vd., 2022; Zulfıqar vd., 2023).

Çivit otu (*Isatis tinctoria* L., Fam: Brassicaceae), Orta Asya kökenli, sarı çiçekleri ve mavi boya üretimiyle bilinen otsu bir bitkidir (Taviano vd., 2018; Speranza vd., 2020). Güneşli ve kuru alanlarda yetişen iki yıllık çivit otu bitkisi, yaprak ve köklerinde indol alkaloidler, flavonoidler ve indoksil glikozitler gibi bileşenler barındırmakta olup, tıbbi özellikleriyle dikkat çekmektedir (Speranza vd., 2020; Pauk vd., 2022). Pek çok bölgede yaygın bir yabancı ot olarak varlık gösteren çivit otunun biyolojisi, ekolojisi ve kontrol stratejilerine ilişkin mevcut bilgiler sınırlıdır (Miceli vd., 2023). Öte yandan, artan endüstriyel talep nedeniyle bu bitkinin doğadan kontrolsüz toplanması, ekolojik koşullara bağlı olarak sabit miktar ve kalitede metabolit elde edilmesini güçleştirmekte (Atanasov vd., 2015) ve doğal popülasyonlarını yok olma riskiyle karşı karşıya bırakmaktadır (Wawrosch ve Zotchev, 2021). Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla geliştirilen *in vitro* teknikler, yalnızca yüksek değerli bitki metabolitlerinin üretiminde değil, aynı zamanda çivit otunun stres koşullarına verdiği tepkilerin anlaşılması, dayanıklılığının artırılması ve türün korunmasına yönelik çalışmalarda da sürdürülebilir bir alternatif sunar (Fazili vd., 2022).

Biyostimülantlar, bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artıran, besin alımını ve kök gelişimini destekleyen çevre dostu ürünlerdir (Sun ve Shahrajabian, 2023). Bu nedenle biyostimülant uygulamaları, çevreyle uyumlu ve modern bir tarım yaklaşımı olarak değerlendirilir (Sun vd., 2023). Biyostimülantlar, bitkilerde besin alımını artırır, kök gelişimini teşvik eder, ozmotik dengeyi düzenler ve fitohormon üretimini uyarır. Ayrıca, stres koşullarında bitki dayanıklılığını güçlendirerek ürün veriminin ve kalitesinin korunmasına katkı sağlar (García-Sánchez vd., 2022; Shahrajabian vd., 2023; Shahrajabian vd., 2022). Biyostimülant olma potansiyeli olan biyoçar, organik materyallerin oksijensiz veya düşük oksijenli ortamlarda piroliz yoluyla ısıtılması sonucu elde edilen, karbon açısından zengin ve çevresel faydalar sağlayan bir katı üründür (Allohverdi vd., 2021). Biyokütlenin termokimyasal dönüşümüyle üretilen biyoçar, karbonu uzun süre hapsederek iklim değişikliğinin hafifletilmesine katkı sağlayan kalıcı bir karbon deposu işlevi görür (Luo vd., 2023). İklim üzerindeki bu olumlu etkisinin yanı sıra, biyoçar toprak sağlığını iyileştirmek için su ve besin maddelerinin tutulmasını artırarak mikrobiyal aktiviteyi de desteklemektedir (Gao vd., 2023). Gözenekli yapısı, su ve besinlerin toprakta daha uzun süre kalmasını sağlar ve bitkiler ile mikroorganizmaların bu kaynakları daha etkin kullanmasına olanak tanır. Tarımsal uygulamaların yanı sıra, biyoçar, biyo-kompozitlerde dolgu maddesi, hava filtreleme ve enerji depolama gibi çeşitli endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır (Bolan vd., 2022; Khan vd., 2021). Bununla birlikte, biyoçar uygulamasının topraktaki azot tutulumu ve azot kullanım verimliliğini artırmak gibi önemli faydalar sağladığı da bildirilmektedir (Kang vd., 2021). Biyoçarın çeşitli bitkiler üzerindeki abiyotik stresin zararlı etkilerini azaltmak için yararlı bir teknik olarak kullanıldığı çalışmalar bulunsada çivit otu bitkisinde krom stresinin etkilerini azaltmak için biyoçarın kullanımı ile ilgili bilgi bulunamamıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada biyostimülant özelliği açısından biyoçarın varlığının krom stresi altındaki çivit otunda bitkinin gelişimi ve stresin meydana getirdiği hasarları hafifletmedeki rolünü araştırmak amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki Materyali ve Yetiştirme Koşulları

Çivit otu (*Isatis tinctoria*) tohumları, ekimden önce %5 sodyum hipoklorit çözeltisi ile dezenfekte edilmiş ve ardından saf su ile iyice yıkanmıştır. Bitkiler, 18/22 °C sıcaklıkta ve %60-70 nem içeren kontrollü sera koşullarında yetiştirilmiştir. Dezenfekte edilen tohumlar, torf:perlit (1:1) karışımı içeren viyollere ekilmiş ve 30 gün süreyle yetiştirilmiştir. Gelişimlerini tamamlayan benzer büyüklükteki fideler, viyollerden alınarak saksılara aktarılmıştır. 40 günlük büyüme sürecinin sonunda bitkiler 4 gruba ayrılmıştır: 1) kontrol, 2) biyoçar, 3) krom, 4) biyoçar+krom. Kontrol grubu saf su ile sulanmaya devam ederken, biyoçar grubu bitkilerde toprak üstü biyoçar ile kaplanmıştır. Cr, 150 mM konsantrasyonda uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan biyoçar, Biorfe Organik Tarım San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiş olup, fındık kabuğundan üretilmiş ticari bir üründür. Süre sonunda bitkiler fotoğraflanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

2.2. Nisbi Su İçeriği

Yapraklardaki nisbi su içeriği için öncelikle uygulama gruplarından alınan örneklerin yaş ağırlıkları tartılmıştır. Ardından yapraklar saf su içerisinde 8-10 saat bekletilerek turgid ağırlıkları elde edilmiş ve bu yapraklar 70 °C'de 72 saat boyunca kurutularak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler formülde yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır (Smart ve Bingham, 1974).

2.3. Elektrolit Sızıntı

Yapraklardaki elektrolit sızıntısını belirlemek için çivit otu bitkisinin yapraklarından diskler alınarak 10 mL saf suda bir gün boyunca bekletilmiş ve ardından elektriksel iletkenlik ölçülmüştür. Aynı yapraklar bundan sonraki aşamada otoklavlanmış ve elektriksel iletkenlik tekrar ölçülmüştür. Elde edilen veriler formülde yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır (Shi vd, 2006).

2.4. Osmotik Potansiyel

Yaprak osmotik potansiyelini belirlemek için osmometre kullanılmıştır. Yaprak örnekleri öncelikle cam baget yardımıyla ezilmiş ve ardından 5000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Elde edilen veriler formülde yerine konularak hesaplanmıştır (Santa-Cruz vd., 2002).

2.5. Fotosentetik Pigment İçeriğinin Belirlenmesi

Fotosentetik pigment miktarlarını belirlemek için yaprak örnekleri 10 mL %80 aseton ile homojenize edildikten sonra santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonunda meydana gelen özüt spektrofotometre ile 663, 645 ve 450 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Elde edilen veriler formülde yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır (Arnon, 1949; Jaspars, 1965).

2.6. İstatistiksel Analizler

Her deneme üçlü tekrar (n=3) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Grafikler ortalama $\pm$ standart sapma olarak ifade edilmiştir. Elde edilen veriler Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) ile analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan Testi ile belirlenmiştir. Uygulamalar arasındaki farklar $p<0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

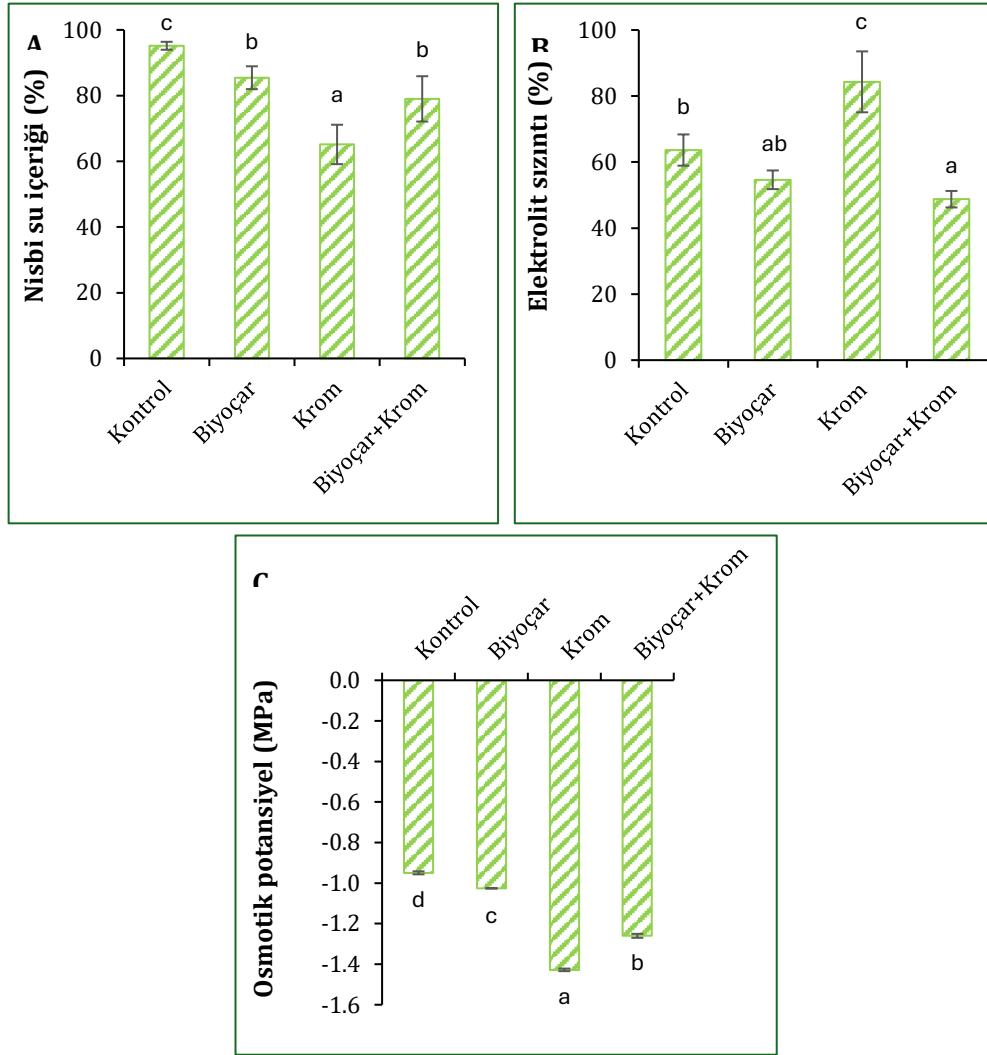
Bu çalışmada, krom (Cr) stresine maruz kalan çivit otunda (*Isatis tinctoria*) biyoçarın bitkinin su durumu, membran kararlılığı ve fotosentetik pigmentlerin miktarı üzerine olan olumlu etkileri araştırılmıştır. Bitkinin Cr stresi altında gösterdiği morfolojik etkiler ve biyoçarın bu süreçteki rolü Görsel 1’de gösterilmektedir. Uygulamalara göre bitki morfolojileri değerlendirildiğinde, kontrol grubundaki bitkilerin diğer gruplara kıyasla daha sağlıklı ve canlı olduğu gözlenmiştir. Cr stresi çiviotu yapraklarında morfolojiyi değiştirmiş ve yaprak alanı önemli ölçüde küçülmüştür. Biyoçar uygulanan bitkilerde yaprak yapısı çoğunlukla korunmuştur. Cr stresi altındaki bitkilere yapılan biyoçar uygulaması ise sadece Cr uygulanan bitkilere kıyasla Cr’un verdiği etkinin hafifletildiği gözlenmiştir.



Görsel 1. Biyoçar uygulamasının krom stresi altındaki çivit otu (*Isatis tinctoria*) bitkisinde meydana getirdiği morfolojik değişimler

Morfolojik değişimlerin yanı sıra, Cr stresi, *Isatis tinctoria* bitkisinde hücresel düzeyde de olumsuz etkiler oluşturmıştır. Yaprak nisbi su içeriği, elektrolit sızıntı ve osmotik potansiyel üzerine Cr ve biyoçar uygulamalarının etkileri Görsel 2’de verilmiştir. Çivit otu yapraklarında nisbi su içeriği miktarı Cr uygulaması ile kontrol bitkilerine kıyasla %31,6 oranında azalmıştır. Bunun yanı sıra Cr uygulamasına kıyasla biyoçar uygulaması stres altındaki bitkinin nisbi su içeriğini %21,4 oranında arttırmış ve su durumunda olumlu etkide bulunmuştur. Ağır metal stresi gibi çeşitli stres faktörleri bitkilerde elektrolit sızıntısını artırmaktadır (Ahmad vd., 2020; Kaya vd., 2020). *Isatis tinctoria*’da kontrol grubuna kıyasla biyoçar uygulaması elektrolit sızıntıyı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde ($p<0,05$) değiştirmezken Cr uygulaması %32,5 oranında artışa neden olmuştur. Biyoçar uygulaması Cr stresinin etkisini hafifletmiş ve sadece Cr uygulanan bitkilere kıyasla elektrolit sızıntı miktarını %42,1 oranında azaltmıştır. Bu sonuçlar, biyoçarın Cr stresinin zararlı etkilerini hafifleterek hücre membran stabilitesini

koruduğunu göstermektedir. Bitkide osmotik potansiyel, hücrelerin su ve madde dengesini koruma yeteneğinin göstergelerindendir. Kontrol bitkilerine kıyasla Cr uygulaması osmotik potansiyeli %50,3 oranında azaltmış oysaki biyoçar uygulaması iyileşmeye neden olarak biyoçar uygulanmayan stresli bitkilere kıyasla osmotik potansiyelde %11,8 oranında artış meydana getirmiştir.



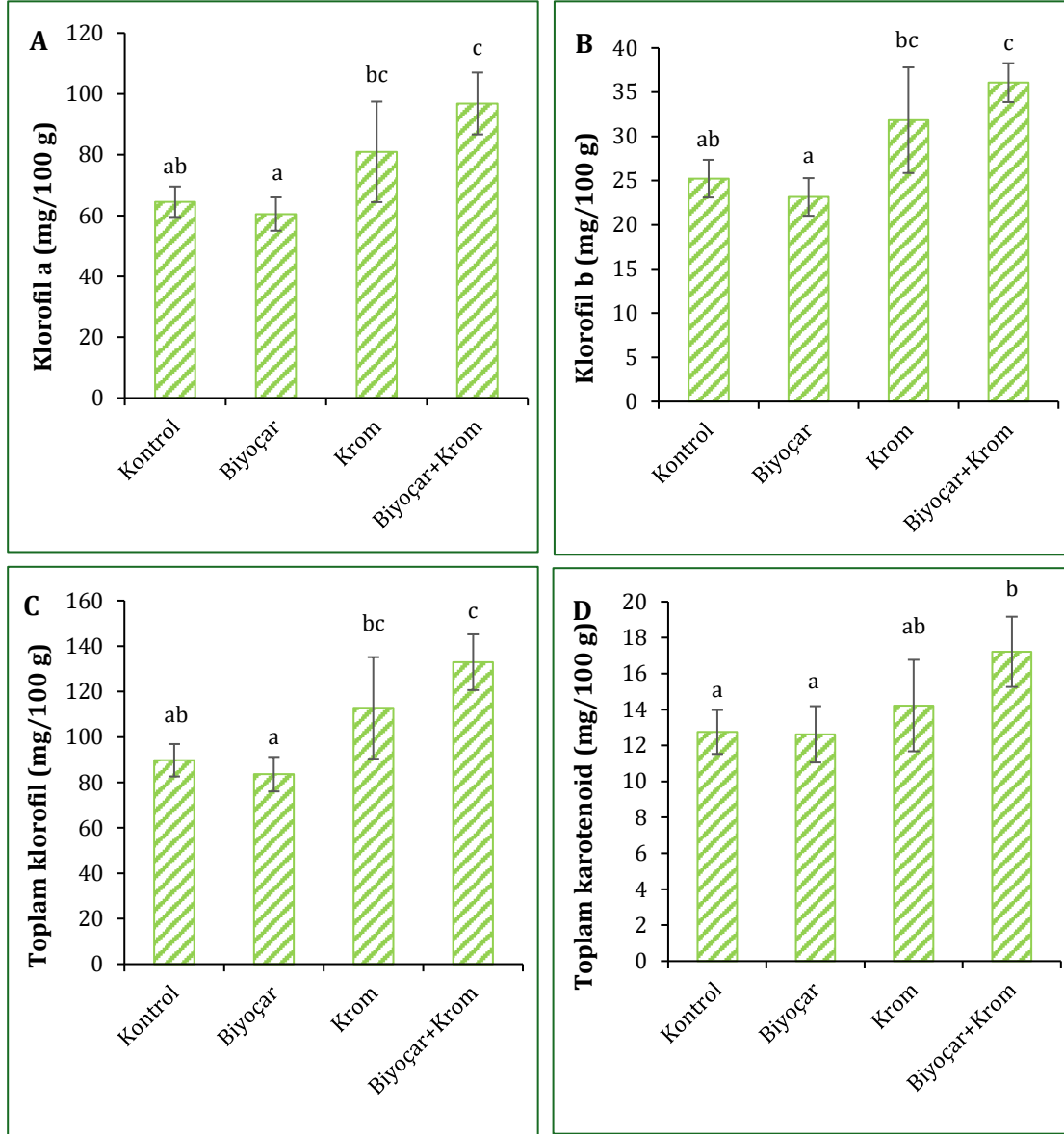
Görsel 2. Biyoçar uygulamasının krom stresi altındaki çivit otu (*Isatis tinctoria*) bitkisinin nisbi su içeriği (A), elektrolit sızıntı (B) ve osmotik potansiyelinde (C) meydana getirdiği değişimler

Fotosentez bitkide su ve karbondioksitin kullanılarak basit şekerlerin oluşumu olayıdır ve bitkiler için hayati faaliyetlerin başında gelir. Doğal olarak optimum şartlar dışındaki faaliyetler bitkilerin yaşamını olumsuz etkileyeceğinden fotosentetik süreçler de etkilenmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, çivit otu bitkisinde Cr stresi üzerine biyoçar uygulamasının fotosentetik pigment miktarlarını nasıl değiştirdiğine bakılmıştır. Bu amaçla tüm uygulama gruplarında klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları ölçülmüştür (Görsel 3). Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, Cr ve biyoçar uygulanan bitkilerde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik ($p < 0,05$) kaydedilmemiştir. Ayrıca, tüm pigment miktarlarında Cr uygulaması ile

kıyaslandığında biyoçar uygulaması Cr stresi altındaki çivit otunda da anlamlı fark ($p<0,05$) oluşturmamıştır. Diğer taraftan, kontrol bitkileri ile kıyaslandığında ise klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarlarında sırasıyla %50,1, %43,3, %47,9 ve %35,4 oranında artış meydana gelmiştir.

Krom stresine maruz kalan biber bitkisinde, çalışmamızla benzer şekilde, nisbi su içeriği ve toplam klorofil düzeylerinde azalma, elektrolit sızıntısında ise artış meydana geldiği rapor edilmiştir (Uğurlar, 2024). Literatürde başka araştırmalarda da Cr'un bitkilerde su dengesini bozarak yapraklardaki nisbi su içeriğini azalttığı (Akçin, 2019; Ertekin ve Bilgen, 2021) ve fotosentetik pigmentlerin yapısını olumsuz etkileyerek, özellikle toplam klorofil miktarı başta olmak üzere çeşitli pigmentlerin degradasyonuna yol açtığı bildirilmiştir (Yıldız vd., 2011; Mishra vd., 2024). Çalışmamızda fotosentetik pigment miktarlarında literatürün aksi şekilde Cr uygulaması ile fotosentetik miktarlarında kontrole kıyasla anlamlı farklılıklar belirlenmemiştir. Bu durum, bitkinin su durumunun azalmasına rağmen çiviotu bitkisinin söz konusu Cr konsantrasyonuna dayanıklı olabildiğinin göstergesi olabilir. Ancak bu olgunun desteklenebilmesi için farklı biyokimyasal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır.

Biyoçar yeni nesil biyostimülant olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda, çeşitli stres faktörlerine karşı bitkide savunma mekanizmalarını güçlendirmesi (Martínez-Gómez vd., 2022; Chi vd., 2024), klorofil hasarını hafifletmesi (Khan vd., 2022) ve verimi artırması (Cong vd., 2023) gibi olumlu etkileri bilinmektedir. Bu süreçler dışında, biyoçar uygulamasının bitkinin nisbi su içeriği üzerine iyileştirici etkiler gösterdiği, örneğin zencefil bitkisinde su içeriğini artırdığı rapor edilmiştir (Jabborova vd., 2021). Ayrıca benzer şekilde, stres koşulları altında biyoçar uygulamasının olumsuz etkileri hafifletmesi durumu (Ali vd., 2021; Coşkun ve Aksu, 2024), çalışmamızı destekler niteliktedir.



Görsel 3. Biyoçar uygulamasının krom stresi altındaki çivit otu (*Isatis tinctoria*) bitkisinin klorofil a (A), klorofil b (B), toplam klorofil (C) ve toplam karotenoid (D) miktarlarında meydana getirdiği değişimler

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, krom stresinin çivit otunda (*Isatis tinctoria*) su dengesi, hücre membran stabilitesi, osmotik potansiyel ve morfolojik yapı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Krom uygulaması yaprak nisbi su içeriği ve osmotik potansiyelde azalmaya, elektrolit sızıntı değerlerinde ise artışa neden olmuş, ayrıca belirgin morfolojik indirgemeler gözlenmiştir. Biyoçar uygulaması ise bu olumsuzlukları kısmen hafifletmiş, özellikle su tutma kapasitesinin ve membran stabilitesinin korunmasına, elektrolit sızıntısının azaltılmasına katkı sağlamıştır. Kontrol grubu ile krom uygulanan bitkiler arasında klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid düzeyleri açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Fotosentetik pigmentler üzerinde biyoçar krom stresi altında iyileştirici etki göstererek artışa neden olmuştur. Sonuç olarak, biyoçar uygulamasının bitkinin genel fizyolojik ve

morfolojik iyileştirici etkileri, krom stresi altındaki tıbbi ve aromatik bir bitki olan *Isatis tinctoria*'nın toleransını artırdığını göstermektedir. Bu sonuçlar, biyoçarın krom stresi altındaki tıbbi ve aromatik bitkilerin dayanıklılığını artırmada etkili bir biyostimülatör olarak sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir potansiyele sahip olabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Ahmad, R., Ali, S., Abid, M., Rizwan, M., Ali, B., Tanveer, A., ... & Ghani, M. A. (2020). Glycinebetaine alleviates the chromium toxicity in *Brassica oleracea* L. by suppressing oxidative stress and modulating the plant morphology and photosynthetic attributes. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 1101-1111.

Akçin, A. (2019). Bir Ekmeklik Buğday Çeşidinde (*Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99) Krom Stresine Karşı Fulvik Asitin Etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 655-665.

Ali, L., Xiukang, W., Naveed, M., Ashraf, S., Nadeem, S. M., Haider, F. U., & Mustafa, A. (2021). Impact of biochar application on germination behavior and early growth of maize seedlings: insights from a growth room experiment. *Applied Sciences*, 11(24), 11666.

Allohverdi, T., Mohanty, A. K., Roy, P., & Misra, M. (2021). A review on current status of biochar uses in agriculture. *Molecules*, 26(18), 5584.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.

Ashraf, M. A., Rasheed, R., Hussain, I., Hafeez, A., Adrees, M., ur Rehman, M. Z., ... & Ali, S. (2022). Effect of different seed priming agents on chromium accumulation, oxidative defense, glyoxalase system and mineral nutrition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Pollution*, 309.

Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E. M., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., ... & Stuppner, H. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology advances*, 33(8), 1582-1614.

Bolan, N., Hoang, S. A., Beiyuan, J., Gupta, S., Hou, D., Karakoti, A., ... & Van Zwieten, L. (2022). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 67(2), 150-200.

Chi, W., Nan, Q., Liu, Y., Dong, D., Qin, Y., Li, S., & Wu, W. (2024). Stress resistance enhancing with biochar application and promotion on crop growth. *Biochar*, 6(1), 43.

Cong, M., Hu, Y., Sun, X., Yan, H., Yu, G., Tang, G., ... & Jia, H. (2023). Long-term effects of biochar application on the growth and physiological characteristics of maize. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1172425.

Coşkun, E., & Aksu, G. (2024). Kuraklık ve Tuz Stresi Altında Yeşil Ceviz Kabuğu Kompostu Uygulanan Mısır Bitkisinin Fizyolojisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 78-88.

Ertekin, E. N., & Bilgen, M. (2021). Bazı ağır metallerin at dişi mısır (*Zea mays* L.)’da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri. *Biological Diversity and Conservation*, 14(2), 198-207.

Fazili, M. A., Bashir, I., Ahmad, M., Yaqoob, U., & Geelani, S. N. (2022). In vitro strategies for the enhancement of secondary metabolite production in plants: a review. *Bulletin of the National Research Centre*, 46(1), 35.

Gao, S., Harrison, B. P., Thao, T., Gonzales, M. L., An, D., Ghezzehei, T. A., ... & Ryals, R. A. (2023). Biochar co-compost improves nitrogen retention and reduces carbon emissions in a winter wheat cropping system. *GCB Bioenergy*, 15(4), 462-477.

García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Navarro-Pérez, V., & Alfosea-Simón, M. (2022). Scientific advances in biostimulation reported in the 5th biostimulant world congress. *Horticulturae*, 8(7), 665.

Jabborova, D., Wirth, S., Halwani, M., Ibrahim, M. F., Azab, I. H. E., El-Mogy, M. M., & Elkelish, A. (2021). Growth response of ginger (*Zingiber officinale*), its physiological properties and soil enzyme activities after biochar application under greenhouse conditions. *Horticulturae*, 7(8), 250.

Jaspars, E. M. J. (1965). Pigmentation of Tobacco Crown-Gall Tissues Cultured in vitro in Dependence of the Composition of the Medium. *Physiologia Plantarum*, 18(4).

Jiang, B., Gong, Y., Gao, J., Sun, T., Liu, Y., Oturan, N., & Oturan, M. A. (2019). The reduction of Cr (VI) to Cr (III) mediated by environmentally relevant carboxylic acids: state-of-the-art and perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, 365, 205-226.

Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., Corpas, F. J., & Ahmad, P. (2020). Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 123020.

Khan, A., Hussain, M. A., Nawaz, H., Muhammad, G., Lang, I., & Ashraf, U. (2023). Physiological Interventions of Antioxidants in Crop Plants Under Multiple Abiotic Stresses. In *Sustainable Agriculture in the Era of the OMICs Revolution*, 431-471.

Khan, Z., Fan, X., Khan, M. N., Khan, M. A., Zhang, K., Fu, Y., & Shen, H. (2022). The toxicity of heavy metals and plant signaling facilitated by biochar application: Implications for stress mitigation and crop production. *Chemosphere*, 308, 136466.

Kumar, S., Wang, M., Fahad, S., Qayyum, A., Chen, Y., & Zhu, G. (2022). Chromium induces toxicity at different phenotypic, physiological, biochemical, and ultrastructural levels in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13496.

Luo, L., Wang, J., Lv, J., Liu, Z., Sun, T., Yang, Y., & Zhu, Y. G. (2023). Carbon sequestration strategies in soil using biochar: advances, challenges, and opportunities. *Environmental Science & Technology*, 57(31), 11357-11372.

Martínez-Gómez, Á., Poveda, J., & Escobar, C. (2022). Overview of the use of biochar from main cereals to stimulate plant growth. *Frontiers in Plant Science*, 13, 912264.

Miceli, N., Taviano, M. F., Kwiecień, I., Nicosia, N., Szopa, A., & Ekiert, H. (2023). *Isatis tinctoria* L.(woad): cultivation, phytochemistry, pharmacology, biotechnology, and utilization. In *Medicinal Plants: Biodiversity, Biotechnology and Conservation*, 633-673.

Mishra, G., Yadav, N., Manasa, L., Kumar, A., Patnaik, A., Panigrahy, M., ... & Panigrahi, K. C. (2024). Chromium stress influences several parameters of leaf dynamics and morphology in *Oryza sativa* L. genotypes. *Plant Stress*, 12, 100449.

Pauk, V., Michalčáková, J., Jagošová, K., & Lemr, K. (2022). Origin of indigo colorants revealed by ion mobility spectrometry coupled to mass spectrometry followed by supervised classification. *Dyes and Pigments*, 197, 109943.

Rahman, Z., & Singh, V. P. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental monitoring and assessment*, 191(7), 419.

Sahito, Z. A., Zehra, A., Yu, S., Chen, S., Arif, M. A. R., Raza, S. T., ... & Yang, X. (2024). Folic acid supplementation improves seed germination, seedling growth and cadmium uptake in a mining ecotype of *Solanum nigrum* L. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103600.

Sawicka, E., Jurkowska, K., & Piwowar, A. (2021). Chromium (III) and chromium (VI) as important players in the induction of genotoxicity-current view. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 28(1).

Shahrajabian, M. H., Cheng, Q., & Sun, W. (2022). The effects of amino acids, phenols and protein hydrolysates as biostimulants on sustainable crop production and alleviated stress. *Recent Patents on Biotechnology*, 16(4), 319-328.

Shahrajabian, M. H., Petropoulos, S. A., & Sun, W. (2023). Survey of the influences of microbial biostimulants on horticultural crops: Case studies and successful paradigms. *Horticulturae*, 9(2), 193.

Sharafi, S., & Salehi, F. (2025). Comprehensive assessment of heavy metal (HMs) contamination and associated health risks in agricultural soils and ground water proximal to industrial sites. *Scientific Reports*, 15(1), 7518.

Sharma, A., Kapoor, D., Wang, J., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, A. S., ... & Yan, D. (2020). Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. *Plants*, 9(1), 100.

Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53, 258-260.

Speranza, J., Miceli, N., Taviano, M. F., Ragusa, S., Kwiecień, I., Szopa, A., & Ekiert, H. (2020). *Isatis tinctoria* L. (Woad): A review of its botany, ethnobotanical uses, phytochemistry, biological activities, and biotechnological studies. *Plants*, 9(3), 298.

Sun, W., & Shahrajabian, M. H. (2023). Therapeutic potential of phenolic compounds in medicinal plants—Natural health products for human health. *Molecules*, 28(4), 1845.

Sun, W., Shahrajabian, M. H., Petropoulos, S. A., & Shahrajabian, N. (2023). Developing sustainable agriculture systems in medicinal and aromatic plant production by using chitosan and chitin-based biostimulants. *Plants*, 12(13), 2469.

Taviano, M. F., Filocamo, A., Ragusa, S., Cacciola, F., Dugo, P., Mondello, L., ... & Miceli, N. (2018). Phenolic profile, antioxidant and cytotoxic properties of polar extracts from leaves and flowers of *Isatis tinctoria* L. (Brassicaceae) growing in Sicily. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 152(4), 795-803.

Uğurlar, F. (2024). Bitki büyüme düzenleyicilerinin nikel ve krom stresi altındaki biber bitkilerinin fizyolojik gelişimi, oksidatif stres ve azot metabolizması üzerine etkisi. (Doctoral dissertation).

Wawrosch, C., & Zotchev, S. B. (2021). Production of bioactive plant secondary metabolites through in vitro technologies—status and outlook. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6649-6668.

Xie, S. (2024). Water contamination due to hexavalent chromium and its health impacts: exploring green technology for Cr (VI) remediation. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 17(1), 2356614.

Yadav, N., Monika, Kumar, A., Kumar, N., Mamta, Heena, ... & Arya, S. S. (2022). Impacts on plant growth and development under stress. In Plant stress mitigators: action and application 61-100

Yıldız, M., Terzi, H., & Urşak, B. (2011). Bitkilerde krom toksisitesi ve hücrel cevaplar. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27(2), 163-176.

Zulfiqar, U., Haider, F. U., Ahmad, M., Hussain, S., Maqsood, M. F., Ishfaq, M., ... & Eldin, S. M. (2023). Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: A critical review. Frontiers in Plant Science, 13, 1081624.

KIRMIZI DUT (*MORUS NİGRA*) POLİFENOLLERİNİN OBEZİTEYLE İLİŞKİLİ PROTEİNLERE BAĞLANMA POTANSİYELLERİNİN MOLEKÜLER DOKİNG İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. TUĞBA GÜL DİKME

Harran Üniversitesi, t.gul@harran.edu.tr-0000-0002-2212-6443

ÖZET

Obezite, dünya genelinde prevalansı giderek artan, metabolik bozukluklar, kardiyovasküler hastalıklar ve tip 2 diyabet gibi ciddi komplikasyonlarla ilişkili multifaktöriyel bir sağlık sorunudur. Bitkisel polifenoller, çoklu biyolojik hedeflere bağlanabilme kapasiteleri sayesinde obezite yönetiminde umut vadeden doğal biyoaktif bileşikler olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, kırmızı dut (*Morus nigra*)’ta yüksek oranda bulunan siyanidin-3-O-glukozit, rutin, epikateşin, klorojenik asit, kafeik asit ve p-hidroksibenzoik asidin obezite patofizyolojisinde rol alan PPAR- γ , SREBP-1c, FASN, UCP1, AMPK ve SIRT1 proteinlerine bağlanma potansiyelleri in silico moleküler doking yöntemi ile araştırılmıştır. Hedef proteinlerin üç boyutlu yapıları RCSB Protein Data Bank’tan, ligand yapıları ise PubChem veri tabanından temin edilmiştir. Doking öncesinde ligand ve protein yapılarında enerji minimizasyonu yapılmış, hidrojen atomları eklenmiş, kısmi yükler atanmış ve bağlanma bölgeleri tanımlanmıştır. Moleküler doking analizleri Chimera 1.17.3, AutoDock Vina ve BIOVIA Discovery Studio 2021 yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, en yüksek bağlanma afiniteleri rutin-AMPK (-8.93 kcal/mol), siyanidin-3-O-glukozit-AMPK/SIRT1 (-8.45 kcal/mol), epikateşin-FASN/UCP1 (-8.36 kcal/mol), klorojenik asit-UCP1 (-8.51 kcal/mol) ve kafeik asit-SIRT1 (-8.84 kcal/mol) etkileşimlerinde gözlenmiştir. Elde edilen veriler, çoğu etkileşimin hidrojen bağları ve hidrofobik temaslar aracılığıyla gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Özellikle AMPK, SIRT1 ve UCP1 hedefleri üzerinden enerji metabolizmasının düzenlenmesi, termojenez aktivasyonu ve lipogenez baskılanması gibi mekanizmaların öne çıktığı belirlenmiştir. Bulgular, kırmızı dut polifenollerinin obezitenin önlenmesi ve metabolik sağlığın desteklenmesi amacıyla fonksiyonel gıda ve nutrasötik formülasyonlarda değerlendirilme potansiyelini göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen in silico bulguların in vitro ve in vivo çalışmalarla doğrulanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Morus nigra*, Polifenol, Obezite, Moleküler doking, AMPK, SIRT1

1. GİRİŞ

Obezite, enerji alımı ile harcanması arasındaki dengenin bozulması sonucu gelişen, genetik, çevresel, davranışsal ve metabolik faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıkan kompleks ve multifaktöriyel bir hastalıktır (Ghosh S, et al. 2023). Dünya genelinde prevalansı hızla artan bu durum, çağımızın en önemli halk sağlığı sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir (Lin & Li, 2021). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre 1975 yılından bu yana obezite oranı üç kattan fazla artmış olup, 2016 yılında 650 milyondan fazla yetişkin obez olarak sınıflandırılmıştır (WHO, 2021). Obezite, yalnızca bireysel düzeyde sağlık sorunlarına yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda sağlık sistemleri üzerinde önemli ekonomik ve sosyal yükler de oluşturmaktadır (Okunogbe et al. 2022).

Patofizyolojik açıdan bakıldığında, obezite insülin direnci, tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon, karaciğer yağlanması ve bazı kanser türleri gibi kronik hastalıklarla güçlü bir şekilde ilişkilidir (Jin et al.,2023). Bu nedenle, obeziteyle mücadele yalnızca kilo kaybına değil, aynı zamanda metabolik homeostazın yeniden sağlanmasına da odaklanmalıdır. Günümüzde obezite tedavisinde en yaygın stratejiler yaşam tarzı değişiklikleri (diyet, egzersiz ve davranışsal müdahaleler) ve farmakolojik ajanların kullanımınıdır. Ancak mevcut farmakoterapötik yaklaşımların etkinliğinin sınırlı olması ve uzun vadede ciddi yan etkilere yol açabilmesi, araştırmacıları doğal ürünlerden elde edilen biyoaktif bileşenlere yönelmiştir (Hidalgo-Lozada et al. 2024).

Bu noktada, bitkisel kaynaklı fenolik bileşikler ve polifenoller ön plana çıkmaktadır. Bu bileşikler; antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve metabolizma düzenleyici etkileriyle enerji homeostazının sağlanmasında potansiyel terapötik ajanlar olarak değerlendirilmektedir (Mhawish & Komarnytsky et al., 2025). *Morus nigra* (kırmızı/mor dut), özellikle polifenoller açısından zengin bir meyvedir ve geleneksel tıpta yüzyıllardır kullanılmaktadır. İçeriğinde cyanidin-3-O-glukozit, rutin, epikateşin, klorojenik asit, kafeik asit ve p-hidroksibenzoik asit gibi biyoaktif bileşikler bulunmaktadır (Núñez et al., 2025). Bu polifenollerin antioksidan kapasiteleri, yağ asidi biyosentezi, glukoz metabolizması, termojenez ve insülin duyarlılığı gibi metabolik süreçler üzerinde düzenleyici etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Huo et al.,2023).

Obezite patogenezinde rol oynayan temel moleküler mekanizmaların anlaşılması, terapötik stratejilerin geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda; PPAR- γ (Peroxisome proliferator-activated receptor gamma), SREBP-1c (Sterol regulatory element-binding protein 1c), FASN (Fatty acid synthase), UCP1 (Uncoupling protein 1), AMPK (AMP-activated protein kinase) ve SIRT1 (Sirtuin 1) gibi proteinler enerji metabolizmasının temel düzenleyicileri olarak öne çıkmaktadır. Bu proteinler, lipogenez, glukoz homeostazı, mitokondriyal fonksiyonlar ve inflamatuvar yanıtlar üzerinde önemli rol oynamaktadır (Hosny et al., 2023; Qui et al., 2023).

Son yıllarda, polifenol-protein etkileşimlerini anlamada moleküler doking gibi in silico yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Moleküler doking analizi, ligandların (örneğin polifenoller) hedef proteinlerin bağlanma bölgelerine yerleşimlerini, bağlanma enerjilerini ve

etkileşim türlerini üç boyutlu düzeyde simüle ederek potansiyel biyolojik etkileri öngörmeye olanak tanımaktadır (Baruah et al., 2022).

Bu çalışmada, *Morus nigra*'da bol miktarda bulunan altı temel polifenol bileşiğinin, obezite ile ilişkili altı hedef proteine (PPAR- γ , SREBP-1c, FASN, UCP1, AMPK ve SIRT1) bağlanma potansiyelleri moleküler doking analizi ile değerlendirilmiş; elde edilen bulgular ışığında bu bileşiklerin anti-obezite potansiyelleri tartışılmıştır.

2. MATERYAL METOD

2.1. Moleküler Yerleştirme

Obezite ile ilişkili hedef proteinlerin yapısal bilgileri PPAR- γ (Peroksisom proliferatör aktive edici reseptör gama), SREBP-1c (Sterol düzenleyici element bağlayıcı protein 1c), FASN (Yağ asidi sentaz), UCP1 (Ayrışma proteini 1), AMPK (AMP aktive edici protein kinaz) ve SIRT1 (Sirtuin 1) RCSB Protein Data Bank'tan elde edildi (Berman et al., 2000). *Morus nigra*'da yüksek oranda bulunan altı temel polifenolik bileşiğin siyanidin-3-O-glukozit, rutin, epikateşin, klorojenik asit, kafeik asit ve p-hidroksibenzoik asit üç boyutlu yapıları ise PubChem veritabanından indirildi (Kim et al., 2019).

Yerleştirme (docking) analizleri UCSF Chimera 1.17.3 (Pettersen et al., 2004), AutoDock Vina (Trott & Olson, 2010) ve BIOVIA Discovery Studio 2021 Client (Dassault Systèmes, 2021) yazılımları kullanılarak gerçekleştirildi. Ligandlar ve proteinler Chimera'daki "Prepare Molecule" modülü aracılığıyla doking için hazırlandı. Hazırlık adımları; sterik engellerin kaldırılması, eksik hidrojen atomlarının eklenmesi, kısmi yüklerin atanması, eksik yan zincirlerin oluşturulması ve eksik halkaların tamamlanmasını içerdi. Kristal yapılarda bağlanma bölgesinden 5 Å uzaklıktaki su molekülleri çıkarıldı. Yerleştirme öncesinde her ligand için enerji minimizasyonu yapıldı.

Proteinlerin potansiyel bağlanma bölgeleri tanımlandı ve ızgara kutuları (grid box) aktif bölgeyi kapsayacak şekilde ayarlandı. Bağlanma afinitelerini (kcal/mol) hesaplamak ve en uygun bağlanma konformasyonlarını öngörmek için AutoDock Vina kullanıldı. Ligand-protein etkileşimlerinin 2B ve 3B görselleştirilmesi (hidrojen bağları, hidrofobik etkileşimler ve uygun durumlarda π - π istiflenmesi dahil) BIOVIA Discovery Studio yazılımı ile gerçekleştirildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Moleküler yerleştirme analizi, *Morus nigra* polifenollerinin obeziteyle ilişkili hedef proteinlere bağlanma afinitelerinde önemli farklılıklar ortaya koymuştur. Her bir ligand-protein kompleksi için hesaplanan bağlanma enerjisi değerleri çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. *Morus nigra* polifenollerinin obeziteyle ilişkili hedef proteinlere bağlanma afiniteleri (kcal/mol) .

Ligand	PPAR- γ	SREBP-1c	FASN	UCP1	AMPK	SIRT1
Cyanidin-3-O-glucoside	-7.69	-5.67	-6.44	-6.90	-8.45	-8.45
Rutin	-8.80	-5.97	-6.90	-6.52	-8.93	-5.61
Epicatechin	-6.09	-8.26	-8.36	-8.36	-7.94	-7.16
Chlorogenic acid	-7.49	-7.98	-6.86	-8.51	-7.98	-7.72
Caffeic acid	-7.40	-6.25	-8.30	-7.20	-6.93	-8.84
p-Hydroxybenzoic acid	-6.55	-7.04	-6.72	-6.81	-7.15	-7.40

En yüksek bağlanma afiniteleri rutin ve AMPK (-8,93 kcal/mol), siyanidin-3-O-glukozit ve AMPK/SIRT1 (-8,45 kcal/mol), epikateşin ve FASN/UCP1 (-8,36 kcal/mol), klorojenik asit ve UCP1 (-8,51 kcal/mol) ve kafeik asit ve SIRT1 (-8,84 kcal/mol) arasında gözlemlendi. Bu sonuçlar, seçilen polifenollerin lipid metabolizmasını, termojenezi ve enerji dengesini düzenleyen proteinlerle güçlü etkileşimler gösterdiğini göstermektedir.

Gözlemlenen etkileşimlerin, biyoaktif bitki kaynaklı bileşikler hakkındaki önceki raporlarla tutarlı olarak, hidrojen bağı ve hidrofobik temasların bir kombinasyonu aracılığıyla gerçekleştiği düşünülmektedir. Özellikle AMPK ve SIRT1, mitokondriyal biyogenez, yağ asidi oksidasyonu ve metabolik düzenlemedeki yerleşik rolleriyle uyumlu olarak, önemli moleküler hedefler olarak ortaya çıkmıştır.

Genel olarak, rutin, siyanidin-3-O-glukozit, epikateşin ve kafeik asit, obezitenin önlenmesi ve metabolik sağlığın iyileştirilmesini hedefleyen fonksiyonel gıda veya nutrasötik uygulamaları için umut vadeden doğal bileşikler gibi görünmektedir. Bununla birlikte, bu *in silico* bulguları doğrulamak, biyoyararlanımı değerlendirmek ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel translasyonel etkiyi değerlendirmek için *in vitro* ve *in vivo* doğrulamalar şarttır.

Bu çalışmanın moleküler yerleştirme sonuçları, *Morus nigra* polifenollerinin obezite patofizyolojisinde yer alan çoklu protein hedefleri, özellikle lipid metabolizmasını, termojenezi ve enerji homeostazını düzenleyenlerle güçlü etkileşimler sergilediğini açıkça göstermektedir. Test edilen bileşikler arasında rutin, AMPK'ye karşı en yüksek bağlanma afinitesini (-8,93 kcal/mol) göstermiştir ve bu da enerji metabolizmasını modüle etmek için güçlü bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu önemlidir çünkü AMPK, hücrel enerji dengesinin ana düzenleyicisi olarak işlev görür, yağ asidi β -oksidasyonunu geliştirir, glikoz alımını artırır ve lipid sentezini baskılar (Liu et al., 2024). Yapılan bir *in vivo* çalışma, rutin takviyesinin yağ ve karaciğer dokularında AMPK sinyalleşmesini aktive edebileceğini, böylece yağlanmanın

azalmasına ve insülin duyarlılığının iyileşmesine yol açabileceğini göstermiştir (Beibei et al., 2021).

Morus nigra'daki baskın antosiyanin olan siyanidin-3-O-glukozit, hem AMPK hem de SIRT1 için yüksek bağlanma afinitesi (her biri -8,45 kcal/mol) göstermiştir. Bu yolların çift hedeflenmesi, AMPK ve SIRT1'in metabolik olarak birbirine bağlı olması nedeniyle özellikle önemlidir; AMPK aktivasyonu NAD⁺ bulunabilirliğini artırır, bu da SIRT1'i aktive ederken, SIRT1 deasetillenir ve AMPK'nin önemli bir yukarı akış kinazı olan LKB1'i aktive eder (Oumeddour et al., 2024). Siyanidin-3-O-glukozitin, yüksek yağlı diyet (HFD) kaynaklı obez modellerde bu yollar aracılığıyla mitokondriyal biyogenezisi artırdığı, glikoz toleransını iyileştirdiği ve visceral yağ kütlesini azalttığı bildirilmiştir (Tian et al., 2020).

Epikateşin, FASN ve UCP1'e karşı en güçlü afiniteyi gösterdi (-8,36 kcal/mol). FASN, de novo lipogenez için kritik bir enzimdir ve aşırı ekspresyonu, yağ hücresi hipertrofisi ve obeziteyle ilişkili metabolik bozukluklarla ilişkilidir. Epikateşin gibi diyet polifenolleri tarafından FASN'nin inhibisyonu, yağ dokusunda trigliserit birikimini azaltabilir ve lipid profillerini iyileştirebilir (Lee et al., 2020). Kahverengi ve bej yağ hücrelerinin mitokondriyal iç zarında bulunan UCP1, ATP yerine ısı üretmek için proton gradyanını dağıtarak titremesiz termojenezde merkezi bir rol oynar. Epikateşinin, kemirgen modellerinde UCP1 ekspresyonunu artırarak enerji harcamasını artırdığı ve kilo kaybını desteklediği gösterilmiştir (Galmozzi et al., 2014).

Klorojenik asit, termojenik kapasiteyi ve yağ asidi oksidasyonunu artırmadaki rolüne dair literatürdeki bilgilerle uyumlu olarak, UCP1 (-8,51 kcal/mol) ile güçlü bir etkileşim göstermiştir (Han et al., 2019). Klorojenik asit ayrıca bağırsak mikrobiyotası kompozisyonunu düzenleyerek, dolaylı olarak metabolik sonuçların iyileştirilmesine katkıda bulunabilir ve bu durum doğrudan termojenik etkilerle sinerji oluşturabilir.

Kafeik asit, SIRT1'e özellikle yüksek bir afinite (-8,84 kcal/mol) göstermiştir. SIRT1 aktivasyonu, mitokondriyal biyogenezisi destekler, oksidatif metabolizmayı artırır ve adipokin salgılanmasını düzenler. Önceki çalışmalar, kafeik asit ve türevlerinin SIRT1'e bağlı yolları aktive ederek obezite modellerinde metabolik esnekliğin artmasına ve inflamatuvar sinyalleme azalmasına neden olabileceğini göstermiştir (Zhang et al., 2024).

Bu çalışmada gözlemlenen bağlanma etkileşimleri, daha önce polifenol-protein kompleksleri için belgelendiği gibi (Shahidi & Dissanayaka, 2023), hidrojen bağları, hidrofobik temaslar ve π - π istifleme etkileşimlerinin bir kombinasyonunu içerebilir. Bu kovalent olmayan etkileşimler, ligand-protein kompleksini stabilize etmekle kalmaz, aynı zamanda bağlanma cebi içindeki konformasyonel uyumu optimize ederek özgüllüğe ve etkinliğe de katkıda bulunabilir.

Translasyonel bir bakış açısından, bu etkileşimlerin çok hedefli doğası dikkat çekicidir. Obezite, birden fazla metabolik yolun düzensizliğini içeren çok faktörlü bir durumdur ve AMPK, SIRT1, FASN ve UCP1'i aynı anda modüle edebilen müdahaleler, tek hedefli stratejilere kıyasla daha büyük bir terapötik potansiyel sunabilir. Ayrıca, *Morus nigra*'da

bulunan birden fazla polifenolün sinerjik etkisi, enerji metabolizması, yağ oluşumu ve inflamasyon üzerindeki katkısız veya tamamlayıcı etkiler yoluyla biyolojik etkinliği artırabilir.

Bununla birlikte, in silico moleküler yerleştirme bağlanma potansiyeline dair değerli öngörüler sağlasa da, klinik uygulama öncesinde birkaç kritik hususun ele alınması gerekmektedir. Bunlar arasında *Morus nigra* polifenollerinin biyoyararlanımı, sindirim sırasındaki metabolik dönüşümleri, doku dağılımı ve fizyolojik koşullardaki stabiliteleri yer almaktadır. Polifenoller genellikle yoğun bir metabolizmaya uğrar ve bu da biyolojik aktivitesi değişmiş glukuronidasyonlu, sülfatlanmış veya metillenmiş türevler ile sonuçlanır (Luca et al., 2020).

4. SONUÇ

Bu moleküler yerleştirme çalışması, *Morus nigra* polifenollerinin obezite patofizyolojisinde rol oynayan çoklu protein hedefleriyle güçlü etkileşimler sergilediğini göstermiştir. Rutin'in AMPK, siyanidin-3-O-glukozitin AMPK ve SIRT1, epikateşinin FASN ve UCP1, klorojenik asidin UCP1 ve kafeik asidin SIRT1 ile yüksek bağlanma afinitesi öne çıkan bulgulardır.

Elde edilen sonuçlar, özellikle rutin, siyanidin-3-O-glukozit, epikateşin ve kafeik asidin obezitenin önlenmesi ve metabolik sağlığın desteklenmesi için umut verici biyoaktif ajanlar olabileceğini düşündürmektedir. Bu polifenollerin çoklu hedeflere yönelik etkileri, onları fonksiyonel gıda ve nutrasötik geliştirme açısından değerli kılmaktadır. Bununla birlikte, bu öngörülerin doğrulanması için ileri düzeyde in vitro, in vivo ve klinik çalışmalar gereklidir.

KAYNAKÇA

Baruah, I., Kashyap, C., Guha, A., & Borgohain, G. (2022). Insights into the Interaction between Polyphenols and β -Lactoglobulin through Molecular Docking, MD Simulation, and QM/MM Approaches. *ACS Omega*, 7, 23083–23095. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00336>

Beibei, M., Hao, J., Xu, H., Liu, L., Wang, W., Chen, S., & Wu, H. (2021). Rutin promotes white adipose tissue "browning" and brown adipose tissue activation partially through the calmodulin-dependent protein kinase kinase β /AMP-activated protein kinase pathway. *Endocrine Journal*. <https://doi.org/10.1507/endocrj.ej21-0441>

Berman, H. M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T. N., Weissig, H., Shindyalov, I. N., & Bourne, P. E. (2000). The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Research*, 28(1), 235–242. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.235>

Dassault Systèmes BIOVIA. (2021). *Discovery Studio Modeling Environment, Release 2021*. Dassault Systèmes, San Diego.

Galmozzi, A., Sonne, S., Altshuler-Keylin, S., Hasegawa, Y., Shinoda, K., Luijten, I., Chang, J., Sharp, L., Cravatt, B., Saez, E., & Kajimura, S. (2014). ThermoMouse: an in vivo model to identify modulators of UCP1 expression in brown adipose tissue. *Cell Reports*, 9(5), 1584–1593. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2014.10.066>

Ghosh, S., Dhar, S., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, P. (2023). Contribution of environmental, genetic and epigenetic factors to obesity-related metabolic syndrome. *The Nucleus*, 66, 215–237. <https://doi.org/10.1007/s13237-023-00420-y>

Han, X., Zhang, Y., Guo, J., You, Y., Zhan, J., & Huang, W. (2019). Chlorogenic Acid Stimulates the Thermogenesis of Brown Adipocytes by Promoting the Uptake of Glucose and the Function of Mitochondria. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14838>

Hardie, D. G., Ross, F. A., & Hawley, S. A. (2016). AMPK: a nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 17(7), 495–507. <https://doi.org/10.1038/nrm.2016.81>

Hidalgo-Lozada, G., Villarruel-López, A., Nuño, K., García-García, A., Sánchez-Nuño, Y., & Ramos-García, C. (2024). Clinically Effective Molecules of Natural Origin for Obesity Prevention or Treatment. *International Journal of Molecular Sciences*, 25. <https://doi.org/10.3390/ijms25052671>

Hosny, H., Omran, N., & Handoussa, H. (2023). Nutritional supplement of *Lepidium sativum* L. seeds alleviates metabolic disorders and inflammatory responses in high-fat diet-induced obese rats via modulating AMPK/SREBP-1c of PPAR γ signaling Pathway. *Journal of King Saud University – Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102831>

Huo, J., Ni, Y., Li, D., Qiao, J., Huang, D., Sui, X., & Zhang, Y. (2023). Comprehensive structural analysis of polyphenols and their enzymatic inhibition activities and antioxidant capacity of black mulberry (*Morus nigra* L.). *Food Chemistry*, 427, 136605. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136605>

Jin, X., Qiu, T., Li, L., Yu, R., Chen, X., Li, C., Proud, C., & Jiang, T. (2023). Pathophysiology of obesity and its associated diseases. *Acta Pharmaceutica Sinica B*.

Kim, S., Chen, J., Cheng, T., Gindulyte, A., He, J., He, S., Li, Q., Shoemaker, B. A., Thiessen, P. A., Yu, B., Zaslavsky, L., Zhang, J., & Bolton, E. E. (2019). PubChem 2019 update: improved access to chemical data. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D1102–D1109. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1033>

Lee, D., Chang, S., Yang, D., Song, N., Yun, U., & Park, K. (2020). Sesamol Increases Ucp1 Expression in White Adipose Tissues and Stimulates Energy Expenditure in High-Fat Diet-Fed Obese Mice. *Nutrients*, 12. <https://doi.org/10.3390/nu12051459>

Lin, X., & Li, H. (2021). Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics. *Frontiers in Endocrinology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.706978>

Liu, Y., Sun, Z., Dong, R., Liu, P., Zhang, X., Li, Y., Lai, X., Cheong, H., Wu, Y., Wang, Y., Zhou, H., Gui, D., & Xu, Y. (2024). Rutin ameliorated lipid metabolism dysfunction of diabetic NAFLD via AMPK/SREBP1 pathway. *Phytomedicine*, 126, 155437. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155437>

Luca, S., Macovei, I., Bujor, A., Miron, A., Skalicka-Woźniak, K., Aprotosoiaie, A., & Trifan, A. (2020). Bioactivity of dietary polyphenols: The role of metabolites. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60, 626–659. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1546669>

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>

Mhawish, R., & Komarnytsky, S. (2025). Small Phenolic Metabolites at the Nexus of Nutrient Transport and Energy Metabolism. *Molecules*, 30. <https://doi.org/10.3390/molecules30051026>

Núñez, S., Millán-Laleona, A., Cano-Lou, J., Corella, A., Moliner, C., Cásedas, G., Maggi, F., López, V., & Gómez-Rincón, C. (2025). Black mulberry (*Morus nigra* L.) prevents deleterious effects of excess glucose in obese *C. elegans* decreasing lipofuscin accumulation and ROS production. *Heliyon*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41898>

Okunogbe, A., Nugent, R., Spencer, G., Powis, J., Ralston, J., & Wilding, J. (2022). Economic impacts of overweight and obesity: current and future estimates for 161 countries. *BMJ Global Health*, 7. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-009773>

Oumeddour, D., Al-Dalali, S., Zhao, L., & Wang, C. (2024). Recent advances on cyanidin-3-O-glucoside in preventing obesity-related metabolic disorders: A comprehensive review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 729, 150344. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.150344>

Peng, C. H., Chyau, C. C., Wang, C. J., Lin, H. T., & Huang, C. N. (2018). Rutin inhibits oleic acid induced lipid accumulation via reducing lipogenesis and oxidative stress in hepatocytes. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 508–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.06.010>

Pettersen, E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Couch, G. S., Greenblatt, D. M., Meng, E. C., & Ferrin, T. E. (2004). UCSF Chimera—A visualization system for exploratory research and analysis. *Journal of Computational Chemistry*, 25(13), 1605–1612. <https://doi.org/10.1002/jcc.20084>

Qiu, Y., Gan, M., Wang, X., Liao, T., Chen, Q., Lei, Y., Chen, L., Wang, J., Zhao, Y., Niu, L., Wang, Y., Zhang, S., Zhu, L., & Shen, L. (2023). The global perspective on peroxisome

proliferator-activated receptor γ (PPAR γ) in ectopic fat deposition: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127042.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127042>

Shahidi, F., & Dissanayaka, C. (2023). Phenolic-protein interactions: insight from in-silico analyses – a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5, 1–21.
<https://doi.org/10.1186/s43014-022-00121-0>

Tian, L., Ning, H., Shao, W., Song, Z., Badakhshi, Y., Ling, W., Yang, B., Brubaker, P., & Jin, T. (2020). Dietary Cyanidin-3-Glucoside Attenuates High-Fat-Diet-Induced Body-Weight Gain and Impairment of Glucose Tolerance in Mice via Effects on the Hepatic Hormone FGF21. *The Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa140>

Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455–461. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>

World Health Organization (WHO). (2021). Obesity and overweight. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

Zhang, Y., Deng, Q., Hong, H., Qian, Z., Wan, B., & Xia, M. (2024). Caffeic acid phenethyl ester inhibits neuro-inflammation and oxidative stress following spinal cord injury by mitigating mitochondrial dysfunction via the SIRT1/PGC1 α /DRP1 signaling pathway. *Journal of Translational Medicine*, 22. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-05089-8>

THE EFFECT OF FRUIT AND VEGETABLE DRYING METHODS ON THE BIOAVAILABILITY OF ANTIOXIDANT COMPOUNDS

Sinem TUNC

MSc., Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,

sinemtunc.9724@gmail.com - ORCID ID: 0009-0008-9776-6825

Elif Feyza TOPDAS

Assoc. Prof. Dr., Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,

efeyza.topdas@atauni.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3778-3654

ABSTRACT

Drying is one of the preservation methods that has been used since ancient times to extend the shelf life of food products and minimise quality loss. With the advancement of technology over time, modern drying techniques have replaced traditional natural drying methods. The main purpose of drying is to prevent chemical, enzymatic, and microbial degradation by reducing the water activity of food. During the drying process, degradation and transformations of bioactive compounds may also occur. The changes that take place affect not only the amount of bioactive compounds in the food but also their bioavailability (their usability after digestion). In recent years, various studies have been conducted to investigate the effects of traditional and innovative drying techniques on the bioavailability of antioxidant compounds in fruits and vegetables. This review will examine studies that evaluate the behaviour of these compounds during the digestive process under different drying methods.

Keywords: Drying, bioaccessibility, fruit, vegetable

INTRODUCTION

Drying is one of the oldest food preservation methods that has been used for centuries. This application can also be defined as the process of reducing the water content of foods with different structural properties to a certain level (Saldamlı & Saldamlı, 2004). The primary purpose of drying foods is to extend their shelf life by stopping or slowing down microbial activity and reducing chemical and enzymatic deterioration (Liu et al., 2023). Drying makes it possible to consume fruits and vegetables out of season; it also facilitates transportation and storage, and dried products can be used in various functional foods and industrial products (such as breakfast cereals, baked goods, confectionery, and sweets) (Santos & Silva, 2009; Vega-Gálvez et al., 2012; Megías-Pérez et al., 2014). The drying time is directly influenced by the size, shape, thickness, and quantity of the food to be dried, as well as the speed, temperature, and humidity of the drying air (Polatçı et al., 2020).

Although traditionally used natural drying methods are low-cost and require little energy, they also have many disadvantages. These methods generally take a long time to implement, and because the process is exposed to the external environment, there is a high risk of hygiene issues

such as dust, insect infestation, animal contact, and microbial contamination. Additionally, traditional drying methods are inefficient due to factors such as dependence on climatic conditions, lack of control over the process, and high labour requirements. These drawbacks have led to natural drying methods not being preferred on an industrial scale today. Modern drying techniques, which offer advantages in food safety, quality standardisation, and processing time, have become widely adopted with the advancement of technology. These techniques not only shorten the drying process but also ensure better product quality by controlling important parameters such as temperature, humidity, and air flow (Saldamlı & Saldamlı, 2004).

The storage of dried foods under appropriate conditions is as important as the drying method used in terms of preserving product quality and extending shelf life. Although microbial growth is prevented by reducing water activity in dried foods, inappropriate storage conditions can negatively affect this balance. Especially in high-humidity environments, temperature fluctuations, and exposure to direct sunlight, dried products may reabsorb moisture, leading to quality losses such as mould growth, oxidation, and colour deterioration. The packaging method of dried products also directly affects the level of protection. If airtight, light- and moisture-barrier packaging is not used, the products become vulnerable to external influences. Therefore, it is essential to store dried foods in cool, dry, well-ventilated environments with controlled temperature and humidity conditions, using appropriate packaging. Otherwise, significant losses in terms of both the microbiological safety of the food and its sensory and nutritional quality are inevitable.

Dried fruits and vegetables are considered valuable due to their high vitamin and mineral content, as well as their richness in dietary fibre and bioactive compounds, and are frequently preferred by consumers. Comparing traditional and modern drying methods for dried fruits and vegetables, optimising drying parameters, post-drying microbial changes, shelf life prediction models, post-drying colour, pH, solubility, texture, stability of chemical compounds (such as phenolics, flavonoids, and carotenoids), changes in physicochemical properties, vitamin and mineral losses, the prebiotic and antioxidant effects of dried products, and their bioactive potential related to chronic diseases are widely studied (Gupta et al., 2013; Kamiloglu et al., 2014; Bourdoux, et al., 2016; İzli et al., 2017; Palumbo et al., 2022; Korus, 2022; Alasalvar et al., 2023; Boateng, 2023; Huang et al., 2023). Despite this, there is still limited information available on the absorption and bioavailability of bioactive compounds with antioxidant effects found in these products in the human body (Chang et al., 2016).

Bioaccessibility

Today, the effects of food on health are not limited to the nutrients they contain, but are also directly related to the extent to which the body can utilise these nutrients. In this context, the concepts of 'bioavailability and bioaccessibility' play an important role in the evaluation and design of functional foods, dietary supplements, and fortified products in the food industry (Etcheverry et al., 2012). Bioavailability is defined as the portion of a nutrient or bioactive compound in a food product that is dissolved and available for absorption in the intestinal environment after the digestive process (Huang et al., 2010).

Bioavailability refers to the process by which bioactive compounds in foods are metabolically converted into a usable form after passing through the gastrointestinal tract, entering the circulation, and being transported to relevant cells for use in metabolic processes (McClements & Peng, 2020; Evrendilek, 2022). Additionally, the extent to which digested nutrients exhibit beneficial biological effects in our bodies and the extent to which they reach target cells determines bioavailability (Fernández-García et al., 2009).

For bioactive compounds to be absorbed through the intestinal epithelial membrane, the components must be released from the food matrix and dissolved in the relevant biological fluids (Dima et al., 2020). The bioavailability of bioactive compounds depends not only on the characteristics of the food (such as fibre content, polysaccharide and protein combination, and bioactive component content) but also on consumer-specific physiological factors (Stahl et al., 2002; Englyst & Englyst, 2005; Lorenzo et al., 2019). Factors such as stomach and intestinal pH, digestive enzyme activity, bile salt presence, stomach emptying rate, and intestinal microbiota can directly affect the solubility of substances like phenolic compounds and minerals before absorption (Etcheverry et al., 2012).

In vivo methods are primarily used to assess bioavailability. Methods employed for this purpose include measuring the plasma concentration of the nutrient, tracking urinary or faecal excretion, and conducting metabolic marker analyses. Such analyses are costly, time-consuming, have low reproducibility, and require ethical approval. Therefore, in some cases, bioavailability data obtained using in vitro models can be used to provide indirect information about bioavailability (Etcheverry et al., 2012; Shani-Levi et al., 2017).

The concepts of bioavailability and bioaccessibility are two fundamental concepts that evaluate how much of a compound can be utilised in the body. However, these two concepts are quite different from each other. Bioaccessibility refers to how much of the food consumed under in vitro conditions is utilised by the human body. In other words, it focuses on whether the compound dissolves in the small intestine and reaches the body in a form suitable for absorption. Bioavailability, on the other hand, indicates the extent to which the body can utilise the compound after absorption. Thus, bioavailability refers not only to the absorption of the compound but also to its ability to become functional in the body and exert its effect. For this reason, bioavailability is more comprehensive than bioaccessibility and is evaluated through various in vivo studies (Reppas et al., 2014).

In vitro digestion models mimic the conditions of the human digestive system in a laboratory setting, allowing for the analysis of how much of the compounds in food can be dissolved. These techniques attempt to accurately recreate the physicochemical, biological, and mechanical conditions of the gastrointestinal system in order to evaluate the bioavailability of bioactive compounds. In vitro gastrointestinal digestion models are more widely used than in vivo methods due to reasons such as rapid results, low cost, independence from ethical constraints, and controllability of analysis conditions (Carbonell-Capella et al., 2014; Minekus et al., 2014; Lucas-González et al., 2018).

Bioaccessibility helps to quickly and cost-effectively analyse the effects of different food matrices or processing techniques on nutrients, particularly before conducting human studies.

Through in vitro digestion models, the solubility level of nutrients in newly developed food products or formulations can be tested. This enables scientifically based decisions to be made in product development (Etcheverry et al., 2012).

Traditional and Modern Drying Techniques Applied to Fruits and Vegetables

Traditional Drying Methods

Sun drying: A natural and low-cost drying method commonly used to dry fruits and vegetables (Özbay Doğu & Sariçoban, 2015; Liu et al., 2019). Sun drying requires very little labour (Alibaş et al., 2021). However, compared to other methods, it takes longer and, as the process is exposed to the external environment, there is a high risk of hygiene issues such as dust, insects, animal contact, and microbial contamination. This situation leads to both health risks and quality losses (Turan & Islam, 2019; Srinivasa Reddy, 2020; Waswaa et al., 2021). Additionally, the fact that the drying process is typically carried out in agricultural fields limits agricultural productivity by temporarily taking these fields out of production (Özbay Doğu & Sariçoban, 2015).

Shade drying: This technique is often preferred for drying aromatic plants and spices (Toğrul, 2006). Its main advantage is that, similar to sun drying, no additional energy source is required during the drying process, making it low-cost (Alibaş, 2012). However, since shade drying takes longer than sun drying, it can cause a decrease in nutritional value and quality loss. Drying under unsuitable conditions (high humidity, temperature, and lack of ventilation) increases the risk of mycotoxin formation, such as aflatoxin (Kara et al., 2014). Additionally, products left to dry may come into contact with insects, rodents, and other animal-derived environmental contaminants, increasing the risk of microbial spoilage and posing a significant threat to food safety.

Modern Drying Methods

Microwave drying: This is a drying technique that is usually carried out using microwave ovens and drying systems with generators that produce magnetron-based microwave energy. The system works on the principle of microwaves causing water molecules in food to move, generating heat, and enabling drying through evaporation. In this method, energy is transmitted directly to the interior of the food via molecules, significantly reducing the drying time. Therefore, heat transfer and energy transfer are more efficient (Maskan, 2000; Schiffmann, 1986). Compared to traditional drying methods, it provides faster and more effective drying while preserving the functional properties of the product (Datta & Davidson, 2000). However, due to the non-homogeneous distribution of microwave energy in food, uneven temperature distribution may occur within the product. This situation can cause problems such as excessive drying or burning of some areas and insufficient drying of others. In addition, the high equipment cost and energy consumption of the system make this method economically disadvantageous.

Radio Frequency: It is a drying method that uses radio frequency waves generated by the propagation of magnetic and electric fields and is based on the principle of dielectric heating, providing fast and volumetric heat transfer. The water contained in the food is important for dielectric heating to occur. Water molecules, which have a dipolar structure, cause heat to be

released through molecular vibration under the influence of electromagnetic fields, thereby facilitating the drying of food (Çakmak & Tavman, 2011). Radio frequency drying operates on the same system as microwave drying. In this system, the product is heated from the inside rather than the surface. However, radio frequency drying penetrates deeper than microwave drying (Yazar & İçier, 2013).

Radio frequency drying offers several advantages, including color, taste, drying speed, homogeneous drying, and a fresh appearance. Energy usage in the system is highly efficient, and there is no waiting time for heating or cooling (Zhao et al., 2000; Tucker, 2008; Datta & Davidson, 2000). In addition to its advantages, the system also has disadvantages such as high equipment and processing costs, and the system taking up much space (Tucker, 2008).

Freeze drying (Lyophilization): Freeze drying is a method used to dry foods that are particularly sensitive to heat. The system works by removing excess moisture from foods through sublimation under low pressure (Kumar et al., 2001). The drying process occurs in three main stages: the freezing stage, the primary drying stage, and the secondary drying stage (Sadıkoğlu & Özdemir, 2003). The ice crystals formed in the frozen food are removed from the environment using a vacuum pump by directly transitioning from the solid phase to the gas phase through sublimation (Kumar et al., 2001; Sadıkoğlu & Özdemir, 2003). Since the drying process in this method takes place at low temperatures and under vacuum, colour changes, nutrient loss, and aroma degradation in the products are minimal compared to other drying methods. Additionally, the water-holding capacity of foods dried using this method is relatively high (Ratti, 2001). However, high energy consumption, long drying times, and high operating costs limit the use of freeze-drying (Marques et al., 2006).

Spray drying: Also known as the spray drying method, this drying method is used to dry foods in liquid, semi-liquid, or fine pulp form (Sagar & Kumar, 2020). The primary objective of the method is to remove excess water from the food by vaporising it in a high-temperature (150–200 °C) drying environment (İşleroğlu et al., 2018). The reason spray drying is widely preferred for drying heat-sensitive products is that the drying time is relatively short (3-10 seconds) (İşleroğlu et al., 2018). A spray drying device consists of five main parts: a heating unit, a spraying system, a drying unit, a cyclone separator that separates dust particles from the air, and a system that collects the final product. The method is highly advantageous in terms of protecting heat-sensitive compounds, producing homogeneous dust particles, easily controlling process parameters (temperature, spray pressure, flow rate, etc.), being adaptable to industry, and ensuring continuity (Sagar & Kumar, 2010; Cal & Sollohub, 2010; Özdemir et al., 2021). However, the system's large footprint, high energy consumption, high cost, and reports of colour, aroma, or biological activity losses in highly sensitive products due to temperature have been noted (Ratti, 2001; Fazaeli et al., 2008; Ozdemir et al., 2021).

Infrared drying: In infrared drying technology, foods are dried by exposing them to infrared rays with a wavelength of 0.5–100 µm (Aktaş et al., 2014). In this method, the size and thickness of the food material are among the important parameters affecting drying efficiency (Özkoç, 2010; Aktaş et al., 2013). The short drying time, high energy efficiency, homogeneous temperature, and minimal loss of nutritional value and quality of the food make this drying

technique particularly suitable for heat-sensitive products such as fruits and vegetables (Özkoç, 2010; Isik et al., 2019). Infrared drying is one of the most preferred methods among other drying techniques. The main reasons for its preference are its low cost and the fact that nutrient and quality loss is at the lowest level compared to other drying methods. Infrared drying also offers the advantages of a shorter drying time and uniform distribution of heat applied to the food (Özkoç, 2010). However, the inability of infrared rays to penetrate thick or dense products and their superficial effect, as well as the formation of a hard crust on the product surface if water evaporation is too rapid, are disadvantages of the system (Aboud et al., 2019; Anumudu et al., 2024).

Supercritical drying: Supercritical drying is a new technology that can remove water from food without damaging the porous structure of the product, using the solvent above its critical conditions. Supercritical drying can be used to develop a product with enzymatic and shelf life stability and phytochemical stability similar to its natural state (Moses et al., 2014).

In this drying method, the processing time is shorter due to the combination of pressure and temperature, and the operating cost is lower compared to freeze-drying and vacuum drying. The porous structure does not form in the dried products, and there is no volume change. It is suitable for drying heat-sensitive foods due to its ability to operate at low temperatures (Lopes et al., 2018). However, its use in the food industry is quite limited due to the high cost of equipment and the complexity of the process.

The Effects of Drying Methods on Natural Antioxidant Compounds

During the drying process, factors such as temperature, oxygen, and light to which fruits and vegetables are exposed can cause significant changes in antioxidant compounds. The matrix of the dried food, the drying method applied, and the process parameters directly affect the level of bioactive compound losses. It is important to preserve antioxidant compounds such as ascorbic acid (vitamin C), phenolic compounds, flavonoids, and carotenoids, which play an important role in combating oxidative stress, during the drying process.

In food processing techniques, exposure to heat, pH, and enzymatic agents can result in quality losses, particularly vitamin losses. In this context, ascorbic acid (vitamin C) is often used as a reference compound in evaluating product degradation, including drying processes (Santos & Silva, 2008). In most techniques used in drying processes, vitamin C losses are common, especially as a result of high-temperature applications. The main reason for this is that vitamin C is susceptible to heat and oxygen. The presence of high temperatures and oxygen during the drying process not only causes vitamin C loss but also triggers the oxidation of polyphenols, leading to a decrease in antioxidant capacity (Toor & Savage, 2006; Joshi et al., 2011).

Many studies have reported a decrease in the total phenolic compound content in foods after the drying process (Kovacı et al., 2018). The decrease in phenolic compound content can be attributed to factors such as the activation of oxidative enzymes like polyphenol oxidase and peroxidase during the drying process, the binding of phenolics to proteins, changes in chemical

structure, or insufficient extraction efficiency. When different drying techniques are applied to fruits such as apples, papayas, and blueberries, the total phenolic content increases up to 10 times in some cases. This increase is explained by the release of phenolic compounds bound to plant cell walls (Gümüşay et al., 2015).

Generally, exposure of fruits and vegetables to high temperatures during the drying process leads to losses and structural damage in bioactive compounds, resulting in a decrease in antioxidant activity. The leading causes of these reductions include losses and structural damage resulting from exposure of bioactive compounds to high temperatures (Nicoli et al., 1999). While different drying methods generally lead to a decrease in antioxidant capacity, it has been reported that freeze-dried products have higher antioxidant capacity (Gümüşay et al., 2015). This is explained by the fact that polyphenols that are partially exposed to air and have not undergone oxidation exhibit higher antioxidant activity (Dalla Nora et al., 2014).

Carotenoids are compounds that are sensitive to factors such as light, oxygen, and heat. It has been reported that carotenoids decrease in fruits and vegetables exposed to high temperatures and air during the drying process (Chang et al., 2016). The main reason for this is that carotenoids easily react with oxygen, which damages their structure. Additionally, it has been reported that drying methods involving high temperatures cause greater quality losses compared to other methods (Türkyılmaz et al., 2014).

Current Research and Findings

In recent years, various studies have been conducted to investigate the effects of traditional and innovative drying techniques on the bioavailability of antioxidant compounds found in fruits and vegetables. This section will discuss studies that examine the behaviour of these compounds during the digestive process using different drying methods.

Özkan et al. (2022) applied hot air, vacuum, ultrasound-assisted vacuum, and freeze-drying to black “Isabel” grapes and evaluated the in vitro bioavailability of phenolic compounds, antioxidant capacity, and minerals in a simulated stomach and intestinal environment using the applied methods. The researchers reported that freeze-drying was the method that best preserved phenolic compounds and that vacuum drying provided high bioavailability values for some phenolic compounds. Ultrasound-assisted vacuum drying, on the other hand, was reported to be the method that caused the most damage to the analysed compounds.

Yener et al. (2024) applied hot air, vacuum, ultrasound-assisted vacuum, and freeze-drying to plums (*Prunus domestica* L.) and investigated in vitro bioavailability in a stomach and intestinal environment to assess how much of the post-digestion phenolic content and antioxidant capacity became available for absorption. The highest total phenolic content, antioxidant activity, and stomach-intestine bioavailability were detected after freeze-drying. Phenolic concentration increased in the stomach environment compared to the intestine, and the lowest bioavailability was detected in ultrasonic-assisted vacuum drying.

Mejias et al. (2025) evaluated microstructural changes and the in vitro bioavailability of bioactive compounds after applying convective, vacuum, infrared, low-temperature vacuum,

and freeze-drying processes to red cabbage. The researchers evaluated bioavailability in simulated oral, gastric, and intestinal environments. They reported that infrared drying provided the highest bioavailability (31 mg GAE/g) compared to freeze-drying and low-temperature vacuum drying in terms of phenolic compounds (freeze-drying and low-temperature vacuum drying yielded approximately 15.7 and 21 mg GAE/g, respectively). When evaluated for anthocyanins, freeze-dried samples were found to have the highest bioavailability. Low-temperature vacuum drying was the most effective method in terms of glucosinolates.

Bas-Bellver et al. (2023) applied hot air and freeze-drying to carrot waste that they had ground into powder. Subsequently, they investigated the bioavailability of total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), antioxidant activity (DPPH, ABTS), and carotenoid components (α -, β -carotene, lutein, lycopene) in simulated oral, gastric, and intestinal environments. The researchers reported that hot air drying left more phenolic compounds in the carrot powder, but that these compounds did not exhibit high antioxidant activity after digestion. It was stated that the grinding method (chopping vs. grinding) and drying method affect the particle structure and the binding state of the compounds within the matrix, thereby altering their post-digestion release. Additionally, it was reported that freeze-drying is more advantageous in preserving lipophilic compounds such as carotenoids and their post-digestion release.

Grace et al. (2022) investigated the effect of drying technique and protein type on the complete simulated gastrointestinal bioavailability of carotenoids, chlorophyll, and phenolics in spray-dried and freeze-dried spinach particles. -spinach particles, reported that the bioavailability of most flavonoids measured between 40-90% in spray drying was measured below 20% in freeze drying. Additionally, it has been reported that whey protein isolate enhances the absorption of carotenoids.

Igual et al. (2023) conducted a bioavailability study using oral, gastric, and intestinal digestion models, reported that the bioavailability of minerals after drying varied between 43% and 65%, the largest release after digestion was attributed to quinic acid, the amount of betacyanin Betanin decreased significantly during digestion, and antioxidant activity decreased.

Garcia-Martinez et al. (2023) reported that the stability of carotenoids decreased after simulated gastrointestinal digestion (oral, gastric, intestinal) of freeze-dried orange pulp, and that the addition of gum arabic to polyphenols increased bioavailability.

Scrob et al. (2022) evaluated the phenolic content and antioxidant capacity of various commercial dried fruits (such as prunes, raisins, cranberries, and dates) after in vitro oral, gastric, and intestinal digestion. The highest post-digestive phenolic bioavailability was observed in plums, while dates and blueberries were reported to have the lowest bioavailability. An increase in antioxidant capacity after digestion was observed in many dried fruits, such as prunes, coconuts, bananas, and raisins.

CONCLUSION

Fruits and vegetables are rich sources of bioactive compounds with antioxidant properties that have positive effects on human health. However, the effects of these compounds on health are not only related to their content levels but also closely linked to their bioavailability, i.e., the

extent to which they are released and absorbed in the digestive system. At this point, the drying methods applied can significantly alter the levels of release during digestion by affecting the structural stability and position of bioactive compounds within the matrix.

References

- Aboud, Z., Anis, H., & Al-Tae, A. (2019). Study of drying characteristics of apple slices using infrared radiation. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 23(01), 24–35.
- Aktaş, M., İlbaşı, M., Yalçın, E., & Şahin, S. (2014). An experimental study on drying characteristics of tomato slices using infrared radiation. *Energy Conversion and Management*, 80, 233–242.
- Aktaş, M., Yurtseven, A., Turgut, C., & Yalçın, E. (2013). Kızılötesi ve Güneş Enerjisi Kullanılarak Nar Kabuğunun Kurutulması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(2).
- Alasalvar, C., Chang, S. K., Kris-Etherton, P. M., Sullivan, V. K., Petersen, K. S., Guasch-Ferré, M., & Jenkins, D. J. (2023). Dried fruits: bioactives, effects on gut microbiota, and possible health benefits—an update. *Nutrients*, 15(7), 1611.
- Alibaşı, İ. (2012). Farklı Yöntemlerle Kurutulmuş Domateslerde Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(4), 287–293.
- Alibaşı, İ., Şengül, H., Akbaş, K. ve Karagül, E. (2021). Doğal ve Yapay Koşullarda Kurutulmuş Eriklerde Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 21(3), 209-219.
- Anumudu, C. N., Aduba, C. I., Ezike, C. C., & Nwachukwu, I. D. (2024). Infrared Drying: A Review of Its Applications in Food Processing. *Journal of Food Science and Technology*, 61(1), 1–12.
- Bas-Bellver, V., Martorell, P., Ferrer, S., & Genovés, S. (2023). Influence of the drying method and particle size on the bioaccessibility of phenolics, flavonoids, and carotenoids from carrot by-product powders. *Food Chemistry*, 404, 134629.
- Boateng, I. D. (2023). Thermal and nonthermal assisted drying of fruits and vegetables. Underlying principles and role in physicochemical properties and product quality. *Food Engineering Reviews*, 15(1), 113-155.
- Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2016). Performance of drying technologies to ensure microbial safety of dried fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1056-1066.
- Cal, K., & Sollohub, K. (2010). Spray drying of pharmaceutical suspensions. *AAPS PharmSciTech*, 11(4), 1612–1619.

- Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., and Frígola, A. (2014). Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(2), 155–171.
- Chang, J. S., Hsu, H. H., & Yang, S. F. (2016). Effects of drying methods on the physicochemical properties, antioxidant activities, and carotenoid content of dried adlay (*Coix lacryma-jobi* L.). *Food Chemistry*, 205, 223–230.
- Çakmak, T., & Tavman, İ. (2011). Radyo frekanslı ısıtma ve gıda sektöründeki uygulamaları. *GIDA*, 36(3).
- Dalla Nora, F. M., da Silva, L. P., & da Silva, V. R. (2014). Influence of drying methods on phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro bioaccessibility of bioactive compounds from native Brazilian fruits: A review. *Food Research International*, 62, 111–122.
- Datta, A. K., & Davidson, P. (2000). Dielectric heating. In *Handbook of food engineering* (pp. 527–590). CRC press.
- Dima, C., Assadpour, E., Dima, S., & Jafari, S. M. (2020b). Bioavailability of nutraceuticals: Role of the food matrix, processing conditions, the gastrointestinal tract, and nanodelivery systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(3), 954–994.
- E. Fernández-García, I. Carvajal-Lérida, ve A. Pérez-Gálvez, “In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency”, *Nutr. Res.*, c. 29, 10.1016/j.nutres.2009.09.016.
- Etcheverry, P., Chaves, M., & García, V. (2012). Bioaccessibility of carotenoids from fruits and vegetables. In *Carotenoids: In Nutrition and Health* (pp. 209–228). Humana Press.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., & Ataii, D. (2008). Effect of spray drying on physicochemical properties of lime juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 86(3), 198–202.
- Galanakis, C. M. (2021). Bioavailability of bioactive compounds: Food processing, packaging, and storage impact. *Foods*, 10(12), 2977.
- Garcia-Martinez, M., Igual, M., Peiró, J., & Martínez-Navarrete, N. (2023). Effect of gum Arabic on the stability and bioaccessibility of carotenoids and polyphenols from freeze-dried orange pomace. *Food Chemistry*, 403, 134546.
- Grace, M. H., Ku, K. M., Yousef, G. G., & Prior, R. L. (2022). Influence of drying technique and protein type on the full simulated gastrointestinal bioaccessibility of carotenoids, chlorophylls, and phenolics from protein-spinach particles. *Food Chemistry*, 378, 132049.
- Grebenteuch, S., Schieber, A., & Stintzing, F. C. (2020). Bioaccessibility and bioavailability of carotenoids from tropical fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2697–2716.

- Gümüşay, Ö. A., Borazan, N., Eruslu, G., & Aktaş, M. (2015). Farklı kurutma yöntemlerinin elma (*Malus domestica* Borkh.) meyvesinin fenolik bileşikler ve antioksidan aktivitesi üzerine etkileri. *Gıda*, 40(2), 65–72.
- Gupta, M. K., Sehgal, V. K., & Arora, S. (2013). Optimization of drying process parameters for cauliflower drying. *Journal of Food Science and Technology*, 50(1), 62–69.
- Huang, H., Lai, X., Ma, Y., Liu, Z., & Zhang, Y. (2010). Advances in understanding the bioavailability of nutrients and bioactives from food matrices. *Food & Function*, 1(1), 22–32.
- Huang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Luo, Z., & Fang, Z. (2023). Dehydrated fruits and vegetables using low temperature drying technologies and their application in functional beverages: A review. *Drying Technology*, 41(6), 868–889.
- Hur, S. J., Lim, B. O., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2011). In vitro human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, 125(1), 1–12.
- Igual, M., García-Martínez, M., & Martínez-Navarrete, N. (2023). Bioaccessibility of minerals, betacyanins, and phenolic compounds from beetroot (*Beta vulgaris*) dried products: An in vitro study. *Food Chemistry*, 403, 134567.
- Isik, N., Ozkan, M., & Kilicli, M. (2019). Effects of infrared drying on physical, chemical, and antioxidant properties of cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) fruits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2185–2196.
- İşleroğlu, H., Kaymak Ertekin, F., & Alagöz, S. (2018). Meyve ve sebze sularının sprey kurutma teknolojisi ile toz haline getirilmesi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 18(2), 173–182.
- İzli, N., Yıldırım, D., & Salık, M. A. (2017). Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kivi Meyvesinin Renk, Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite Özellikleri Üzerine Etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 20(2), 260–267.
- Joshi, S. K., Singh, R., & Kumar, S. (2011). Effect of drying methods on quality characteristics of selected leafy vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 735–740.
- Kamiloglu, S., Capanoglu, E., & De La Rosa, L. A. (2014). Bioaccessibility and bioavailability of carotenoids, phenolics, and flavonoids from tomato products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(30), 7545–7553.
- Kara, S., Yağcı, A., & Cengiz, F. (2014). Mikotoksinler ve gıdalardaki önemi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2), 159–168.
- Korus, A. (2022). Effect of pre-treatment and drying methods on the content of minerals, B-group vitamins and tocopherols in kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala) leaves. *Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 279–287.
- Kovacı, Z., Demiray, E., Ertop, H., Yılmaz, D., & Apaydın, B. (2018). Farklı kurutma yöntemlerinin nar meyvesinin (*Punica granatum* L.) biyokimyasal özelliklerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(3), 406–413.

- Kumar, A., Prasad, S., & Ram, C. (2001). Freeze drying of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 38(3), 209–218.
- Liu, J., Liu, Y., Gao, Y., Lv, Y., Sun, Z., Xu, H., & Zhou, W. (2023). Recent advances in drying technologies for food preservation: A review. *Food Chemistry*, 410, 135384.
- Liu, Y., Zheng, T., Li, X., Wu, X., & Liu, Q. (2019). Drying characteristics and quality of solar-dried red chili peppers. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), e13063.
- Lopes, G., Aguiar, A. C., & Andrade, V. F. (2018). Supercritical drying: A review of recent applications in food industry. *Journal of Food Engineering*, 232, 1–11.
- Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Álvarez, J. A. P., and Fernández López, J. (2018). Changes in bioaccessibility, polyphenol profile and antioxidant potential of flours obtained from persimmon fruit (*Diospyros kaki*) co-products during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 256, 252–258.
- Marques, L. G., Prado, L. M., Freire, J. T., & Freire, J. T. (2006). Freeze-drying of fruits and vegetables: A review. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 23(3), 295–302.
- Maskan, M. (2000). Microwave drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 46(2), 115–123.
- McClements DJ., Peng S-F. Current status in our understveing of physicochemical basis of bioaccessibility. *Current Opinion in Food Science* 2020; 31:57–62. doi:10.1016/j.cofs.2019.11.005
- Megías-Pérez, R., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2014). Drying of fruits and vegetables: Changes in bioactive compounds and antioxidant activity. *Food Research International*, 62, 103–110.
- Mejias, L. F., Giraldo, A. L., & Zuluaga, C. M. (2025). Microstructure changes and in vitro bioaccessibility of bioactive compounds in red cabbage after different drying methods. *Food Chemistry*, 450, 139178.
- Minekus, M., Alminger, L., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, R., Bourlieu, C., ... & Gliguem, H. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food—An international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113–1124.
- Moses, C. E., Abascal, J. M., & Arancibia, P. (2014). Supercritical fluid technology for processing of food and food by-products. *Journal of Supercritical Fluids*, 91, 1–12.
- Nawirska Olszańska, A., Kwasek, M., Stępień, A., & Wojdyło, A. (2017). The effect of drying method on the antioxidant and carotenoid content of *Physalis peruviana* L. (goldenberry) fruit. *Food Chemistry*, 216, 28–33.
- Nicoli, M. C., Anese, M., & Parpinel, M. T. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 10(3), 94–100.

Özbay Doğu, S., & Sarıçoban, C. (2015). Farklı kurutma yöntemlerinin bazı meyvelerdeki kalite özelliklerine etkisi: Derleme. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 15(2), 79–89.

Özkoç, S. (2010). Kızılötesi ışıyla kurutmanın gıdalara uygulanması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 105–118.

Ozdemir, N., Toker, Ö. S., & Köse, S. (2021). Spray drying of fruit and vegetable juices: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 1–12.

Özkan, G., Yıldız, G., Yener, A. C., & Kılıçlı, M. (2022). Influence of different drying methods on phenolic compounds, antioxidant capacity, and mineral in vitro bioaccessibility of black ‘Isabel’ grapes. *Food Chemistry*, 381, 132274.

Palumbo, M., Attolico, G., Capozzi, V., Cozzolino, R., Corvino, A., de Chiara, M. L. V., ... & Cefola, M. (2022). Emerging postharvest technologies to enhance the shelf-life of fruit and vegetables: an overview. *Foods*, 11(23), 3925.

Parada, J., & Aguilera, J. M. (2007). Food microstructure and bioaccessibility. *Journal of Food Science*, 72(2), R21-R32.

Polatçı, S., Erdemir, Ş. & Kaymak-Ertekin, F. (2020). Gıdalarda Kurutma İşlemi: Yöntemler ve Kalite Üzerine Etkileri. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 20(2), 160-176.

Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(3), 193–201.

Reppas, C., Tsume, Y., & Amidon, G. L. (2014). Gastrointestinal absorption and pharmacokinetics. In *Pharmaceutical Sciences Encyclopedia*.

Sadıkoglu, H., & Özdemir, N. (2003). Dondurarak kurutma tekniği ve gıda sanayindeki uygulamaları. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 18(4), 11–18.

Sagar, V. R., & Kumar, S. (2010). Drying of fruits and vegetables: An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15–26.

Saldamlı, A., & Saldamlı, C. (2004). *Gıda Kurutma Teknolojileri*. Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları.

Sandström, B. (2001). Micronutrient interactions: Effects on absorption and bioavailability. *British Journal of Nutrition*, 85(Suppl 2), S181–S185.

Santos, N., & Silva, C. L. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in orange juice during storage. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 487–492.

Santos, N., & Silva, C. L. (2009). Drying of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Engineering*, 93(1), 2–11.

Santos, N., Silva, L. J., Silva, J. A., & Silva, C. L. (2019). Bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds in food: From food matrix to physiological effects. *Current Opinion in Food Science*, 28, 80–87.

- Schiffmann, R. F. (1986). Microwave and dielectric drying. In *Drying Technology* (pp. 527–554). Marcel Dekker.
- Scrob, A. R., Stan, M., Balan, M., & Salagean, C. D. (2022). Evaluation of phenolic compounds and antioxidant capacity in commercial dried fruits after in vitro oral, gastric, and intestinal digestion. *Food Chemistry: X*, 15, 100424.
- Shani-Levi, C., Alvito, P., Andrés, A., Assunção, R., Barberá, R., Blanquet Diot, S., . . . Deglaire, A. (2017). Extending in vitro digestion models to specific human populations: Perspectives, practical tools and bio-relevant information. *Trends in Food Science & Technology*, 60, 52-63.
- Srinivasa Reddy, S. (2020). Solar drying of agricultural produce: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125, 109819.
- Stahl W., van den Berg H., Arthur J., Bast A., Dainty J., Faulks RM. Bioavailability and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine* 2002; 23(1–3):39–100. doi:10.1016/s0098-2997(02)00016-x.
- Toğrul, H. (2006). Kurutma yöntemlerinin gıda kalitesi üzerine etkileri. *Gıda Dergisi*, 31(3), 169–175.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2006). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected fresh and dried fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(3), 253–258.
- Tucker, E. (2008). Radio frequency drying of lumber. *Forest Products Journal*, 58(10), 18–24.
- Turan, M., & İslam, A. (2019). Kurutma yöntemlerinin gıdalarda kalite özelliklerine etkileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 12(1), 24–30.
- Türkyılmaz, M., Özkan, M., Ersoy, N., & Yıldız, D. (2014). Effects of different drying methods on physical and chemical properties of selected fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(2), 903–912.
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, E., & Rodríguez, K. (2012). Drying of fruits and vegetables: Technologies, changes and applications. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 189–204.
- Verghese, J. S., Bains, S., Singh, S., & Singh, B. (2021). Bioavailability and bioaccessibility of plant-based bioactive compounds: A review. *Food Research International*, 142, 110214.
- Waswaa, R., Wafula, E. N., & Owuor, P. O. (2021). Drying methods and their effects on quality of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 1–12.
- Yazar, B., & İçier, F. (2013). Radio frequency heating: An alternative approach in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(10), 1056–1077.
- Yener, A. C., Isik, N., Ozkan, G., & Kilicli, M. (2024). Impact of different drying techniques on phenolic compounds, antioxidant capacity, and in vitro gastrointestinal bioaccessibility of plums (*Prunus domestica* L.). *Food Chemistry*, 442, 138676.

Zhao, Y., Flugstad, B., Kolbe, E., Park, J. W., & Wells, J. (2000). Dielectric properties of Pacific Whiting (*Merluccius productus*) muscle during ohmic heating. *Journal of Food Science*, 65(3), 444–444.

CONFORMATIONAL AND QUANTUM CHEMICAL ANALYSIS OF THE ANTIHYPERTENSIVE DIPEPTIDE ILE-TYR

PhD student Sara Rahimzade

Baku State University, sara.rehimzade@gmail.com - ORCID 0009-0000-3397-1899

Ass. Prof. Gulnara Akverdieva

Baku State University, hagverdigulnara@gmail.com - ORCID 0000-0003-1851-2234

ABSTRACT

This paper interprets the conformational and electronic properties of the biologically active dipeptide Isoleucine-Tyrosine (Ile-Tyr). It has antihypertensive and high antioxidant characteristics. These effects are related to the inhibition of the angiotensin-converting enzyme (ACE), which is crucial in the regulation of blood pressure. The relationships between the conformational and electronic characteristics of the molecule are crucial in understanding its reactivity, molecular interactions and, ultimately, biological activity. The initial coordinates of the Ile-Tyr molecule were determined using the molecular mechanics method, and it was determined that this dipeptide may be in two stable spatial states corresponding to the extended and folded conformations. The stability, reactivity, and potential bioactive centers of the molecule were revealed by semi-empirical PM3 method using the HyperChem software. As a result of energy optimization, the HOMO and LUMO energies, charge distribution, dipole moment, the energy and length of the hydrogen bonds were determined for the investigated conformations. The calculated values of the HOMO-LUMO energy gaps indicate that the molecule is stable in both structures. The significant differences occur in the electron density distribution of the molecule depending on the conformation. It was found that the folding of the peptide chain has a significant effect on the charge distribution on the atoms located in the N-terminal part of the molecule, aliphatic side chain of the Ile residue, and aromatic side chain of the Tyr residue. The results obtained can be used in the investigation of the structure-function relationships of Ile-Tyr dipeptide and for the design of new peptide-based antihypertensive drugs.

Keywords: spatial structure; electronic parameters; molecular mechanics; quantum-chemical calculations; Ile-Tyr dipeptide; biomedical applications

1. Introduction

Conformational-electronic properties refer to how the shape or conformation of a molecule influences its electronic structure and, consequently, its behavior in chemical and physical processes. Peptides are essential biological molecules that regulate a wide range of physiological processes (acting as hormones, neurotransmitters, and growth factors), and their unique mechanisms of action make them favorable methods in medicine, especially in areas where traditional small molecule drugs are less effective [1]. The peptides with biomedical

applications are widely used in pharmaceuticals and nutraceuticals. Among them, dipeptides and tripeptides are particularly attractive due to their structural simplicity. Peptides mostly bind to specific cellular receptors, mimicking natural ligands in the body. Encapsulation of peptides in liposoincreaseolymers increases their digestion-related limitations in their use [2]. Nutraceutical peptides have shown good cost-effectiveness, while medically valuable peptides are still limited by higher production costs [3]. Researchers are progressively focusing on structure-activity relationships and improving stability and delivery methods.

Research on amino acids, peptides, and protein hydrolysates with potential health benefits has increased because of the rising demand for nutraceuticals and functional foods. Dipeptides have been investigated for their taste as well as their physiological effects; it has been discovered that a number of synthetic dipeptides taste bitter. Another area of interest is the antihypertensive effects of certain dipeptides (such as Ile-Tyr) that act by inhibiting angiotensin-converting enzyme (ACE). As a result, such bioactive peptides, obtained from sources such as fish (sardines, tuna, and acorns), seaweed, and mushrooms, have led to the approval of some food products in Japan as functional foods for specific health purposes [3, 4].

A widespread cardiovascular condition, hypertension can seriously harm important organs like the heart, brain, and kidneys if it is not treated [5-6]. Angiotensin-converting enzyme (ACE) plays a crucial role in increasing blood pressure by converting angiotensin I to angiotensin II, and inhibition of ACE activity is a useful way for reduction blood pressure [7-8]. As reported in studies [9-14], natural ACE inhibitor peptides obtained from food sources such as marine species, marine species, livestock, eggs, and grains have potent activity and fewer side effects.

In this paper, the structural characteristics, electronic properties, energy profiles, and various molecular parameters of the Ile-Tyr dipeptide were studied by molecular modeling techniques, employing molecular mechanics and PM3 (Parametric Method 3) -level quantum mechanical calculations. Ile-Tyr dipeptide - the object of research derived from sardine [15].

2. Calculation methods

In modern pharmaceutical research, quantum chemical techniques play an important role in estimating the energy states, orbitals, chemical bonds, and other quantum characteristics of molecular systems. Such techniques are essential for accurately predicting the behavior of molecular systems. Some of the theories and techniques used in quantum chemical computations, include ab-initio calculations, semiempirical calculations, density functional theory, molecular mechanics, molecular dynamics, and etc., which are used to study the electronic structure, energetics, and dynamics of molecular systems [16].

The conformational profiles of the Ile-Tyr dipeptide were studied by molecular mechanics method, while the quantum-chemical properties were studied by semiempirical PM3 method.

Molecular mechanics (MM) is a computational method based on the concepts of classical physics and used to investigate the structure, and energies of molecules. Conformational analysis is applied to study the stability of molecules in different rotational states. This approach does not consider electronic structure unlike quantum chemical

techniques. It describes interactions between atoms with simple mathematical potentials (force fields). The energetic characteristics of molecules can be expressed in terms of parameters such as torsional interaction, Van der Waals interactions, electrostatic interactions, and hydrogen bond energies. The energy values calculated using the molecular mechanics method mainly reflect the energy levels corresponding to different conformations of molecules. As a result, the energy differences calculated for different molecular conformations must be consistent with each other. The energy of a molecule is given by following formula [17]:

$$E = E_{\text{non-valence}} + E_{\text{hydrogen bond}} + E_{\text{torsion}} + E_{\text{electrostatic}}$$

The parameters used in the modeling of molecular systems are determined by various force fields depending on the type of molecule. These force fields are designed to mathematically describe the potential energy profile of the system. Standard force fields such as AMBER, CHARMM, GROMOS, MMFF, etc. are most often used in molecular modelling studies. This method, which is especially applied in the conformational analysis of molecules, allows for faster calculations and the analysis of very large molecular systems compared to other computational methods. The most important advantage of molecular mechanics methods is that these methods create extensive opportunities for effective modeling of protein molecules, nucleic acids and other macromolecules [18].

The study of the spatial structure of the molecule was carried out using the conformational analysis program [19, 20] based on the principle of the matrix method of Hermans and Ferron [21]. The received nomenclature and conventions are recommended by IUPAC-IUB [22].

Semi-empirical methods are approaches that use empirical (experimental) parameters to increase the speed and computational efficiency of quantum chemical calculations. These types of approaches are based the Hartree-Fock formalism, but some integral calculations are simplified, and some complex calculations are substituted by estimated parameters. Such methods use a synthesis of experimental results with theoretical models to determine the electronic structure of molecules. Examples of semi-empirical methods are AM1, PM3, SAM1, INDO, MNDO, CNDO, MINDO, ZINDO, etc. methods [23-24].

PM3 (Parametrized Model 3) is a semi-empirical quantum chemical calculation method that is applied to determine the electronic structure, energetic properties, and molecular geometry of molecules. PM3 was proposed by Dewar and co-workers in 1989 and is an improved version of the AM1 method [25]. The basis for this method is the NDDO – Neglect of Diatomic Differential Overlap approximation. The PM3 method is similar to the AM1 method in terms of its mathematical equations, but this method uses a more advanced set of parameters and is also more widely used for organic molecules. Although the AM1 method gives more precise results in terms of calculating hydrogen bond energies, for bond angles, the PM3 method gives more precise results. It also has higher accuracy than the AM1 or MNDO (Modified Neglect of Diatomic Overlap) methods in calculating total energy and bond lengths. The PM3 method plays an important role among semi-empirical approximations in terms of both the efficiency of calculations and the accuracy of results. This method has a wide range of applications for various quantum chemical analyses such as structural analyses, reactivity tendencies, and electron density distributions. The use of the PM3 method is particularly appropriate in studying the electronic properties of bioactive molecules and peptides [18, 26-27].

27].

It has been calculated electronic parameters and reactivity descriptors (such as HOMO and LUMO energies, energy gap, electron affinity, ionization potential, global hardness, softness, electronegativity, chemical potential, electrophilicity index) of Ile-Tyr dipeptide (in the zwitterionic form) via PM3 method in the HyperChem 8.03 software package (<http://www.hyper.com>).

3. Results and discussion

The analysis of the conformational profiles Ile-Tyr dipeptide by molecular mechanics reveals the possibility extended and folded conformations in space for this molecule.

Ramachandran maps are extensively used to characterize the conformations of proteins. These maps identify the possible and energetically favorable regions of the conformations observed in proteins [28]. The conformations of amino acids are characterized by the dihedral angles of the main (ϕ , ψ) and side chains (χ_1 , χ_2 , ...). According to Ramachandran maps, the main chains of amino acid residues constituting the molecule can be in the forms R($\phi, \psi = -180^\circ - 0^\circ$), B($\phi = -180^\circ - 0^\circ$, $\psi = 0^\circ - 180^\circ$), L($\phi, \psi = 0^\circ - 180^\circ$). For the extended conformations of the main chain of Ile-Tyr dipeptide, the forms BB, LR, LB, RL, LR were considered, and for the folded conformations, the forms RR, BL, LL were considered. The χ angles of amino acid residues were given values corresponding to the stable states of their side chains. The computational model of Ile-Tyr dipeptide is presented in Figure 1.

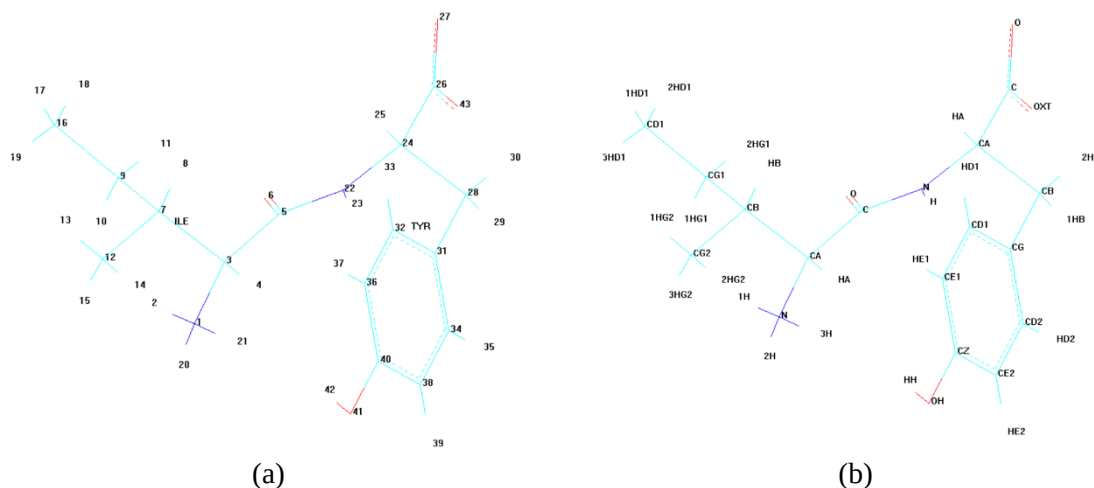


Fig. 1. Computational model of molecule atoms with numbering (a) and chemical labelling (b)

As a result of calculations, it was determined that the most stable conformation is the BL (Erel=0.0 kcal/mol) form of the folded structure, and the LR form (Erel=1.65 kcal/mol) in the extended structure. The non-valence, electrostatic and torsional energies of these structures were calculated: for the folded structure, the values of the energies are -7.33 kcal/mol, -0.24 kcal/mol, 2.03 kcal/mol, and for the extended structure, -5.05 kcal/mol, 0.10 kcal/mol, 1.06 kcal/mol, respectively. The optimal conformations of the main chain in both forms are shown in Figure 2. Table 1 gives the dihedral angles of these structures.

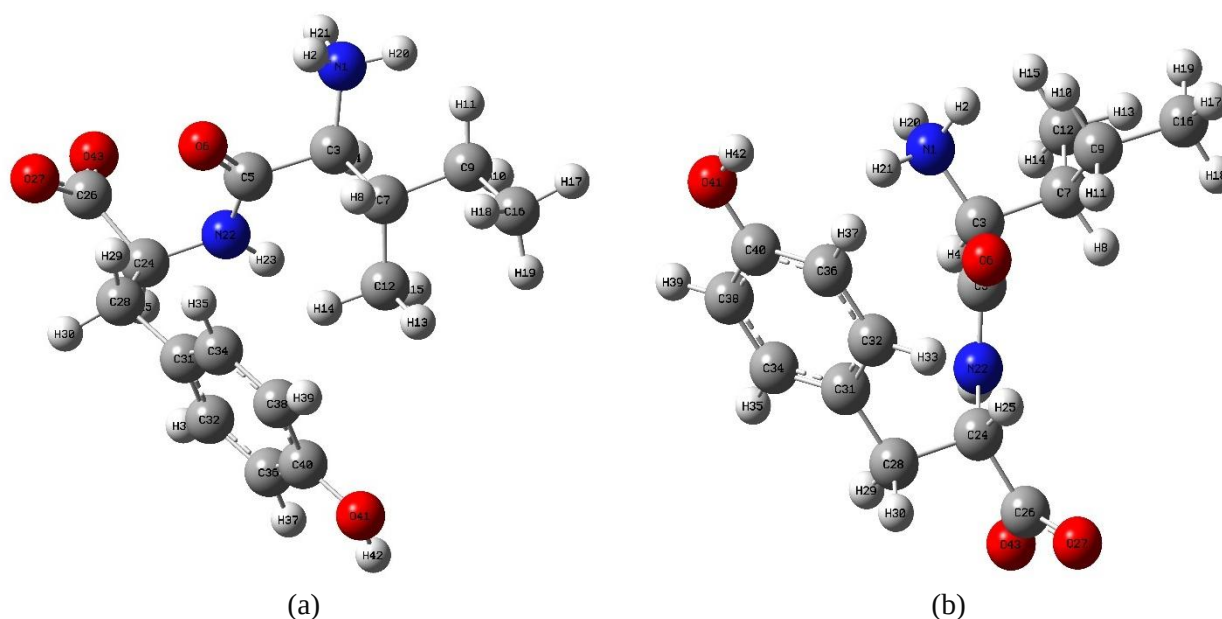


Fig. 2. Optimal folded (a) and extended (b) structures of the Ile-Tyr dipeptide

In the optimal folded structure of the molecule, it was determined that there are hydrogen bonds between the hydrogen atoms of the amino group of the dipeptide and the oxygen atom of the carbonyl group in the main chain of isoleucine ($E_h = -0.1$ kcal/mol, bond length = 2.92 Å and $E_h = -0.69$ kcal/mol, bond length = 2.24 Å), and in the extended structure the hydrogen atom of the amino group of the molecule and the oxygen atom of the carbonyl group in the main chain of isoleucine ($E_h = -0.80$ kcal/mol, bond length = 2.18 Å), there are also hydrogen bonds between the hydrogen atom of the amide group of the main chain of tyrosine and the oxygen atoms of the C-terminal carboxyl group of the molecule ($E_h = -0.37$ kcal/mol, bond length = 2.47 Å). The dihedral angles of these structures are shown in Table 1.

Table 1. Geometric parameters (degrees) of the optimal structures of Ile-Tyr dipeptide

Torsion angles	Folded structure	Extended structure
H2-N1-C3-C5 (φ of Ile)	-194	84
N1-C3-C7-C12 (χ_1 of Ile)	188	-59
C3-C7-C12-H13 (χ_2 of Ile)	183	184
C3-C7-C9-C16 (χ_3 of Ile)	174	178
C7-C9-C16-H17 (χ_4 of Ile)	190	191
N1-C3-C5-N22 (ψ of Ile)	149	139
C3-C5-N22-C24 (ω of Tyr)	183	181
C5-N22-C24-C26 (φ of Tyr)	56	-143
N22-C24-C28-C31 (χ_1 of Tyr)	-47.3	-59
C24-C28-C31-C34 (χ_2 of Tyr)	125	89
C28-C31-C34-C38 (χ_3 of Tyr)	180	180

N22-C24-C26-O43 (ψ of Tyr)	60	-51

Each molecular conformation features a unique electron density distribution and electronic parameters. Therefore, the analysis of the electronic structure of molecule is important in terms of studying its bioactivity and reactivity. The conformations differs not only geometrically, but also in their electronic properties.

So that, for optimal conformations of the Ile-Tyr molecule a number of electronic parameters have been calculated, such as HOMO and LUMO energies, energy gap, electric dipole moment, electron affinity, ionization potential, global hardness, softness, electronegativity, chemical potential, electrophilicity index and partial charges of atoms. The calculations were performed using the PM3 semi-empirical method and the results are presented in Tables 2 and 3. This analysis allows us to compare how the electron distribution and reactivity change between conformations.

Table 2. Electronic parameters and reactivity descriptors of the optimal folded and extended structures of Ile-Tyr dipeptide

Parameters	Folded structure	Extended structure
Total energy (kcal/mol)	-83322.278	-83327.809
Binding energy (kcal/mol)	-4254.135	-4259.666
Isolated atomic energy (kcal/mol)	-79068.144	-79068.144
Electronic energy (kcal/mol)	-642447.804	-629790.485
Core-Core interaction energy (kcal/mol)	559125.525	546462.675
Heat of formation (kcal/mol)	-80.305	-85.836
Dipole moment (D)	21.484	24.291
E_{HOMO} (eV)	-7.107	-7.305
E_{LUMO} (eV)	-1.661	-1.946
Energy gap, ΔE (eV)	5.446	5.359
Electron affinity $A=[-E_{\text{LUMO}}]$ (eV)	1.661	1.950
Ionization potential $I=[-E_{\text{HOMO}}]$ (eV)	7.107	7.305
Global hardness $\eta=(I-A)/2$ (eV)	2.723	2.679
Softness $S=1/2\eta$ (1/eV)	0.184	0.187
Electronegativity $\chi=(I+A)/2$	4.384	4.625
Chemical potential $\mu=-(I+A)/2$	-4.384	-4.625
Electrophilicity index $\omega=\mu^2/2\eta$	3.530	3.990

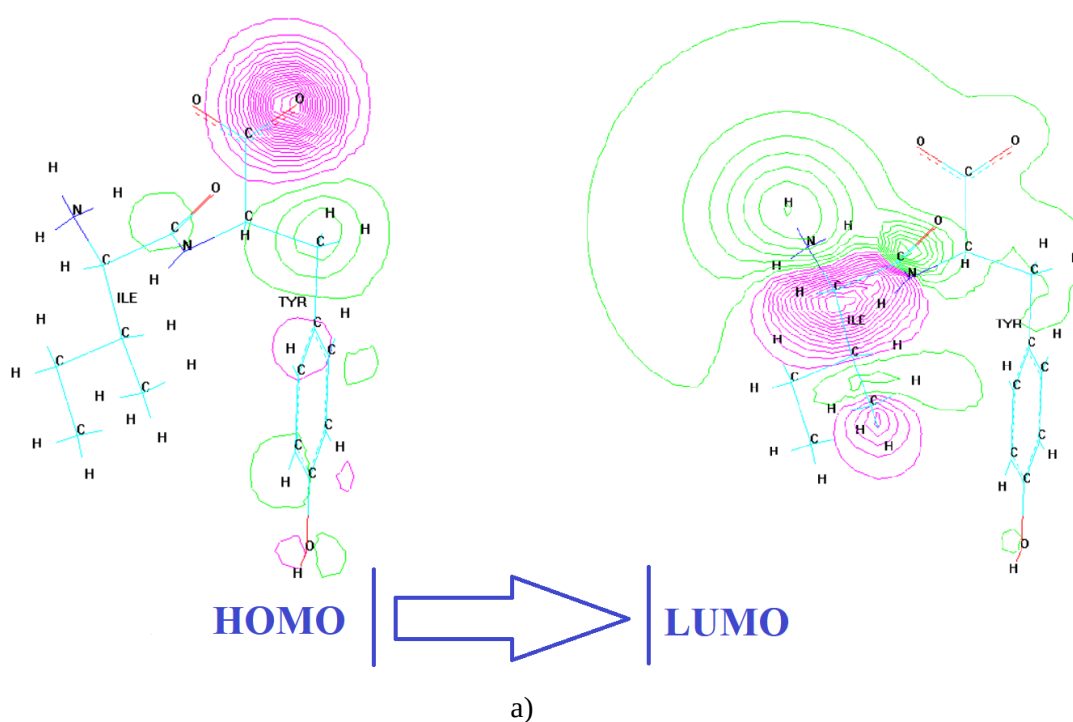
For structures of dipeptide, the total energy, binding energy and the heat of formation are differed by 5.53 kcal/mol. The electronic energy and the internuclear interaction energy differ sharply. (Table 2).

The electronic structure of molecules is strongly associated with their reactivity and stability. In particular, the highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) energy levels are fundamental for characterizing the electronic properties of molecules and quantities such as electron affinity, ionization potential, global hardness, softness, electronegativity, chemical potential, electrophilicity index. The energies of

the HOMO and LUMO orbitals are not only extensively used to investigate molecular orbital structures, but also for predicting various chemical and biological features. Consequently, the chemical reactivity indicators obtained from these energies applying widely in molecular design, drug synthesis, and materials science [28-30].

The energy contours of molecular orbitals were obtained via PM3 method. Figure 3 illustrates the HOMO and LUMO energy contours for the optimal structures of Ile-Tyr dipeptide, respectively. From the figure, it is apparent that HOMO contours are localized on the atoms of C-terminal carboxyl group, C atom of carbonyl group, side chain of Tyr residue. but the LUMO contours are observed on all functional groups of the dipeptide except α -chains of Ile residue and benzene ring of Tyr residue. In the extended structure HOMO contours are confined only on the atoms of C-terminal carboxyl group of the molecule, but the LUMO contours are localized on the atoms of amino, amide, and carbonyl groups.

The computed values of the HOMO-LUMO energy gaps for folded and extended structures are 5.446 and 5.36 eV, respectively (Table 2). The results show that the HOMO-LUMO difference between the two conformations is large, indicating that the molecule has high electronic stability. The electrophilic index is slightly higher in the extended conformation, which is due to its greater reactivity.



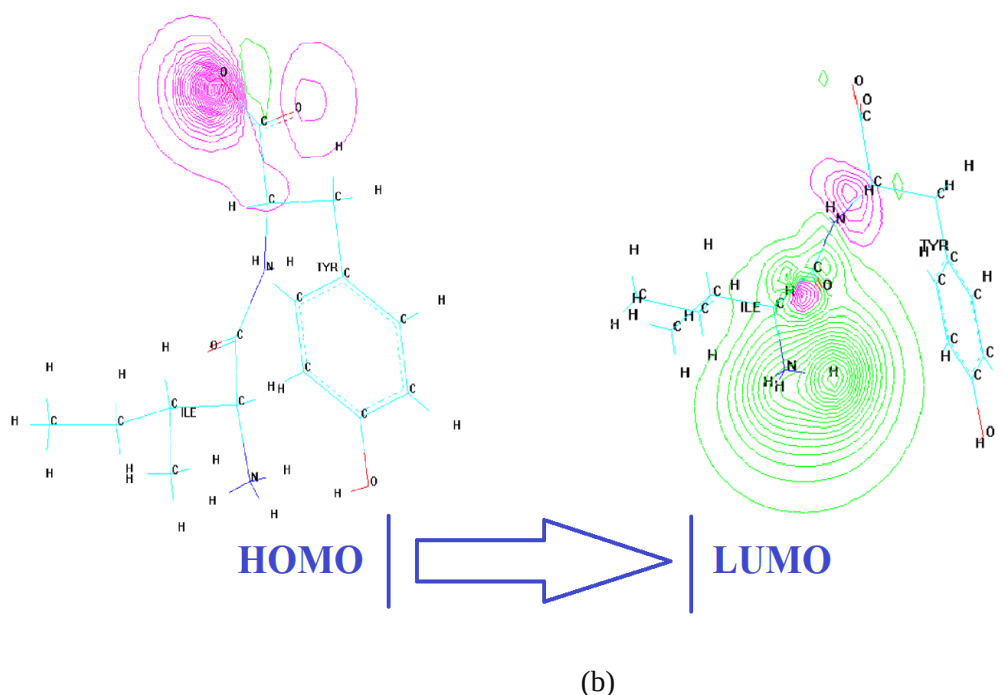


Fig. 3. The frontier molecular orbitals of the optimal folded (a) and extended (b) structures of Ile-Tyr dipeptide

The asymmetric distribution of electrons in chemical bonds results in partial charges in the molecule. Table 3 presents the values of atomic charges calculated for both optimized conformations of the Ile-Tyr dipeptide based on the PM3 semiempirical method. According to the data presented in Table 3, N atom of the α -amino group of the molecule and the C atom of the carbonyl group, N atom of amide group, C atom of the carboxyl group, CZ3 atom of the benzene ring of Trp residue carry a significant positive charge. CA atom of the main chain of dipeptide, O atoms of the carbonyl and carboxyl groups, and CE1, OH atoms of the side chain of Tyr residue carry a significant negative charge. When comparing the charge distributions in the optimal extended and folded conformations of the Ile-Tyr dipeptide, it was found that the folding of the peptide chain brings the oppositely charged atomic groups closer together in space. This proximity has a significant effect on the charge distribution in the atoms located in the N-terminal part of the molecule, aliphatic chain of the Ile residue and benzene ring of the Tyr residue. In particular, sharp differences are observed between the calculated charges for the O (Ile) atom, the 2HG1 (Ile) atom, and the CD1 (Tyr) atom. These changes indicate that significant differences occur in the electron density distribution of the molecule depending on the conformation. Consequently, such charge differences can have a significant impact on the dipole moment (decreasing 2.807 Debye) of the molecule.

Table 3. Partial atomic charges (e) for the optimized folded and extended conformations of Ile-Tyr dipeptide

No of atoms	Atoms	Folded structure	Extended structure
1	N (NH ₃ ⁺)	0.832174	0.836806
2	1H (NH ₃ ⁺)	0.043358	0.042276
3	CA Ile	-0.32982	-0.31908
4	HA Ile	0.124738	0.125248
5	C Ile	0.169605	0.149059
6	O Ile	-0.37835	-0.44248
7	CB Ile	-0.09713	-0.09806
8	HB Ile	0.104571	0.12643
9	CG1 Ile	-0.12206	-0.13655
10	1HG1 Ile	0.067855	0.029875
11	2HG1 Ile	0.023516	0.12089
12	CG2 Ile	-0.15216	-0.13693
13	1HG2 Ile	0.079761	0.089788
14	2HG2 Ile	0.092328	0.054912
15	3HG2 Ile	0.048464	0.018627
16	CD1 Ile	-0.10983	-0.10849
17	1HD1 Ile	0.051909	0.059712
18	2HD1 Ile	0.053496	0.060081
19	3HD1 Ile	0.063062	0.038464
20	2H (NH ₃ ⁺)	0.018999	0.005097
21	3H (NH ₃ ⁺)	0.023771	0.033273
22	N Tyr	0.166561	0.197823
23	H Tyr	0.066205	0.093191
24	CA Tyr	-0.16179	-0.19462
25	HA Tyr	0.075678	0.109039
26	C (COO ⁻)	0.410887	0.408527
27	O (COO ⁻)	-0.56447	-0.56287
28	CB Tyr	-0.06441	-0.04479
29	1HB Tyr	0.113152	0.074146
30	2HB Tyr	0.089916	0.09299
31	CG Tyr	-0.12088	-0.1378
32	CD1 Tyr	-0.0746	-0.01731
33	HD1 Tyr	0.114648	0.130744
34	CD2 Tyr	-0.07069	-0.08077
35	HD2 Tyr	0.118471	0.110931
36	CE1 Tyr	-0.21058	-0.21149
37	HE1 Tyr	0.108531	0.110608
38	CE2 Tyr	-0.15596	-0.17373
39	HE2 Tyr	0.114625	0.114103

40	CZ Tyr	0.093202	0.083522
41	OH Tyr	-0.24205	-0.24663
42	HH Tyr	0.204494	0.204602
43	OXT (COO ⁻)	-0.6192	-0.60918

* Note: the atomic numbers and chemical symbols are given according to Fig. 1.

4. Conclusion

Molecular modeling of the Ile-Tyr dipeptide, which has antihypertensive and high antioxidant effects, was carried out. As a result of applying molecular mechanics method, it was determined that the dipeptide has two stable conformations corresponding to the extended and folded conformations in space. The PM3 semi-empirical method was applied to investigate the electronic structure of the stable conformations. The geometric and energy parameters, HOMO and LUMO energies, dipol moment, atomic charges, chemical reactivity were determined for both states of this molecule. Calculations showed that each conformation has a specific electron density distribution, which is reflected in the effective charges of the atoms of the functional groups of this molecule. Ile-Tyr dipeptide suggests great potential in both therapeutic and nutritional applications.

References

1. Edwards, C. M. B. (1999). Peptides as drugs. *QJM: An International Journal of Medicine*, 92(1), 1–4. <https://doi.org/10.1093/qjmed/92.1.1>
2. Santos, S., Torcato, I., & Castanho, M. A. R. B. (2012). Biomedical applications of dipeptides and tripeptides. *Biopolymers*, 98(4), 288–293. <https://doi.org/10.1002/bip.22067>
3. Mine, Y., Li-Chan, E., & Jiang, B. (2010). *Bioactive proteins and peptides as functional foods and nutraceuticals*. IFT Press, Wiley-Blackwell.
4. Kastin, A. J. (2006). *Handbook of biologically active peptides*. Academic Press.
5. Hirsch, J. S., & Hong, S. (2019). The demystification of secondary hypertension: Diagnostic strategies and treatment algorithms. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, 21(12), 90. <https://doi.org/10.1007/s11936-019-0790-8>
6. Du, L., Fang, M., Wu, H., Xie, J., Wu, Y., Li, P., Zhang, D., Huang, Z., Xia, Y., Zhou, L. I., & Wei, D. (2013). A novel angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from *Phascolosoma esculenta* water-soluble protein hydrolysate. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.12.003>
7. Lee, S. H., Qian, Z. J., & Kim, S. K. (2010). A novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from tuna frame protein hydrolysate and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Food Chemistry*, 118(1), 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.086>
8. Wang, Y., Russo, D. P., Liu, C., Zhou, Q., & Zhang, Y. (2020). Predictive modeling of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides using various machine learning approaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(43), 12132–12140. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04624>
9. Lahogue, V., Rehel, K., Taupin, L., Haras, D., & Allaupe, P. (2010). A HPLC-UV method for the determination of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity. *Food Chemistry*, 118(3), 870–875.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.080>
10. Pujiastuti, D. Y., Amin, M. N. G., Alamsjah, M. A., & Hsu, J. L. (2019). Marine organisms as potential sources of bioactive peptides that inhibit the activity of angiotensin I-converting enzyme: A review. *Molecules*, 24(14), 2541. <https://doi.org/10.3390/molecules24142541>
 11. Sun, S., Xu, X., Sun, X., Zhang, X., Chen, X., & Xu, N. (2019). Preparation and identification of ACE inhibitory peptides from the marine macroalga *Ulva intestinalis*. *Marine Drugs*, 17(3), 179. <https://doi.org/10.3390/md17030179>
 12. Zhou, C., Ma, H., Yu, X., Liu, B., Yagoub, E. G. A., & Pan, Z. (2013). Pretreatment of defatted wheat germ proteins using ultrasonic horn and bath reactors: Effect on structure and preparation of ACE-inhibitory peptides. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(6), 1390–1400. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.04.005>
 13. Grootaert, C., Matthijs, B., Voorspoels, S., Possemiers, S., Smagghe, G., & Van Camp, J. (2017). Egg-derived bioactive peptides with ACE-inhibitory properties: A literature update. *Food & Function*, 8, 3847–3855. <https://doi.org/10.1039/C7FO00839B>
 14. Song, C., Qiao, B., Zhang, Q., Wang, C., Fu, Y., & Zhu, B. (2021). Study on the domain selective inhibition of angiotensin-converting enzyme (ACE) by food-derived tyrosine-containing dipeptides. *Journal of Food Biochemistry*, 45(7), e13779. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13779>
 15. Kitts, D., & Weiler, K. (2003). Bioactive proteins and peptides from food sources: Applications of bioprocesses used in isolation and recovery. *Current Pharmaceutical Design*, 9(16), 1309–1323. <https://doi.org/10.2174/1381612033454883>
 16. Stewart, J. J. P. (1989). Optimization of parameters for semiempirical methods I. Method. *Journal of Computational Chemistry*, 10(2), 209–220. <https://doi.org/10.1002/jcc.540100208>
 17. Panda, J. J., & Chauhan, V. S. (2014). Short peptide-based self-assembled nanostructures: Implications in drug delivery and tissue engineering. *Polymer Chemistry*, 5(15), 4431–4449. <https://doi.org/10.1039/c4py00173g>
 18. Young, D. (2004). *Computational chemistry: A practical guide for applying techniques to real-world problems*. Wiley.
 19. Akverdieva, G. A., & Godjayevev, N. M. (2017). Improvement of program of calculation of molecular conformation. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 2, 140–145.
 20. Godjayevev, N. M., Maksumov, I. S., & Ismailova, L. I. (1983). Program of semiempirical calculations of conformations of molecular complexes. *Journal of Structural Chemistry*, 4, 147–148.
 21. Hermans, J., & Ferro, D. (1971). Representation of a protein molecule as a tree and application to modular computer programs which calculate and modify atomic coordinates. *Biopolymers*, 10, 1121–1129.
 22. IUPAC-IUB. (1993). *Quantities, units and symbols in physical chemistry*. Blackwell Scientific.
 23. Bredow, T., & Jug, K. (2004). Theory and range of modern semiempirical molecular orbital methods. *Theoretical Chemistry Accounts*, 113(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00214-004-0610-3>
 24. Thiel, W. (2013). Semiempirical quantum-chemical methods. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science*, 4(2), 145–157. <https://doi.org/10.1002/wcms.1161>
 25. Jurema, M. W., & Shields, G. C. (1993). Ability of the PM3 quantum-mechanical method to model intermolecular hydrogen bonding between neutral molecules. *Journal of Computational Chemistry*, 14(1), 89–104. <https://doi.org/10.1002/jcc.540140113>
 26. Rahimzade, S. G., & Akverdieva, G. A. (2025). Quantum chemical calculations of Ile-

- Trp ACE inhibitor. *Baku State University Journal of Physics & Space Sciences*, 2(1), 42–54.
27. Becker, O. M., MacKerell, A. D. Jr., Roux, B., & Watanabe, M. (2001). *Computational biochemistry and biophysics*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203903827>
 28. Ramachandran, K. I., Deepa, G., & Namboori, K. (2008). *Computational chemistry and molecular modeling: Principles and applications*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77304-7>
 29. Parthasarathi, R., Subramanian, V., Roy, D. R., & Chattaraj, P. K. (2004). Electrophilicity index as a possible descriptor of biological activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 12(21), 5533–5543. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2004.08.013>
 30. Senet, P. (1997). Chemical hardnesses of atoms and molecules from frontier orbitals. *Chemical Physics Letters*, 275(5–6), 527–532. [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(97\)00799-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(97)00799-9)

KOBALT BORÜR PARÇACIKLARI İLE SODYUM BOR HİDRÜRÜN DEHİDROJENASYONU

Şevval KARAÇUKA

Amasya Üniversitesi,
sevval.karacuka@icloud.com - 0009-0002-4482-8734

Doç. Dr., LEVENT SEMİZ

Amasya Üniversitesi,
levent.semiz@amasya.edu.tr - 0000-0002-3218-4663

ÖZET

Fosil yakıtlar hem çevreye verdiği geri döndürülemez zararları hem de sınırlı bir kaynağa sahip olmaları nedeniyle sürdürülebilirliği olmayan enerji kaynakları olarak sınıflandırılır. Bunların yerine sürdürülebilir ve çevreci enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Bu konuda akla gelen en iyi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise hidrojen enerjisi önemli bir yere sahiptir. Hidrojen, yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir enerji taşıyıcısıdır. Yakıt pillerinde yakıt olarak kullanılır ve sahip olduğu kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Sıfır emisyon özelliğine sahip olması sayesinde temiz ve çevrecidir. Fakat taşıma ve depolama konularında iyileştirilmesi gereken dezavantajlara sahiptir. Hidrojenin gaz ya da sıvı halde depolanması yüksek basınç gerektirmektedir. Bu gereksinim ise depolama, taşıma ve maliyet konularında sorunlara yol açmaktadır. Kimyasal hidrürler bu problemleri ortadan kaldırma konusunda gelecek vadeden alternatifler olarak ön plana çıkmaktadır. Yüksek basınçlı depolama koşulları olmadan yüksek hidrojen yoğunluğu sağlayabilmektedirler. Fakat kimyasal hidrürlerden yüksek hızda hidrojen elde etmek için katalizöre ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda en çok kullanılan katalizörler değerli olan ve değerli olmayan metal katalizörlerdir. Değerli metal katalizörler yüksek maliyetleri nedeniyle yaygın kullanımda dezavantaja sahiptir. Değerli olmayan metaller ise görece çok daha düşük maliyetli olup katalitik aktiviteleri değerli metal seviyelerine çıkarma konusunda geniş ölçüde çalışılmaktadır. Bu katalizörler arasında yer alan kobalt borür katalizörü de proje kapsamında sodyum bor hidrürün dehidrojenasyonunda kullanılmıştır. Hidrojen üretim hızı $2,0 \text{ L H}_2 \text{ g}_{\text{katalizör}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Katalizör, sodyum bor hidrür, kobalt borür, hidrojen.

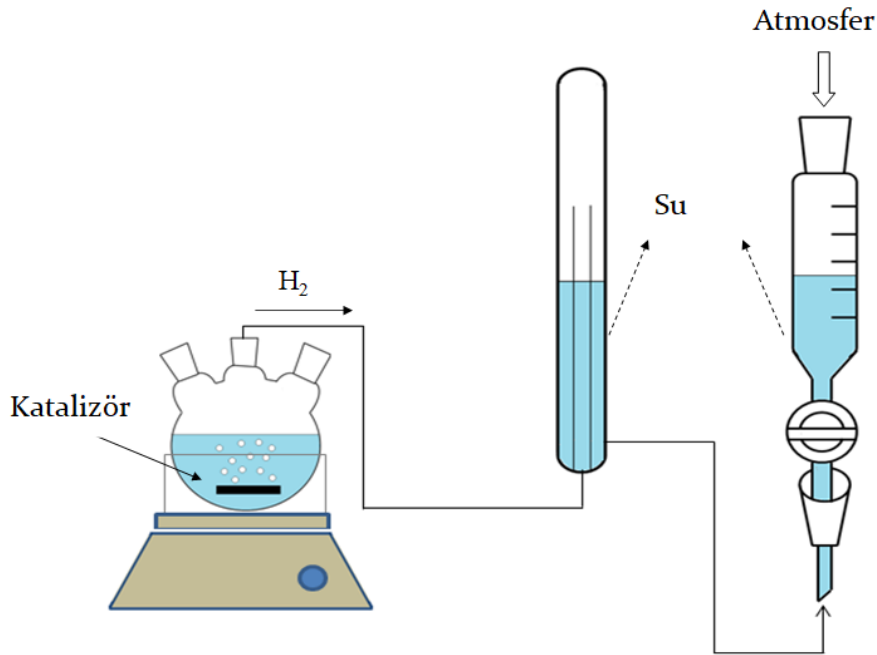
1. GİRİŞ

Fosil yakıtların çevre ve sağlık için ciddi bir tehlike oluşturmaları ve sınırlı kaynaklardan elde edilip sürdürülebilirliğinin olmaması, yenilenebilir enerjiyi günümüz dünyasının sürdürülebilirliği konusunda önem verilmesi gereken en önemli konulardan biri haline getirmektedir [1-4]. Hidrojen enerjisi ise bu alanda öne çıkmaktadır. Yakıt pillerinde içerdiği kimyasal enerji tek basmakta doğrudan

elektrik enerjisine çevrilmekte, bu sayede yüksek verim sağlayan bir enerji taşıyıcısı olarak görev yapmaktadır. Ayrıca yüksek güç yoğunluğu sağlaması, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre yerinde uygulama konularında onu bir adım öne çıkarmaktadır. Sağladığı bu avantajların yanı sıra sıfır emisyon özelliğiyle de son derece çevreci bir role sahiptir [5-9]. Fakat hidrojenin depolanması ile ilgili sorunlar onun yaygın kullanımı önünde engel teşkil etmektedir. Genellikle gaz ya da sıvı olarak depolanan hidrojen, bu depolama yöntemleri için kriyojenik ve yüksek basınca sahip tanklara ihtiyaç duymaktadır [10]. Bu durum ise güvenlik, taşıma, etkinlik ve maliyet konularında dezavantaj yaratmaktadır. Fakat hidrojen kimyasal hidrürler ile katı olarak depolandığında bu olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır. Bu hidrürler arasında da yüksek hidrojen içerikli, güvenli, kararlı, maliyet etkin, toksisitesi ve yanıcılığı olmayan sodyum bor hidrür en çok kullanılanlar arasında yer almaktadır [11-14]. Kimyasal hidrürlerden hidrojeni alıp yakıt pillerinde kullanılabilir gaz haline getirmek için en çok kullanılan iki yöntem termoliz ve hidrolizdir. Termoliz termal enerjiye gereksinim duymaktadır ve maliyetinin yanı sıra pratik uygulamalar için birçok dezavantaj barındırmaktadır. Hidroliz ise yavaş kinetiklidir. Fakat katalizörlerin kullanımı ile yüksek hidrojen üretim hızına ulaşmak mümkündür. Bu konuda en çok kullanılan katalizörler değerli olan ve değerli olmayan metal katalizörlerdir. Değerli metal katalizörler yüksek maliyetleri nedeniyle yaygın kullanımda dezavantaja sahiptir. Değerli olmayan metaller ise görece çok daha düşük maliyetli olup katalitik aktiviteleri değerli metal seviyelerine çıkarma konusunda geniş ölçüde çalışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da kobalt borür parçacıkları sentezlenerek sodyum bor hidrürden hidrojen elde edilmesinde kullanılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

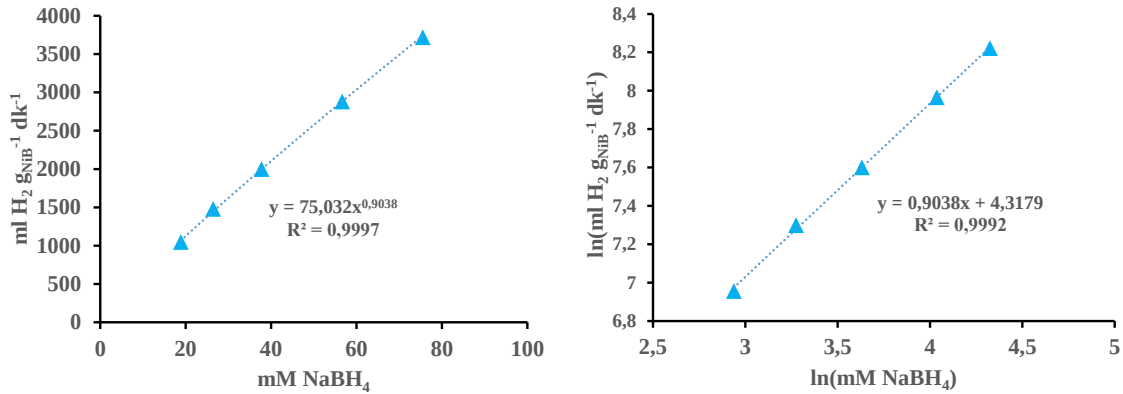
Kobalt borür parçacıkları kobalt klorür kaynağından sodyum borhidrür ile sulu ortamda reaksiyonu ile üretilmiştir. Elde edilen parçacıklar yıkama ve kurutma dışında herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan kullanılmıştır. Hidrojen üretim hızı suyun yer değiştirmesi yöntemiyle ölçülmüştür. Yöntemin şematik gösterimi Görsel 1’de yer almaktadır.



Görsel 1. Hidrojen üretim hızı ölçüm sistemi

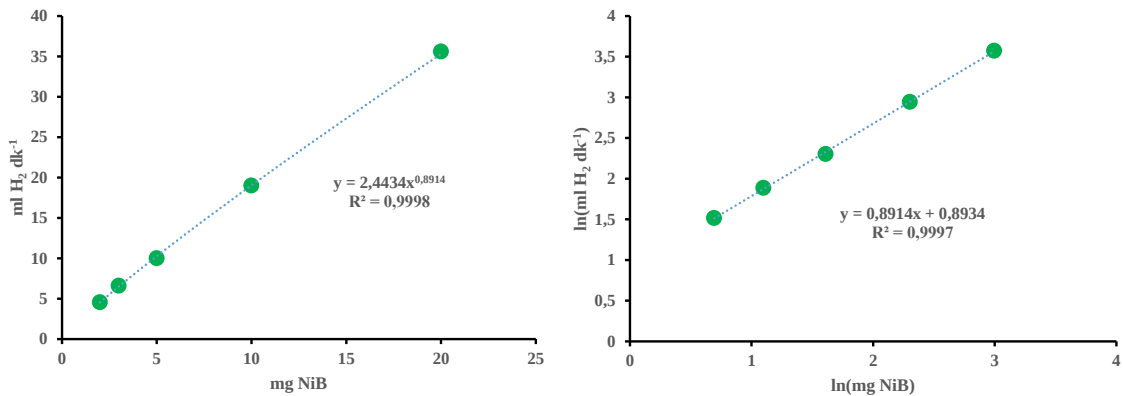
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

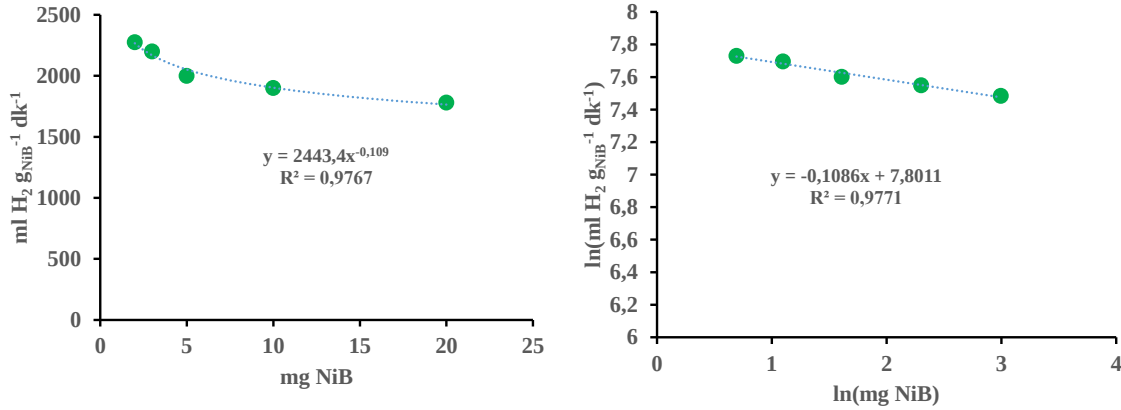
Elde edilen kobalt borür parçacıkları sodyum bor hidrürden hidrojen elde edilmesinde katalizör olarak kullanılmıştır. Başlangıç olarak kobalt borür miktarı 5 mg ve sodyum bor hidrür konsantrasyonu 35 mM olarak ayarlanmış ve hidrojen üretim hızı $2,0 \text{ L H}_2 \text{ g}_{\text{katalizör}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Ardından hidrojen üretim hızının sodyum bor hidrür konsantrasyonu ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu amaçla sodyum bor hidrür konsantrasyonu 20-75 mM aralığında hazırlanmıştır. Bunun sonucu olarak hidrojen üretim hızının ise $1,1 \text{ L H}_2 \text{ g}_{\text{katalizör}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ 'den $3,7 \text{ L H}_2 \text{ g}_{\text{katalizör}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ 'e arttığı gözlemlenmiştir [Görsel 2].



Görsel 2. Sodyum bor hidrür konsantrasyonunun hidrojen üretim hızına etkisi

Katalizör miktarının hidrojen üretim hızını nasıl etkilediğini gözlemlemek amacıyla katalizör miktarı 2-20 mg aralığında ayarlanmış ve sonucunda ölçülen hidrojen üretim hızları incelenmiştir. Hızın katalizör miktarıyla arttığı görülmüş ve bu artışın kullanılan katalizör ağırlığının yaklaşık 0,9'uncu kuvvetiyle orantılı olduğu bulunmuştur (Görsel 3). Bu trendin karşılığı olarak ise katalizör miktarı 2 mg'dan 20 mg'a artırıldığında hidrojen üretim hızının $4,6 \text{ ml H}_2 \text{ dk}^{-1}$ 'den $35,6 \text{ ml H}_2 \text{ dk}^{-1}$ 'e artış gösterdiği hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra hidrojen üretim hızları kullanılan katalizör ağırlığı başına incelendiğinde ise düşüş gözlemlenmiştir. Bu katalizör ağırlığı aralığında gram katalizör başına hidrojen üretim hızı $2,3 \text{ L H}_2 \text{ g}_{\text{katalizör}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ 'den $1,8 \text{ L H}_2 \text{ g}_{\text{katalizör}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ 'e azalma göstermiştir.





Görsel 3. Kobalt borür miktarının hidrojen üretim hızına etkisi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında kobalt borür parçacıklarıyla sodyum bor hidrürden hidrojen üretimi gerçekleştirilmiş, bunun sonucunda kobalt borür parçacıklarının hidrojen üretiminde kullanılabileceği ve hidrojen üretim hızının kullanılan katalizör miktarına ve sodyum bor hidrür konsantrasyonuna bağlı olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda da kullanılan metal kaynağı türünün, dengeleyici kullanılmasının, pH ve sıcaklığın hidrojen üretim hızı üzerindeki etkisinin araştırılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Alshammari, K., Alakreia, A. S., Aldakhilallah, G. F., Alotaibi, R. B., Fal, M. Synthesis and characterization of CdS@g-C₃N₄ catalyst for enhanced hydrogen generation using methanolysis of sodium borohydride, Journal of Alloys and Compounds, 1010, 177590, 2025.
- [2] Kiren, B., Ayas, N. Nickel modified dolomite in the hydrogen generation from sodium borohydride hydrolysis, International Journal of Hydrogen Energy, 47 (45), 19702-19717, 2022.
- [3] Srivastava, N., Agarwal, M, Pal, N., Dohare, R. K. Utilization of waste tea leaves as metal-free catalyst for hydrogen generation via ethanolysis of Sodium Borohydride, Biomass and Bioenergy, 184, 107168, 2024.
- [4] Min, X., Chai, D., Ding, K., Li, R., Zhang, X. Hydrogen generation by hydrolysis of solid sodium borohydride for portable PEMFC applications, Fuel, 350, 128777, 2023.
- [5] Najri, B. A., Saidi, K. M., Yıldız, D., Khelili, S., Kivrak, A., Kivrak, H. Iridium-melamine metal-organic framework: A novel catalyst for efficient hydrogen generation via sodium borohydride methanolysis, International Journal of Hydrogen Energy, 136, 49-59, 2025.
- [6] Aminudin, M. A., Kamarudin, S. K., Lim, B. H., Majilan, E. H., Masdar, M. S., Shaari, N. An overview: Current progress on hydrogen fuel cell vehicles, International Journal of Hydrogen Energy, 48 (11), 4371-4388, 2023.
- [7] Kumar, M., Das, T. Hydrogen generation from metal chloride doped sodium-borohydride by thermolysis at low temperature: The effect of material preparation methods, Journal of Alloys and Compounds, 944, 169173, 2023.

- [8] Han, Y., Yang, X., Xu, F., Wang, Y., Liu, W., Ma, J., Wang, Y., Zhang, K., Cao, Z., Li, G., Wu, S. Cobalt-manganese-boron/nickel foam for hydrogen generation from the hydrolysis of sodium borohydride solution, *Renewable Energy*, 246, 122899, 2025.
- [9] Chen, W., Xiao, X., He, J., Dong, Z., Wang, X., Chen, M., Chen, L. A dandelion-like amorphous composite catalyst with outstanding performance for sodium borohydride hydrogen generation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (18), 10809-10818, 2021.
- [10] Foorginezhad, S., Mohseni-Dargah, M., Falahati, Z., Abbasi, R., Razmjou, A., Asadnia, M. Sensing advancement towards safety assessment of hydrogen fuel cell vehicles, *Journal of Power Sources*, 489, 229450, 2021.
- [11] Akti, F. Hydrogen generation from hydrolysis of sodium borohydride by silica xerogel supported cobalt catalysts: Positive roles of amine modification and calcination treatment, *Fuel*, 303, 121326, 2021.
- [12] Li, S., Qiu, S., Chua, Y. S., Xia, Y, Zou, Y., Xu, F., Sun, L., Chu, H. Co–B supported on waxberry-like hierarchical porous carbon microspheres: An efficient catalyst for hydrogen generation via sodium borohydride hydrolysis, *Material Chemistry and Physics*, 319, 129399, 2024.
- [13] Hayagreevan, C., Siva, B., Rahul, R., Denison, Jeevagan, A. J., Adinaveen, T., Amalraj, M. Sulphonated silica and sulphonated silica / carbon particles as efficient catalysts for hydrogen generation from sodium borohydride hydrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (68), 33849-33863, 2021.
- [14] Shi, L., Zhu, K., Yang, Y., Liang, Q., Peng, Q., Zhou, S., Isimjan, T. T., Yang, X. Phytic acid-derivative Co₂B-CoPO_x coralloidal structure with delicate boron vacancy for enhanced hydrogen generation from sodium borohydride, *Chinese Chemical Letters*, 35, 109222, 2024.

SYNTHESIS OF AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PHENOL-FREE RESIN FOR OFFSET PRINTING INK

Buket İlkbahar Erdönmez

Ege Üniversitesi, buketilkbahar@gmail.com – 0009-0000-1868-8032

Artience Toyo Matbaa Mürekkepleri Offset & Metal Decoration Inks R&D Responsible

Doç.Dr. Canan Uraz

Ege Üniversitesi, canan.uraz@ege.edu.tr - 0000-0002-9072-1420

ABSTRACT

This study aims to develop an environmentally friendly, phenol- and formaldehyde-free resin system for use in offset printing inks. Due to the environmental and health-related risks associated with conventional phenol-formaldehyde-based resins, the development of bio-based and non-toxic alternatives has become essential.

In this research, the synthesis of a phenol-formaldehyde-free resin was carried out through a three-step chemical process involving isomerization, Diels–Alder reaction, and esterification. The overall synthesis pathway included:

- Isomerization of abietic acid (rosin) to levopimaric acid,
- Diels–Alder reaction between levopimaric acid and maleic anhydride,
- Esterification of the resulting intermediate with glycerol.

The reaction conditions and stoichiometric ratios of the reactants were optimized through a series of experiments. The synthesized resins were evaluated in terms of acid value, solubility, and characteristic structural properties. FTIR and DSC analyses were conducted to determine functional groups and thermal transition behavior. It was observed that resins with lower acid values exhibited more stable glass transition temperatures and crosslinked structures.

This innovative resin system offers a strong alternative for sustainable ink formulations due to its environmentally friendly composition, low VOC emissions, and printing stability. The findings demonstrate that resin systems developed in accordance with green chemistry principles are applicable at both academic and industrial levels.

Keywords: Phenol-free resin, Rosin, Glycerol, Offset Printing Ink, Eco-friendly Material, Esterification, Diels–Alder Reaction, Bio-based Resin.

1. INTRODUCTION

Printing inks are multifunctional chemical systems comprised of pigments, binders (resins), solvents, and a variety of additives, each contributing to the ink's performance, substrate compatibility, and environmental footprint. Among these components, resins are responsible for pigment dispersion, adhesion to substrates, gloss, and durability. Historically, phenol-formaldehyde-based resins, including modified phenolic and rosin-phenolic hybrids, have been the preferred binders in offset printing ink formulations due to their excellent oxidative drying, gloss retention, and thermal resistance properties [1].

However, the use of phenol and formaldehyde has been associated with significant health and environmental risks. Phenol is known for its corrosive nature and potential toxicity, while formaldehyde has been identified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as a Group 1 substance with proven carcinogenic effects. Their involvement in ink formulations is under scrutiny, especially in light of EU REACH regulations and growing demands for sustainable manufacturing [2]. This paradigm shift has intensified global research efforts into phenol-free, formaldehyde-free, and bio-based resin alternatives, especially for applications involving consumer safety or food packaging.

Rosin—a natural resin obtained from pine tree exudates—is one of the most promising bio-based raw materials for such alternative resin development. It predominantly consists of abietic and related diterpenic acids with functional carboxylic and conjugated diene groups that render it highly suitable for chemical modification [3]. In the presence of dienophiles like maleic anhydride, rosin derivatives undergo Diels–Alder cycloaddition, producing adducts that can be further functionalized through esterification with polyols such as glycerol [4]. Glycerol, a by-product of biodiesel production, introduces flexibility, enhances molecular branching, and aligns the final resin structure with green chemistry and circular economy principles [5].

In the present study, a phenol- and formaldehyde-free resin suitable for offset ink applications was synthesized via a three-step chemical route comprising:

- Isomerization of abietic acid to levopimaric acid to increase reactivity;
- Diels–Alder reaction between levopimaric acid and maleic anhydride to form a cyclic adduct;
- Esterification of the intermediate product with glycerol to obtain a structurally robust and flexible polyester network.

The synthesized resins were extensively characterized through FTIR and DSC analyses to evaluate their structural and thermal properties. Additionally, acid value to assess compatibility with ink formulation requirements. A comparative evaluation against a standard commercial resin was also conducted.

This research expands the knowledge base on environmentally friendly printing materials while providing actionable recommendations for application at an industrial scale. A distinctive aspect of the study is its focus on enhancing resin network uniformity, improving thermal resistance, and fine-tuning acid values factors essential for attaining high print quality and reliable performance under practical operating conditions. The findings are anticipated to drive

advancements in green ink development and highlight the importance of bio-based chemistry in promoting a more sustainable printing industry.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Raw Materials

The raw materials used in the resin synthesis studies were carefully selected to achieve the main objective of developing environmentally friendly and high-performance phenol-free polyphthalate-based resins. Each raw material played a key role in determining the chemical structure, physical characteristics, and overall performance of the synthesized resin in offset ink formulations.

Phthalic anhydride ($C_8H_4O_3$), glycerol ($C_3H_8O_3$), magnesium oxide (MgO), gum rosin and maleic anhydride ($C_4H_2O_3$) were utilized as the primary raw materials in this study. Gum rosin was supplied by Starplus Kimya, while phthalic anhydride, glycerol, magnesium oxide, and maleic anhydride were supplied by Ataman Kimya.

2.2 Method

2.2.1 Chemical Reactions of Production

In this study, a phenol-formaldehyde-free resin was synthesized via a combination of three fundamental chemical steps: isomerization, Diels–Alder reaction, and esterification. The overall chemical process consists of three main steps:

1. Isomerization of abietic acid to levopimaric acid,
2. Diels-Alder reaction between levopimaric acid and maleic anhydride,
3. Esterification of the intermediate with glycerol.

Step.1 Isomerization: The raw materials included gum rosin (mainly abietic acid), maleic anhydride, and glycerol. Gum rosin was first subjected to thermal isomerization to convert abietic acid into levopimaric acid. This step was essential due to the reactivity differences between the two isomers. The process was carried out under controlled thermal conditions. The chemical reaction mentioned is shown in Figure 1.

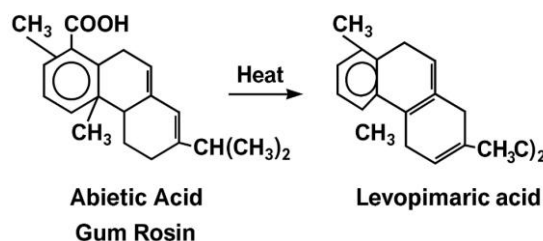


Figure 1. Isomerization of Abietic Acid (Gum Rosin) [1]

Step.2 Dies-Alder Reaction: In the second step, levopimaric acid reacted with maleic anhydride via a Diels–Alder reaction. This reaction yielded a rosin–maleic anhydride adduct. Maleic anhydride, as an electron-deficient dienophile, selectively reacted with the conjugated diene system of levopimaric acid, producing a more stable, saturated structure. The Diels–Alder

step not only contributed to the structural integrity of the resin but also significantly lowered its acid value and increased thermal stability [6]. The reaction is shown in Figure 2.

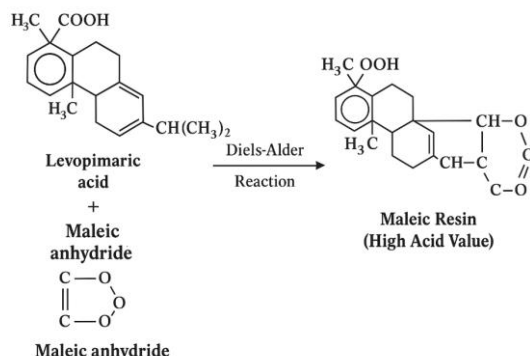


Figure 2. Diels Alder Reaction [1]

Step 3. Esterification with glycerol: The final step involved esterification of the Diels Alder adduct with glycerol. The esterification occurred at elevated temperature and under inert atmosphere to promote polycondensation. This allowed the formation of long-chain polyesters suitable for ink applications. The use of glycerol, a trifunctional polyol, enhanced branching within the polymer, resulting in improved mechanical properties such as flexibility and film-forming ability [7].

2.2.2 Phenol and Formaldehyde Free Resin Synthesis Process

The resin production process consists of three steps (Figure 3).

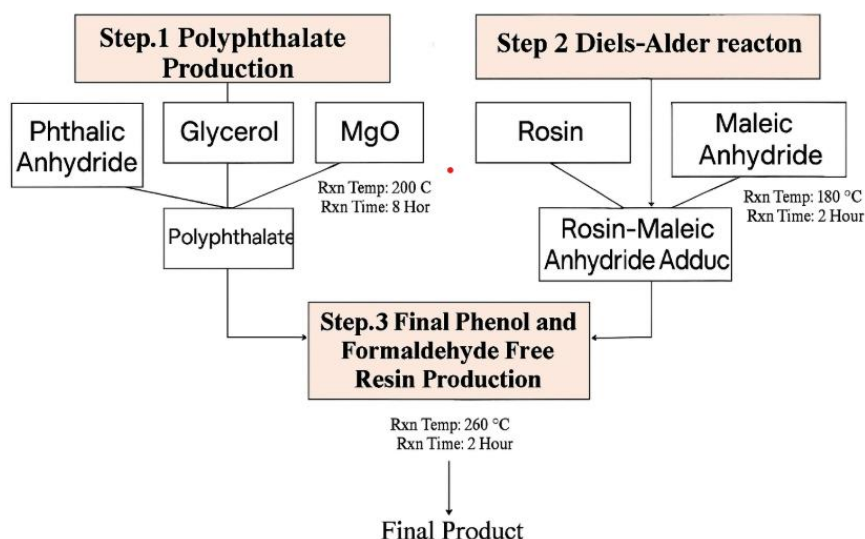


Figure 3. Resin Synthesis Process Steps Scheme

Step.1: Prepare Polyphthalate Mixture

Phthalic anhydride (17.8 g, 0.12 mol), glycerol (22.2 g, 0.24 mol), and magnesium oxide (MgO) catalyst (0.1 wt% based on total reactants) were separately added into a 500 mL four-neck glass flask. The system was kept under a nitrogen atmosphere to ensure an inert reaction environment.

The mixture was gradually heated to 200 °C using a controlled heating mantle and maintained at this temperature for 8 hours. The progress of the reaction was periodically monitored by sampling. The reaction was considered complete when the acid value reached the range of 20–40 mg KOH/g.

The resulting crude polyphthalate resin was not purified and was directly set aside for use in the next synthesis step.

Step 2: Preparation of Diels-Alder Adduct

In this step, the aim was to obtain a rosin–maleic anhydride adduct via Diels-Alder reaction.

Firstly, 52.4 g of gum rosin (containing abietic and levopimaric acids) was placed into a 500 mL reaction flask. The mixture was gradually heated up to 180 °C under continuous stirring. At this temperature, the isomerization of abietic acid into levopimaric acid was initiated.

Once the temperature stabilized at 180 °C, 4.95 g of maleic anhydride (0.05 mol) was added to the flask. The Diels-Alder reaction was allowed to proceed for 1 hour under these controlled conditions.

At the end of this period, the reaction was stopped, and the rosin–maleic adduct was obtained. This intermediate product was used directly in the subsequent esterification step without any purification.

Step.3: Final Product (Phenol and Formaldehyde Free Resin) Production

Then, the previously obtained polyphthalate was slowly added to the reaction mixture. The mixture was stirred at 260 °C for approximately two hours. The reaction was terminated once the acid value of the mixture reached a range between 20–30 mg KOH/g.

The acid value of the final resin plays a key role in determining its stability, printability, gloss, fluidity, and wetting performance. Therefore, the polymerization reaction was continued until the acid value fell within the target range.

2.3 Experimental Study

The experimental setup and synthesis conditions used in this study were determined based on similar resin production approaches reported in the literature. Initially, in Step 1, the polycondensation reaction was conducted for 12 hours. This duration was selected to allow complete interaction of the components and to ensure the formation of a stable polymer structure, especially in high-viscosity systems.

However, it was later considered that such an extended reaction time might reduce efficiency in industrial applications. Therefore, the reaction time was reduced to 8 hours in subsequent

trials. This adjustment was made to investigate whether similar resin quality could be achieved within a shorter duration. Additionally, it was aimed to minimize potential thermal degradation and discoloration that could occur due to prolonged heating at high temperature.

The first two reaction trials (Run Order 1 and 2) were carried out primarily for test purposes before the experimental setup was fully established. From Run Order 3 onwards, the system was operated under optimized conditions. In Run Order 3, a 12-hour synthesis resulted in an acid value of 30.58 mg KOH/g. Interestingly, a similar acid value (35.73 mg KOH/g) was obtained after 8 hours of reaction in Run Order 6. These results suggest that reducing the reaction time to 8 hours did not significantly affect the degree of polymerization and may be preferable for improved process efficiency.

The work done throughout the process is as given in Table 1. The photograph of Step.1 products is as in the Figure 4.

Table 1. Trials for Step 1

Run Order	Date	Reaction Temperature	Reaction Duration (hour)	Phthalic Anhydride (g)	Glycerol (g)	Magnesium Oxide (g)	Volume (mL) of KOH solution used for titration of the resin sample	Volume (mL) of KOH solution used in the blank titration	Resin Amount (g)	Acid Value (KOH/g)
1	-	200	12	17.8	22.2	0.04	-	2.75	-	-
2	19.08.2024	200	12	17.8	22.2	0.04	7.2	2.75	0.9998	24.96
3	16.09.2024	200	12	17.8	22.2	0.04	8.2	2.75	1.0002	30.58
4	23.09.2024	200	8	17.8	22.2	0.04	7.9	2.75	0.9903	28.61
				17.8	22.2	0.04	8.1	2.75	0.9906	29.73
				17.8	22.2	0.04	8.4	2.75	0.9913	31.42
5	07.10.2024	200	8	17.8	25	0.04	-	2.75	-	-
6	06.12.2024	200	8	17.8	22.2	0.04	7.4	2.75	0.9998	26.08
				17.8	22.2	0.04	9.1	2.75	0.9968	35.73



Figure 4. Photograph of Step.1 products

As can be seen in the Figure 4 the second step 1 product from the right has formed a lump. This product was tested with run order 5. In Run 5, the amount of glycerol was intentionally increased from 22,2 g to 25 g, while keeping the phthalic anhydride and catalyst concentrations constant. This change was implemented to observe the effect of hydroxyl group excess on the polycondensation process. In this experiment, the glycerol content was increased by approximately 12% compared to the standard formulation. As a result, the reaction mixture exhibited significant physical changes, including clumping during the final stages of the reaction.

The observed agglomeration can be attributed to an imbalance in the molar ratio between the hydroxyl ($-OH$) and carboxylic acid ($-COOH$) groups. Excessive glycerol increases the concentration of hydroxyl groups beyond the stoichiometric requirement, leading to uncontrolled branching and crosslinking. This can result in localized gelation, where certain regions of the mixture polymerize excessively, forming insoluble or semi-solid masses, rather than a uniform resin matrix.

Moreover, the high hydroxyl content may have limited the mobility of reactants in the viscous medium, thus promoting early gel formation and non-uniform structure. These findings emphasize the importance of maintaining a balanced stoichiometry between the diol and anhydride components to achieve homogeneous and processable resin structures. The visual appearance of the product is presented in Figure 5.



Figure 5. Appearance of the resin formed in Step 1 of Run Order 5 when the glycerol amount was increased.

In the Table 2 below, the experimental conditions and acid value results of the rosin–maleic anhydride reactions carried out during **Step 2** are presented. In Run Orders 2 to 5, reference trials were conducted using the standard quantities commonly reported in the literature, namely 52.36 g of rosin and 7.6 g of maleic anhydride. In these experiments, the stoichiometric ratio was kept constant to observe the reaction behavior under fixed conditions.

Starting from Run Order 6, the molar ratios of rosin to maleic anhydride were systematically altered. In the sixth trial, an excessive amount of maleic anhydride (42 g) was used, corresponding to a 1:2.8 molar ratio. This experiment was performed solely for reaction observation purposes. However, during Step 3, the product obtained from this ratio exhibited crystallization after the 50th minute. Consequently, the desired viscosity and homogeneous structure could not be achieved, and the acid value was not measured. The visual appearance of the final product is presented in Figure 6.



Figure 6. Run Order 6th Final Product

In Run Orders 7 through 10, stoichiometric ratios were adjusted to 1:1, 1:0.51, 1:0.33, and 1:0.25, respectively. In each experiment, samples were taken at the 1st and 2nd hours of the reaction, and their acid values were determined. The 1:0.51 ratio (used in Run Orders 2–5) represents the standard stoichiometry traditionally applied in the system and was repeated here for comparison purposes.

Upon evaluating the acid values obtained from these trials, it was observed that Run Order 9 yielded the lowest acid value of 197.69 mg KOH/g at the end of the first hour. This indicates that the rosin–maleic adduct prepared with this ratio exhibited a more controlled reaction pathway and optimal polymerization behavior. The effect of the Rosin–Maleic Anhydride ratio on the acid value is illustrated in Figure 7.

Therefore, the adduct prepared in Run Order 9 was selected as the reference material for continuation into Step 3, which involved the synthesis of phenol- and formaldehyde-free resin. Additionally, this experiment was repeated on 25.12.2024 and 13.01.2025, and comparable acid value results were obtained in both repetitions. These consistent outcomes demonstrate the reproducibility of the experiments and the stability of the reaction system.

Table 2. Trials of Step 2

Run Order	Date	Reaction Temperature (°C)	Reaction Duration (hour)	Gum Rosin (gr)	Maleic Anhydride (gr)	Rosin Maleic Anhydride Ratio	Volume (mL) of KOH solution used for titration of the resin sample	Volume (mL) of KOH solution used in the blank titration	Resin Amount (gr)	Acid Value mg KOH/g
1	-	180	2	52,36	7,6	-	-	-	-	-
2	04.09.2024	180	2	52,36	7,6	-	-	-	-	-
3	17.09.2024	180	2	52,36	7,6	-	-	-	-	-
4	24.09.2024	180	2	52,36	7,6	-	-	-	-	-
5	10.10.2024	180	2	52,36	7,6	-	-	-	-	-
6	22.10.2024	180	2	52,36	42	1:2,8	40,75	2,75	-	1. hour: 213,18
7	09.12.2024	180	2	52,36	14,85	1:1	48,9	2,75	-	2. hour: 260,3
8	09.12.2024	180	2	52,36	7,6	1:0,51	39,5	2,75	-	1. hour: 206,16
							52,4	2,75	-	2. hour: 278,54
9	12.12.2024	180	2	52,36	4,95	1:0,33	39,4	2,75	0,93	1. hour: 197,69
							43,2	2,75	1,14	2. hour: 242,32
10	12.12.2024	180	2	52,36	3,715	1:0,25	49,3	2,75	-	1. hour: 242,76
									-	2. hour: 251,24
9	13.01.2025	180	1	52,36	4,95	1:0,33	38	2,75	1,00	1. hour: 197,75

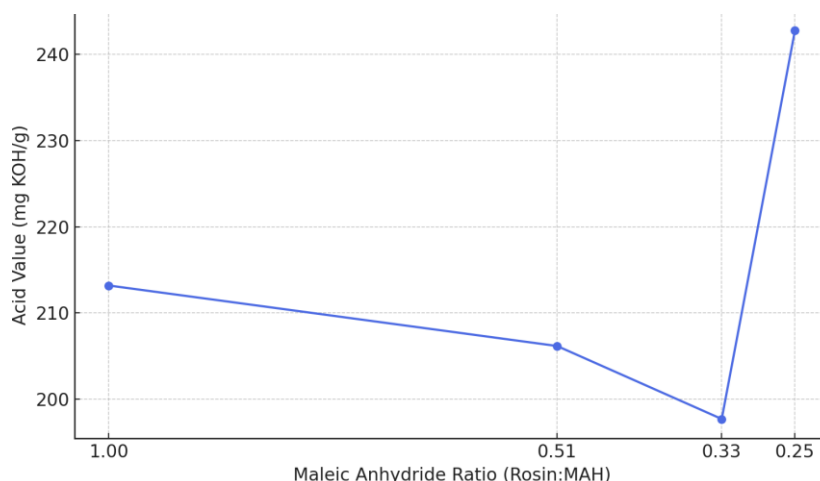


Figure 7. Effect of Rosin-Maleic Ratio on Acid Value

In Step 3, esterification was carried out at 260 °C for 2 h using the rosin–maleic adduct and polyphthalate from previous steps. The outcomes strongly depended on the rosin-to-maleic ratio and reaction conditions.

In Run Orders 3 and 4, the products showed acceptable appearance but high acid values (56.94 and 65.35 mg KOH/g), indicating incomplete esterification. Run Order 5, with excess glycerol (25 g instead of 22.2 g), caused uncontrolled branching and early gelation during Step 1, preventing further processing. In Run Order 6, the high rosin-to-maleic ratio (1:2.8) led to premature crystallization around the 50th minute of Step 3, halting the reaction due to excessive dienophile concentration and loss of homogeneity (Table 3&Figure 8).

By contrast, Run Order 9 (rosin-to-maleic ratio 1:0.33) yielded consistent and reproducible results. Acid values decreased to 25.53 and 20.47 mg KOH/g in duplicate trials, confirming a more complete esterification and lower residual acidity. This formulation was therefore selected as the reference material for subsequent optimization and performance testing.

Table 3. Trials of Step 3

Run Order	Date	Reaction Temperature (°C)	Reaction Duration (hour)	Volume (mL) of KOH solution used for titration of the resin sample	Volume (mL) of KOH solution used in the blank titration	Resin Amount (g)	Acid Value (KOH/g)
1	-	260	2	-	-		
2		260	2	-	-		
3	17.09.2024	260	2	2.75	12.9	1.00	56.94
4	24.09.2024	260	2	2.75	14.4	1.00	65.35
5	-	260	2	-	-		
6	22.10.2024	260	2	-	-		
9	26.12.2024	260	2	2.75	9.9	0.93	1. hour: 37.14
				2.75	7.3	1.00	2. hour: 25.53
9	13.01.2025	260	2	2.75	9.3	1.00	1. hour: 36.74
				2.75	6.4	1.00	2. hour: 20.47

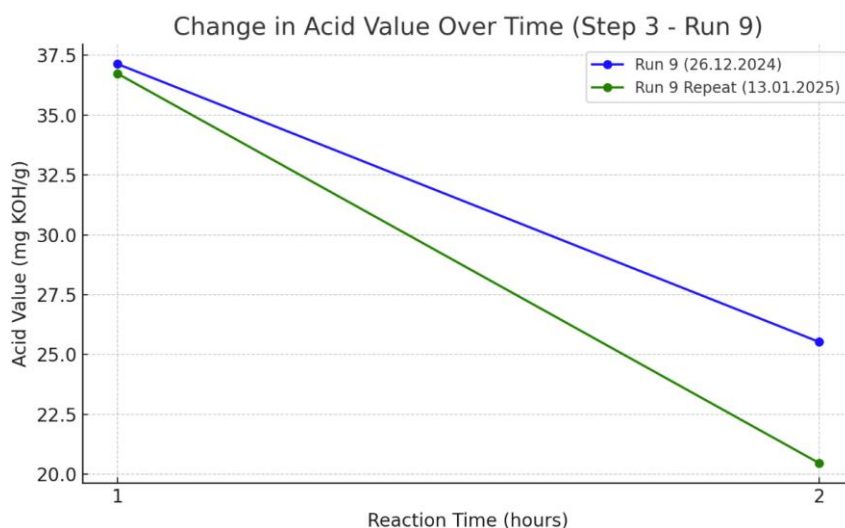


Figure 8. Influence the reaction time on the acid value of the product

In the final stage, the acid values of all resin samples synthesized through three-step processes were compared (Table 4).

Table 4. Reaction Conditions and Acidity Values for Three-Step Trials

Sample ID	Resin (gr)	Maleic Anhydride (gr)	Phthalic Anhydride (gr)	Glycerol (gr)	Magnesium Oxide (gr)	Step 1: Synthesis of polyester resin Reaction Temperature(°C)	Step 1: Synthesis of polyester resin Reaction Duration(hour)	Step 1: Synthesis of polyester resin Acid value mg KOH g ⁻¹	Step 2: Diels-Alder Reaction Reaction Temperature(°C)	Step 2: Diels-Alder Reaction Reaction Duration(hour)	Step 3: Synthesis of phenol free resin Reaction Temperature(°C)	Step 3: Synthesis of phenol free resin Reaction Duration(hour)	Final Acid Value mg KOH g ⁻¹
R3	52,36	7,60	17,80	22,20	0,04	200	8	30,58	180	2	260	2	56,94
R4	52,36	7,60	17,80	22,20	0,04	200	8	31,42	180	2	260	2	65,35
R9	52,36	4,95	17,80	22,20	0,04	200	8	35,73	180	1	260	1	37,14
R9	52,36	4,95	17,80	22,20	0,04	200	8	35,73	180	1	260	2	25,53
R9 again	52,36	4,95	17,80	22,20	0,04	200	8	35,73	180	1	260	1	36,74
R9 again	52,36	4,95	17,80	22,20	0,04	200	8	35,73	180	1	260	2	20,47

Through the optimized process parameters, resins meeting the desired acid value range were produced, demonstrating the success of the applied optimization approach. Samples with comparatively lower acid values were then selected for FTIR and DSC characterization and evaluated alongside a commercial phenol- and formaldehyde-free reference resin.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 FTIR Analysis and Results

FTIR results were performed separately for a commercially used sample phenol formaldehyde free resin and final products with acidity values between 20 and 40. The characteristic peaks of functional groups for the phenol- and formaldehyde-free resin are presented in the Figure 9.

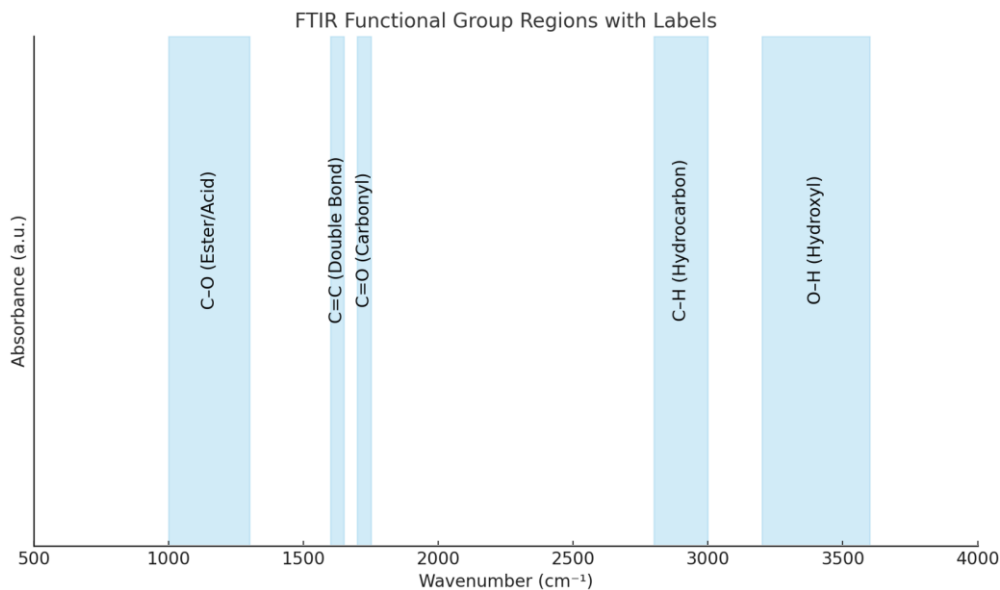


Figure 9. The characteristic peaks of functional groups for the phenol- and formaldehyde-free resin

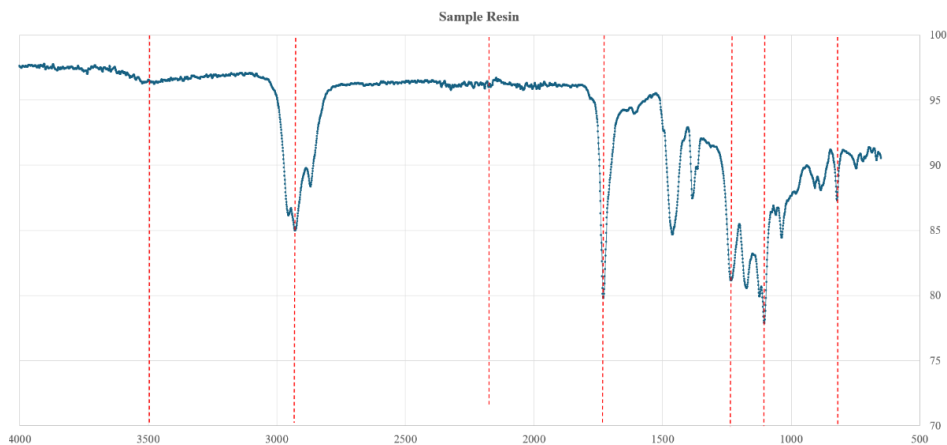


Figure 10. Sample Resin (Phenol and formaldehyde free) FTIR Result

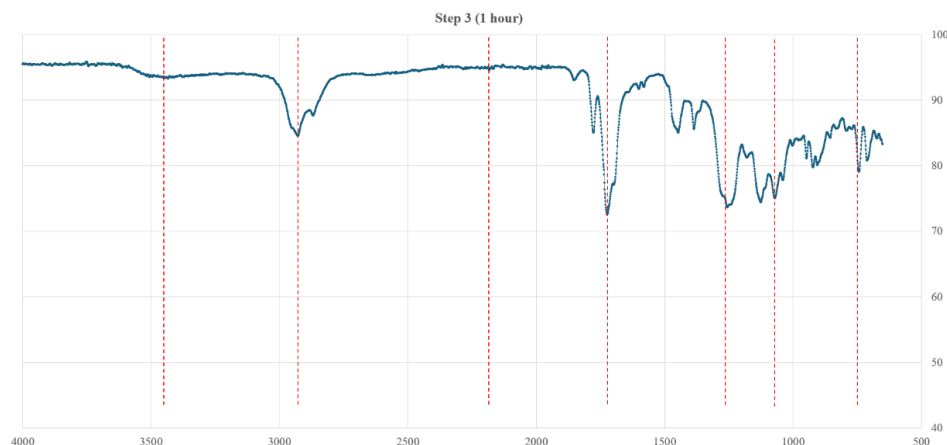


Figure 11. FTIR Result of Resin with Acidity Value 36,74 at Step 3-1Hour

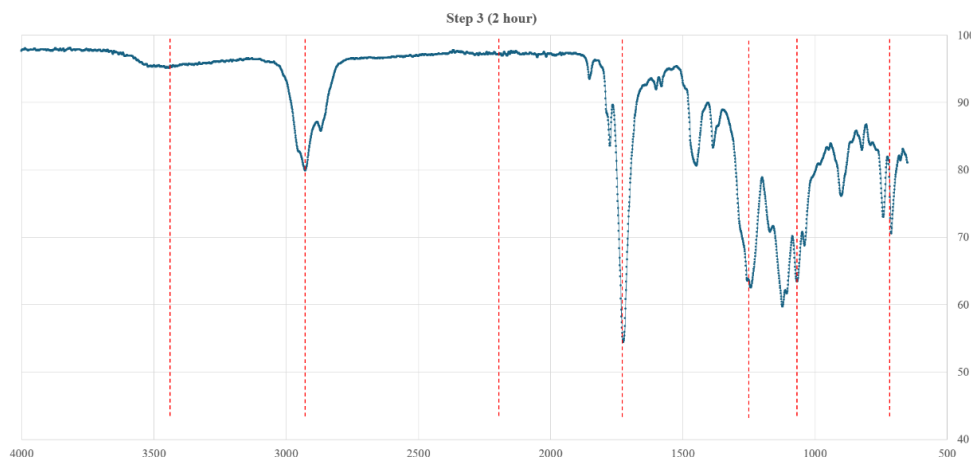


Figure 12. FTIR Result of Resin with Acidity Value 20,47 at Step 3-2 Hour

Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy is a fundamental analytical technique for evaluating the chemical structure and functional group transformations in polymeric materials. In the scope of this study, FTIR analysis was conducted to investigate the structural evolution of synthesized phenol-free resin systems used in offset printing ink formulations. Measurements were performed in the mid-infrared region ($4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$), enabling identification of key vibrational modes associated with hydroxyl, carbonyl, ether, and aromatic functionalities.

The FTIR analysis provides clear evidence of successful structural transformation throughout the synthesis of phenol- and formaldehyde-free resins. In the reference spectrum (Figure 10), characteristic peaks corresponding to O–H (around 3400 cm^{-1}), C=O ($1700\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$), and C–O ($1000\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$) functional groups confirm the presence of hydroxyl, carbonyl, and ester functionalities in the polymer backbone.

After 1 hour of thermal curing (Figure 11), a noticeable reduction in the O–H peak is observed, suggesting partial consumption of hydroxyl groups via esterification and possible etherification. At the same time, ester carbonyl peaks remain stable around 1730 cm^{-1} , while emerging sharper bands in the $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ region point to the formation of ether linkages (–C–O–C–), indicating the onset of crosslinking.

Following 2 hours of curing (Figure 12), the O–H band becomes nearly invisible, indicating that the curing reactions are almost complete and that most free hydroxyl groups have been reacted. Furthermore, the fingerprint region ($1500\text{--}500\text{ cm}^{-1}$) exhibits sharper, well-resolved peaks, suggesting enhanced molecular ordering and a more defined crosslinked polymeric network.

These spectral changes directly align with the chemical conversion observed during curing, especially the decrease in acid value and the disappearance of hydroxyl functionalities. Such transformations are crucial in determining the final performance of offset printing ink resins. A fully crosslinked structure improves chemical resistance, reduces potential migration, enhances film formation, and increases mechanical durability key features for high-speed, high-quality printing applications.

3.2 DSC Analysis and Results

The DSC analysis revealed distinct thermal behaviors for the three resin samples (Table 5). Sample 1 exhibited the lowest acid value (19 mg KOH/g), indicating a lower concentration of residual carboxylic groups and a relatively well-advanced esterification. The first thermal event was detected around 83–89°C with a low enthalpy value (3.08 J/g), suggesting only minor residual curing or volatilization. The presence of two glass transition regions (239.98–255.31°C) confirmed moderate phase separation within the polymer network. The relatively low ΔC_p values also indicate limited molecular mobility. Overall, the material remained stable after the second heating cycle, although heterogeneity in the network structure was evident.

Sample 2 displayed the highest acid value (37.14 mg KOH/g), which reflects incomplete reaction and the presence of unreacted acidic functionalities. A low-temperature peak was observed between 49–58°C, with the highest enthalpy value among the samples (6.13 J/g), pointing to significant residual curing or volatile release. Similar to Sample 1, two glass transition events (227.02–238.69°C) were observed, indicating the presence of dual domains or microphase separation. The larger ΔC_p values compared to Sample 1 suggest greater molecular mobility within certain domains. The absence of crystallization and the stable response during the second heating cycle confirmed its amorphous morphology, which may contribute positively to dimensional stability in offset printing applications despite the structural heterogeneity.

Sample 3 had an intermediate acid value (20.47 mg KOH/g), comparable to Sample 1 and significantly lower than Sample 2, suggesting better-controlled synthesis. The thermal peak appeared at 67–73°C with a moderate enthalpy value (4.97 J/g), indicating a limited degree of residual curing. Unlike Samples 1 and 2, only a single glass transition (207.90–224.92°C) was detected, demonstrating a homogeneous polymer network with less phase separation. The relatively high ΔC_p value (0.1205 J/g·°C) reflects a notable shift in molecular mobility within the main polymer matrix. After the second heating, no additional transitions were observed, confirming the thermal stability and uniform morphology of the material.

Table 5. Comparative Evaluation of All Samples

Parameter	Sample 1	Sample 2	Sample 3
Acid Value mg KOH/g	19	37,14	20,47
1st Peak Onset (°C)	82.88	48.60	66.52
1st Peak Max (°C)	89.12	57.60	72.75
1st Peak ΔH (J/g)	3.080	6.129	4.972
Glass Transition Range (°C)	239.98–255.31 (Dual)	227.02–238.69 (Dual)	207.90–224.92 (Single)
ΔC_p (J/g·°C)	0.02355 / 0.02055	0.1280 / 0.03159	0.1205

Crystallization in Cooling?	No	No	No
Thermal Stability after 2nd Heat	Stable	Stable	Stable
Network Homogeneity	Moderate Phase Separation	Possible Dual Domain	Homogeneous

Summary of Findings:

- Sample 1 exhibits moderate residual curing and dual glass transitions, indicating some phase heterogeneity.
- Sample 2 shows the highest enthalpy of residual transition, suggesting the least complete initial curing and potential for dual network structures.
- Sample 3 presents a more uniform glass transition with moderately high residual enthalpy, suggesting better network homogeneity despite initial under-curing.

These findings will inform the selection of resin systems based on thermal stability and structural uniformity for environmentally friendly offset ink applications.

4.0 CONCLUSION

In this study, a sustainable phenol- and formaldehyde-free resin was synthesized through a three-step reaction pathway consisting of isomerization, Diels–Alder reaction, and esterification. The synthesized resins were thoroughly characterized using acid value measurements, FTIR spectroscopy, and DSC analysis to evaluate their structural and thermal performance.

The acid value, a critical parameter influencing ink formulation stability, printability, and film properties, was optimized through various synthesis trials. Among the tested formulations, Run Order 9 yielded the most favorable results with acid values reaching as low as 20.47 mg KOH/g after two hours of esterification. This confirmed the effectiveness of the stoichiometric balance and reaction time in achieving the desired acid range.

FTIR analysis provided direct evidence of successful structural evolution during resin formation. Characteristic absorption bands related to hydroxyl, carbonyl, and ether groups validated the progress of esterification and crosslinking reactions. The decrease and eventual disappearance of the O–H band, alongside the stabilization of ester C=O peaks and the emergence of C–O–C ether linkages, clearly demonstrated that the curing process was complete in the optimized formulations. Furthermore, the enhanced resolution in the fingerprint region indicated improved molecular ordering and a stable crosslinked network.

DSC analysis revealed insights into the thermal transitions and stability of the synthesized resins. Sample 1 and Sample 2 exhibited dual glass transition behavior, indicative of heterogeneous phase domains, while Sample 3 showed a single, well-defined T_g around

217.6 °C, suggesting a more homogeneous network. Additionally, the absence of exothermic crystallization peaks during cooling and the stability of the second heating cycle confirmed the amorphous nature and thermal robustness of the resins—key traits for high-speed offset printing applications.

In summary, the combined results from FTIR, DSC, and acid value analyses demonstrate that the developed phenol-free resin system is structurally stable, thermally resilient, and environmentally compliant. The synthesis approach using rosin and glycerol not only aligns with green chemistry principles but also delivers performance metrics compatible with modern printing ink requirements.

REFERENCES

- [1] Leach, R.H., Pierce, R.J., Hickman, E.P. ve Mackenzie, M.J., The Printing Ink Manual, 5th ed., Springer, 2007.
- [2] Ha, Y.B., Jin, M.Y., Oh, S.S. ve Ryu, D.H., Synthesis of an Environmentally Friendly Phenol-Free Resin for Printing Ink, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 33(10), 3413–3416, 2012.
- [3] Prakoso, T., Kumalasari, I., Jiwandaru, B., Soerawidjaja, T.H., Azis, M.M. ve Indarto, A., Synthesis of Maleic-Modified Rosin Ester from Pine Rosin, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143, 012071, 2021.
- [4] Mardiah, M., Samadhi, T.W., Wulandari, W., Aqsha, A., Situmorang, Y.A. ve Indarto, A., Recent Progress on Catalytic of Rosin Esterification Using Different Agents of Reactant, *AgriEngineering*, 5(4), 2155–2169, 2023.
- [5] Sarika, P.R., Nancarrow, P., Khansaheb, A. ve Ibrahim, T., Bio-Based Alternatives to Phenol and Formaldehyde for the Production of Resins, *Polymers*, 12(10), 2237, 2020.
- [6] Bildik, A.E., Sönmez, S. ve Biricik, Y., Printability of Paper and Paperboard Surface Treatment with Gum Rosin and Derivatives, *Pigment and Resin Technology*, 2021.
- [7] Biswas, M., Paul, A., Dey, M., Dey, A. ve Bandyopadhyay, A., Influence of a Biobased Reagent on Properties of Industrial Resin for Printing Ink Application Vis-a-Vis Comparison with Standard Commercial Resin, *Polymers from Renewable Resources*, 9(2), 59–74, 2020.
- [8] Jin, F.-L., Li, X. ve Park, S.-J., Synthesis and Application of Epoxy Resins: A Review, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29, 1–11, 2013.
- [9] Wiles, D.M., Rangel, M.A. ve Lee, D.W., Characterization of Thermoset Networks with Dual-Phase Morphology, *Polymer Testing*, 59, 105–112, 2017.

EFFECTS OF NITROGEN PROTOXIDE (N₂O) APPLICATIONS ON VEGETATIVE DEVELOPMENT AND STOMA CHARACTERISTICS OF 41 B AND RAMSEY GRAPE ROOTSTOCKS

Dr. Osman DOĞAN

Selcuk University, osmandogan@selcuk.edu.tr - 0000-0002-3264-5925

ABSTRACT

The development of grapevine varieties and rootstocks, a globally important plant, has become essential for both meeting consumer demands and adapting to current climate change. Grapevine rootstocks developed through hybridization and selection methods are currently unable to meet producer demands in Europe's calcareous vineyard areas with short summers. Because plants obtained through mutation breeding perform better than diploids, they appear more promising than hybridization. For this purpose, seeds of 41B and Ramsey grapevine rootstocks were treated with nitrogen protoxide (N₂O) gas at 5 bars for 48 and 72 hours. The effects of these treatments on vegetative growth and stomatal parameters of both rootstocks were examined. The effects of the treatments on vegetative development and stomatal parameters of both rootstocks were investigated. The treatments reduced seed viability, shoot length, and shoot diameter. While a decrease in stomatal number was observed, increases in stomatal length and width were observed. Additionally, increases in stomatal chloroplast count and leaf chlorophyll content (SPAD) were observed compared to the control. N₂O treatments were found to affect vegetative growth and stomatal characteristics on 41B and Ramsey grapevine rootstocks. Indirect polyploidy determination methods have shown that N₂O can result in polyploid grapevine rootstocks. It is recommended that these parameters be supplemented with direct polyploidy determination methods such as flow cytometry and chromosome counting in future studies.

Keywords: chlorophyll content, chloroplast number, chromosome doubling, mutagen, polyploidy

1. INTRODUCTION

Grapevines, driven by the diversity of their products, are one of the world's most popular and socioeconomically important crops. The grape market, valued at \$68 billion in 2016, is the second highest-growing horticultural crop after tomatoes (Alston and Sambucci, 2019). Due to phylloxera and other biotic and abiotic stresses, viticulture worldwide relies on grapevine rootstocks. For this purpose, American-origin species are used as pure or hybrid rootstocks. Grapevine rootstocks obtained through selection and hybridization have not met all the demands to date. Many rootstocks were selected for Europe's dry summer climate, but these rootstocks cannot fully meet the needs of producers in calcareous, shallow soils, and short-vegetated vineyards like Türkiye (Doğan 2022).

With 25,538 grapevine genotypes and 1,432 rootstocks globally included in the Vitis Database (VIVC, 2025), grapevine is considered to have the most diversity compared to other cultivated plant species. Approximately 10 rootstock cultivars are used in 90% of vineyards worldwide (Keller, 2020). Of these rootstocks, Teleki/Kober selection is likely to constitute 50%, and it is unlikely that these rootstocks will meet the requirements of all viticulture areas (Reynolds, 2015). Furthermore, 88% of the rootstocks used are comprised of four grapevine species [*V. berlandieri* (28%), *V. rupestris* (25%), *V. riparia* (24%), and *V. vinifera* (11%)] or their hybrids (Riaz et al., 2019; VIVC, 2025).

The primary strategy in mutation-based breeding is to develop new varieties with improved characteristics by modifying one or more traits of an established variety without altering the established traits. When comparing mutation breeding with hybrid breeding, mutation breeding reduces breeding time and produces minimal changes in the bred variety (Karataş and Kunter, 2012).

While most chemical agents known to affect mitosis are used in aqueous solutions, N₂O is used as a pressurized gas in polyploidy studies. N₂O, a gas that can rapidly penetrate plant tissues through stomata and intercellular spaces, offers several advantages over other mutagens. Among these are its ease of application and its lower environmental impact compared to other mutagens (Kara and Doğan 2023). Furthermore, if N₂O treatment is applied at the correct time, the resulting plants can be 100% polyploid (Kihara and Tsunewaki, 1960).

It has been reported that the use of autotetraploid ‘Gloire’ and ‘3309’ as rootstocks for the ‘Kyoho’ grape variety resulted in better berry coloration (Motosugi et al., 2007), and that resistance to phylloxera increased in rootstocks with increased ploidy levels (Motosugi et al., 2002). When pollinated flowers in which zygotic mitosis has begun are treated with N₂O, the resulting embryos become truly polyploid, while if flowers are treated at later stages, the embryos will become chimeras. On the other hand, a prolonged treatment for two or more cell division cycles will induce octoploids or higher polyploids (Kihara and Tsunewaki, 1960). Studies on ploidy determination in grapevines using N₂O treatment are scarce. This study aimed to investigate indirect ploidy determination methods obtained by applying N₂O to 41B and Ramsey rootstocks.

2. MATERIALS AND METHODS

41 B and Ramsey grapevine rootstock seeds were subjected to a viability test using the water flotation method before dormancy. Viable seeds were stratified in a plastic bag containing moist perlite for 90 days at +4°C. After 90 days, the seeds were removed from dormancy and sown in vials containing a 1:1 peat:perlite mixture after N₂O application. For N₂O application, the seeds were placed in pressure-resistant tanks, and gas flow was provided into the tank through a N₂O tube connected to a pressure regulator. 5 bar N₂O was applied to the seeds for various durations (48-72 hours). The N₂O pressure in the tank was adjusted to increase by 1 atm every 6 minutes. The N₂O discharge was performed using the same method.

As a result of the treatments, the number of living plants (viability rate), shoot length, and shoot diameter were examined. Leaf epidermal scars were removed from the undersides of leaves using transparent nail polish, and stomatal observations were made using a 40x magnification objective and 10x magnification ocular micrometer (Kara and Doğan 2023). In addition, fresh leaves were bleached in Carnoy's solution (3 parts ethyl alcohol: 1 part glacial acetic acid) and then stained with 1% I-KI solution for chloroplast counting (Yuan et al., 2009). In addition to these measurements, the chlorophyll content of the 3rd and 4th leaves from the shoot tip was measured using a chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta, Japan). Statistics were determined by performing Duncan multiple comparison test in SPSS 25 package program (Doğan et al., 2023).

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Effects on Viability Rate, Shoot Length and Shoot Diameter

The effects of N₂O application to the seeds of 41B and Ramsey grapevine rootstocks on vigor, shoot length and shoot diameter were found to be statistically significant. As a result of the study, the highest viability was observed in the control groups, while the lowest vigor was observed in the 72-hour N₂O application of 41B grapevine rootstock. When the effects on shoot length were examined, the longest shoots were observed in the control group of 41 B grapevine rootstock, while the lowest shoot lengths were observed in the 48-hour application of Ramsey grapevine rootstock. Also, when the effects on shoot age were examined, the highest diameter was observed in the control group of Ramsey grapevine rootstock, while the lowest diameter was observed in the 48-hour application of Ramsey grapevine rootstock (Table 1).

Table 1. Effects of N₂O application on the viability, shoot length and shoot diameter of 41 B and Ramsey grapevine rootstock seeds during germination stage

Rootstock	Duration	Viability Rate (%)	Shoot length (cm)	Shoot diameter (mm)
41 B	Control	98.33±2.89 a	10.44±0.80 a	1.72±0.04 a
	48 Saat	88.33±2.89 b	6.97±0.14 c	1.54±0.02 c
	72 Saat	76.67±2.89 c	8.24±0.16 b	1.64±0.04 b
Ramsey	Control	98.33±2.89 a	10.23±0.72 a	1.74±0.05 a
	48 Saat	91.67±2.89 b	5.71±0.15 d	1.47±0.03 d
	72 Saat	78.33±2.89 c	6.85±0.09 c	1.61±0.05 c

3.2. Effect on Stoma Properties

The effects of the applications on stoma properties were investigated and the results were found to be statistically significant. As a result of N₂O applications, the highest effect on

stoma width was determined in the 72-hour application to 41B grapevine rootstock, while the lowest width was determined in the control group of Ramsey rootstock. When the effects on stoma length were examined, the highest effect was determined in the 72-hour application to 41 grapevine rootstock seeds, while the lowest length was again determined in the control group of Ramsey rootstock. In the stoma density data, the highest stoma number was determined in the control group of Ramsey rootstock seeds, while the lowest density was determined in the 72-hour application to 41B grapevine rootstock seeds (Table 2).

Table 2. Effects of N₂O application on stoma properties of 41 B and Ramsey rootstock seeds during germination stage

Rootstock	Duration	Stoma width (μm)	Stoma length (μm)	Stoma number (mm ⁻²)
41 B	Control	16.35±0.18 e	26.15±0.18 d	224.33±8.00 a
	48 Saat	17.91±0.28 c	29.08±0.27 c	189.55±9.35 b
	72 Saat	18.91±0.18 a	30.81±0.54 a	158.63±8.45 c
Ramsey	Control	16.29±0.21 e	26.06±0.19 d	228.13±10.24 a
	48 Saat	17.07±0.17 d	28.77±0.30 c	182.34±6.05 b
	72 Saat	18.31±0.22 b	30.01±0.12 b	166.85±6.57 c

3.3. Effect on Chloroplast Number and Chlorophyll Content (SPAD)

The effects of N₂O applications on chloroplast counts and SPAD values were found to be statistically significant. When the effects of the applications were examined, the highest chloroplast count was determined in the 72-hour application to 41B grapevine rootstock seeds, while the lowest chloroplast count was determined in the control group of Ramsey grapevine rootstocks. When SPAD values were examined, the highest results were determined in the 72-hour application to 41B grapevine rootstock seeds, while the lowest value was again determined in the control group of Ramsey grapevine rootstocks. In addition, as a result of the applications, higher values were obtained in the 72-hour application compared to the 48-hour application for both grapevine rootstocks (Table 3).

Table 3. Effects of N₂O application on chloroplast number and SPAD value of 41 B and Ramsey grapevine rootstock seeds during germination stage

Rootstock	Duration	Chloroplast number (no stoma ⁻¹)	SPAD
41 B	Control	20.02±0.13 d	29.07±1.12 d
	48 Saat	21.65±0.46 c	33.15±0.72 c
	72 Saat	24.18±0.58 a	35.03±1.63 a
Ramsey	Control	19.97±0.11 d	28.51±1.28 d
	48 Saat	21.00±0.22 c	30.64±0.57 d
	72 Saat	23.28±0.49 b	33.55±0.36 ab

Successful polyploidy induction requires a synergistic match between effective penetration of the antimetabolic agent and may depend on the duration and dose of exposure to the antimetabolic agent, tissue types, and interactions with the basal environment and plant growth regulators (Touchell et al., 2020). With the correct application time and duration, N₂O, due to its small

molecular structure, can easily penetrate the plant and promote polyploidy. Furthermore, N₂O is not as harmful to the environment as other mutagens (Kara et al., 2018).

In our study, decreases were observed in the viability, shoot length, and shoot diameter of the applied treatments compared to the control. Soria Arteaga et al., (2023) applied N₂O to bellflower, similar to our study, reducing the viability. In a different study, N₂O applications did not affect the viability of marigold. Similar to our study, decreases in shoot length were also observed in treatments applied to Ekşi Kara and Gök Üzüm cultivars (Kara et al., 2021). Wongprichachan et al. (2013) applied 5 bar N₂O for 0, 24, and 48 hours, and the viability of the seeds they obtained decreased with increasing treatment time, respectively. This study, along with our study, shows that increasing treatment time is in the opposite direction to the viability rate. In general, lower concentrations and shorter treatment times increase the survival rate while decreasing the frequency of obtaining tetraploid plants (Väinölä, 2000; Zhang et al., 2008). In our study, lower doses resulted in higher survival rates than higher doses.

Stoma measurements, known as an indirect method, are frequently used in the identification of polyploid plants (Moghbel et al., 2015). Stoma measurements are also useful for the rapid and early identification of polyploids (Gu et al., 2005; Tang et al., 2010). Furthermore, the method used to determine stomatal characteristics is simple and does not require expensive equipment (Kara and Doğan 2023). N₂O applications caused increases in stomatal length and width, while decreases in stoma number were observed in both grapevine rootstocks. In a study by Kara et al. (2018), stoma density decreased by 28% with N₂O applications. In another study, applications to sea lavender caused increases in stoma length and decreases in stoma density (Cordoba-Sanchez et al., 2024). Özer and Kara (2025) applied N₂O to Trakya İlkeren, Ekşi Kara, and Gök Üzüm cultivars, causing increases in stoma length and width, and decreases in stomatal density. Our study is similar to the literature in terms of stoma characteristics.

Changes in leaf anatomical features, which are associated with an increase in cell size with an increase in ploidy level in plants (Dwivedi et al., 1986), are widely used to evaluate and monitor polyploidy induction (Zhang et al., 2010). Many researchers report that chloroplast number is more effective in determining ploidy level (Compton et al., 1996; Chakraborti et al., 1998; Zhang et al., 2005). It is also known that chloroplast counts are one of the most economical and efficient methods for determining ploidy level along with stomatal size (Xie et al. 2015). It is also known that in polyploidy studies, the chlorophyll content of tetraploid plants increases compared to diploids (Rao et al., 2019; Mo et al., 2020). In our study, increases in chloroplast number and chlorophyll content were detected as a result of N₂O applications compared to the control. Similar to our study, N₂O applications to 41 B and Fercal grapevine rootstocks increased chloroplast count and chlorophyll content (Kara and Doğan, 2023). In other studies, N₂O applications also resulted in increases in chloroplast count (Özer and Kara 2025) and chlorophyll content (Basit and Lim 2025). In this respect, our study parallels the literature.

4. CONCLUSION

The treatments reduced seed viability, shoot length, and shoot diameter. While a decrease in stomatal number was observed, increases in stomatal length and width were observed. Additionally, increases in stomatal chloroplast count and leaf chlorophyll content (SPAD) were also observed compared to the control. N₂O treatments were found to affect vegetative growth

and stomatal characteristics on 41B and Ramsey grapevine rootstocks. Indirect methods for determining polyploidy have shown that N₂O can produce polyploid grapevine rootstocks. It is recommended that future studies complement these parameters with direct methods for determining polyploidy, such as flow cytometry and chromosome counting.

REFERENCES

- Alston, J. M., & Sambucci, O. (2019). Grapes in the world economy. In *The grape genome* (pp. 1-24). Cham: Springer International Publishing.
- Basit, A., & Lim, K. B. (2025). Investigating nitrous oxide as a scientific approach to polyploidy induction and vegetative growth enhancement in watermelon (*Citrullus lanatus*). *Euphytica*, 221(7), 100.
- Chakraborti, S. P., Vijayan, K., Roy, B. N., & Qadri, S. M. H. (1998). In vitro induction of tetraploidy in mulberry (*Morus alba* L.). *Plant Cell Reports*, 17(10), 799-803.
- Compton, M. E., Gray, D. J., & Elmstrom, G. W. (1996). Identification of tetraploid regenerants from cotyledons of diploid watermelon cultured *in vitro*. *Euphytica*, 87(3), 165-172.
- Cordoba-Sanchez, J., Funnell, K., Hedderley, D., Roskrige, N., & Morgan, E. (2024). Nitrous Oxide Treatment after Pollination Induces Ploidy Changes in Statice (*Limonium* sp.). *Horticulturae*, 10(8), 816.
- Doğan, O., Azot Protoksit ve Orizalinin ‘41 B’ ile ‘Fercal’ Asma Anaçlarında Mutajenik Etkileri. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2022.
- Doğan, O., Kara, Z., Yazar, K., & Ekinci, H. (2023). Diploit ve tetraploit asma genotiplerinde polipolidi doğrulama yöntemlerinin testi. *Bahçe*, 52(Özel Sayı 1), 10-17.
- SB, D., & CR, S. (1986). Induced tetraploidy in mulberry I morphological, anatomical and cytological investigations in cultivar RFS-135. *Cytologia*, 51(2), 393-401.
- Gu, X. F., Yang, A. F., Meng, H., & Zhang, J. (2005). *In vitro* induction of tetraploid plants from diploid *Zizyphus jujuba* Mill. cv. Zhanhua. *Plant cell reports*, 24(11), 671-676.
- Kara, Z., & Doğan, O. (2023). Mutagenic effects of nitrogen protoxide and oryzalin on “41 B” and “Fercal” grapevine rootstocks seedlings. *Breeding Science*, 73(4), 355-364.
- Kara, Z., Erboğa, M., & Doğan, O. (2021). The effects of nitrogen protoxide and orizalin on promotion of polyploidy in grapes. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 35(3), 244-248.
- Kara, Z., Yazar, K., Doğan, O., Sabir, A., & Özer, A. (2018, August). Induction of ploidy in some grapevine genotypes by N₂O treatments. In *XXX International Horticultural Congress IHC2018: International Symposium on Viticulture: Primary Production and Processing 1276* (pp. 239-246).
- Karataş, D. D., & Kunter, B. (2012). Sultani Çekirdeksiz ve Kalecik Karası üzüm çeşitlerinde uyarılmış mutasyon etkilerinin sitolojik incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2), 59-64.
- Keller, M. (2020). *The science of grapevines*. Anatomy and Physiology, 3rd edn. Elsevier Academic Press, United States, p. 541, 2020.
- Kihara, H., & Tsunewaki, K. (1960). Production of polyploid wheat by nitrous oxide. *Proceedings of the Japan Academy*, 36(10), 658-663.

- Mo, L., Chen, J., Lou, X., Xu, Q., Dong, R., Tong, Z., ... & Lin, E. (2020). Colchicine-induced polyploidy in *Rhododendron fortunei* Lindl. *Plants*, 9(4), 424.
- Moghbel, N., Borujeni, M. K., & Bernard, F. (2015). Colchicine effect on the DNA content and stomata size of *Glycyrrhiza glabra* var. glandulifera and *Carthamus tinctorius* L. cultured *in vitro*. *Journal of Genetic engineering and Biotechnology*, 13(1), 1-6.
- Motosugi, H. (2002). Production of triploid grape [*Vitis*] rootstocks. *Bulletin of Experimental Farm, Faculty of Agriculture-Kyoto Prefectural University (Japan)*, (22), 1-7.
- Motosugi, H., Yamamoto, Y., Naruo, T., & Yamaguchi, D. (2007). Growth and fruit quality of 'Kyoho'grapevines grafted on autotetraploid rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 76(4), 271-278.
- Özer, A., & Kara, Z. (2025). Nitrous oxide induces polyploidy in grapevine. *Acta Physiologiae Plantarum*, 47(6), 65.
- Rao, S., Kang, X., Li, J., & Chen, J. (2019). Induction, identification and characterization of tetraploidy in *Lycium ruthenicum*. *Breeding Science*, 69(1), 160-168.
- Riaz, S., Pap, D., Uretsky, J., Laucou, V., Boursiquot, J. M., Kocsis, L., & Andrew Walker, M. (2019). Genetic diversity and parentage analysis of grape rootstocks. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(6), 1847-1860.
- Soria Arteaga, S., Barba-González, R., Tapia-Campos, E., Rodríguez-Dominguez, J. M., & De Donato Capote, M. (2023, July). Evaluation of the effect of nitrous oxide on the ploidy level of *Eustoma grandiflorum*. In *XXVII International EUCARPIA Symposium Section Ornamentals: From Nature to Culture-Breeding Ornamentals for Sustainability 1383* (pp. 169-174).
- Tang, Z. Q., Chen, D. L., Song, Z. J., He, Y. C., & Cai, D. T. (2010). *In vitro* induction and identification of tetraploid plants of *Paulownia tomentosa*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 102(2), 213-220.
- Touchell, D. H., Palmer, I. E., & Ranney, T. G. (2020). *In vitro* ploidy manipulation for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 11, 722.
- Väinölä, A. (2000). Polyploidization and early screening of *Rhododendron* hybrids. *Euphytica*, 112(3), 239-244.
- VIVC, 2025, <https://www.vivc.de/index.php?r=passport-statistic%2Findex>, [15.8.2025].
- Wongprichachan, P., Huang, K. L., Hsu, S. T., Chou, Y. M., Liu, T. Y., & Okubo, H. (2013). Induction of Polyploid *Phalaenopsis amabilis* by N₂O Treatment, *J. Fac. Agr., Kyushu Univ*, 58 (1), 33–36.
- Xie, X., Agüero, C. B., Wang, Y., & Walker, M. A. (2015). *In vitro* induction of tetraploids in *Vitis* × *Muscadinia* hybrids. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 122(3), 675-683.
- Yuan, S.-x., Liu, Y.-M., Fang, Z.-Y., Yang, L.-M., Zhuang, M., Zhang, Y.-Y., & Sun, P.-T.. (2009). Study on the relationship between the ploidy level of microspore-derived plants and the number of chloroplast in stomatal guard cells in *Brassica oleracea*, *Agric. Sci. China*, 8 (8), 939-946.
- Zhang, L. Y., Guo, Q. G., Li, X. L., Zeng, H., Tan, J. M., & Liang, G. L. (2005). Study on the relationship between the number of chloroplast in stomata guard cell and the ploidy of loquat cultivars. *Journal of Fruit Science*, 22(3), 229.

- Zhang, Q., Luo, F., Liu, L., & Guo, F. (2010). *In vitro* induction of tetraploids in crape myrtle (*Lagerstroemia indica* L.). *Plant cell, tissue and organ culture (PCTOC)*, 101(1), 41-47.
- Zhang, Z., Dai, H., Xiao, M., & Liu, X. (2008). *In vitro* induction of tetraploids in *Phlox subulata* L. *Euphytica*, 159(1), 59-65.

BİR AÇIK OCAK İŞLETMESİNDE OPTİMUM DÖNGÜ SÜRESİ İLE EN EKONOMİK YÜKLEYİCİ-TAŞIYICI EŞLEŞMESİNİN YAPILMASI

Dr. Furkan Kerem KASA

Çukurova Üniversitesi / Maden Mühendisliği Bölümü

furkankasa@gmail.com, 0000-0001-8144-1112

Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi / Maden Mühendisliği Bölümü

tdyildiz@atu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4043-2257

ÖZET

Açık ocak maden işletmelerinde yükleme-taşıma süreci, madencilikte toplam işletme maliyetinin %30-50'sini oluşturmaktadır. Bu nedenle yükleyici-taşıyıcıların döngü süreleri ve birbirleriyle uyumları madencilik maliyetlerinin düşürülmesini sağlamaktadır. Büyük kapasiteli işletmelerde tek bir yükleme noktası yerine birden fazla döküm noktası da olabilmektedir. Dolayısıyla bu yükleme-döküm noktalarının varlığında birden fazla farklı yükleyici-taşıyıcı kombinasyonunun yapılarak optimum döngü süresi üzerinden bir planlama yapılması hem madencilik işletme birim maliyetlerini düşürebilmekte hem de maden ömrünün kısılmasını sağlayarak toplam maliyetlerin düşüşünü ve toplam işletme kârının artışı sağlayabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, yükleyici-taşıyıcı döngü sürelerinin optimizasyonu ve bunu sağlayabilecek minimum maliyetli ve en verimli yükleyici-taşıyıcı seçimi hedeflenmiştir. Öncelikle birden fazla yükleyici ve taşıyıcı modeli seçilerek kombinasyon oluşturulmuş ve minimum yatırım ve birim işletme maliyeti, minimum döngü süresi olacak şekilde, yükleme ve döküm sahalarının mesafeleri de bu hesaplama dahil edilerek, işletmenin ekonomik çalışmasına destek verebilecek yükleyici-taşıyıcı kombinasyonunun seçimi yapılmıştır. Bu çalışma, uygun yükleyici-taşıyıcı seçiminde açık ocak işletmecilerine rehber olabilecektir. Gelecekte, yapay zeka teknolojileri ile yükleyici-taşıyıcı takibi yapılarak bu makinelerin optimum olarak açık ocak içerisinde sevk ve idaresinin yapılabileceği projelerin geliştirilmesi önerilir.

Anahtar Kelimeler: Cycle süresi; İşletme gideri; Maden ekonomisi; Yapay zeka; Yatırım gideri.

PROVIDING THE MOST ECONOMICAL LOADER-TRUCK MATCH WITH OPTIMUM CYCLE TIME IN AN OPEN PIT MINE

ABSTRACT

In open pit mining operations, the loading-haulage process constitutes 30-50% of the total operating costs in mining. Therefore, the cycle times of loaders and trucks, as well as their compatibility with each other, ensure that mining costs are reduced. In large-capacity operations, there may be more than one dumping point instead of a single loading point. Therefore, in the presence of these loading-dumping points, planning the optimum cycle time by considering more than one different loader-truck combination can both reduce mining operation unit costs and shorten mine life, thus reducing total costs and increasing total operating profit. Therefore, this study aims to optimize the loader-truck cycle times and to select the most efficient loader-carrier with the minimum cost that can achieve this. First of all, a combination was conducted by selecting more than one loader and carrier model, and the loader-truck combination that could support the economic operation of the enterprise was selected by including the distances of the loading and dumping areas in this calculation, with minimum investment and unit operating cost, and minimum cycle time. This study can guide open pit operators in selecting the appropriate loader-carrier. In the future, it is recommended to develop projects that will enable the optimum dispatch and management of these machines within the open pit by monitoring the loader-truck with artificial intelligence technologies.

Keywords: Cycle time; Operating cost; Mineral economy; Artificial intelligence; Investment cost.

SWELLING CHARACTERISTICS OF CHITOSAN-BASED FOAM AND FILM STRUCTURES FOR WOUND DRESSING APPLICATIONS

Assist. Prof. Dr., Gamze D. TETIK

Uşak University, gamze.tetik@usak.edu.tr – ORCID ID: 0000-0002-5968-7244

BSc. Myar YOUSEF

Uşak University, myaryousef996@gmail.com - ORCID ID: 0009-0004-4467-8654

ABSTRACT

Swelling is a crucial property for wound dressings, especially those intended for exuding wounds. Chitosan (CS), an acetylated derivative of chitin, is a biocompatible and antimicrobial biopolymer widely used in wound treatment applications. This study aims to characterize the swelling behavior of CS-based wound dressing structures. Since morphology significantly influences this property, CS in freeze-dried foam form and solvent-cast film form were investigated. A 2% (w/v) CS solution was prepared by dissolving CS in a 2.5% (v/v) aqueous acetic acid solution. Both foam and film structures were crosslinked using 20% glutaraldehyde vapor in a desiccator placed in an oven set to 37°C. Changes in the weight of the foam and film samples before and after crosslinking were recorded. An isotonic solution (0.9% NaCl) was used as the swelling medium. Swelling was measured at six different time intervals: 2, 4, 6, 8, 24, and 96 hours. 12-well plates were used for the swelling tests; each filled with 3 mL of isotonic solution and a 0.5 g CS foam/film sample. Measurements were performed in triplicate. CS film samples showed a maximum swelling degree of 577% at 24 hours, whereas foam samples exhibited a gradually increasing swelling degree, reaching up to 986% at 6 hours, followed by a decrease. The study demonstrated that CS foam samples can absorb significantly more exudate in a shorter time compared to film samples. These findings suggest that CS-based freeze-dried foams have strong potential as exudate-absorbing wound dressing materials.

Keywords: chitosan, film, foam, swelling, wound dressing

1. INTRODUCTION

Wound dressings which are defined as dressings covering wounds, support the healing process according to the type of wound. They are composed of biocompatible raw materials, and they serve as a wound protection barrier. They allow oxygen transfer that the wound requires during healing (Boateng et al., 2008; Kibungu et al., 2021).

Polymer-based foam (Kraskouski et al. 2024), film (Sezer et al., 2007), hydrocolloid (Halim et al., 2018), hydrogel (Huang et al., 2018), nanofiber-structured (Zhou et al., 2021), and alginate-based wound dressings (Qin, 2023) are types of wound dressings (Gul, 2007). These wound dressings are utilized for different types of wounds. Wounds can be classified into three main categories: (i) classification according to the time of wound formation (acute and chronic wounds), (ii) classification according to the skin integrity (open and closed wounds), (iii) classification according to the contamination of wounds (clean, contaminated, and infected wounds) (Oztas, 2021). In addition, classification can be made according to whether the wound is exudative or dry. There are different wound dressings required for different wound types. Not all dressings are suitable for every wound type. Furthermore, wound dressing selection is not solely based on the wound type and application area. The stage of the wound is also crucial in dressing selection (Bozbas and Gurer, 2011).

Exudate, which can be encountered at different stages of different wounds, means wound fluid, and it contains components such as water, glucose, fibroin, protein, immune cells, growth factors, etc. (WUWHS, 2019). Absorbing exudate and promoting healing are the key factors for wound dressings in exudative wounds or stages (Shete et al., 2022). Since exudative wounds heal faster than dry wounds, management of the exudate by wound dressings is crucial. For the prevention of skin maceration, removal of exudate from the tissue and control of moisture are needed. Wound dressings having high absorption rates are suitable for exudative wounds, such as foams, alginate-based, and hydrogels (Stoica et al., 2020; Fan 2018).

Natural substances are raw materials used in the production of various medical products, and their unique natural properties make them stand out for a variety of applications. One of the most important of these raw materials is chitosan. Chitosan (CS) is a common polymer that is generally used in the production of wound dressings due to its natural antibacterial characteristics. It is the deacetylated form of chitin and is biocompatible. Exhibiting hemostatic activity, accelerating skin proliferation, promoting migration of cells, and facilitating tissue regeneration are other advantages of CS (Feng et al., 2021; Kibungu et al., 2021). CS based hydrogel wound dressings manage the moisture over the surface of the wound (Liu et al., 2018), while foam (sponge) structured CS based wound dressings exhibit higher exudate absorption which is so important for exuding wounds (Kraskouski et al., 2024).

In this study, the swelling characteristics of film- and foam-structured chitosan wound dressings were investigated. Since swelling is directly associated with the medium uptake and exudate removal capability of wound dressings, an attempt has been made to present a comparative view between film and foam structured dressings.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

Chitosan (CS) polymer is a biocompatible and naturally antimicrobial polymer that has many advantages. Low molecular weight CS used in this study. (50-190 kDa, 20-300 cP- 1 wt. % in 1% acetic acid (25 °C, Brookfield), soluble in dilute aqueous acid).

Acetic acid used in this study is glacial and purity is 99.8%. Chitosan and acetic acid were obtained from Sigma – Aldrich company.

2.2. Methods

Film Preparation Procedure

2% (w/v) CS was dissolved in 2.5 % (v/v) acetic acid aqueous solution via overnight magnetic stirring (Velp Scientifica, Italy). After obtaining a homogenous solution, solution was cast into Petri dishes (9 cm Ø, one plate, polystyrene, ISOLAB GmbH, Germany). Each Petri dish was filled with 20 mL of CS solution. Drying of cast films was performed under room temperature within 48 h.

Foam Preparation Procedure

2% (w/v) CS solution was dissolved in 2.5 % (v/v) acetic acid aqueous solution via overnight magnetic stirring. Homogenous CS solution was poured into Falcon tubes (50 mL, plastic, screw-capped, ISOLAB GmbH, Germany). Freeze-dryer was adjusted to -20 °C for 24 hours. Afterwards, thawing at room temperature is completed.

Crosslinking Procedure

Since CS is a partially water-soluble polymer and can show adherence to wounds with exudate, a crosslinking treatment is required. Both film and foam samples were crosslinked with 20 % glutaraldehyde (GA) vapor in a desiccator placed in an oven set to 37°C.

Swelling Tests

CS film and foam samples were cut, and weight measurements were taken by analytical balance (0.1 mg accuracy, Radwag, Poland). Approximately 0.5 grams of films and foams were determined as initial weights. Changes in the weight of the foam and film samples before and after crosslinking were recorded.

Isotonic solution (0.9% NaCl) was used as the swelling medium. 12-well plates were used for the swelling tests; each filled with 3 mL of isotonic solution and a 0.5 g CS foam/film sample. Swelling was measured at six different time intervals: 2, 4, 6, 8, 24, and 96 hours. At each interval, the samples were removed, excess isotonic solution was filtered by filter paper and wiped. The weight values of CS film and foam samples were recorded. Samples were carefully placed in 12-well plates again with 3 mL of isotonic solution for another time duration. Swelling (%) is calculated according to equation (1):

$$\text{Swelling Degree (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \cdot 100 \quad (1)$$

where W_1 is the initial dry weight and W_2 is the filtered and wiped sample weight taken after each interval. Measurements were performed in triplicate and the results are given as mean $\pm$ standard deviation in graphs.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Swelling degrees of CS based film and foam structured dressings were calculated according to the Eq. (1) from the weights of the samples taken at determined intervals. Swelling degrees are given as percentage values versus batch release times (hours) in Figure 1. As seen from the figure, CS foam dressings have higher swelling degrees than CS film dressings throughout the entire release test. CS film samples showed a maximum swelling degree of 577% at 24 hours, whereas foam samples exhibited a gradually increasing swelling degree, reaching up to 986% at 6 hours, followed by a decrease. This means that film samples can reach approx. 5.8 times their weight at 24 h, and foam samples can reach approx. 9.9 times their weight at 6 h. In this way, they can both absorb exudate and control the moisture on the wound.

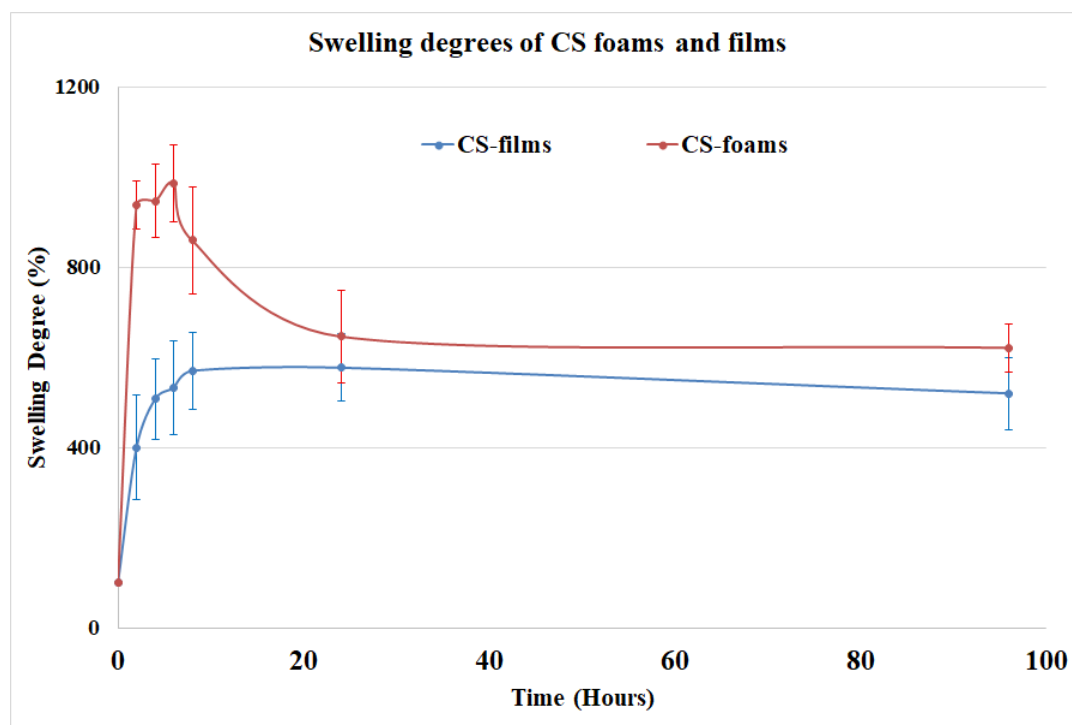


Figure 1. Swelling Degrees of Foams and Films

As mentioned in the methods section, CS based film and foam dressings were crosslinked with GA vapor. There are studies in the literature expressing swelling degrees of CS hydrogel dressings ranging from 600 to 1200 % according to the GA ratio used (Mirzaei et al., 2013). Hydrogels have flexible chains, and this makes them absorptive. According to Mirzaei et al.'s results, swelling and absorption levels decrease with the increased crosslinking agent ratio. Similarly, CS based film and foam samples developed in this study showed a minimum 400 % and a maximum of 986 % swelling degrees.

The difference between the swelling degrees of the samples arises from the differences in their structures. Film samples are 2D materials with low thickness values. However, foam samples

are more voluminous, and their thickness can reach up to centimeters. Since film samples are dried at room temperature and foam samples are freeze-dried, their conformational structures are also diverse. The decrease of temperature to -80 °C during the freeze-drying process leads to the formation of ice crystals. These crystals grow and form a compress on chitosan molecular chains. When sublimation takes place, these chains are settled in the gaps that ice crystals constitute. Then, porous, voluminous, and foam-formed CS is obtained (Song et al., 2021). In this study, the freeze-dryer temperature is adjusted to -20 °C, and this temperature is quite low to create small pores via ice crystals. So, it is thought that CS-based foam-structured dressing has larger pores and exhibits higher swelling degrees up to ~%990.

Cast films had denser structures than foam samples, and they were nonporous. They were dried at room temperature. Since they were prepared with aqueous acetic acid solution, they still contained water inside, and they were transparent. Denser structures and water content caused them to have lower swelling degrees when compared to foam samples.

4. CONCLUSION

In exudative wound treatment, the use of dressings with high swelling degrees is important for effective moisture management on the wound surface, thereby enhancing healing and preventing maceration. Biopolymers obtained from natural sources that exhibit good biocompatibility and/or antimicrobial properties remain at the forefront. Chitosan is one such biopolymer, and it is suitable for various medical applications. In this study it is revealed that film or foam structured CS-based wound dressings exhibited different swelling degrees in all tested batch release intervals. Film and foam dressings had maximum swelling degrees of 577% at 24 h and 986% at 6 h, respectively. This means that the exudate absorptivity of CS foam samples is higher in shorter times. It can be concluded that CS-based freeze-dried foams are convenient as exudate-absorbing wound dressings.

REFERENCES

- Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N. E., & Eccleston, G. M. (2008). Wound healing dressings and drug delivery systems: A review. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 97(8), 2892–2923. <https://doi.org/10.1002/jps.21210>
- Bozbaş, G. T., & Güner, G. (2011). Current treatment approaches in pressure ulcers. *Sakarya Medical Journal*, 1(4), 118–125. <https://doi.org/10.5505/sakaryamj.2011.24633>
- Fan, T. S. (2018). *Development of three-dimensional spacer fabrics as absorbent and cushioning layer for advanced composite wound dressing* (Doctoral dissertation). The Hong Kong Polytechnic University.
- Feng, P., Luo, Y., Ke, C., Qiu, H., Wang, W., Zhu, Y., Hou, R., Xu, L., & Wu, S. (2021). Chitosan-based functional materials for skin wound repair: Mechanisms and applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 650598. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.650598>

- Gul, U. (2007). Wound dressings. *Türkiye Klinikleri Journal of Internal Medical Sciences*, 3(48), 18–23.
- Halim, A. S., Nor, F. M., Mat Saad, A. Z., Mohd Nasir, N. A., Norsa'adah, B., & Ujang, Z. (2018). Efficacy of chitosan derivative films versus hydrocolloid dressing on superficial wounds. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 13(6), 512–520. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2018.10.004>
- Huang, W., Wang, Y., Huang, Z., Wang, X., Chen, L., Zhang, Y., & Zhang, L. (2018). On-demand dissolvable self-healing hydrogel based on carboxymethyl chitosan and cellulose nanocrystal for deep partial-thickness burn wound healing. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10(48), 41076–41088. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b14526>
- Kibungu, C., Kondiah, P. P. D., Kumar, P., & Choonara, Y. E. (2021). Recent advances in chitosan and alginate-based hydrogels for wound healing application. *Frontiers in Materials*, 8, 681960. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.681960>
- Kraskouski, A., Mashkin, M., Kulikouskaya, V., Savich, V., Sidarenka, A., Pinchuk, S., & Li, R. (2024). Design of highly porous materials based on chitosan/pectin interpolyelectrolyte complex for wound healing application. *Advances in Polymer Technology*, 2024, 8747902. <https://doi.org/10.1155/2024/8747902>
- Liu, H., Wang, C., Li, C., Qin, Y., Wang, Z., Yang, F., Li, Z., & Wang, J. (2018). A functional chitosan-based hydrogel as a wound dressing and drug delivery system in the treatment of wound healing. *RSC Advances*, 8(14), 7533–7549. <https://doi.org/10.1039/C7RA13510F>
- Mirzaei, B. E., Ramazani, S. A., Shafiee, M., & Danaei, M. (2013). Studies on glutaraldehyde crosslinked chitosan hydrogel properties for drug delivery systems. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 62(11), 605–611. <https://doi.org/10.1080/00914037.2013.769165>
- Öztaş, P. (2021). Wound healing, care and treatment. *Medical Journal of Ankara Training and Research Hospital*, 54(2), 341–351. <https://doi.org/10.20492/aeahd.931499>
- Qin, Y. (2006). The characterization of alginate wound dressings with different fiber and textile structures. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(4), 2516–2520. <https://doi.org/10.1002/app.23668>
- Sezer, A. D., Hatipoğlu, F., Cevher, E., Oğurtan, Z., Baş, A. L., & Akbuğa, J. (2007). Chitosan film containing fucoidan as a wound dressing for dermal burn healing: Preparation and in vitro/in vivo evaluation. *AAPS PharmSciTech*, 8(2), Article 39. <https://doi.org/10.1208/pt0802039>
- Shete, B., Gulhane, R., & Hantodkar, R. (2022). A comprehensive review on wound dressings and their comparative effectiveness on healing of contaminated wounds and ulcers. *Archives of Anesthesia and Critical Care*, 8(2), 151–158.

- Song, W., Xu, J., Gao, L., Zhang, Q., Tong, J., & Ren, L. (2021). Preparation of freeze-dried porous chitosan microspheres for the removal of hexavalent chromium. *Applied Sciences*, 11(9), 4217. <https://doi.org/10.3390/app11094217>
- Stoica, A. E., Chircov, C., & Grumezescu, A. M. (2020). Nanomaterials for wound dressings: An up-to-date overview. *Molecules*, 25(11), 2699. <https://doi.org/10.3390/molecules25112699>
- World Union of Wound Healing Societies (WUWHS). (2019). *Wound exudate: Effective assessment and management. Consensus document.*
- Zhou, L., Cai, L., Ruan, H., Zhang, L., Wang, J., Jiang, H., Wu, Y., Feng, S., & Chen, J. (2021). Electrospun chitosan oligosaccharide/polycaprolactone nanofibers loaded with wound-healing compounds of rutin and quercetin as antibacterial dressings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1145–1154. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.031>

ALÜMİNYUM - EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ POLİMER KATMANLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN SERBEST TİTREŞİM DAVRANIŞI

Makine Yüksek Mühendisi, PhD Öğrencisi, MERİÇ IŞIK

Dokuz Eylül Üniversitesi, CMS Jant ve Mak. San. A.Ş., meric.i@ogr.deu.edu.tr - 0000-0002-6612-5717

Prof. Dr., BİNNUR GÖREN KIRAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, binnur.goren@deu.edu.tr - 0000-0001-7760-9306

Makine Mühendisi, İREM KÜÇÜK

Dokuz Eylül Üniversitesi, irem.kucuk.official@gmail.com – 0009-0009-2487-198X

ÖZET

Eklemeli imalat yöntemi son yıllarda farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu imalat yöntemi özellikle prototipleme aşamasında karmaşık yapıların üretimine katkı sağlamaktadır. Karmaşık yapıların üretiminin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamasına karşın önemli dezavantajlarından biri düşük mukavemet özellikleridir. Yeni bir yöntem olması nedeniyle malzeme özellikleri ile ilgili literatürde önemli boşluklar bulunmaktadır. Bu çalışmada alüminyum ve üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş polimer kirişlerin yapıştırılması ile elde edilen katmanlı kompozit kirişlerin serbest titreşim cevabı incelenmiştir. Titreşim deneyleri sonucunda belirlenen malzeme özellikleri ile yüksek modlardaki doğal frekans değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ANSYS Mechanical APDL yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, alüminyum plaka, polimer, sandviç kompozit kiriş, sonlu elemanlar analizi, serbest titreşim.

1. GİRİŞ

Yüksek mukavemet, hafiflik ve titreşim performansı gibi birçok gereksinimi karşılayabilen yapısal malzemeler günümüzde gittikçe daha fazla talep görmektedir. Bu tür malzemeler, özellikle otomotiv, havacılık ve denizcilik gibi ağırlığın kritik olduğu endüstrilerde tercih edilmektedir. Geleneksel homojen malzemeler ya yüksek mukavemet ya da yüksek sönümleme kabiliyeti sağlarken, bu özellikleri aynı anda optimum seviyede sunmakta yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada, katmanlı kompozit yapılar devreye girerek farklı malzeme özelliklerini bir araya getirmekte ve mühendislik uygulamalarında önemli avantajlar sağlamaktadır [1], [2].

Katmanlı kompozit sistemlerde genellikle rijit ve dayanıklı üst tabakalar, enerji soğurma ve sönümlenme özelliği yüksek çekirdek malzemeler ile birleştirilmektedir. Bu sayede, yapı elemanları hem yüksek direngenlik hem de titreşim performansı sergileyebilmektedir. Özellikle alüminyum ve polimer esaslı kirişlerden oluşan katmanlı kompozit sistemler, metal ve polimerin tamamlayıcı özelliklerini bir arada sunarak dengeli bir yapısal profil ortaya koymaktadır [3].

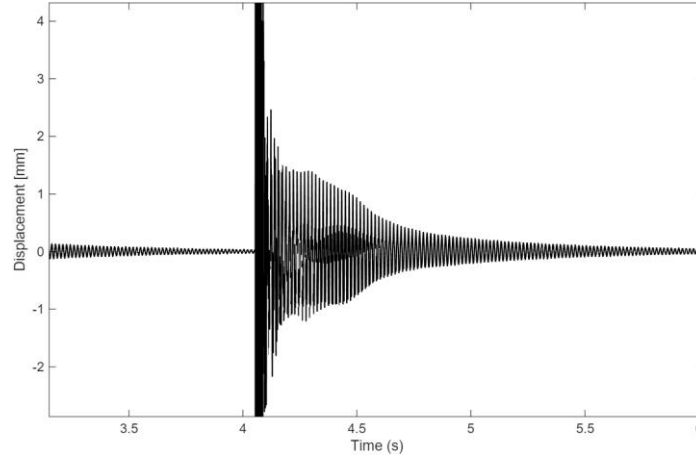
Literatürde, bu tür yapıların dinamik davranışlarının kapsamlı bir şekilde incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Daniel ve Abot (2000), kompozit sandviç kirişlerin dinamik cevaplarını inceleyerek katmanlı yapıların farklı yükleme koşullarında sergilediği titreşim davranışlarını detaylı şekilde analiz etmişlerdir. Bu çalışma, özellikle çekirdek ve yüzey tabakaları arasındaki etkileşimin sistemin doğal frekans ve sönümlenme özellikleri üzerindeki kritik rolünü ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Tagarielli ve arkadaşları (2005) ise üç nokta eğme deneyleri ile hem ankastre hem de basit mesnetli kompozit sandviç kirişlerin çökme davranışlarını incelemiş ve yük taşıma kapasitesinin tasarım parametrelerine duyarlılığını göstermişlerdir. Bu tür çalışmalar, katmanlı kompozit sistemlerin yalnızca statik değil, aynı zamanda dinamik yüklemeler altında da güvenilir ve etkin performans sergileyebildiğini vurgulamaktadır [4], [5].

Bu çalışmada, alüminyum ve polimer kirişlerden üretilen katmanlı kompozit kirişlerin serbest titreşim davranışı ve sönümlenme özellikleri incelenmiştir. Katmanlı kompozit kirişlerin doğal frekansları, mod şekilleri ve sönümlenme davranışları hem sayısal hem de deneysel yöntemlerle analiz edilerek literatürdeki bulgularla karşılaştırılmıştır. Böylece, malzeme çiftlerinin titreşim ve enerji soğurma performansına etkileri sistematik olarak ortaya koyulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

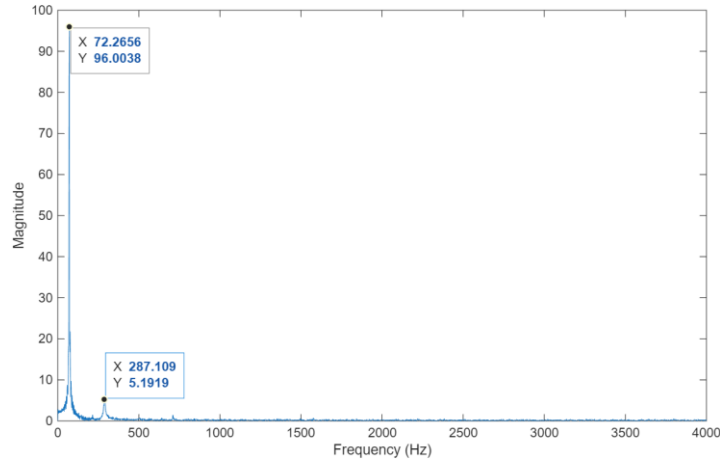
Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş polimer kompozit kiriş ve alüminyum plaka yapıştırılarak elde edilen katmanlı kompozit kirişin serbest titreşim cevabı deneysel ve ANSYS Mechanical APDL yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda eklemeli imalat yöntemi ile 12.7 mm×3.2 mm×127 mm boyutlarında polimer kiriş üretilmiştir. Ayrıca 12.7 mm×0.9 mm×127 mm boyutlarında alüminyum kirişler kesilmiştir. Kalınlığı 0.5 mm olacak şekilde epoksi yapıştırıcı kullanılarak iki kiriş birbirine yapıştırılarak üç adet katmanlı kompozit kiriş elde edilmiştir. Çalışma kapsamında sunulan ya da analizlerde kullanılan malzeme özellikleri için ortalama değerler dikkate alınmıştır.

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi için titreşim ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden edilen mekanik özellikler sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmıştır. Öncelikle 0.9 mm kalınlığındaki alüminyum kirişin uzunluğu 100 mm olacak şekilde ankastre olarak mesnetlenerek lazer deplasman ölçer ve ivme metre ile serbest titreşim ölçümleri yapılmıştır. İmpuls girdi için serbest titreşim cevabı zamana bağlı olarak Görsel 1’de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Görsel 1. Alüminyum kirişin zamana bağlı impuls girdi cevabı

Frekans cevabının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen FFT analizleri gerçekleştirilmiştir. Görsel 2 alüminyum kirişin frekans cevabını göstermektedir.



Görsel 2. Alüminyum kirişin frekans spektrumundaki impuls girdi cevabı

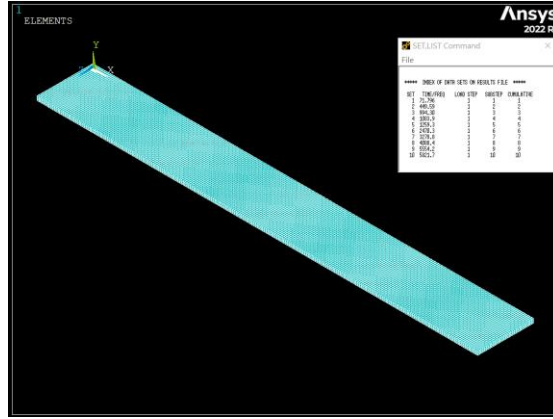
Zamana bağlı cevaptan ardışık pikler değerlendirilerek alüminyum kirişin sönüm oranı belirlenmiştir. Çizelge 1'de alüminyum kiriş için elde edilen malzeme özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Alüminyum kirişin malzeme özellikleri

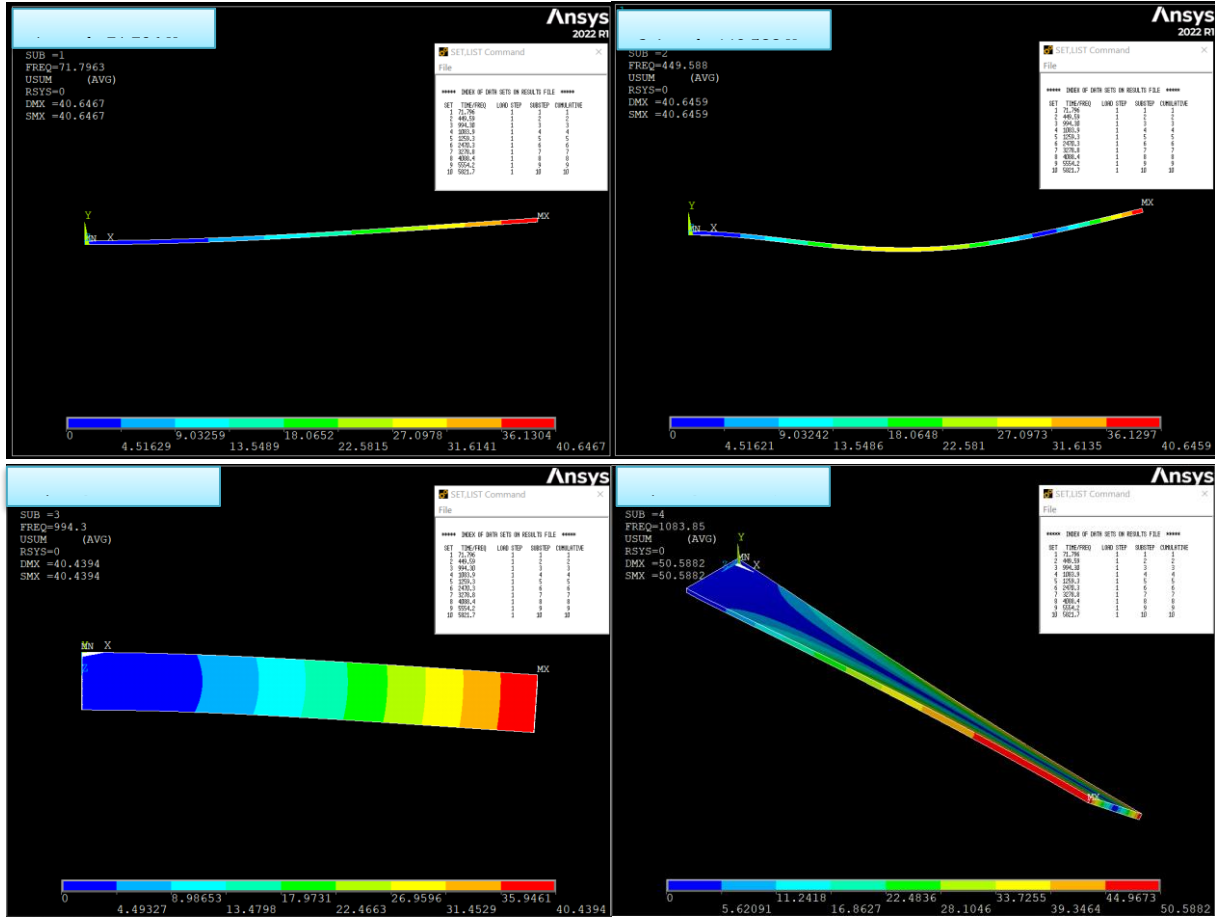
Elastisite modülü (MPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Sönüm oranı (-)
67908.61	2653.605	0.00296

Deneyssel olarak elde edilen malzeme özellikleri kullanılarak ANSYS Mechanical APDL yazılımı ile alüminyum kirişin katı modeli oluşturulmuş, SOLID186 elemanı ile çözüm ağı oluşturulmuştur. Kirişin sonlu elemanlar modeli 123109 düğüm ve 24000 elemandan oluşmaktadır. Analizler gerçekleştirilirken çözüm ağından bağımsızlığı incelenmiş, en uygun eleman boyutu belirlenmiştir. Modal analizde doğal frekans ve mod şekillerinin belirlenmesinde Block-Lanczos algoritması seçilmiştir [6]. İlk on doğal frekans değeri elde edilmiş olup Görsel 3 sonlu eleman modeli ile ilk on doğal frekans değerini göstermektedir. İncelemeler sonucunda temel frekans değerinin deneyssel olarak belirlenen değerinin 72.2656

Hz iken, sonlu elemanlar analizinden elde edilen değerin 71.796 Hz'dir. İvmemetre ve lazer deplasman ölçer ile ölçülen değerler aynı olup deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki fark %0.649'dir.



Görsel 3. Alüminyum kirişin sonlu elemanlar modeli ve ilk on doğal frekans değeri



Görsel 4. Alüminyum kirişin ilk dört mod şekli ve ilgili frekans değerleri

Görsel 4, sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilen ilk dört mod şeklini göstermektedir. İlk üç mod şekli eğilmeye ait iken, 4. mod şeklinin burulmaya ait olduğu görülmektedir.

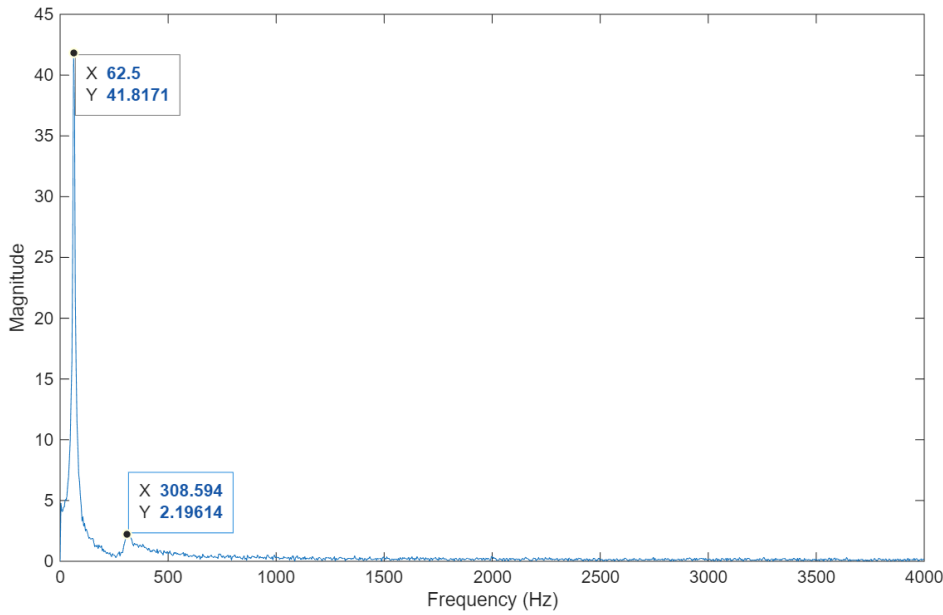
Alüminyum kiriş için gerçekleştirilen incelemeler eklemeli imalat ile üretilen 127 mm × 12.7 mm × 3.2 mm boyutlarında üretilen polimer kiriş için de tekrarlanmıştır. Kiriş 100 mm boyunda

olacak şekilde ankastre olarak mesnetlenmiştir. Çizelge 2’de polimer kirişin malzeme özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. Eklemeli imalat ile üretilen kirişin malzeme özellikleri

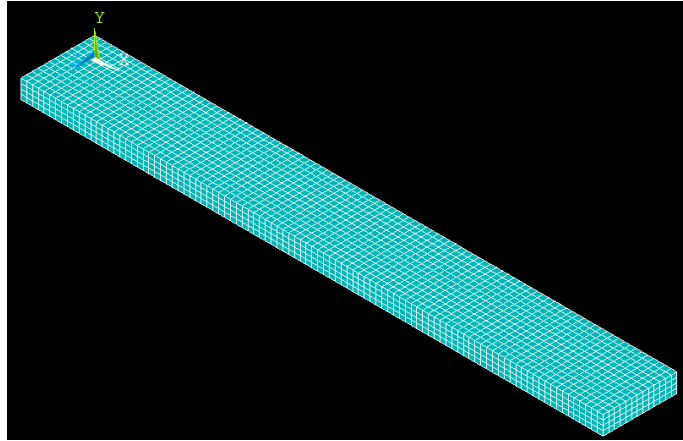
Elastisite modülü (MPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Sönüm oranı (-)
1687.058	1185.752	0.044

Görsel 5, polimer kirişin serbest titreşim deneylerinden impuls girdi sonucunda elde edilen frekans cevabını göstermektedir. Temel frekans değerinin FFT analizlerinden sonra 62.5 Hz olduğu belirlenmiştir.



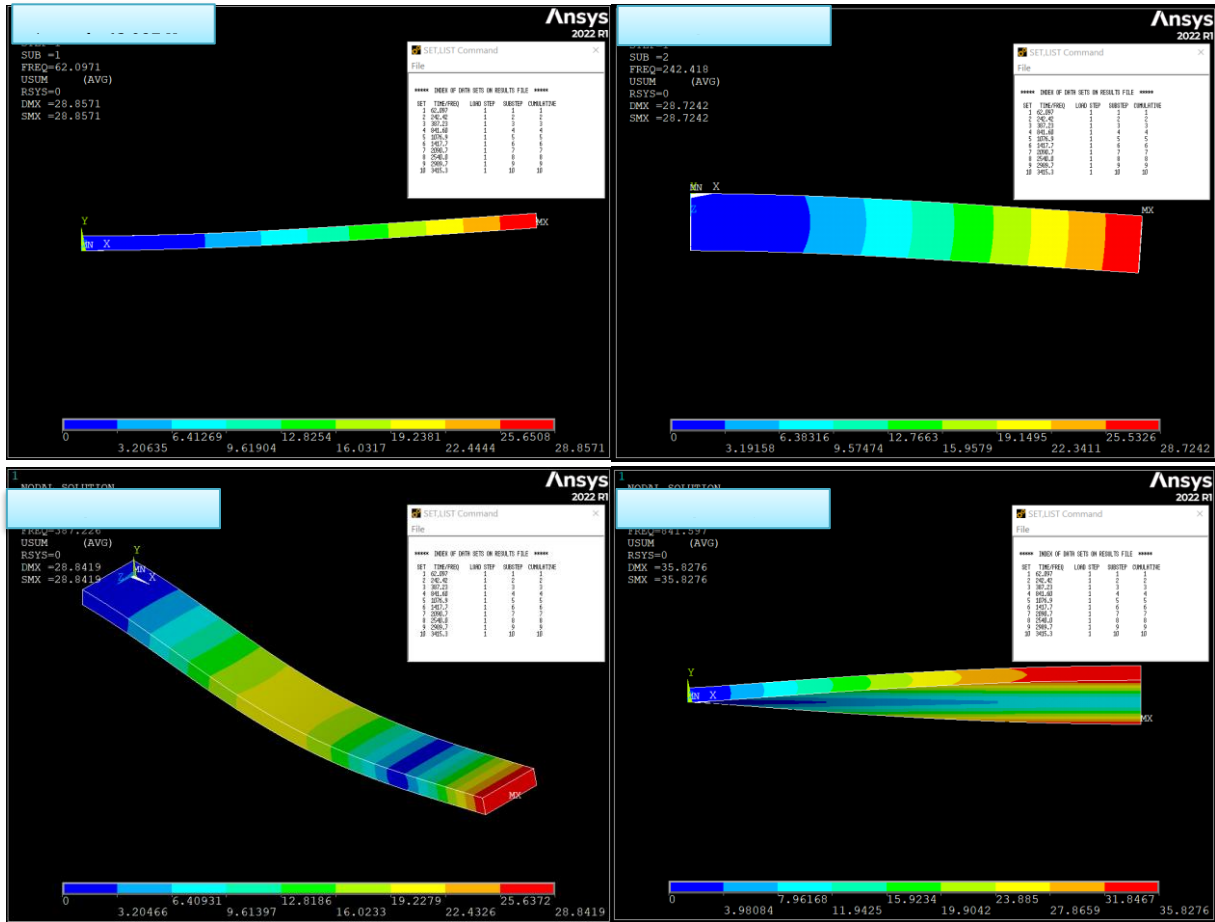
Görsel 5. Polimer kirişin frekans spektrumundaki impuls girdi cevabı

Deneyisel incelemelerden elde edilen malzeme özellikleri kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile modal analiz gerçekleştirilmiş ve ilk on doğal frekans değeri ile ilgili mod şekilleri belirlenmiştir. Sayısal analizlerden temel frekans değerinin 62.097 Hz olarak belirlenmiş olup deneysel olarak elde edilen değer arasındaki fark %0.645’tir. Analizlerden elde edilen sonuçlar malzeme özelliklerinin belirlenmesindeki hassasiyetin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Görsel 7 polimer kirişin ilk dört mod şekli ve ilgili frekans değerlerini göstermektedir. Alüminyum kirişte olduğu gibi ilk üç mod şekli eğilmeye ilişkin iken dördüncü mod şekli burulma ile ilişkilidir.



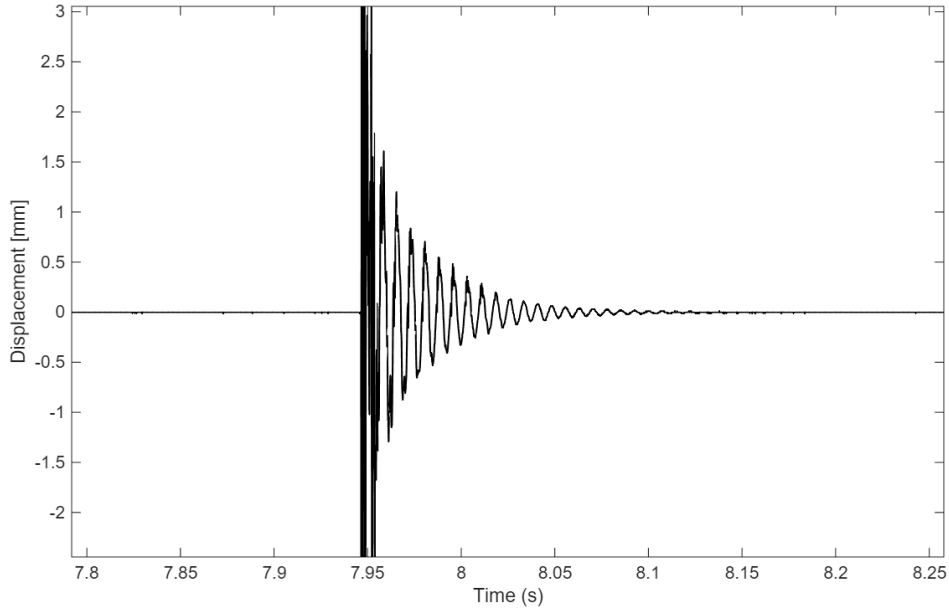
SET	TIME/FREQ
1	62.097
2	242.42
3	387.23
4	841.60
5	1076.9
6	1417.7
7	2090.7
8	2540.0
9	2989.7
10	3415.3

Görsel 6. Polimer kirişin sonlu eleman modeli ve ilk on doğal frekans değeri



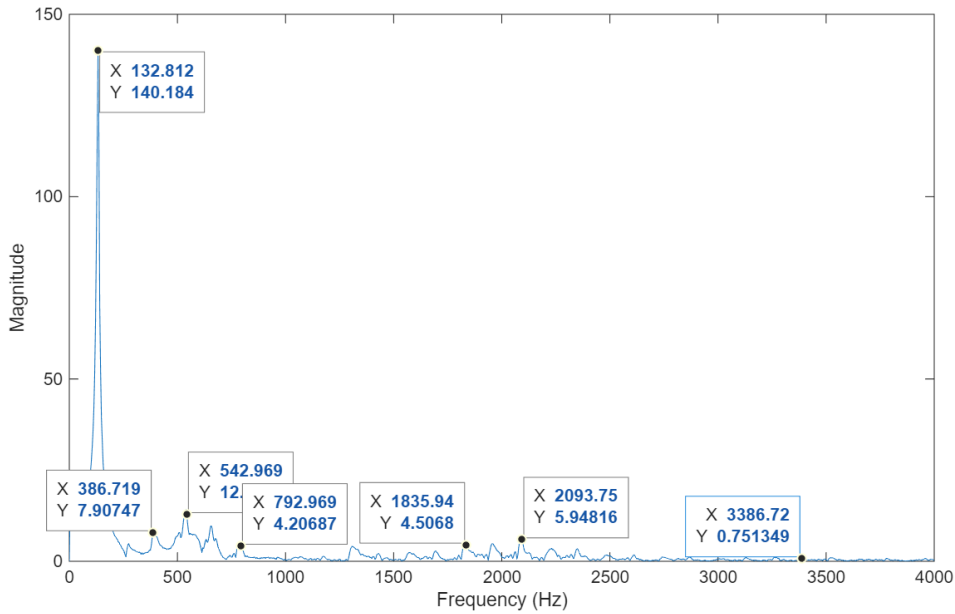
Görsel 7. Polimer kirişin ilk dört mod şekli ve ilgili frekans değerleri

Malzeme özelliklerinin doğruluğunun araştırılmasının ardından çalışma kapsamında alüminyum ve polimer kiriş epoksi yapıştırıcı ile birleştirilerek katmanlı kompozit kiriş elde edilmiştir. Kompozit kirişlerin öncelikle serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Görsel 8'de katmanlı kompozit kirişin impuls girdi sonucundaki zamana bağlı titreşim cevabı görülmektedir.



Görsel 8. Kompozit kirişin zamana bağlı impuls girdi cevabı

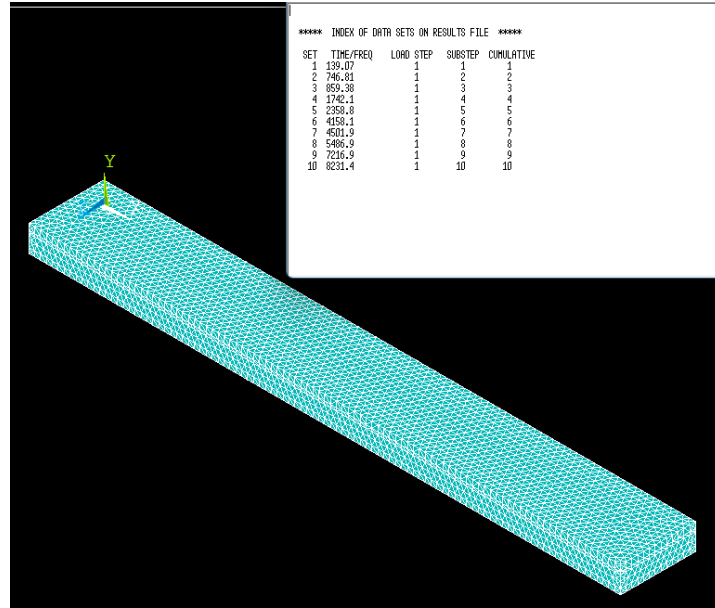
Görsel 9 FFT analizleri sonucunda elde edilen kompozit kirişin frekans cevabını göstermektedir. Temel frekans değerinin 132.812 Hz olduğu görülmektedir. Sönüm oranı 0.00657 olarak hesaplanmış olup bu değer alüminyum kirişin yaklaşık üç katıdır.



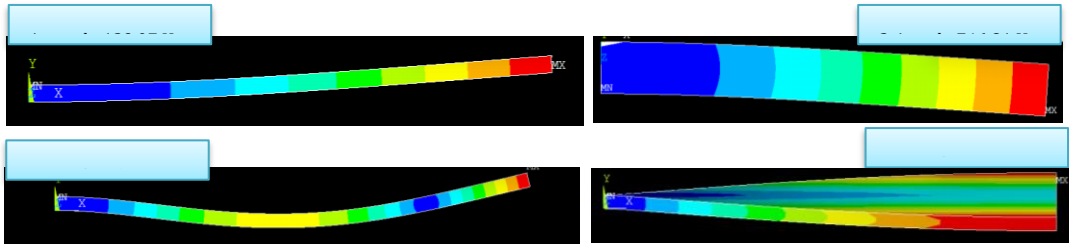
Görsel 9. Alüminyum kirişin frekans spektrumundaki impuls girdi cevabı

ANSYS Mechanical APDL yazılımı ile kompozit kiriş için de sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. İnce bir film tabakası oluşturacak şekilde eşit bir şekilde dağılımı sağlanmaya çalışılan epoksi yapıştırıcının kalınlığı kompozit kiriş elde edildikten sonra ölçülmüş ve kalınlığı 0.5 mm olacak şekilde modellenmiştir. Elastisite modülü ve yoğunluğu

katalog değerlerinden alınmış olup alınan değerlerin analiz sonuçlarındaki etkisi araştırılmıştır. Yoğunluğu ayrıca kompozit kiriş tartılarak doğrulanmıştır [7].



Görsel 10. Kompozit kirişin sonlu elemanlar modeli ve ilk on doğal frekans değeri



Görsel 11. Kompozit kirişin ilk dört mod şekli ve ilgili frekans değerleri

Görsel 11 kompozit kirişin ilk dört mod şekli ile bunlara karşılık gelen frekans değerlerini göstermektedir. Sayısal analizler sonucunda birinci doğal frekans değeri 139.07 Hz olarak elde edilmiştir. Deneysel incelemelerden elde edilen frekans değeri ile arasındaki fark %4.712'dir. Bu farkın yapıştırıcının tüm yüzey boyunca homojen olmasındaki güçlükten kaynaklanmasına karşın aradaki fark kabul edilebilir mertebelere sahiptir.

Deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde kullanılan alüminyum kirişin kütlesi 4.28 gram, polimer kirişin 6.31 gram ve kompozit kirişin kütlesi 11 gram'dır. Temel doğal frekans formülü

olan $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ bağıntısı dikkate alındığında yapının direngenliğinde 6.872 kat bir artış sağlanmıştır [8].

3. SONUÇ

Çalışma kapsamında, katmanlı kompozit kirişin deneysel ve sonlu eleman yöntemleri ile serbest titreşim karakteristikleri araştırılmıştır. Ayrıca deneysel olarak sönüm değerleri belirlenmiştir. Alüminyum ve polimer malzemelerin birlikte kullanımı ile hafiflik ve direngenlik özelliklerinde önemli bir ilişki kurulabileceği görülmektedir. Gelecek çalışmalarda

geometri, uygun malzeme çifti seçimi ile dinamik performans gereksinimlerini karşılayacak yapıların elde edilmesi mümkündür.

KAYNAKÇA

- [1] Özalp, N. (2021). Lifli kompozit sandviç kiriş temel titreşim frekanslarının sayısal yöntemler ile belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Kara, E. (2012). Çeşitli elyaf dizilimleriyle oluşturulmuş metal köpük çekirdekli sandviç kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi. Hitit Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [3] Çağdaş, İ. U., & Yıldırım, Ö. (2019). Cam Elyaf Takviyeli Poliüretan Dış Yüzlü Sandviç Kirişlerin Eğilme Rijitliklerinin Konsol Kiriş Titreşim Deneyi İle Belirlenmesi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(3), 273–279.
- [4] Daniel, I. M., & Abot, J. L. (2000). Dynamic response of composite sandwich beams. Composite Structures, 50(3), 205–215.
- [5] Tagarielli, V. L., Fleck, N. A., & Deshpande, V. S. (2005). Collapse of clamped and simply supported composite sandwich beams in three-point bending. Composites Part B: Engineering, 35(6–8), 523–530.
- [6] Grimes, R. G., Lewis, J. G., & Simon, H. D. (1994). A shifted block Lanczos algorithm for solving sparse symmetric generalized eigenproblems. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 15(1), 228-272.
- [7] Srivastava, V. K. (2011). Enhancement of elastic modulus of epoxy resin with carbon nanotubes. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 1(01), 1.
- [8] Şimşek, M. (2010). Fundamental frequency analysis of functionally graded beams by using different higher-order beam theories. *Nuclear Engineering and Design*, 240(4), 697-705.

KABLO TAHRİKLİ TERS ESNEK MAFSALLI ESNEK ROBOTİK TUTUCULARIN TASARIMI

ZÜBEYDE ELİF ARAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, zubeydeelifaral@hotmail.com - 0009-0001-9975-7091

DUYGU ÖZDEMİR

Dokuz Eylül Üniversitesi, d.ozdemir@gmail.com - 0009-0003-3668-546X

EMİR PEHLİVAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, emirpehlivan@msn.com - 0009-0001-5276-960X

Prof. Dr. BİNNUR GÖREN KIRAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, binnur.goren@deu.edu.tr – 0000-0001-7760-9306

Prof. Dr. ZEKİ KIRAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, zeki.kiral@deu.edu.tr – 0000-0002-9154-0509

ÖZET

21. yüzyılda hızla gelişen teknolojiler sayesinde robotik sistemler, hayatımızın birçok alanında vazgeçilmez hale gelmiştir. Bu durum, araştırmacıları daha az maliyetli, daha az parça içeren, daha uzun ömürlü, şekle uyum sağlayabilen robotik sistemler geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu doğrultuda, esnek (compliant) mekanizmalara yönelik araştırmalar önem kazanmıştır. Esnek mekanizmalar; düşük maliyet, az parça sayısı, hareket hassasiyeti ve üç boyutlu yazıcılarla üretime uygunluk gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir.

Ancak bu alanın görece yeni gelişmekte olması ve esnek yapıların doğrusal olmayan davranış sergilemesi, söz konusu sistemlerin analizini oldukça karmaşık hale getirmektedir. Özellikle temas (contact) problemleri ve analiz süresinin uzaması gibi etkenler nedeniyle, bu tür sistemlerin analizinde genellikle sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntemler yerine analitik yöntemler tercih edilmiştir. Bununla birlikte, analitik modeli doğrulamak amacıyla doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılması önerilmektedir. Ancak literatürde bu tür çalışmalar sınırlı sayıda bulunmaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, kablo tahrikli, ters esnek mafsallı bir esnek tutucu modelin doğruluğunu değerlendirmek ve söz konusu esnek elemanın çeşitli yükleme ve sınır koşulları altındaki mekanik davranışını incelemektir.

Çalışmada analizler, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ilgili çalışmada yer alan düzgün eğrilikli (smooth curvature) modellerle karşılaştırılarak incelenmiş ve sunulan modelin geçerliliği değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı yükleme koşulları ve sınır şartları altında tutucunun davranışı detaylı olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Esnek mafsallı, Esnek robotik tutucu, Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi.

1.GİRİŞ

Günümüzde robotik sistemler, yalnızca endüstriyel otomasyonun temel unsuru olmakla kalmayıp, sağlık, tarım ve günlük yaşam uygulamalarında da hızla yaygınlaşmaktadır. Bu gelişmeler, daha güvenilir, düşük maliyetli ve uzun ömürlü mekanizmalara duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bu ihtiyaç doğrultusunda, esnek (compliant) mekanizmalar önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Esnek (compliant) mekanizmalar, elastik deformasyon yoluyla hareket ve kuvvet iletimi sağlayarak, robotik sistemlerde dikkat çeken bir çözüm haline gelmiştir. Esnek mekanizmalarda en sık kullanılan bağlantı elemanlarından biri olan esnek mafsallar, rijit parçalar arasında menteşe görevini üstlenirken aynı zamanda elastik deformasyonla hareket sağlar. Bu mafsalların kullanıldığı esnek robotik tutucular, başta tarım, medikal ve hassas üretim olmak üzere pek çok alanda uygulanabilirlik göstermektedir [1].

Özellikle kablo tahrikli doğrudan esnek mafsallı yapılar, yüksek dış yükler altında çalıştığında mafsal eksenine boyunca oluşan basma yükleri nedeniyle burkulma eğilimi göstermekte; bu durum ise kavrama kararlılığını olumsuz etkileyerek kavrama kaybına yol açabilmektedir [2]. Bu yapısal problemi ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilen ters esnek mafsal tasarımları, benzer yükleme koşulları altında mafsalda çekme gerilmesi oluşturarak burkulma riskini azaltmakta ve daha yüksek kavrama stabilitesi sağlamaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmada kablo tahrikli ters esnek mafsallı bir robotik tutucunun davranışı incelenmiştir. Ayrıca, esnek elemanın çeşitli yükleme ve sınır koşulları altındaki mekanik davranışı da ele alınmıştır. Bu tasarım yaklaşımı, literatürde yer alan bir çalışmadan [1] ilham alınarak geliştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen model ve analizler, SolidWorks ortamında oluşturulan geometriye dayalı olarak ANSYS yazılımı yardımıyla yürütülmüş; doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yöntemi ile yapının yük altındaki davranışı detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar, ilgili çalışmada kullanılan enerji temelli düzgün eğrilikli model ile karşılaştırılmış ve kavrama sırasında oluşan mafsal eğriliği, deformasyon dağılımı ve kablo kuvvetleri gibi parametreler üzerinden model doğruluğu değerlendirilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda literatürde önerilen modelin sayısal doğrulamasını da içeren özgün bir mühendislik doğrulama çalışması niteliği taşımaktadır.

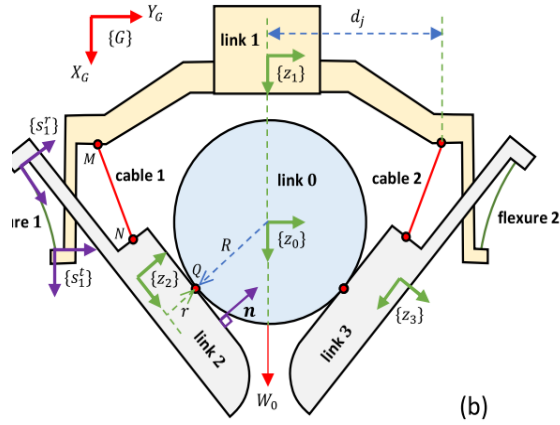
2.TASARIM

Bu bölümde hedef tutucuda kullanılan tasarım ve geometrik kriterlerin nasıl oluşturulduğuna dair bilgiler verilmiştir.

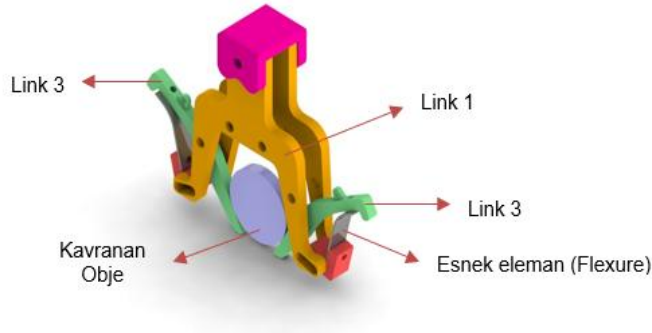
2.1 Robotik Tutucunun Tasarımı

Bu çalışmanın tasarım süreci, literatürde yer alan [1] numaralı makale temel alınarak başlatılmıştır. İlk aşamada, ilgili çalışmada sunulan kablo tahrikli ters esnek mafsallı tutucu

yapısı detaylı biçimde incelenmiş ve bu yapının geometrik özelliklerine dayanarak bir ön tasarım oluşturulmuştur. Bu ön tasarım, hem referans modelin temel karakteristiklerini yansıtmak hem de tasarımın görsel olarak daha anlaşılır hâle getirilmesini sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Görsel 1.'de gösterilen bu referans model, tasarım sürecinin çıkış noktası olarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen model üç ana bileşenden oluşmaktadır: Bir adet avuç içi (link-1) ve iki adet parmak (link-2 ve link-3). Bu bileşenler, esnek kirişler aracılığıyla birbirine bağlanmakta olup, kavrama işlevi, kablo uzunluklarının aktüatörler yardımıyla kontrol edilmesiyle gerçekleştirilmektedir.

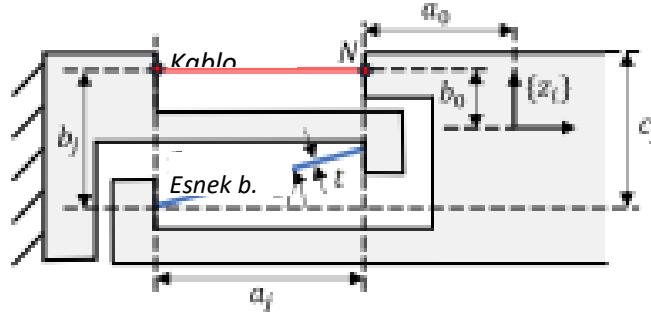


Görsel 1. Ters Esnek Mafsallı Esnek Tutucu Modeli [1]



Görsel 2. SolidWorks ile Oluşturulan Ön Tasarım Modeli

İlk tasarım modeline yönelik statik analizler ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiş; ancak esnek elemanların beklenen yönelimi sağlayamaması nedeniyle tasarımda revizyona gidilmesi gerekmiştir. Tasarım sürecinin ikinci aşamasında, referans makalede [1] sunulan geometrik parametreler (Görsel 3) detaylı biçimde analiz edilmiştir. Görsel 1 ve Görsel 3 arasındaki yapısal uyum gözetilerek, Çizelge 1'de yer alan boyutsal değerler temel alınmış ve ikinci bir tasarım modeli geliştirilmiştir (Görsel 4). Bu güncellenmiş model, referans sistemle daha uyumlu bir geometri sunmakta ve daha anlamlı mühendislik verileri elde edilmesine olanak tanımaktadır.



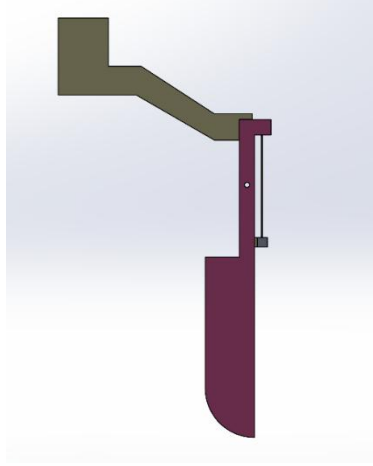
Görsel 3. Ters Esnek Mafsallı Tutucu İçin Geometri Düzeni ve Tasarım Parametreleri

Çizelge 1. Tasarım Parametreleri

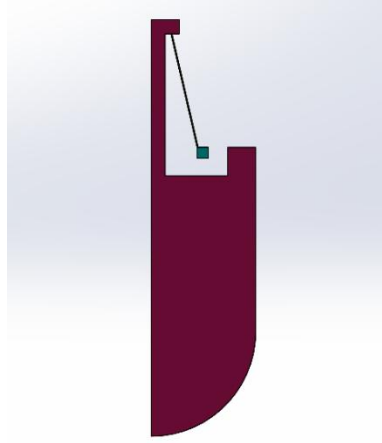
Parametre	Sembol	Değer	Birim
Tutucu yarım genişliği	d_j	46.64	mm
Bağlantı uzunluğu	a_j	20	mm
Bağlantı derinliği	b_j	10	mm
Tutucu yüzey offseti	c_j	15	mm
Esnek bağlantı genişliği	w_j	10	mm
Esnek eleman gerilme değeri	σ_{lim}	690	MPa
Elastisite modülü	E	125	GPa

İkinci tasarım da benzer şekilde ANSYS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde, esnek elemanın kalınlığı başlangıçta 0,2 mm olarak belirlenmiş ve yapı 90°'lik başlangıç konumunda değerlendirilmiştir.

Tasarım sürecinin üçüncü aşaması titizlikle planlanmış ve model yeniden boyutlandırılmıştır (Görsel 5). Ayrıca, başlangıçta 90° olarak konumlandırılmış olan esnek eleman, bu tasarım iterasyonunda 13°'lik bir açıyla yerleştirilmiştir. Bu versiyonda, Görsel 1 ve Görsel 3'de sunulan önceki geometrik yapılandırmalar dikkatle analiz edilerek karşılaştırılmış; elde edilen bulgular doğrultusunda optimum ölçülendirme ile yeni bir model yapılandırılmıştır. Tüm simülasyonlar bu güncellenmiş model üzerinden gerçekleştirilmiştir. Simülasyon süresini optimize etmek amacıyla, modelde yalnızca parmak ve esnek eleman bileşenleri detaylı olarak tanımlanmıştır.



Görsel 4. SolidWorks ile Oluşturulan İkinci Tasarım Modeli



Görsel 5. SolidWorks ile Oluşturulan Son Tasarım Modeli

3. ANALİZ

Sonlu elemanlar analizi, mühendislik yapılarının yük altındaki davranışlarını sayısal olarak incelemeye olanak sağlayan güçlü bir yöntemdir. Sonlu elemanlar analizi ile bir yapının deformasyon, gerilme ve şekil değiştirme gibi fiziksel tepkileri detaylı biçimde hesaplanabilir.

Bu çalışmada yapılan analizler, doğrusal olmayan sonlu elemanlar kapsamında gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan analiz ihtiyacı, üç temel fiziksel etkiden kaynaklanmaktadır:

1. Geometrik doğrusal olmayanlık – büyük deformasyonlar ve açısal yer değiştirmeler,
2. Malzeme doğrusal olmayanlığı,
3. Temas doğrusal olmayanlığı – bağlantı bölgeleri ve nesneyle etkileşim koşulları.

Analiz edilen sistem bir esnek mekanizma olup, hareketini rijit mafsallar yerine yapısal deformasyon yoluyla sağlamaktadır. Bu deformasyonlar büyük olduğu için sistemin davranışı klasik doğrusal varsayımlarla açıklanamaz hale gelmekte, dolayısıyla doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bu tür mekanizmalar, şekil değişimiyle hareket ve kuvvet iletimi sunarak klasik rijit sistemlerden farklılaşır; ancak bu esneklik, analiz sürecini daha karmaşık ve doğrusal olmayan hale getirir. Bu nedenle, uyumlu yapıların gerçekçi modellenmesinde doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, en uygun ve güvenilir çözüm yöntemidir. Bu çalışma kapsamında, yapının simülasyonu için ANSYS Workbench kullanılmıştır.

Doğrulaması yapılan makalede [1], ters esnek mafsallı tutucunun analizi için doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi yerine düzgün eğrilikli model tercih edilmiştir. Bu tercihin temel nedeni, temas probleminin karmaşıklığı ve sonlu elemanlar analizinin zaman/maliyet açısından sınırlamalarıdır.

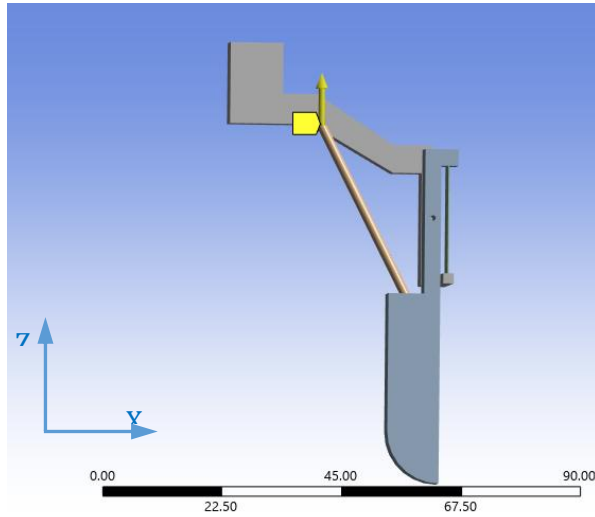
Düzgün eğrilikli model (SCM) özellikle büyük açılı eğilme hareketleri yapan esnek mafsallı robotik sistemlerin modellenmesinde kullanılan parametrik ve modal tabanlı bir yaklaşımdır. Euler–Bernoulli eğilme teorisine dayanan bu model, deformasyonun karakteristik eğrisini sınırlı sayıda parametreyle tanımlayarak yüksek doğruluk sağlar. Ayrıca, yalnızca küçük deformasyonları değil, 90°'ye kadar olan büyük eğilme hareketlerini de başarıyla temsil edebilir. Bu yönüyle düzgün eğrilikli model tutucular, bacaklı robotlar ve hassas temas içeren robotik sistemlerde tasarım ve hızlı prototipleme süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ancak SCM'nin sınırlamaları da bulunmaktadır. Karmaşık geometriye sahip sistemlerde, çoklu temas noktalarında, malzeme doğrusal olmayanlıklarında ve üç boyutlu kuvvet etkileşimlerinin olduğu durumlarda modelin doğruluğu azalabilir. Ayrıca, üretim toleransları, montaj detayları ve sınır koşulları gibi fiziksel etkileri doğrudan yansıtamayan parametrik bir model olması nedeniyle gerçek sistem davranışından sapmalar görülebilir.

Sonuç olarak, literatürde bazı çalışmaların sadece düzgün eğrilikli model veya belirli matematiksel modellemelerle sınırlı kalması, ters esnek mafsallı tutucunun fiziksel davranışlarının tam olarak anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışma kapsamında uygulanan sonlu elemanlar yöntemi, ters esnek mafsallı tutucu mekanizmasının hem geometrik hem de mekanik açıdan analiz edilmesini mümkün kılmış ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

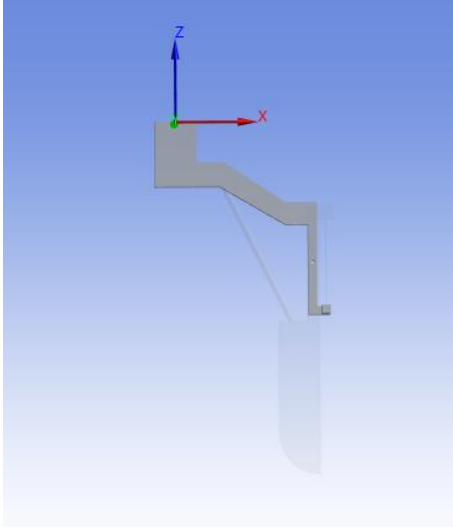
3.1 Robotik Tutucunun Analizi

Analiz sürecinin ilk aşamasında, özellikle esnek elemanın kuvvet etkisi altındaki hareketini detaylı biçimde gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Ancak bu hareketin doğrudan izlenmesi zor olduğundan farklı yöntemler denenmiştir. Bu kapsamda, 2. Tasarım kullanılarak, ANSYS yazılımı yardımıyla çeşitli simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde kablo etkisini temsil edebilmek amacıyla, esnek elemanı haricinde ek olarak bir boru geometrisi modellenmiştir. Esnek eleman dışındaki tüm bileşenler rijit (katı) olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma, esas olarak esnek elemanın yük altındaki deformasyon davranışını izlemek üzere deneme amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, esnek elemanın malzemesi literatürde önerilen berilyum bakır yerine, simülasyonun hızlı yürütülmesini sağlamak amacıyla yapısal çelik olarak tanımlanmış, diğer parçalar için ise ABS malzeme atanmıştır.

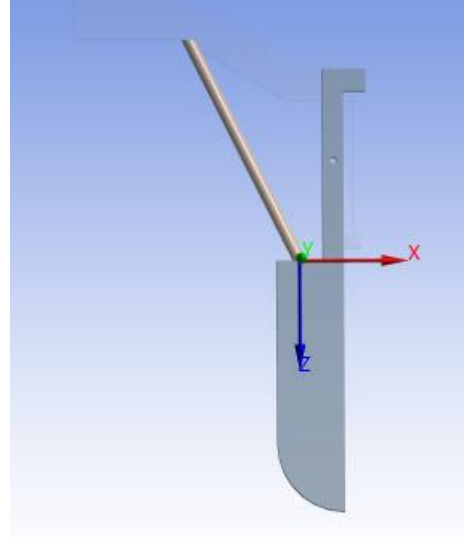


Görsel 6. Analizi Yapılan Model / Kabloya Uygulanan Yer Değiştirmenin Yönü

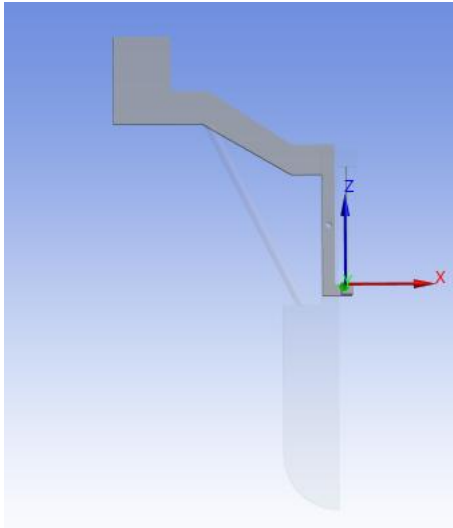
Rijit elemana doğrudan kuvvet uygulaması gerçekleştirilemediğinden, yükleme uzak yer değiştirme yöntemiyle tanımlanmış ve Z eksenine doğrultusunda 4 mm'lik yer değiştirme uygulanmıştır (Görsel 6).



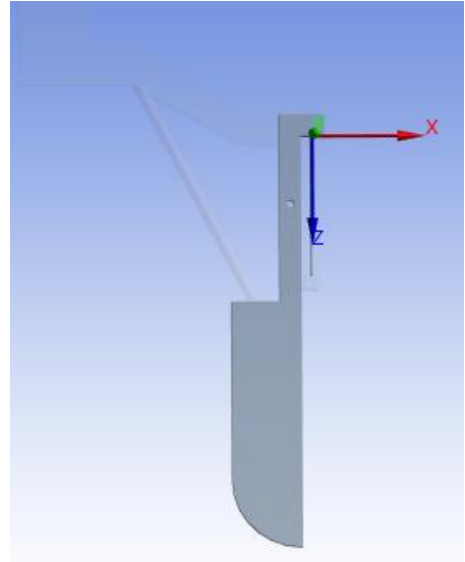
Görsel 7. Link-1 ve Zemin Arasındaki
Sabit Mafsal



Görsel 8. Link-1 ve Kablo Arasındaki
Sabit Mafsal

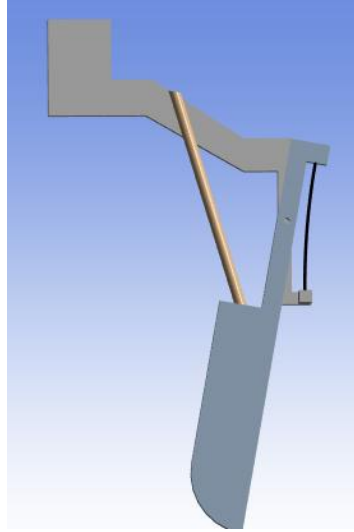


Görsel 9. Link-1 ve Esnek Eleman
Arasındaki Sabit Mafsal



Görsel 10. Link-3 ve Esnek Eleman
Arasındaki Sabit Mafsal

Tüm bağlantılar “sabit” olarak kısıtlanmış olup, ilgili sınır koşulları ve tanımlamalar şekillerde (Görsel 7,8,9,10) detaylı biçimde sunulmuştur. Bu analiz sonucunda hem hedeflenen hareketin gerçekleştiği hem de deformasyonun tamamının esnek elemana başarıyla aktarıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca maksimum gerilme değeri yaklaşık 208 MPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu gerilme değeri, referans alınan 690 MPa akma mukavemeti sınırının altında kalarak, yapının emniyetli çalışma kriterlerini sağladığını ortaya koymuştur.



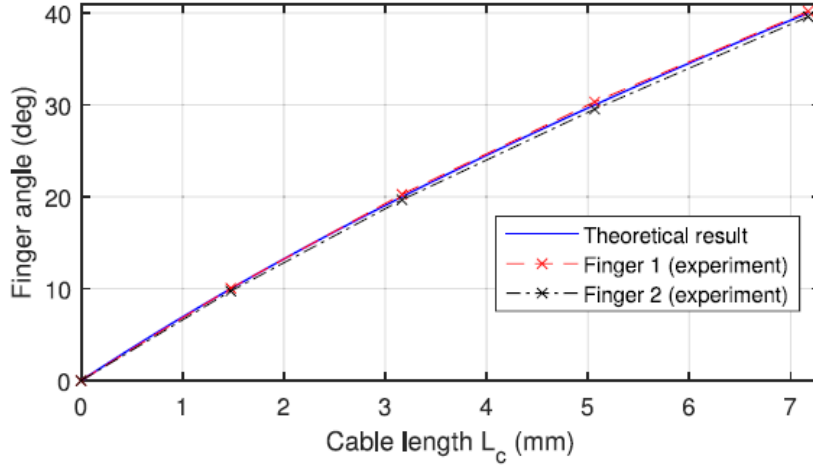
Görsel 11. Analiz Sonucu Esnek Elemanda Beklenen Hareket



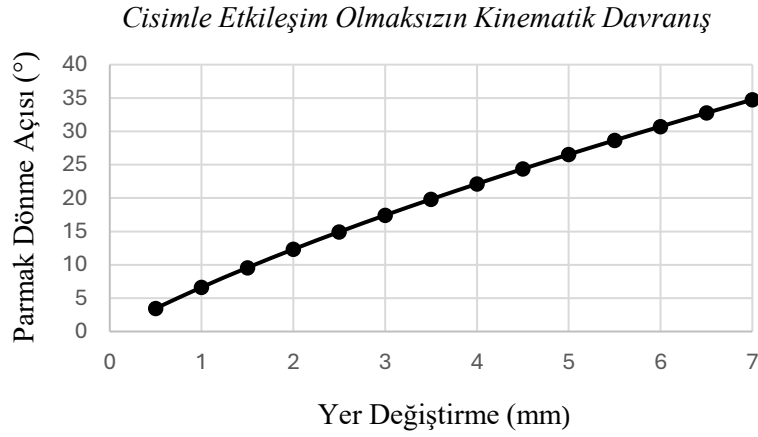
Görsel 12. von Mises Gerilme Değerleri

3.2 Senaryo 1 için Analiz Sonuçları

Senaryo 1’de Link-3’e 4 mm’lik uzak yer değiştirme uygulanması sonucunda, parmak ucunda 12 mm’lik en büyük doğrusal yer değiştirme gözlenmiş ve bu değer tutucunun kavrama açıklığının hedeflenen aralığı karşıladığını doğrulamıştır. Parmak açısı da kavrama açıklığı ile doğru orantılı olarak istenilen konuma ulaşmış, analiz sonucunda 22,133°’lik bir parmak açısı gözlemlenmiştir. Makaleden alınan grafik (Görsel 13) analiz sonucunda elde edilen grafik (Görsel 14) birbirleriyle örtüşmektedir.

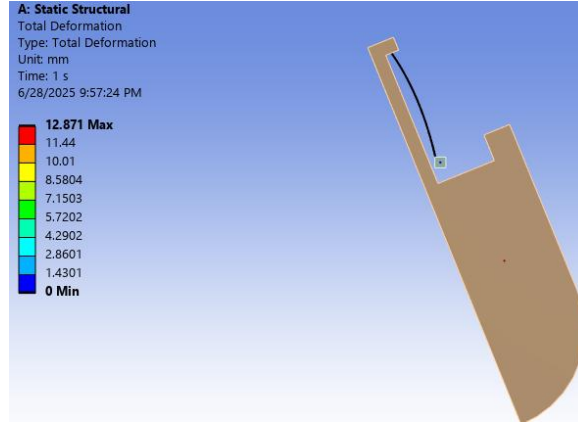


Görsel 13. Obje İnteraksiyonu Olmadan Parmağın Kinematik Davranışı [1]

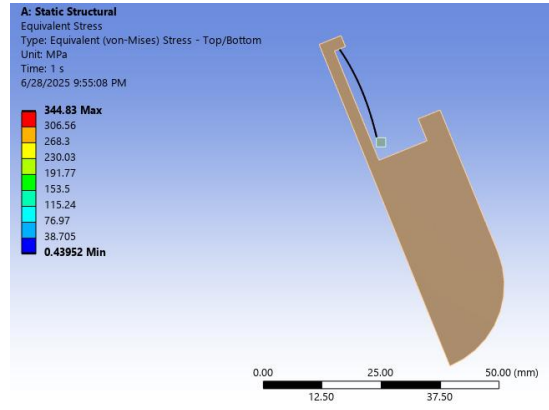


Görsel 14. Obje İnteraksiyonu Olmadan Yer Değiştirme Altında Parmak Dönme Açısı

Aynı koşulda esnek eleman bölgesindeki eşdeğer von Mises gerilmesi 344 MPa en büyük değerine ulaşmış; bu, kullanılan berilyum-bakır alaşımının akma sınırının yaklaşık %49'una denk gelerek davranışın elastik bölgede kaldığını göstermektedir. Toplu olarak ele alındığında bulgular, kavrama direngenliğinin esnek eleman kalınlığı ve yer değiştirme miktarı üzerinden hassas biçimde ayarlanabileceğini ortaya koymaktadır. İlgili çalışmada, Görsel 13'te sunulan uzak yer değiştirme-açısal deformasyon grafiği sayısal değerler üzerinden incelenmiş ve ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin ölçümlerle yüksek derecede uyum sağladığını göstermekte olup, bu durum model doğrulamasına önemli ölçüde katkı sunmaktadır.



Görsel 15. Toplam Deformasyon



Görsel 16. Esnek Elemanda Oluşan Gerilme Dağılımı

3.3 Senaryo 2 için Analiz Sonuçları

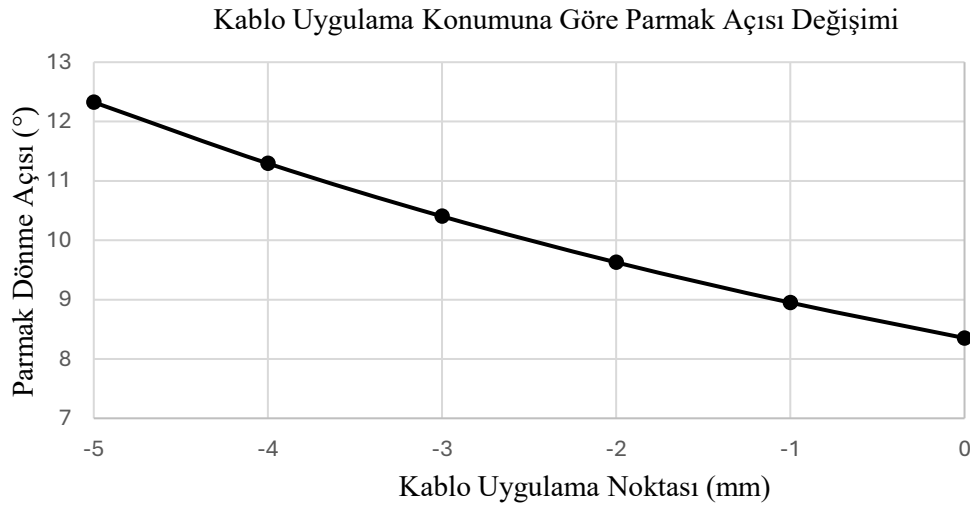
Bu senaryoda, önceki analizle aynı malzeme, sınır koşulları ve modelleme yaklaşımı korunmuş; yalnızca uzak yer değiştirme uygulama noktası değiştirilmiştir. Literatürde yer alan modelde kablunun Link-3'ün iç yüzeyine, kavrama ucundan yaklaşık -5 mm mesafedeki bir noktadan tahrik sağlandığı belirtilmiştir (Görsel 17). Bu çalışmada ise, parmağa uygulanan yer değiştirme, bu referans noktasına göre farklı koordinatlarda konumlandırılarak sistem tepkisinin değişimi analiz edilmiştir.

Özellikle yer değiştirme noktası için sırasıyla -4,-3,-2,-1 mm konumları (tutucu ucuna göre uzaklık referans alınarak) denenmiş ve her durumda 2 mm'lik yer değiştirme uygulanarak elde edilen parmak açısı sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmalı analizler, kablunun uygulama noktasının sistem davranışı üzerindeki etkisinin oldukça belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Elde edilen sonuçlara göre, yer değiştirme noktasının tutucu ucuna daha yakın konumlandırılması durumunda, aynı büyüklükte yer değiştirme uygulanmasına rağmen

parmakta oluşan açısıl deformasyonun anlamlı ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, kablunun uygulama noktasının moment kolu üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Uygulama noktası geriye doğru kaydırıldıkça, parmak açısı artmakta ve kavrama kabiliyeti güçlenmektedir.

Dolayısıyla, kablo tahrikli sistemlerde yalnızca yer değiştirme büyüklüğü değil, yer değiştirmenin uygulandığı konumun da mekanik tepki açısından kritik bir parametre olduğu bu senaryo ile sayısal olarak doğrulanmıştır.



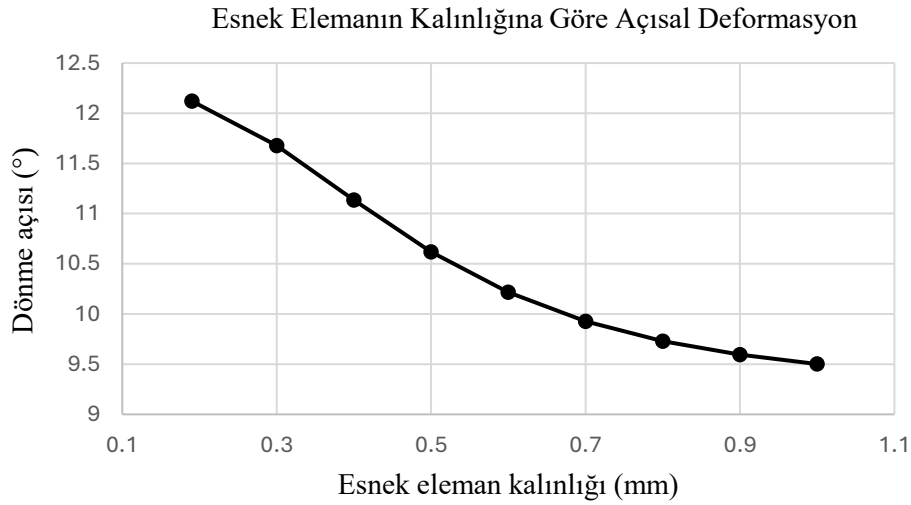
Görsel 17. Kablo Uygulama Konumuna Göre Parmak Açısı Değişimi

3.4 Senaryo 3 için Analiz Sonuçları

Bu senaryoda, malzeme özellikleri ve sınır koşulları önceki analizlerde olduğu gibi sabit tutulmuş, yalnızca esnek elemanın kalınlığı değiştirilerek sistemin açısıl deformasyon tepkisi detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada, esnek elemanın kalınlığı 0,19 mm'den başlayarak 1 mm'ye kadar kademeli olarak artırılmış ve her bir modele 2 mm'lik yer değiştirme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kalınlığın artmasıyla birlikte parmak ucunda oluşan açısıl deformasyonun anlamlı ölçüde azaldığını ortaya koymuştur. Ancak, incelenen veri setinde deformasyonun kalınlığa bağlı azalmasının doğrusal bir seyir izlemediği görülmektedir.

Özellikle kalınlık artışının ilk kademelerinde açısıl deformasyonda daha keskin bir düşüş meydana gelirken, daha yüksek kalınlık seviyelerinde eğrinin daha yatay bir eğilim göstermesi dikkat çekicidir. Bu doğrusal olmayan karakteristik, uyumlu mekanizmaların temel çalışma prensiplerinden biri olan geometrik ve yapısal karmaşıklık nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Rijitlik ile deformasyon arasındaki ilişki, kalınlık değişiminde basit bir orantıya indirgenememekte ve sistemin yük taşıma kabiliyeti, elastik deformasyon davranışı ve moment kolu etkileri gibi parametrelerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Bu durum, uyumlu mekanizma tasarımında geometrik parametrelerin optimizasyonunun kritik önem taşıdığını ve performans

hedeflerine uygun konfigürasyonların dikkatli şekilde belirlenmesi gerektiğini bir kez daha doğrulamaktadır.



Görsel 18.Esnek Elemanın Kalınlığına Göre Açısal Deformasyon

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, [1] numaralı referansta tanımlanan kablo tahrikli ters esnek mafsallı uyumlu mekanizmanın davranışı, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak incelenmiş ve doğrulama çalışmaları yürütülmüştür. Tasarım süreci, özellikle parametrik değişkenlerin eksik veya belirsiz olduğu noktalar nedeniyle oldukça zorlu geçmiştir. Ancak bu eksiklikler, sezgisel mühendislik yaklaşımları, analiz sonuçlarıyla yapılan karşılaştırmalar ve yazarlardan alınan doğrudan geri bildirimler sayesinde giderilmiş; referans yapıya en yakın olacak şekilde bir model geliştirilmiştir.

Mevcut çalışmada, referans makalede önerilen düzgün eğrilikli model yerine sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir. Bunun nedeni, modelin hareket karakteristiklerinin önceden biliniyor olması ve temel ölçü değerlerinin analiz için yeterli düzeyde sağlanmasıdır. Böylece, uyumlu mekanizmanın yapısal tepkisi doğrusal olmayan sonlu elemanlar yaklaşımıyla başarılı şekilde simüle edilebilmiştir.

Model doğrulama sürecinde, elde edilen açı-yer değiştirme ilişkilerinin literatürdeki benzer yapılarla yüksek oranda uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, söz konusu makalelerde sıklıkla değerlendirilen kavramsal direngenlik parametresi, temas etkileşimlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekçi biçimde modellenmesinin zorluğu nedeniyle bu çalışmada doğrudan hesaplanmamıştır.

Genel olarak bu çalışma, esnek (compliant) mekanizmanın teorik analizine ve sayısal doğrulamasına odaklanmış olup; yapının geometrik parametrelerinin, deformasyon kapasitesi ve mekanik dayanım üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Ancak analizler

büyük ölçüde sayısal temelli olduğundan, mekanizmanın pratik uygulama koşulları altında doğrulanabilmesi için deneysel testlerin yapılması gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, prototip üretimi, fiziksel test ortamlarında uzun süreli performans ölçümleri ve malzeme yorgunluğu gibi faktörlerin değerlendirilmesi, mekanizmanın gerçek dünya uygulamalarına entegrasyonu açısından kritik bir adım olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Kuresangsai, P., Cole, M. O. T., & Hao, G. (2024). Analysis and design optimization of a compliant robotic gripper mechanism with inverted flexure joints. *Mechanism and Machine Theory*, 202, 10577.
- [2] Pong, P., & Chen, I. M. (2023). Grasp stability and design analysis of a flexure-jointed gripper mechanism via efficient energy-based modeling. *Mechanism and Machine Theory*, 186, 105278.

NUMERICAL ANALYSIS OF WATER– BASED NANOFLUID FLOW CONTAINING HYBRID NANOPARTICLES FORMED WITH VARIOUS MASS FRACTIONS OF COPPER AND MAGNESIUM OXIDE

Res. Asst. Bahaddin TOPAK

Karabuk University, bahaddintopak@karabuk.edu.tr - 0009-0004-1665-9990

Assoc. Prof. Dr. Cuneyt UYSAL

Karabuk University, cuneytuysal@karabuk.edu.tr - 0000-0002-7986-1684

ABSTRACT

This study presents numerical analysis for fluid flow and convective heat transfer characteristics of water–based hybrid nanofluid flow along a square minichannel. Various mass fractions of copper and magnesium oxide nanoparticles (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100) are considered for hybrid nanoparticles. It is assumed that hybrid nanofluid have 2 vol.% hybrid nanoparticle. The flow is assumed as thermally developing laminar flow. H2 boundary condition is applied to minichannel walls. The highest pressure drop is obtained for Cu–MgO (0:100) while the lowest one is obtained for Cu–MgO (100:0). As a result, at $Re = 1000$, the pressure drop is determined to be $\Delta P = 1371.59$ Pa for Cu–MgO (100:0), $\Delta P = 1434.83$ Pa for pure water, and $\Delta P = 1500.31$ Pa for Cu–MgO (0:100). The highest convective heat transfer coefficient is determined to be $h = 727.55$ W/(m²K) for Cu–MgO (20:80) while the lowest one is found to be $h = 702.91$ W/(m²K) for pure water at $Re = 1000$. This means that 2 vol.% Cu–MgO (20:80) hybrid nanoparticle addition to pure water provides a convective heat transfer enhancement of 3.51%. Pure water had the highest Nusselt number value at all Reynolds numbers while Cu–MgO (100:0) hybrid nanofluid had the lowest one. As a result, at $Re = 1000$, the Nusselt number value is obtained to be $Nu = 3.457$ for pure water, and $Nu = 3.404$ for Cu–MgO (100:0) hybrid nanofluid. It can be concluded that Cu–MgO hybrid nanoparticle addition to pure water provides higher increment in conductive heat transfer compared to convective heat transfer.

Keywords: Convective heat transfer; Darcy friction factor; Pressure drop; Square minichannel.

1. INTRODUCTION

Developments in nanotechnology have led to the emergence of new applications in different fields of science and engineering. One of these fields is thermal management. Enhancing heat transfer characteristics of a base fluid via synthesized nanoparticle addition has become important research in recent years. In particular, fluids including hybrid nanoparticles that are synthesized by different kind of substances exhibit better thermal performance compared to fluids including single type nanoparticle.

Sundar et al. [1] reported that 0.3 vol.% multi-wall carbon nanotube (MWCNT) – iron oxide (Fe_3O_4) hybrid nanoparticle addition to distilled water causes to 31.10% enhancement in heat transfer but 1.18 times higher pumping power. Madhesh et al. [2] reported that 1 vol.% copper (Cu) – titanium dioxide (TiO_2) hybrid nanoparticle addition to distilled water causes to 52% and 49% enhancements in convective heat transfer and Nusselt number, respectively. However, nanoparticle addition higher than 1 vol.% decreases the enhancement potential of nanoparticles in convective heat transfer. In addition, they also determined that 2 vol.% Cu– TiO_2 hybrid nanoparticle addition to distilled water increases the pressure drop by 14.9%. Nimmagadda and Venkatasubbaiah [3] numerically investigated laminar forced convective heat transfer of water–based aluminum oxide (Al_2O_3) – silver (Ag) hybrid nanofluid flow along a rectangular microchannel. According to their study, hybrid nanoparticle to be formed as 0.6 vol.% Al_2O_3 and 2.4 vol.% Ag addition to distilled water exhibits better convective heat transfer performance compared to separately additions of Ag and Al_2O_3 nanoparticles. Similar findings are reported by Moghadassi et al. [4]. Moghadassi et al. [4] explained that water–based Al_2O_3 –Cu hybrid nanofluid had 4.73% and 13.46% higher Nusselt numbers in compared to water–based Al_2O_3 nanofluid and distilled water, respectively. Yarmand et al. [5] experimentally investigated fully developed turbulent flow of water–based graphene nanoplatelets (GNP)–Ag hybrid nanofluid along a circular pipe under uniform heat flux boundary condition. They reported that water–based GNP–Ag hybrid nanofluid perform an increment of 32.7% in Nusselt number but it causes to 1.08 times higher friction factor. Kumar and Sarkar [6] investigated heat transfer and pressure drop characteristics of water–based Al_2O_3 – TiO_2 hybrid nanofluid flow along rectangular minichannel heat sink for numerically and experimentally. They used various mass fractions (10:0, 2:8, 4:6, 6:4, 8:2, 0:10) of Al_2O_3 and TiO_2 nanoparticles for hybrid nanoparticle. They reported that Al_2O_3 – TiO_2 (10:0) hybrid nanofluid performs the highest convective heat transfer coefficient.

In this study, water-based Cu–magnesium oxide (MgO) hybrid nanofluid flow along a square minichannel having H2 boundary condition is numerically investigated under laminar flow regime. For this study, various mass fractions (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100) of Cu and MgO nanoparticles are considered for Cu–MgO hybrid nanoparticles. The results obtained for pressure drop, Darcy friction factor, convective heat transfer and Nusselt number are presented and discussed.

2. MATERIAL–METHOD

2.1. Minichannel Geometry

The schematic illustration of minichannel investigated in this study is given in Figure 1.

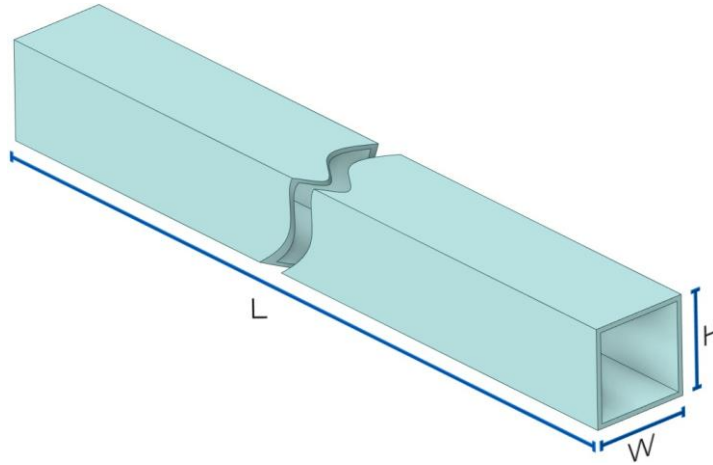


Figure 1. Schematic illustration of square minichannel

The dimensions of minichannel are determined to be $H = 3\text{ mm}$, $W = 3\text{ mm}$ and $L = 2\text{ m}$.

2.2. Governing Equations

The governing equations (continuity, momentum and energy) are solved for the flow domain. These equations can be given, respectively, as follows:

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}(\rho \vec{V} \vec{V}) = -\text{grad}(P) + \text{div}(\mu \text{grad}(\vec{V})) \quad (2)$$

$$\text{div}(\rho c_p \vec{V}T) = \text{div}(k \text{ grad}(T)) \quad (3)$$

The flow is determined as steady-state, thermally developing, laminar incompressible flow for this study. Moreover; viscous dissipation, buoyancy effect and radiation heat transfer are assumed to be negligible.

2.3. Physical Properties of Hybrid Nanofluids

Physical properties of water-based Cu–MgO hybrid nanofluids should be determined. However, physical properties of Cu–MgO hybrid nanoparticles should firstly be determined. Table 1 gives the physical properties of distilled water, Cu and MgO nanoparticles.

Table 1. Physical properties of distilled water, Cu and MgO nanoparticles [7]

Material	ρ [kg/m ³]	c_p [J/(kgK)]	k [W/(mK)]	μ [Pas]
Water	998.20	4182	0.610	0.0008100
Cu	8933	385	401	-
MgO	3970	879	30	-

In this study, various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles are considered for Cu–MgO hybrid nanoparticles. Equation 4 can be used to determine the density of Cu–MgO hybrid nanoparticles.

$$\rho_{hnp} = \frac{m_{Cu} + m_{MgO}}{\left(\frac{m_{Cu}}{\rho_{Cu}}\right) + \left(\frac{m_{MgO}}{\rho_{MgO}}\right)} \quad (4)$$

The volume fractions of Cu and MgO nanoparticles can be calculated by using Equation 5.

$$\phi = \left(\frac{m_{Cu}}{\rho_{Cu}}\right) + \left(\frac{m_{MgO}}{\rho_{MgO}}\right) \quad (5)$$

It is noted that the constant hybrid nanoparticle volume fraction of $\phi = 2$ vol.% is assumed for this study.

The specific heat of Cu–MgO hybrid nanoparticles can be obtained by the following expression:

$$\phi(\rho c_p)_{hnp} = \phi_{Cu}(\rho c_p)_{Cu} + \phi_{MgO}(\rho c_p)_{MgO} \quad (6)$$

Equation 7 can be used to determine the thermal conductivity of Cu–MgO hybrid nanoparticles [7].

$$\varphi k_{hnp} = \varphi_{Cu} k_{Cu} + \varphi_{MgO} k_{MgO} \quad (7)$$

The physical properties of Cu–MgO hybrid nanoparticles that are determined by using Equations 4–7 are tabulated in Table 2.

Table 2. Physical properties of Cu–MgO hybrid nanoparticles

Nanoparticle	ρ [kg/m ³]	C_p [J/(kgK)]	k [W/(mK)]
Cu–MgO (100:0)	8933.00	385.0	401.00
Cu–MgO (90:10)	7940.36	434.4	326.80
Cu–MgO (80:20)	7146.26	483.8	267.44
Cu–MgO (70:30)	6496.55	533.2	218.87
Cu–MgO (60:40)	5955.13	582.6	178.40
Cu–MgO (50:50)	5497.02	632.0	144.15
Cu–MgO (40:60)	5104.35	681.4	114.80
Cu–MgO (30:70)	4764.04	730.8	89.36
Cu–MgO (20:80)	4466.27	780.2	67.10
Cu–MgO (10:90)	4203.54	829.6	47.46
Cu–MgO (0:100)	3970.00	879.0	30.00

By using the data given in Table 2, the physical properties of water–based Cu–MgO hybrid nanofluid can be determined. Equations 8 and 9 can be used to determine the density and specific heat of water–based Cu–MgO hybrid nanofluid, respectively.

$$\rho_{hnf} = (1 - \varphi) \rho_{bf} + \varphi \rho_{hnp} \quad (8)$$

$$(\rho C_p)_{hnf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_{bf} + \varphi(\rho C_p)_{hnp} \quad (9)$$

The thermal conductivity and dynamic viscosity of water–based Cu–MgO hybrid nanofluid can be calculated by using the following equations, respectively [7].

$$k_{hnf} = k_{bf} \left\{ \frac{k_{hnp} + 2k_{bf} - 2\varphi(k_{bf} - k_{hnp})}{k_{hnp} + 2k_{bf} + \varphi(k_{bf} - k_{hnp})} \right\} \quad (10)$$

$$\mu_{hnf} = \mu_{bf} (1 + 2.5\varphi + 6.5\varphi^2) \quad (11)$$

The physical properties of water–based Cu–MgO hybrid nanofluids that are calculated by using Equations 8–11 are tabulated in Table 3.

Table 3. Physical properties of water–based Cu–MgO hybrid nanofluids

Material	ρ [kg/m ³]	c_p [J/(kgK)]	k [W/(mK)]	μ [Pas]
Water	998.20	4182.00	0.610000	0.0008100
Cu–MgO (100:0)	1156.90	3595.63	0.636567	0.0008526
Cu–MgO (90:10)	1137.04	3658.58	0.636529	0.0008526
Cu–MgO (80:20)	1121.16	3710.56	0.636484	0.0008526
Cu–MgO (70:30)	1108.17	3754.18	0.636428	0.0008526
Cu–MgO (60:40)	1097.34	3791.33	0.636359	0.0008526
Cu–MgO (50:50)	1088.18	3823.34	0.636271	0.0008526
Cu–MgO (40:60)	1080.32	3851.20	0.636153	0.0008526
Cu–MgO (30:70)	1073.52	3875.69	0.635990	0.0008526
Cu–MgO (20:80)	1067.56	3897.36	0.635747	0.0008526
Cu–MgO (10:90)	1062.31	3916.69	0.635349	0.0008526
Cu–MgO (0:100)	1057.64	3934.03	0.634575	0.0008526

2.4. Physical Parameters

In this study, the nanofluids including hybrid nanoparticles that are formed by various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles are compared at identical Reynolds numbers. Reynolds number is given as follows:

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (12)$$

Darcy–Weisbach equation can be used to determine the Darcy friction factor. Darcy friction factor is defined as follows:

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{\rho V^2}{2}\right)} \quad (13)$$

In this study, H2 boundary condition (peripherally and lengthwise uniform heat flux) is applied to the minichannel walls. Equation 14 can be used to determine the heat rate transferred from the minichannel wall to working fluid.

$$\dot{Q} = q_s'' A_s \quad (14)$$

The q_s'' term can be expressed as follows:

$$q_s'' = \bar{h} (T_s - T_b) \quad (15)$$

where the bulk temperature is determined to be $T_b = (T_{in} + T_{out})/2$.

According to the conservation of energy, the heat rate that is transferred from the minichannel wall to working fluid should be equal to the heat rate that is absorbed by working fluid. The heat rate that is absorbed by working fluid can be expressed as follows:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (16)$$

where the mass flow rate can be written as $\dot{m} = \rho A_c V$. By using the conservation of energy, convective heat transfer coefficient is written as follows:

$$\bar{h} = \rho c_p V \frac{A_c (T_{out} - T_{in})}{A_s (T_s - T_b)} \quad (17)$$

Nusselt number can be calculated as follows:

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} D}{k} \quad (18)$$

2.5. Procedures for Numerical Analysis

For pressure–velocity coupling, Coupled Scheme Method is selected. Least Square Cell Based Method is selected for gradient in spatial discretization. Moreover; Second Order is selected for pressure and Second Order Upwind is selected for energy and momentum. In the iteration of governing equations, the convergence value is selected to be 10^{-8} .

As a boundary condition, the inlet temperature of working fluids is assumed to be $T_{in} = 300$ K. Equation 12 is used to calculate the inlet velocity of working fluids for given Reynolds numbers. At the minichannel outlet, the pressure–outlet boundary condition ($P_{out} = 0$) is applied. At the minichannel walls, H2 boundary condition is applied. The value of heat flux is $q_s'' = 2000$ W/m².

2.6. Grid Independency and Code Validation Tests

The grid distribution of square minichannel investigated in this study is shown in Figure 2.

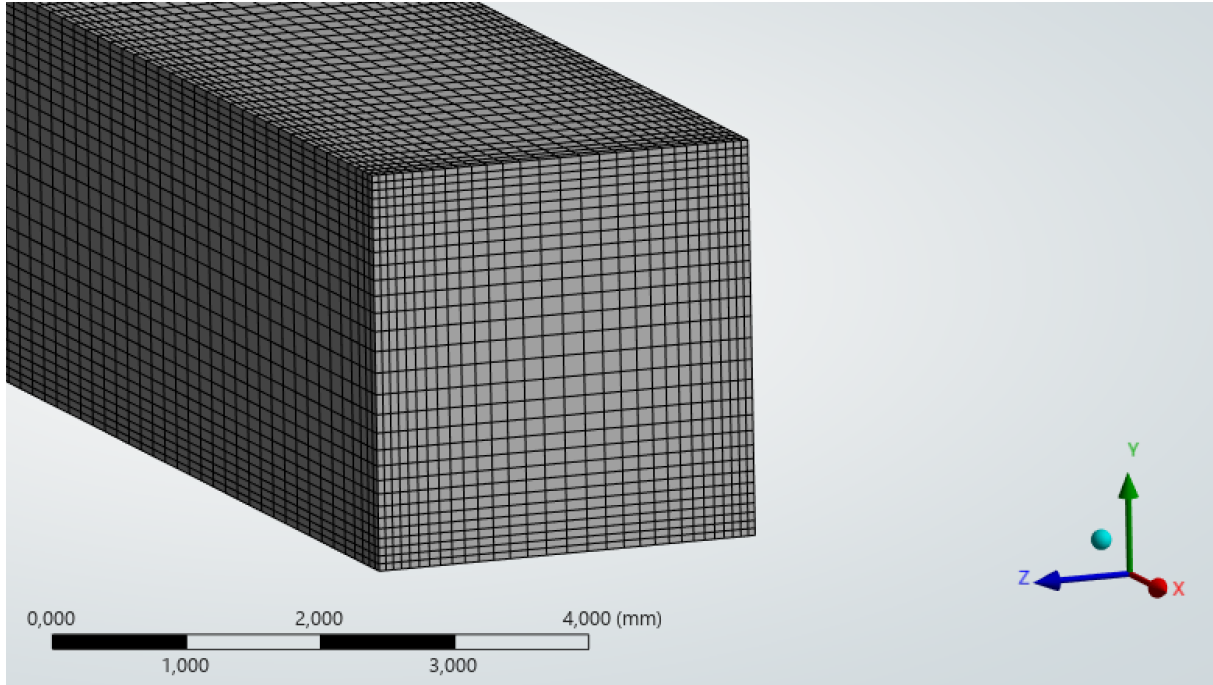


Figure 2. Grid distribution of square minichannel

Hexagonal grids are used to discretize the domain and finer grids are used next to the minichannel walls to improve the solution accuracy for boundary layer. Various numbers of grids are tested to determine the ideal grid number that does not affect the results and that provides minimum solution cost for grid independency test. Figure 3 shows the variation of Nusselt number with the grid numbers. Similarly, Figure 4 shows the variation of Darcy friction factor with the grid numbers.

The difference in Nusselt number for 40*40*3000 and 30*30*4000 is 0.07%. In addition, the deviation in Darcy friction factor for 40*40*3000 and 30*30*4000 is determined to be 0.19%. For the numerical solutions, the grid defined as 30*30*4000 is selected.

In this study, the flow is thermally developing flow. In a hydrodynamically developed laminar flow, the following expression can be used to determine the Darcy friction factor in square channels [8].

$$f = \frac{56.92}{Re} \quad (19)$$

At $Re = 100$ and $Re = 200$, the flow is thermally developed flow. For a thermally developed laminar flow along square channels, Nusselt number is expressed as follows [9]:

$$\overline{Nu} = 3.091 \quad (20)$$

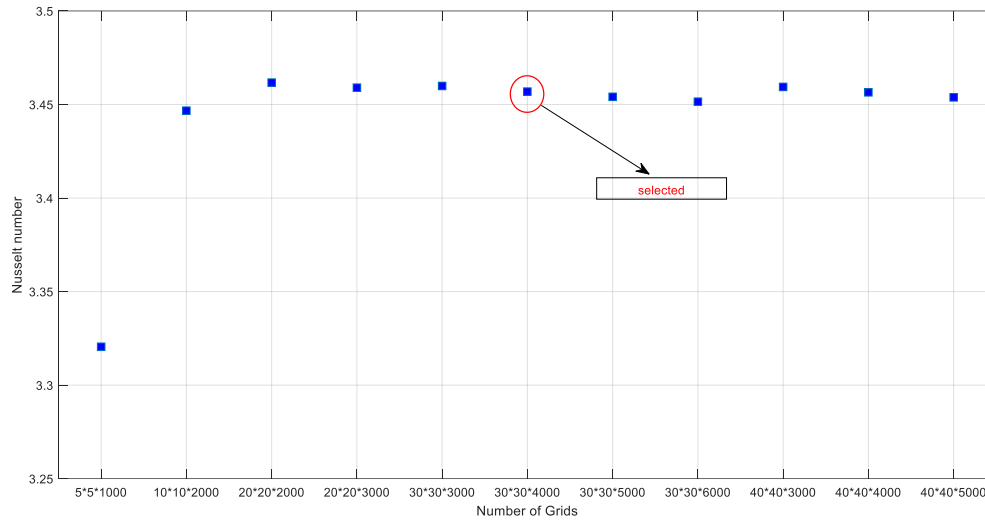


Figure 3. Variation of Nusselt number with number of grids

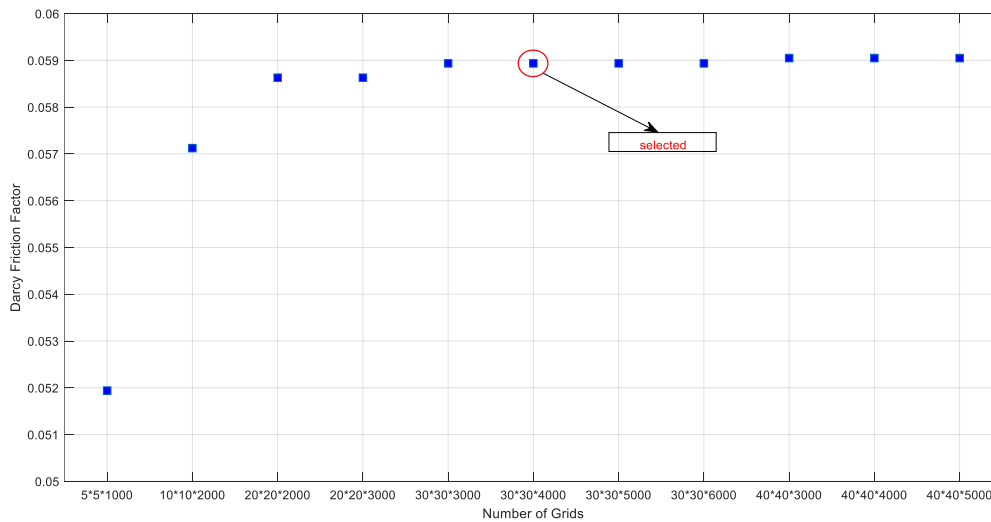


Figure 4. Variation of Darcy friction factor with number of grids

However, in remaining Reynolds numbers, the flow is thermally developing flow. Nusselt number obtained by Shah and London [9] for thermally developing laminar flow along a square channel under H2 boundary condition is given in Table 4. Table 4 presents the comparison of

the data obtained in this study and reported in the literature for Nusselt number and Darcy friction factor.

Table 4. Code validation test

Re	$\overline{Nu}_{ref}$ [Ref 8]	$\overline{Nu}$	$\Delta \overline{Nu}$	f_{ref} [Ref 9]	f	Δf
100	3.081	3.105	0.45%	0.569200	0.569713	0.09%
200	3.081	3.144	1.71%	0.284600	0.285966	0.48%
300	3.274	3.183	-2.78%	0.189733	0.191261	0.81%
400	3.345	3.219	-3.77%	0.142300	0.144084	1.24%
500	3.416	3.258	-4.63%	0.113840	0.115662	1.60%
600	3.487	3.296	-5.48%	0.094867	0.096785	2.02%
700	3.559	3.336	-6.27%	0.081314	0.083247	2.38%
800	3.631	3.376	-7.02%	0.071150	0.073133	2.79%
900	3.702	3.417	-7.70%	0.063244	0.065235	3.15%
1000	3.774	3.457	-8.40%	0.056920	0.058940	3.55%

As can be seen from Table 4, the minimum and maximum deviations in the Nusselt number are obtained to be 0.45% and -8.40% at $Re=100$ and $Re=1000$, respectively. The average deviation is determined to be 4.82%. Similarly, the minimum and maximum deviations in the Darcy friction factor is determined to be 0.09% and 3.55% at $Re=100$ and $Re=1000$, respectively. The average deviation is found to be 1.81%. These deviations are assumed as acceptable.

3. RESULTS and DISCUSSION

In this section, the results obtained by numerical analysis of water-based Cu-MgO hybrid nanofluid flow along a square minichannel is presented and discussed.

3.1. Pressure Drop

Figure 5 shows the variation of pressure drop for nanofluids including hybrid nanoparticles that are formed by various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles.

According to Figure 5, the highest pressure drop is obtained to be 1500.31 Pa for Cu-MgO (0:100) nanofluid at $Re=1000$. The pressure drop decreased with increase in Cu content in hybrid nanoparticle. The lowest pressure drop is determined to be 1371.59 Pa Cu-MgO (100:0) nanofluid at $Re=1000$. The pressure drop obtained for distilled water is 1371.59 Pa at

$Re = 1000$. According to these results, 2 vol.% Cu nanoparticle addition to distilled water decreases the pressure drop by 4.41%. However, 2 vol.% MgO nanoparticle addition increases the pressure drop by 4.56%.

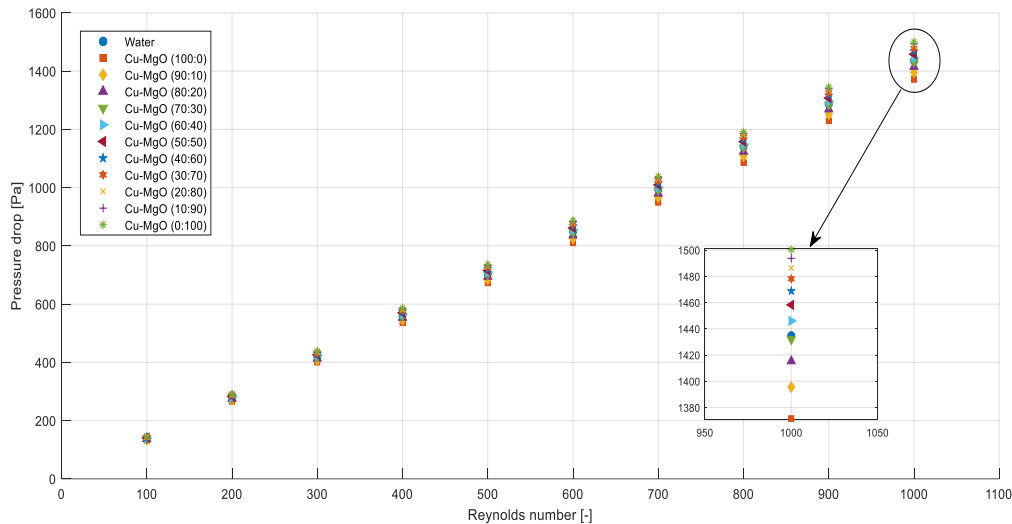


Figure 5. Variation of pressure drop with Reynolds number for various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles

3.2. Darcy Friction Factor

The variation of Darcy friction factor for nanofluids including hybrid nanoparticles that are formed by various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles is shown in Figure 6.

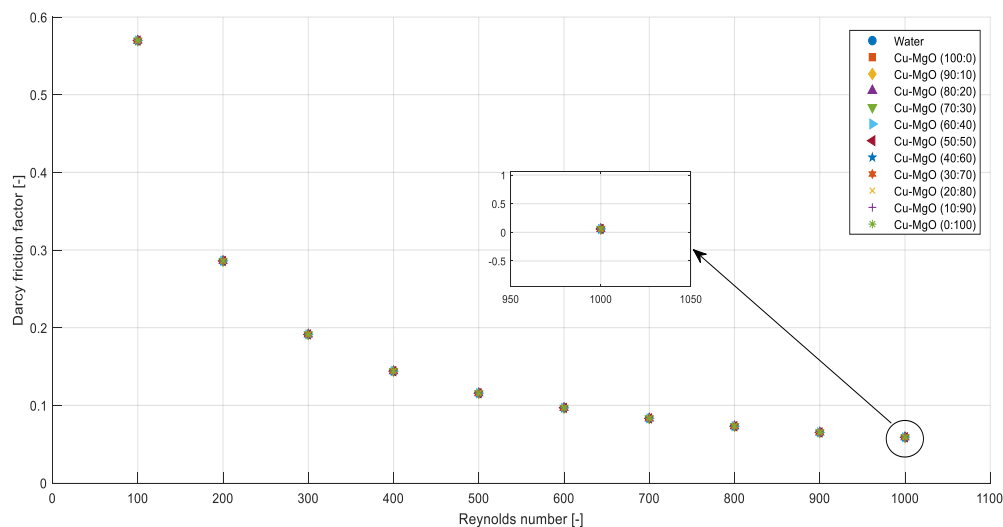


Figure 6. Variation of Darcy friction factor with Reynolds number for various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles

As can be seen from Figure 6, the same Darcy friction factors are obtained for all hybrid nanofluids considered in this study due to that dimensionless pressure does not be affected by hybrid nanoparticle addition. At $Re=100$, the Darcy friction factor is determined to be 0.569691. Similarly, it is calculated to be 0.058937 at $Re=1000$.

3.3. Convective Heat Transfer Coefficient

Figure 7 shows the variation of convective heat transfer coefficient for nanofluids including hybrid nanoparticles that are formed by various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles.

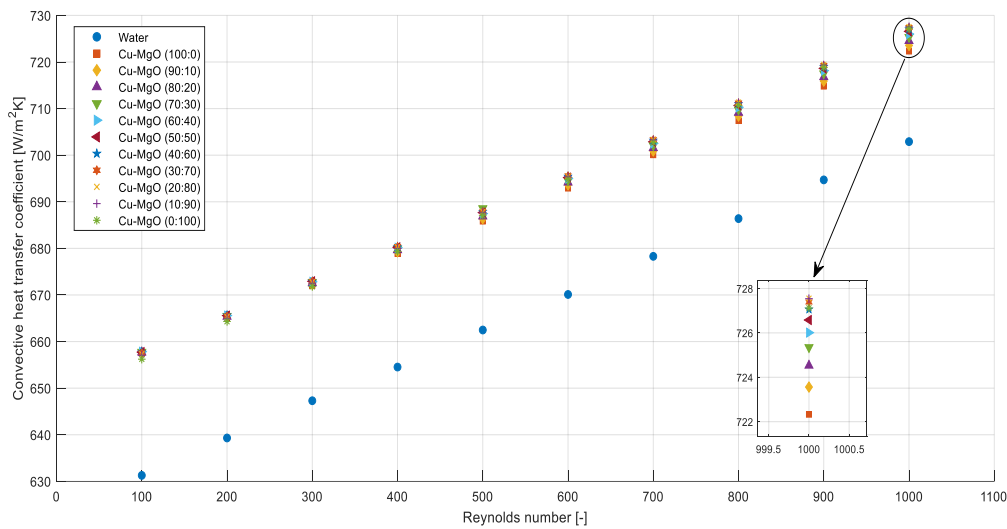


Figure 7. Variation of convective heat transfer coefficient with Reynolds number for various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles

The distilled water had the lowest convective heat transfer coefficient at all Reynolds numbers. At $Re=1000$, the convective heat transfer coefficient for distilled water is calculated to be $702.91 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. At the same Reynolds number, the convective heat transfer is determined to be $722.33 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ for Cu–MgO (100:0) hybrid nanofluid. It is observed that the convective heat transfer coefficient increases until the MgO content reaches up to 80% and then it decreases. The highest convective heat transfer in this study is determined to be $727.55 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ for Cu–MgO (20:80) hybrid nanofluid at $Re=1000$. This corresponds to an enhancement of 3.51% in the convective heat transfer coefficient.

3.4. Nusselt Number

The variation of Darcy friction factor for nanofluids including hybrid nanoparticles that are formed by various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles is shown in Figure 8.

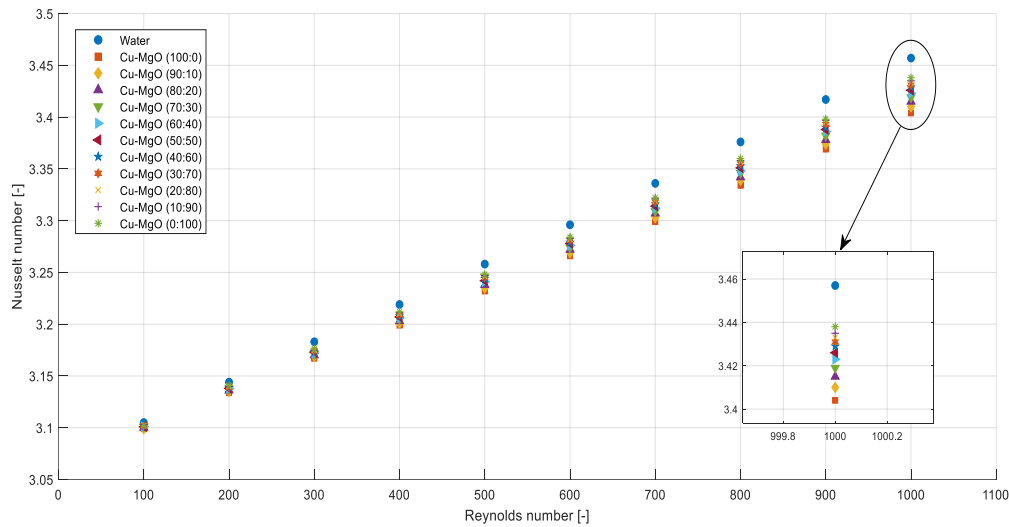


Figure 8. Variation of Nusselt number with Reynolds number for various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles

At all Reynolds numbers, the highest Nusselt numbers are obtained for distilled water. At $Re = 1000$, the distilled water had a Nusselt number of 3.457. Cu–MgO (100:0) hybrid nanofluid had a Nusselt number of 3.404 at the same Reynolds number. It was observed that Nusselt number increases as MgO content increases in the hybrid nanoparticle. Among the hybrid nanofluids, the highest number is found to be 3.438 for Cu–MgO (0:100) hybrid nanofluid at $Re = 1000$. This decrement in Nusselt number with hybrid nanoparticle addition is due to that the increment in conductive heat transfer with hybrid nanoparticle addition is higher than that of convective heat transfer.

CONCLUSIONS

In this study, fluid flow and convective heat transfer characteristics of water–based Cu–MgO hybrid nanofluid flow along a square minichannel are numerically investigated. Hybrid

nanofluids considered in this study have a volumetric volume fraction of $\varphi = 2$ vol.%. Various mass fractions of Cu and MgO nanoparticles are considered for hybrid nanoparticle. As a result, it was observed that the convective heat transfer coefficient increases MgO content in hybrid nanoparticle increases until 80 wt.%. One of the limitations of this study is the equations (Equations 10 and 11) used to determine the thermal conductivity and dynamics viscosity of hybrid nanofluids. It is known that the general equations used to determine the conductive heat transfer coefficient underestimates the enhancements in the conductive heat transfer. For future works, empirical correlations to determine the conductive heat transfer coefficient and dynamic viscosity for nanofluids having hybrid nanoparticles that are formed by various mass fractions of elements can be equated by experimental findings.

REFERENCES

- [1] Sundar L.S., Singh M.K., Sousa A.C.M. Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT–Fe₃O₄/water hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 52: 73–83, 2014.
- [2] Sundar L.S., Singh M.K., Sousa A.C.M. Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT–Fe₃O₄/water hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 52: 73–83, 2014.
- [3] Nimmagadda R., Venkatasubbaiah K. Conjugate heat transfer analysis of micro–channel using novel hybrid nanofluids (Al₂O₃ + Ag/Water). *European Journal of Mechanics B /Fluids* 52: 19–27, 2015.
- [4] Moghadassi A., Ghomi E., Parvizian F. A numerical study of water based Al₂O₃ and Al₂O₃–Cu hybrid nanofluid effect on forced convective heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences* 92: 50–57, 2015.
- [5] Yarmand H., Gharekhani S., Ahmadi G., Shirazi S.F.S., Baradaran S., Montazer E., Zubir M.N.M., Alehashem M.S., Kazi S.N., Dahari M. Graphene nanoplatelets–silver hybrid nanofluids for enhanced heat transfer. *Energy Conversion and Management* 100: 419–428, 2015.
- [6] Kumar V., Sarkar J. Numerical and experimental investigations on heat transfer and pressure drop characteristics of Al₂O₃ – TiO₂ hybrid nanofluid in minichannel heat sink with different mixture ratio. *Powder Technology* 345: 717–727, 2019.

- [7] Aktary R., Islam S., Ray S.C., Khatun S., Kundu R., Biswas A. Thermal performance analysis of Cu-MgO-H₂O hybrid nanofluid in a partially heated trapezoidal cavity: FEM, RSM and ANN approaches. Thermal Advances 4: 100062, 2025.
- [8] Çengel Y.A., Cimbala J.M. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları. Palme Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2021.
- [9] Shah R.K., London A.L. Laminar Flow Forced Convection in Ducts. Academic Press, London, UK, 1978.

KIRSAL ALANLARDAKİ TRAKTÖR KAZALARI ÜZERİNDE ETKİLİ FAKTÖRLERİN ANALİZİ

Makine Mühendisi, Pelin ERYILMAZ

Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Ana Bilim Dalı,
ulucaypelin@gmail.com – 0009-0001-3166-2571

Dr. Öğr. Üyesi, Erdal ÖZ

Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu, erdal.oz@ege.edu.tr, 0000-0001-6497-7329

ÖZET

Tarım sektörü, doğası gereği tehlikeli bir iş kolu olup yüksek kaza ve ölüm oranlarına sahiptir. Bu kazaların önemli kısmını oluşturan traktör kazalarına ilişkin mevcut veri tabanları yetersiz kalmakta ve kazaların gerçek nedenlerine yönelik kapsamlı bir analiz ihtiyacı doğmaktadır. Bu kapsamda bu çalışma, Jandarma Genel Komutanlığı tarafından Türkiye genelinde 2019-2023 yılları arasında kırsal kesimlerde meydana gelen kazalara ilişkin tutulan ölümlü/ yaralanmalı trafik kazası tespit tutanaklarında yer alan verileri kullanarak kazalar üzerinde etkili olan unsurları belirlemeyi hedeflemektedir. Çalışmanın materyali, Türkiye genelinde Jandarma sorumluluk sahasında meydana gelen 4834 ölümlü ve yaralanmalı traktör kazasına ait tespit tutanaklarıdır. Veriler, Microsoft Excel kullanılarak frekans, yüzde ve ortalama değerleri ile analiz edilmiştir.

Kazaların en çok tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu yaz aylarında (%54), öğleden sonra (12:01-18:00) ve tarımsal üretimin yoğun olduğu bölgelerde (Ege, Batı Karadeniz) ve tarım merkezlerinde (Tokat, Afyonkarahisar, Manisa) meydana geldiği belirlenmiştir. Kazaların büyük çoğunluğu (%64), yerleşim yeri dışında, düz ve asfalt köy yollarında gerçekleşmiştir. Sürücülerin %37'sinin sürücü belgesiz ve %59'unun ilköğretim mezunu olduğu gözlenmiştir. Kazalarda 293 kişi hayatını kaybetmiş, 7943 kişi yaralanmıştır. En sık kaza başlangıç sebebi yoldan çıkma iken, en ölümcül sonucu devrilme olarak saptanmıştır. Özellikle, yolcuların %30'unun 18 yaş altı çocuklar olması, kazaların toplumsal boyutunu vurgulamaktadır.

Bu çalışma, traktör kazalarının tek bir faktöre indirgenemeyecek kadar çok boyutlu bir sorun olduğunu işaret etmektedir. Kazaların temel nedenlerinin, yol kusurlarından ziyade sürücü davranışları (hız, dikkatsizlik) ve yetersiz altyapısal güvenlik önlemleri olduğu görüldüğünden, kazaların önlenmesi için ise sadece teknik tedbirler değil, aynı zamanda sürücü eğitimi, yasal denetimlerin artırılması ve kırsal yol altyapısının iyileştirilmesi gibi bütüncül politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Traktör kazası, Kırsal güvenlik, Jandarma verileri, Sürücü davranışı, Trafik güvenliği, İş güvenliği.

1.GİRİŞ

Tarım, dünya iş gücünün üçte birinden fazlasını istihdam etmesine rağmen, diğer sektörlerle göre doğası gereği daha tehlikelidir [1]. Çalışma ortamlarının yerleşim yerlerinden uzak olması, belirsiz çalışma süreleri ve traktör gibi karmaşık makinelerin kullanımı, bu tehlikelerin başlıca nedenleridir [2]. Ayrıca, kırsal alanlardaki denetim eksikliği, güvenlik sorununu daha da artırmaktadır [3].

Araştırmalar, tarımın hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde en yüksek kaza oranına sahip sektörlerden biri olduğunu göstermektedir. ABD'de tarım, mesleki ölümlerde diğer sektörlerle göre altı kat daha fazla risk taşımaktadır [4]. Avrupa Birliği ülkelerinde de durum benzer olup, inşaattan sonra en çok iş kazası tarım ve ormancılık sektörlerinde yaşanmaktadır [5]. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) raporlarına göre, dünya genelindeki ölümcül iş kazalarının üçte biri tarım sektöründe meydana gelmektedir [6].

Artan dünya nüfusu ve üretim talebi, tarımı mekanizasyona dayalı tekniklere yönlendirmiş, bu süreçte traktörler modern tarımın vazgeçilmez birincil güç kaynağı haline gelmiştir [7]. Ancak bu durum, traktör kazalarını tarım iş kazalarının ana unsuru haline getirmiştir [8]. Tarım makineleriyle meydana gelen kazaların %60 ila %75'i traktörlerden kaynaklanmaktadır [9]. Traktörler, tarımdaki kazaların yaklaşık %75'ine ve ölümcül kazaların üçte birine neden olmaktadır [10]. Bu kazalar aynı zamanda hastane masraflarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır [9]. Gelişmiş güvenlik önlemlerine (ROPS gibi) rağmen, traktörler en fazla kazaya yol açan ekipmanlar olmaya devam etmektedir [10]

Makalede, Türkiye'deki duruma da değinilmekte ve traktör kazalarına ilişkin verilerin oldukça sınırlı olduğu vurgulanmaktadır. Türkiye'de traktör kazaları genellikle trafik kazası kapsamında değerlendirilmektedir [11]. Bu durum, kırsal alandaki kazaların analizini zorlaştırmakta ve kazaların büyük bir kısmının (%80) yetkili makamlara bildirilmemesine neden olmaktadır [7]. Bu veri eksikliği, kazaların gerçek boyutunu anlamayı ve etkili önlemler geliştirmeyi engellemektedir.

Türkiye'deki mevcut çalışmalar genellikle anket yoluyla yapılmakta, bu da verilerin güvenilirliği konusunda sınırlılıklar yaratmaktadır [7]. Jandarma Genel Komutanlığı ve Emniyet Genel Müdürlüğü'nün derlediği veriler ise genellikle ölü ve yaralı sayılarıyla sınırlı kalmakta, kazalara etki eden faktörlere ilişkin ayrıntılı bilgi sunmamaktadır [12].

Bu kapsamda bu tez çalışmasında Jandarma Genel Komutanlığı'nın traktör kazası arşivlerinin incelenmesi hedeflenmektedir. Bu inceleme ile sürücü kusurları dışındaki faktörlerin (yol ve çevresel yapı gibi) kazalar üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma, traktör kazalarını etkileyen faktörlere ilişkin kapsamlı bir veri tabanı oluşturarak, kazaların önlenmesine yönelik daha etkili stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Materyal

Bu çalışmada Jandarma Genel Komutanlığı Trafik Daire Başkanlığı tarafından ülke genelinde 2019-2023 yılları arasında kırsal kesimlerde meydana gelmiş kazalara ilişkin tutulan ölümlü/yaralanmalı trafik kazası tespit tutanaklarında yer alan veriler materyal olarak kullanılmıştır.

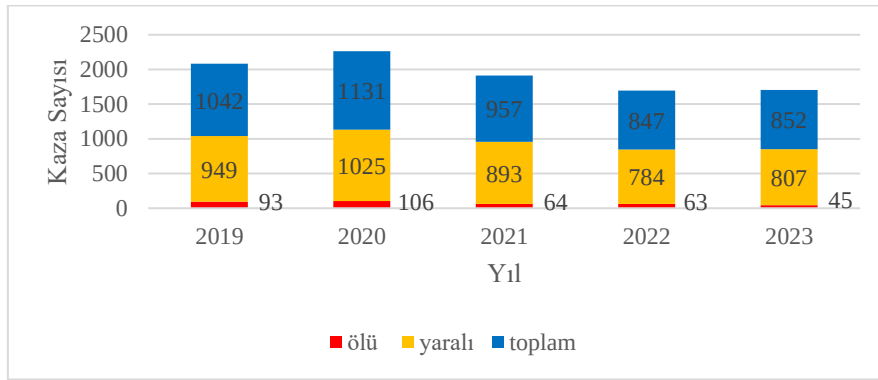
Çalışmanın örneklemini Türkiye geneli olarak belirlenmiştir.

2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında adı geçen tutanakta yer alan bilgilerden kişisel veriler dışındaki tüm veriler incelenmiştir. Veriler tutanakta belirtilen başlıklar esas alınarak kategorize edilmiştir. Bu başlıklar bulgular bölümünde detaylandırılmıştır.

3. BULGULAR

2019-2023 yılları arasında kırsal alanlar içinde yer alan yollarda meydana gelen traktör kazalarına ilişkin trafik kazası tespit tutanağı verilerine göre söz konusu yollarda toplam 4829 kazanın meydana geldiği, bunlardan 371'inin ölümlü, 4458'inin ise yaralanmalı kaza olduğu belirlenmiştir. Kazaların yıllara göre dağılımı Şekil 3.1'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Kazaların yıllara göre dağılımı

3.1. Kazaların Zamanına ve Yerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında kazaların tarihi (ay/gün) zamanı, kaza ili ve yerleşim yeri durumu değerlendirilmiştir.

3.1.1. Kazaların tarihine göre dağılımı

Kazaların aylara göre dağılımı incelendiğinde yıllar bazında benzer bir dağılıma rastlanmıştır. Buna göre kazaların büyük oranda yaz aylarında ve sonbahar başlangıcında yoğunlaştığı gözlenmektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Kazaların aylara göre dağılımı.

Aylar	Yıllar				
	2019	2020	2021	2022	2023
Ocak	18	29	21	23	25
Şubat	31	22	25	28	27
Mart	48	46	36	19	31
Nisan	73	74	58	60	53
Mayıs	97	96	108	84	62
Haziran	137	149	102	82	97
Temmuz	163	170	166	151	135
Ağustos	140	170	146	117	135
Eylül	113	131	96	114	91
Ekim	106	103	94	85	92
Kasım	85	100	82	58	65
Aralık	31	41	23	26	46

Kazaların haftanın günlerine göre dağılımı incelendiğinde günlere göre belirgin bir kümelenme olmadığı, haftanın günlerine yaklaşık olarak eşit dağıldığı gözlenmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Kazaların günlere göre dağılımı.

GÜNLER	YILLAR				
	2019	2020	2021	2022	2023
Pazartesi	137	175	127	116	127
Salı	146	132	140	102	96
Çarşamba	145	149	139	121	117
Perşembe	138	161	129	128	114
Cuma	132	163	124	122	118
Cumartesi	164	178	145	107	155
Pazar	180	173	153	151	130

Kazalar zaman dilimlerine göre dağılımı incelendiğinde kazaların %47'sinin gündüz ve öğleden sonraki zaman dilimi (12:01-18:00) içerisinde meydana geldiği gözlenmektedir. Sabah-öğle arası periyotta meydana gelen kazalar önemli düzeyde (%32) bulunmuştur (Çizelge 3.3).

Çizelge3.3. Kazaların zaman dilimlerine göre dağılımı

Zaman Dilimi	Yıllar				
	2019	2020	2021	2022	2023
00:00-06:00	33	28	26	28	30
06:01-12:00	340	354	293	300	241
12:01-18:00	474	531	458	383	439
18:01-00:00	195	218	180	136	142

3.1.2. Kazaların yerine göre dağılımı

3.1.2.1. Kazaların illere göre dağılımı

Veriler incelendiğinde ülkemizin tüm illerinde kaza yaşandığı ortaya çıkmıştır. En çok kaza meydana gelen ilk üç il ise Tokat (158 kaza), Afyonkarahisar (116 kaza) ve Manisa (111 kaza) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kazaların illere göre dağılımı.

3.1.2.2. Kazaların bölgelere göre dağılımı

Veriler İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS)'na göre değerlendirildiğinde Batı Karadeniz ve Ege Bölgelerinin öne çıktığı görülmektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Kazaların İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS)'na göre dağılımı

Kod	Düzy 1 – Düzy 3	Kaza Sayısı
TR1	İstanbul	31
TR2	Batı Marmara (Tekirdağ, Edirne, Kırklareli, Balıkesir , Çanakkale)	312
TR3	Ege (İzmir, Aydın, Denizli, Muğla, Manisa, Afyonkarahisar , Kütahya, Uşak)	642
TR4	Doğu Marmara (Bursa , Eskişehir, Bilecik, Kocaeli, Sakarya, Düzce, Bolu, Yalova)	447
TR5	Batı Anadolu (Ankara, Konya , Karaman)	187
TR6	Akdeniz (Antalya, Isparta , Burdur, Adana, Mersin, Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye)	541
TR7	Orta Anadolu (Kırıkkale , Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kırşehir, Kayseri, Sivas, Yozgat)	449
TR8	Batı Karadeniz (Zonguldak, Karabük, Bartın, Kastamonu, Çankırı, Sinop, Samsun, Tokat , Çorum, Amasya)	720
TR9	Doğu Karadeniz (Trabzon, Ordu, Giresun , Rize, Artvin, Gümüşhane)	261
TRA	Kuzeydoğu Anadolu (Erzurum, Erzincan , Bayburt, Ağrı, Kars, Iğdır, Ardahan)	412
TRB	Ortadoğu Anadolu (Malatya, Elazığ, Bingöl , Tunceli, Van, Muş, Bitlis, Hakkâri)	369
TRC	Güneydoğu Anadolu (Gaziantep, Adıyaman, Kilis, Şanlıurfa , Diyarbakır, Mardin, Batman, Şırnak, Siirt)	465

4.1.2.3. Kazaların yerleşim yerine göre dağılımı

Kazalar yerleşim yerleri açısından değerlendirildiğinde toplam kazaların %36'sının yerleşim yeri içinde, %64'ünün yerleşim yeri dışında ve %53'ünün mahalle, %47'sinin ise köylerde meydana geldiği belirlenmiştir.

3.2. Kazaların Yol Özelliklerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında kazaların meydana geldiği yolun tipi, kaplama cinsi ve yolun sınıfına ilişkin bilgiler derlenmiştir.

3.2.1. Kazaların yol tipine göre dağılımı

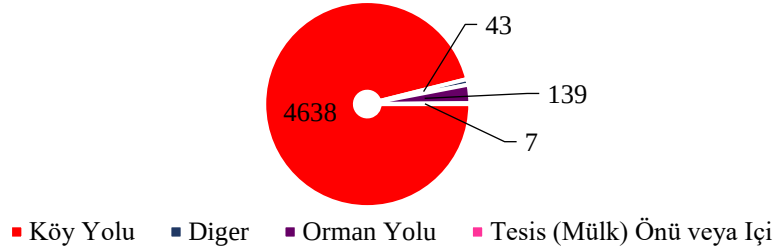
Kazalar yol tipine göre değerlendirildiğinde kazaların neredeyse tamamının (%94) iki yönlü yollarda meydana geldiği belirlenmiştir.

4.2.2. Kazaların yol kaplama cinsine göre dağılımı

Veriler yol kaplama cinsine göre değerlendirildiğinde kazaların %61'inin asfalt kaplı yollarda meydana geldiği gözlenmiştir. Bunu sırasıyla stabilize, toprak, parke, sathi kaplama ve beton yollar izlemektedir.

3.2.3. Kazaların yol sınıfına göre dağılımı

Veriler yol sınıfı açısından değerlendirildiğinde kazaların %96'sının köy yolunda, %3'ünün orman yolunda meydana geldiği, kalan %1'lik bölümünün Tesis önü veya içi ile diğer yollarda meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kazaların yol sınıfına göre dağılımı.

3.3. Kazaların Yol Güvenlik Unsurlarına ve Çevre Özelliklerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında kazaların meydana geldiği yollarda yol güvenlik unsurlarına göre korkuluk, emniyet şeridi/ banket, şerit çizgisi, trafik levhası, ışıklı işaret, aydınlatma ile yolda çalışma, yol çalışması işaretlemesi ve çevre özelliklerine göre gün ve hava durumu, yol yüzeyine ilişkin bilgiler derlenmiştir.

3.3.1. Kazaların yol güvenlik unsurlarına göre dağılımı

2019-2023 yılları arasında meydana gelen kazaların korkuluk, emniyet şeridi/ banket, şerit çizgisi, trafik levhası, ışıklı işaret, aydınlatmanın varlığına ilişkin veriler Çizelge 3.5'te, kazaların yoldaki çalışma durumu ve işaretlemesine göre dağılımı ise Çizelge 3.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Kazaların yol güvenlik unsurlarına göre dağılımı-1.

	Korkuluk	Şerit/ Banket	Şerit Çizgisi	Trafik Levhası	Işıklı İşaret	Aydınlatma
Yok	4742	4120	3914	3330	4788	4318
Var	73	696	884	1486	25	486
Bozuk	8	7	25	7	10	19

Meydana gelen kazaların bulunduğu yolların %98'inde korkuluk, %85'inde emniyet şeridi/banket, %81'inde şerit çizgisi, %69'unda trafik levhası, %99'unda ışıklı işaret, %89'unda aydınlatmanın mevcut olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Kazaların yol güvenlik unsurlarına göre dağılımı-2.

	Yolda Çalışma	Yol Çalışması İşaretlemesi
Var	30	12
Yok	4793	2001
Belirtilmemiş		2810

3.3.2. Kazaların gün ve hava durumuna göre dağılımı

Veriler kazaların gün ve hava durumuna göre değerlendirildiğinde kazaların çoğunlukla gündüz (%79) ve açık havada (%91) meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kazaların gün ve hava durumuna göre dağılımı.

3.3.3. Kazaların yol yüzeyine göre dağılımı

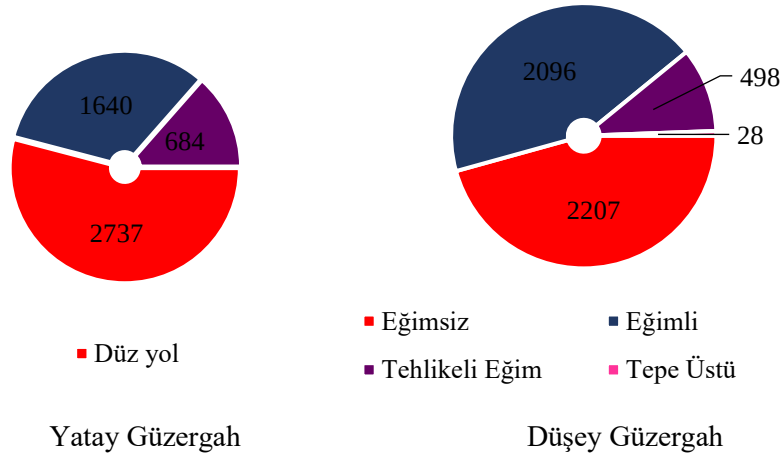
Kazalara ilişkin veriler yol yüzeyine göre değerlendirildiğinde kazaların %91'inin (4396 kaza) kuru yüzeylerde, %7'sinin ıslak yüzeylerde, kalan %3'ünün ise karlı, buzlu, su birikintili, kaygan yüzeylerde meydana geldiği belirlenmiştir.

3.4. Kazaların Yolun Geometrik Özelliklerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında kazaların meydana geldiği yollarda yatay ve düşey güzergah, kavşak ve geçit varlığına ilişkin bilgiler derlenmiştir.

3.4.1. Kazaların yatay ve düşey güzergâh durumuna göre dağılımı

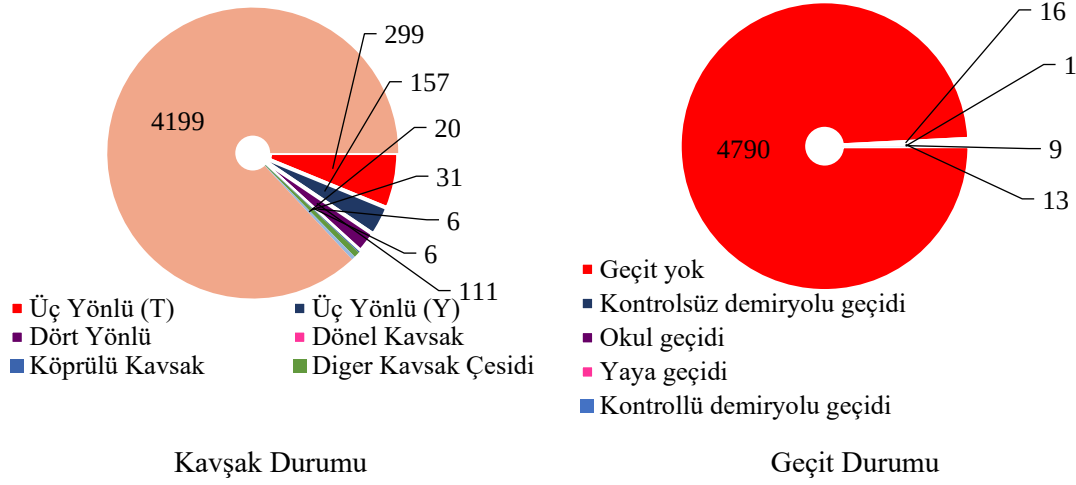
Veriler yatay güzergah durumuna göre değerlendirildiğinde kazaların genellikle düz yolda (%54), düşey güzergah durumuna göre değerlendirildiğinde ise kazaların eğimsiz yollarda (%46) meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kazaların yatay ve düşey güzergâh durumuna göre dağılımı.

3.4.2. Kazaların kavşak ve geçit varlığına göre dağılımı

Kazaların meydana geldiği yolların %87'sinde kavşak, %99'unda ise geçit olmadığı belirlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kazaların kavşak ve geçit varlığına göre dağılımı.

3.5. Kazaların Kazaya Ait Özelliklerine Göre Dağılımı

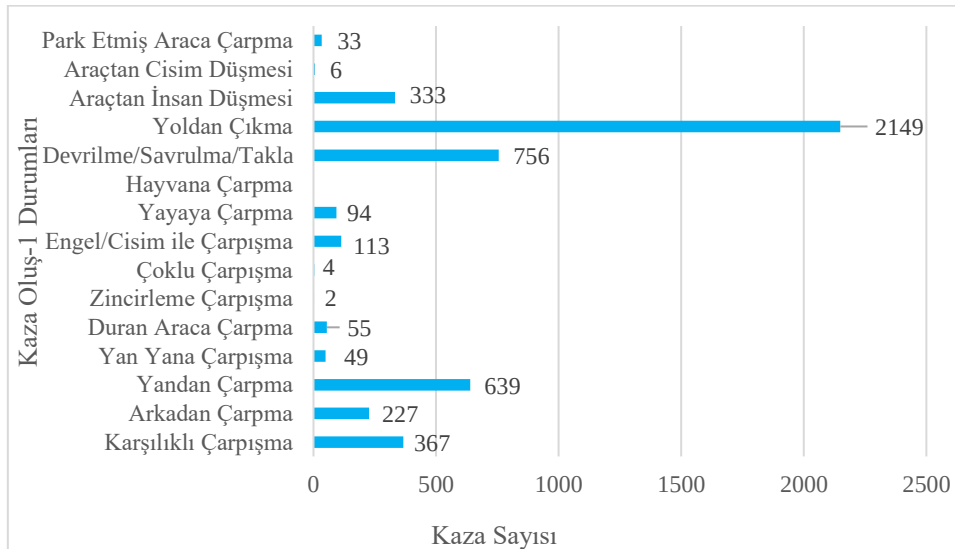
Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında kazaya ait özellikler ve oluş şekline ilişkin bilgiler derlenmiştir.

3.5.1. Kazaların kazaya ait özelliklere göre dağılımı

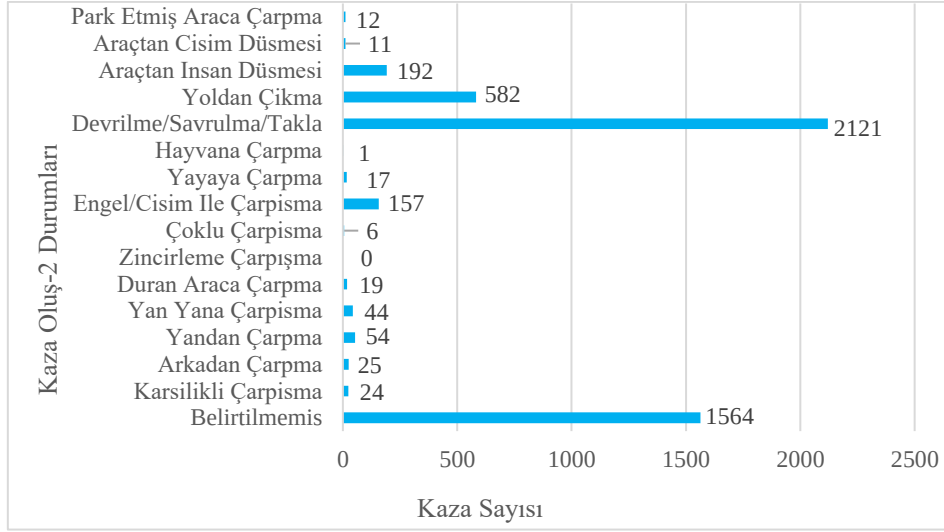
Kazaya ait özellikler başlığı altında kazanın meydana geldiği yerin niteliği değerlendirilmektedir. Buna göre köprü altı, üstü, dar köprü, tünel içi, menfez üstü, kasis ve dar yol gibi alt başlıklar incelenmektedir. Veriler bu doğrultuda değerlendirildiğinde kazaların %88'inde (4232 kaza) kazanın yerine ilişkin bilgi sunulmadığı gözlenmiştir. Bunun dışında en fazla kazanın (232 kaza) dar yollarda meydana geldiği belirlenmiştir.

3.5.2. Kazaların oluş şekline göre dağılımı

Kaza tespit tutanaklarında kazaların oluş şekli iki başlıkta değerlendirilmektedir. Buna göre ilk aşamada kazanın ana nedeni (oluş şekli-1), ikinci aşamada ise ana nedenini takip eden durum (oluş şekli-2) belirtilmektedir.



Şekil 3.7. Kazaların oluş şekline göre (oluş şekli-1: ana neden) dağılımı.



Şekil 3.8. Kazaların oluş şekline (oluş şekli-2: takip eden durum) göre dağılımı.

Veriler incelendiğinde yoldan çıkma ve devrilmenin ana nedenlerin başında geldiği, takip eden durumların başında da devrilmenin ilk sırada yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 3.7; Şekil 3.8)

3.6. Kazaların Yol Sorununa Göre Dağılımı

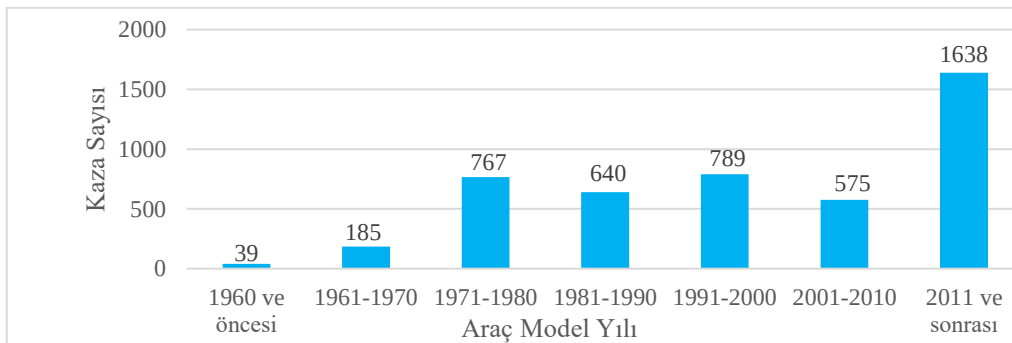
Veriler kazaların yol sorununa göre değerlendirildiğinde 4788 kazada kazaya etken yol sorununun olmadığı, 46 kazada yolda münferit çukur, yol sathında gevşek malzeme, düşük banket, kısmi veya münferit çökme, tekerlek izinde oturma ve diğer yol sorunları belirlenmiştir. Kazaların meydana geldiği yollardan yalnızca 5'inde yol sorununa ilişkin uyarıcı işaretin varlığına rastlanmıştır.

3.7. Kazaların Kazaya Karışan Araç Bilgilerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında model yılı, fenni muayene, sigorta, kazaya etki eden araç aksamaları, hasar durumu, lastik durumu ve lastik diş derinliğinin uygunluğuna dair bilgiler derlenmiştir.

3.7.1. Kazaların aracın model yılına göre dağılımı

Kazaya karışan traktörlerin model yılı, diğer bir deyişle yaş açısından dağılımı incelendiğinde yaklaşık üçte birinin kazaların meydana geldiği tarih itibari ile 10 yaş ve altında yer aldığı, diğerlerinin ise daha eski model traktörler olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kazaların aracın model yılına göre dağılımı.

3.7.2. Kazaların fenni muayene ve sigorta durumuna göre dağılımı

Kaza yapan araçların fenni muayene bitiş tarihlerine göre dağılımı Çizelge 3.7’de yer almaktadır.

Çizelge 3.7. Kazaların yapan araçların fenni muayene durumuna göre dağılımı.

Fenni Muayene Durumu		Sigorta Durumu	
Yok	Süresi Geçmiş	Yok	Var
1277	988	1278	3548

Veriler incelendiğinde sigorta konusunda gösterilen hassasiyetin fenni muayene konusunda mevcut olmadığı göze çarpmaktadır. Buna göre araçların yaklaşık üçte birinde fenni muayene olmadığı, önemli bir kısmında ise muayene tarihinin en az bir yıl gecikmiş olduğu belirlenmiştir.

3.7.3. Kazaların kazaya etki eden araç aksamalarına göre dağılımı

Veriler kazaya neden olan araç aksamaları açısından değerlendirildiğinde, sadece 212 kazaya ilişkin bilgiler sunulduğu gözlenmiştir. Bu doğrultuda fren arızasının en çok rastlanan sorun olduğu belirlenmiştir.

3.7.4. Kazaların hasar durumuna göre dağılımı

Kazalar sonucu traktörlerin aldığı hasar durumu Şekil 3.13’te yer almaktadır. Buna göre; traktörlerin yaklaşık yarısı kazaları hafif hasarlı ve hasarsız bir şekilde atlattırken diğerlerinin ağır hasarlı ya da hareket edemez durumda olduğu belirlenmiştir.

3.7.5. Kazaların lastik durumu ve lastik diş derinliğinin uygunluğuna göre dağılımı

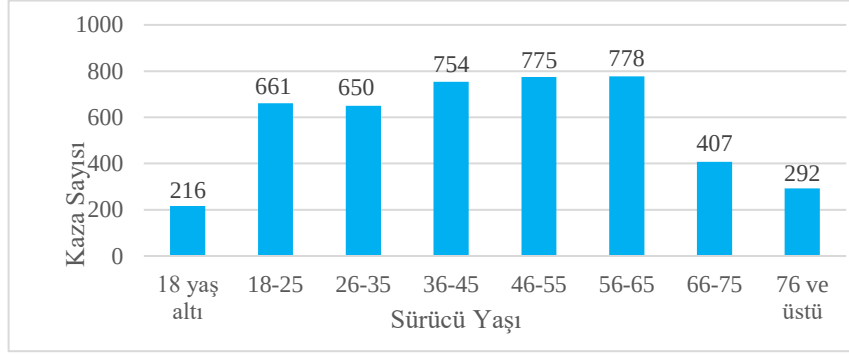
Veriler lastik durumu ve diş derinliğine göre değerlendirildiğinde meydana gelen kazalarda lastik durumunun ve diş derinliğinin kazaların hemen tamamında uygun olarak kaydedildiği belirlenmiştir.

3.8. Kazaların Kazaya Karışan Sürücü Bilgilerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında sürücü yaşı, cinsiyeti, kaza sonucu ölüm ve yaralanma durumu, sürücü belgesi varlığı ve belge sınıfı, öğrenim durumu, kaza anındaki alkol durumu ve sürücülerin yaptığı kural ihlaline ilişkin bilgiler derlenmiştir.

3.8.1. Kazaların sürücü yaşına göre dağılımı

2019-2023 yılları arasında kaza yapan sürücülerin yaş dağılımları incelendiğinde sürücülerin yaş dağılımları 18 yaş altı, 18-25, 26- 35, 36-45, 46-55, 56-65, 66-75 ve 76 yaş üstü olmak üzere sınıflandırılmış ve söz konusu sınıflandırma bazında sürücü sayıları Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Kazaların sürücü yaşına göre dağılımı

Kazaya karışan sürücüler yaş aralığı açısından değerlendirildiğinde önemli bir kısmının orta yaş grubunda (45 yaş ve üstü) yer aldığı gözlenmiştir. Genç ve yetişkin sürücülerin (18-45 yaş arası) kazalar içindeki payının da önemli düzeyde olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 3.14).

Veriler kaza yapan sürücülerin cinsiyetine göre değerlendirildiğinde kazaya karışan kişilerin %98'inin erkek, %2'sinin ise kadın olduğu belirlenmiştir.

3.8.2. Kazaların kaza sonucuna göre dağılımı

Kaza yapan sürücülerin kaza sonucu kaza yeri ve kaza sonrası ölüm ya da yaralanma durumuna göre dağılımı Çizelge 3.8'de yer almaktadır.

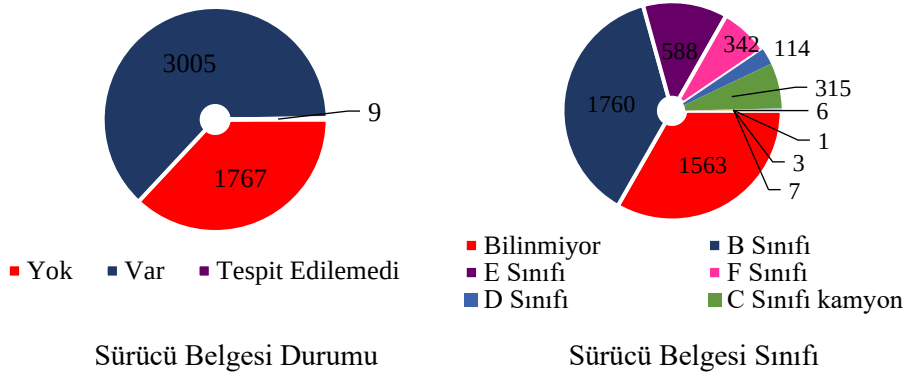
Çizelge 3.8. Kaza yapan sürücülerin kaza sonucu ölüm ya da yaralanma durumuna göre dağılımı.

Kaza Yeri Ölüm Sayısı	Kaza Sonrası Ölüm Sayısı	Kaza Yeri Yaralanma Sayısı	Kaza Sonrası Yaralanma Sayısı
288	118	2497	2438

Çizelge incelendiğinde kaza yerindeki ölü ve yaralı sayısının kaza sonrası ölü ve yaralı sayısından fazla olduğu gözlenmektedir.

3.8.3. Kazaların sürücülerin sürücü belgesi sahipliği ve sınıfına göre dağılımı

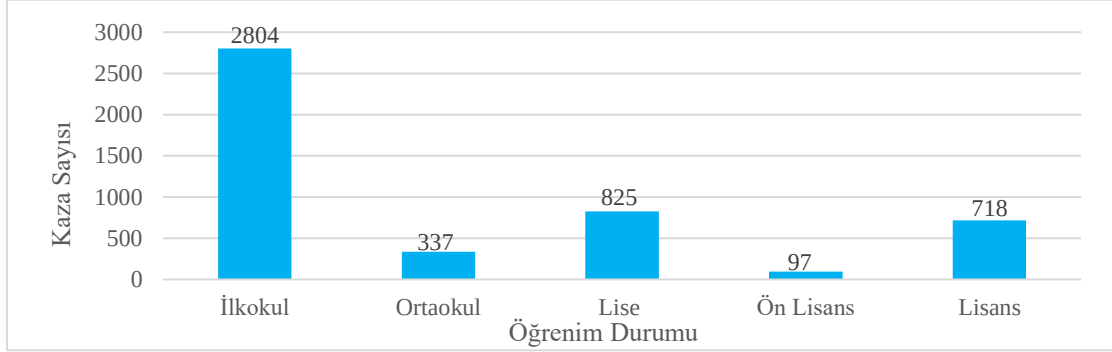
Kazaya karışan sürücülerin sürücü belgesi sahipliğine göre dağılımı değerlendirildiğinde yaklaşık üçte birinin (%37) sürücü belgesine sahip olmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde kazaya karışan sürücülerin sürücü belgelerinin yaklaşık üçte birinin (%38) B sınıfında yer aldığı gözlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kazaların sürücülerin sürücü belgesi sahipliği ve sürücü belgesi sınıfına göre dağılımı.

3.8.4. Kazaların sürücülerin öğrenim durumuna göre dağılımı

Veriler sürücülerin öğrenim durumuna göre değerlendirildiğinde, sürücülerin yaklaşık %65'inin ilk ve orta düzey eğitime sahip olduğu gözlenmiştir. Lise ve üzeri eğitime sahip sürücülerin görece düşük düzeyde olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 3.12. Kazaların sürücülerin öğrenim durumuna göre dağılımı.

3.8.5. Kazaların sürücülerin alkol durumuna göre dağılımı

Kazalar sürücülerin alkol durumuna göre değerlendirildiğinde kaza yapan sürücülerin %80'inin alkolsüz olduğu (2369 sürücü) belirlenmiştir.

3.8.6. Kazaların sürücülerin yaptığı kural ihlaline göre dağılımı

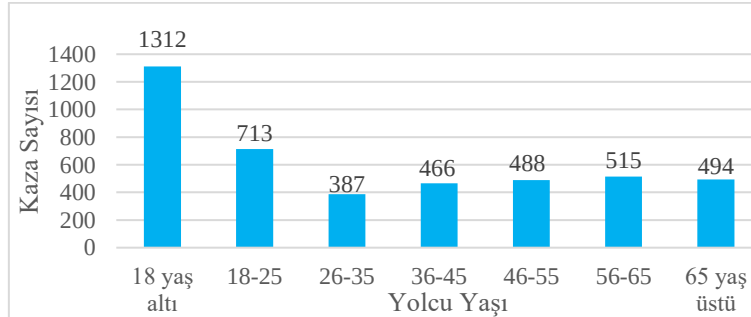
Kazalara ilişkin veriler sürücülerin yaptığı kural ihlaline göre değerlendirildiğinde kazaların %52'sinin aracın hız limitlerine uygun kullanılmamasından (52/1-a ve 52/1-b) kaynaklandığı belirlenmiştir.

3.9. Kazaların Kazaya Karışan Yolcu Bilgilerine Göre Dağılımı

Ölümlü-yaralanmalı trafik kazası tespit tutanağı esas alınarak bu başlık altında yolcu yaşı, cinsiyeti, yolcunun araçta bulunduğu yer, kaza sonucu ölüm ve yaralanma durumu ile yolcuların yaptığı kural ihlaline ilişkin bilgiler derlenmiştir.

3.9.1. Kazaların yolcu yaşına göre dağılımı

Veriler yolcuların yaşına göre değerlendirildiğinde %30'unun 18 yaş altında olduğu, %16'sının 18-25 yaş aralığında olduğu, %12'sinin 56-65 yaş aralığında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kazaların yolcu yaşına göre dağılımı.

3.9.2. Kazaların kaza sonucuna göre dağılımı

Kazaya karışan yolcuların kaza sonucu ölüm ya da yaralanma durumuna göre dağılımı Çizelge 3.9'da yer almaktadır.

Çizelge 3.9. Kazaya karışan yolcuların kaza sonucu ölüm ya da yaralanma durumuna göre dağılımı.

Kaza Yeri Ölüm Sayısı	Kaza Sonrası Ölüm Sayısı	Kaza Yeri Yaralanma Sayısı	Kaza Sonrası Yaralanma Sayısı
140	153	4048	3895

Çizelge 3.9.'da görüldüğü gibi kazaya karışan yolcuların kaza yerinde ölü ve yaralı sayısının kaza sonrası ölü ve yaralı sayısından fazla olduğu izlenmektedir.

3.9.3. Kazaya karışan yolcuların araçta bulunduğu yere göre dağılımı

Veriler kazaya karışan yolcuların araçta bulunduğu yere göre incelendiğinde yolcuların %36'sının kaza sırasında aracın üstünde, %14'ünün ise kasa içinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.23).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

4.1. Genel Değerlendirme

İncelenen 6.826 kazanın büyük bir kısmı (%70'i) kırsal alanlarda meydana gelse de, kazaların yaklaşık %30'unun il ve devlet yollarında gerçekleşmesi, traktörlerin sadece tarımsal faaliyetler için değil, aynı zamanda günlük ulaşım için de yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir.

Türkiye'de kırsal bölgelerde her yıl ortalama 1.000 traktör kazası yaşanmakta, bu da günde yaklaşık 3 kazaya denk gelmektedir. COVID-19 pandemisine rağmen kaza sayılarında anlamlı bir düşüş gözlemlenmemesi, tarımsal üretimin sürekliliğine işaret etmektedir. Kaza sayılarının yüksekliğine karşın, ölüm sayılarında düşüş eğilimi olması olumlu bir gelişmedir, ancak bu durumun kesin nedenleri (örneğin daha yeni ve güvenli traktör modelleri) veri eksikliği nedeniyle net değildir.

Kazaların %60'ı sürücünden kaynaklanan ölümlerle sonuçlanırken, yaralanmaların büyük bir kısmı yolcularda görülmektedir. Bu, tarımsal faaliyetlerin aile işletmeciliği şeklinde yürütülmesiyle ilişkilendirilebilir, zira yaralanan yolcuların çoğu traktör veya römork üzerinde bulunmaktadır. Ne yazık ki, tutanaklarda bu kişilerin sürücü ile yakınlık derecesine ilişkin bilgi bulunmamaktadır.

Kazalar, tarımsal üretimin yoğunlaştığı yaz ve sonbahar aylarında, özellikle de gün içinde 06:01-18:00 saatleri arasında ve açık havada meydana gelmektedir. Bu durum, kazaların daha çok sürücü odaklı olduğunu düşündürmektedir. Bölgesel olarak en fazla kaza, polikültür yapısıyla Ege ve zorlu arazi koşullarıyla Batı Karadeniz bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bu bulgu, kaza önleme politikalarının bölgesel farklılıkları gözetenek tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kazaların %64'ü yerleşim yeri dışında, güvenlik unsurlarının (korkuluk, şerit çizgisi, aydınlatma) eksik olduğu yollarda meydana gelmektedir. Ayrıca, kazaların yaklaşık yarısının virajlı ve eğimli yollarda gerçekleşmesi, yol geometrisinin de kazalarda önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Kazaya karışan traktörlerin yaşları, Türkiye'deki genel traktör parkıyla paralellik göstermekte, yani çoğunluğu 10 yaşından büyük ve güvenlik donanımlarından (ROPS gibi) yoksundur. Ayrıca, fenni muayene eksikliği de kazalarda önemli bir etkidir. Sürücülerin %37'sinin belgesiz olması ve %52'sinin hız limitlerine uymaması ciddi bir güvenlik açığıdır. Ancak kazaların %11'inde sürücü kusuru olmaması, kaza nedenlerinin sadece insan hatasıyla sınırlı kalmadığını, yol ve çevresel faktörlerin de etkili olduğunu göstermektedir.

Traktör kazalarında yaralanan yolcuların %30'unun 18 yaş altında olması, traktörlerin tehlikeli bir şekilde yolcu taşımacılığında kullanıldığını ve çocukların yüksek risk altında olduğunu göstermektedir. Yaklaşık 8.000 yolcunun yaralanması, bu kazaların can kaybının yanı sıra ciddi yaralanmalara ve kalıcı sakatlıklara da yol açtığını vurgulamaktadır. Bu da traktör kazalarını önlemenin sadece bir trafik güvenliği meselesi değil, aynı zamanda önemli bir halk sağlığı ve sosyal refah sorunu olduğunu kanıtlamaktadır.

4.2. Sonuç

Bu çalışma, traktör kazalarının Türkiye genelinde ne denli ciddi ve kapsamlı bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Pandemi gibi kısıtlamaların olduğu bir dönemde dahi kaza oranlarının yüksek kalması, sorunun basit bir trafik kazası olmasının ötesinde olduğunu gösteriyor. Jandarma verilerine dayanan bulgular, kazaların tek bir nedene bağlı olmadığını, sürücü hataları, sosyal faktörler, coğrafi koşullar ve yol altyapısı gibi birbiriyle ilişkili pek çok etkenin bir araya gelmesiyle oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Kazaya karışan sürücülerin çoğunluğu nispeten yaşlı, düşük eğitilmiş ve sürücü belgesiz kişilerden oluşmaktadır. Bu durum, yanlış bilgi ve alışkanlıkların nesilden nesile aktarıldığı bir kültürel soruna işaret etmektedir.

Kazaların büyük bir kısmı, korkuluk, şerit çizgisi veya aydınlatma gibi güvenlik unsurlarından yoksun kırsal yollarda meydana gelmektedir. Asfaltlama tek başına yeterli olmamakta, yol güvenliğinin diğer unsurları da büyük önem taşımaktadır.

Traktörlerde yolcu taşınması, özellikle 18 yaş altı çocukların kazalarda yaralanma oranlarının yüksek olması, konunun sadece bir trafik sorunu değil, aynı zamanda ciddi bir sosyal güvenlik meselesi olduğunu vurgulamaktadır.

Eski model traktörlerdeki güvenlik donanımı eksiklikleri ve fenni muayene yapılmaması gibi kronik sorunlar, kaza riskini artırmaktadır.

Bu sorunlarla mücadele etmek için çok yönlü bir yaklaşım benimsenmelidir:

Özellikle ehliyetsiz sürücülük ve traktörde yolcu taşıma gibi ihlallere yönelik denetimler ve cezalar artırılmalıdır.

Sürücülere yönelik zorunlu eğitim programları düzenlenmeli ve bu eğitimler, temel trafik kurallarının yanı sıra makine kullanımı ve risk yönetimi konularını da içermelidir. Çocuklara yönelik bilinçlendirme çalışmalarıyla yanlış alışkanlık zinciri kırılmalıdır.

Kırsal yollarda güvenlik unsurları (korkuluk, banket, trafik levhaları) yaygınlaştırılmalı, artan trafiğe uyum sağlamak için köy içi yolları modernize edilmelidir.

Eski traktörlere ROPS (Roll-Over Protection System/ Devrilme Koruma Sistemi) ve emniyet kemeri gibi koruyucu donanımların eklenmesi için çiftçilere mali destek sağlanmalıdır.

Hem traktör sürücülerinin yorgunluk ve hız riskleri konusunda bilinçlenmesi hem de diğer araç sürücülerinin traktör gibi yavaş araçlarla karşılaştığında sabırlı olmaları teşvik edilmelidir.

Tüm bu önlemlerin hayata geçirilmesi, traktör kazalarının önüne geçilmesinde kritik öneme sahiptir. Bu sorunun ulusal düzeyde ele alınması ve tüm ilgili tarafların katılımıyla kalıcı çözümler üretilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] ILO. 2024a. “Safety and Health Agriculture, International Labour Organization”. <https://www.ilo.org/resource/other/safety-and-health-agriculture>. (Erişim tarihi: 19 Aralık 2024).
- [2] Öz, E., Özgünlaltay, G. E., 2016. İleri Yaşlı Çiftçilerin Tarımsal İş Güvenliğine Yaklaşımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12 (4), 221-227.
- [3] Akbolat, D., Evren, N. ve Yılmaz, Ş. 2007. “İsparta İl Sınırları İçinde 1995-2003 Yılları Arasında Meydana Gelen Traktör ve Tarım İş Makineleri Kazalarının Değerlendirilmesi”. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2 (1): 7-14.
- [4] Sprince, N. L., Zwerling, C., Lynch, C. F., Whitten, P. S., Thu, K., Logsden, N., Burmeister, F., Sandler, D. P. ve Alavanja, M. C. R. 2003. “Risk Factors for Agricultural Injury: A Case-Control Analysis of Iowa Farmers in the Agricultural Health Study”. Journal of Agricultural Safety and Health, 9 (1): 5-18.
- [5] Anonim. 2007. “European comparisons - Statistics of workplace fatalities and injuries across the European Union”. The Health and Safety Executive. (Erişim tarihi: 17 Temmuz 2007). <http://www.hse.gov.uk/statistics/european/tables.htm>.
- [6] ILO. 2024b. “ILO Introductory Report: 23rd World Congress on Safety and Health at Work”. International Labour Organization, 27-30 November 2023 Sydney, Australia. (Erişim tarihi: 21 Aralık 2024). https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_906187.pdf.
- [7] Öz, E. 2005. “Ege Bölgesi’nde Meydana Gelen Traktör Kazalarının Tarımsal İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi”. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 42 (2): 191-202.
- [8] Hartling, L., Picket, W., Dorland, J. ve Brison, R. J. 1997. “Hospital Costs Associated with Agricultural Machinery Injuries in Ontario”. Am J Ind Med, 32: 502-509.
- [9] Hughes, R. ve Rodgman, E. 2000. “Crashes Involving Farm Tractors and Other Farm Vehicles/Equipment in North Carolina, 1995-1999”. Prepared for North Carolina Division of Motor Vehicles (NCDMV), Commercial Motor Vehicle Enforcement Section. Chapel Hill, N.C.: University of North Carolina, Highway Safety Research Center, 2000.

- [10] Peker, A. ve Özkan, A. 1994. “1973-1993 Yılları Arasında Karaman Yöresinde Meydana Gelen Traktör ve Tarım İş Makineleri Kazalarının Değerlendirilmesi”. Tarımsal
- [11] Perктаş, M. S. 2007. “Türkiye’de Traktörlerin Karıştığı Trafik Kazalarının Değerlendirmesi”. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı, Ankara, 75 s.
- [12] Öz, E. ve Ertuğru, G. Ö. 2016. “İleri Yaşlı Çiftçilerin Tarımsal İş Güvenliğine Yaklaşımı”. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12 (4): 221-227.
- [13] Çakır, Ö., Bakırcı, G.T. ve Kellevezir, I. 2025. “COVID-19 Salgınının Tarım Sektörü Üzerindeki Sosyoekonomik Etkilerinin Analizi”. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 27 (1): 170-192.
- [14] Öz, E. 2014. “Türkiye’de Çocukların Karıştığı Tarımsal Kazalar ve Ailenin Rolü”. Ulusal Aile Çiftçiliği Sempozyumu, Bildiri Kitabı, s. 39-44, Ankara.
- [15] Öztürk, İ. 2008. “Tokat İl Sınırları İçerisinde Tarım Makinaları Kazaları ve İş Güvenliği Üzerinde Bir Araştırma”. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tokat.
- [16] Öz, E. 2019. “Mevsimlik Gezici Tarım İşçilerinin Ulaşım Güvenliğinin İSG Yönünden Değerlendirilmesi”. I. Uluslararası–X. Ulusal İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kongresi Bildiri Kitabı, s. 272-279, Adana.

**KÜÇÜK ÖLÇEKLİ YATAY EKSENLİ BİR RÜZGAR TÜRBİNİNDE GİRDAP
ÜRETEÇLERİN GÜÇ ÜRETİMİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VORTEX
GENERATORS ON POWER GENERATION IN A SMALL-SCALE HORIZONTAL
AXIS WIND TURBINE**

Makina Mühendisi, AHSEN ERGÜNEY

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı,
ahsen.erguney@ogr.deu.edu.tr-0009-0001-8891-4725

Profesör, ALPASLAN TURGUT

Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü,

alpaslan.turgut@deu.edu.tr- 0000-0003-1114-589X

Doçent, SERCAN ACARER

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü,

sercan.acarer@ikcu.edu.tr-0000-0002-5891-7458

Özet

Bu çalışmada, pasif akış kontrol yöntemlerinden olan girdap üreteçlerin, küçük ölçekli yatay eksenli rüzgar türbinlerinin güç üretimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Girdap üreteçleri, sınır tabaka ayrılmasını geciktirerek akışın kanat yüzeyine tutunmasını sağlayarak türbinin aerodinamik performansını artırmaktadır. Literatürdeki çalışmaların çoğu büyük ölçekli rüzgar türbinlerine odaklanmakta olup, düşük Reynolds sayılarının etkisini dikkate alan küçük ölçekli uygulamalar sınırlıdır. Küçük ölçekli türbinlerde düşük Reynolds sayılarında sınır tabaka ayrılması daha erken gerçekleşmekte, laminar-türbülans geçişi daha belirgin olmakta ve aerodinamik verim kayıplarına yol açmaktadır. Bu bağlamda, pasif akış kontrol yöntemlerinin önemi artmakta; ancak artan viskoz etkiler, bu yöntemlerin etkinliğini sınırlayabilmektedir. Bu durum, küçük ölçekli türbinler için optimize edilmiş girdap üreteç tasarımlarının geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu amaçla, düşük Reynolds sayılarında yüksek aerodinamik performans gösterdiği bilinen SG6043 kanat profili seçilmiş ve deneyler, 1 m² x 1 m² kesit alanına sahip bir rüzgar tüneline, üç farklı rüzgar hızı ve üç farklı yükleme koşulu altında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, kanat yüzeyine yekpare biçimde üretilen farklı şekil ve boyutlardaki girdap üreteçler sırayla türbin-jeneratör düzeneğine monte edilmiş ve her bir durumda elde edilen güç çıktıları, girdap üreteç içermeyen “temiz kanat” konfigürasyonu ile karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, girdap üreteçlerin geometrisi, konumlandırıldığı nokta, yerleşim aralıkları ve sistemin yük koşullarının güç üretimi üzerinde belirleyici etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Uygun parametrelerin seçilmesi durumunda, girdap üreteçlerin küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin verimliliğini artırabileceği gözlemlenmiştir. Farklı boyutları test edilen Y tipi çatal biçimli girdap üreteçlerin, belirli rüzgar hızlarında akışın daha kararlı bir şekilde yüzeye tutunmasını sağladığı ve türbin performansında yaklaşık %3 oranında artış sağladığı belirlenmiştir. Boyutları 0.48 mm ve 1.27 mm olan Y tipi girdap üreteçler bu iyileşmeyi sağlarken, daha büyük (6 mm) boyutlardaki Y tipi çatal ve üçgen tip girdap üreteçlerin ise yaklaşık %10 düzeyinde performans kaybına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Bu bulgular doğrultusunda, çalışma özellikle mikro türbin sistemlerinin geliştirilmesi ve kentsel rüzgar enerjisi uygulamalarında önemli katkılar sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Yatay eksenli küçük ölçekli rüzgar türbini, girdap üretici, SG6043 kanat profili, pasif akış kontrolü, aerodinamik verimlilik

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF PGMA/THYMOQUINONE-MSN NANOCOMPOSITES

Dr. Sedef KAPTAN USUL

Gebze Technical University, sedefkaptan@gtu.edu.tr –
<https://orcid.org/0000-0002-8178-9343>

Beyza Kiper

Gebze Technical University, b.kiper2020@gtu.edu.tr

ABSTRACT

Nanotechnology presents substantial potential in the development of advanced materials, with polymeric nanocomposites emerging as promising candidates due to their cost-effectiveness, lightweight structure, and high functional surface area. Among these, mesoporous silica nanoparticles (MSNs) are particularly noteworthy owing to their large surface areas, adjustable pore sizes, and excellent biocompatibility. These properties make MSNs highly suitable for biomedical applications, including drug delivery, antibacterial therapy, and diagnostic systems. Thymoquinone (TQ) has demonstrated a wide range of biological activities, notably antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory effects. However, the clinical translation of TQ is hindered by its rapid degradation and limited bioavailability. To address these limitations, the present study focuses on the development of a novel TQ-loaded MSN-based nanocomposite system designed to enhance the stability and sustained release of TQ. The hollow and porous structure of the synthesized MSNs will enhance the drug loading capacity and enable a sustained release profile, improving long-term antibacterial effectiveness. In this formulation, glycidyl methacrylate (GMA)-based polymers are incorporated as the matrix material to improve the mechanical strength and biocompatibility of the nanocomposite. The epoxy functionality of GMA enables facile surface modification, thereby enhancing the composite's interaction with biological environments. The resulting N-series nanocomposite is intended to serve as an advanced platform for antibacterial applications, with potential uses in dentistry, wound healing, and biomedical device coatings. The structural and functional properties of the synthesized nanocomposites were characterized by FTIR, SEM, and TGA. Furthermore, antibacterial efficacy was evaluated by assessing the impact of TQ-MSN nanocomposites on bacterial cell proliferation.

Keywords: MSN, Thymoquinone, PGMA, Antibacterial

1.INTRODUCTION

Contemporary global challenges, including unprecedented population growth and accelerated globalization, have precipitated public health crises that necessitate enhanced hygiene and sterilization protocols in residential and commercial environments. This paradigm shift has

generated substantial demand for sterile environments and antimicrobial products, driving innovation in materials science and biotechnology. Among emerging solutions, nanocomposites have emerged as particularly promising candidates for addressing these multifaceted challenges.

Nanotechnology has demonstrated transformative potential across diverse sectors, encompassing healthcare, textiles, electronics, and pharmaceutical delivery systems. Within this technological landscape, polymeric nanocomposites have gained considerable attention in contemporary research due to their inherent economic advantages, structural flexibility, lightweight characteristics, and exceptionally high functional surface areas [1]. The unique properties of nanoparticles, including their elevated surface-to-volume ratios, biocompatibility, and multifunctional capabilities, position them as preferred materials for diverse applications such as controlled antimicrobial agent release, targeted therapeutic delivery, self-cleaning surface technologies, and the development of durable composite materials [2, 3].

Mesoporous silica nanoparticles (MSNs) have attracted considerable attention in nanotechnology and biomedicine owing to their ordered pore structures, exceptionally high surface areas ($>1000 \text{ m}^2/\text{g}$), tunable pore sizes, controlled morphologies, and inherently low toxicity [4]. MSNs provide long-term and controlled release by keeping drug molecules in their pore MSNs can sustain long-term and controlled drug release by retaining therapeutic molecules within their pores [5]. Moreover, their large surface area and pore volume enable high drug-loading capacities [6]. MSNs can be readily functionalized with diverse groups, such as amino, carboxyl, and thiol moieties, thereby facilitating targeted drug delivery [7]. In addition, MSNs can be engineered to respond to environmental stimuli—including pH, temperature, enzymatic activity, or magnetic fields—allowing site-specific drug release at the target tissue or cell [8,9]. Although MSNs are generally biocompatible, parameters such as surface charge, particle size, and surface functionalization may influence their toxicity. Nonetheless, appropriate surface modifications can impart biodegradability and promote efficient clearance from the body [10]. Overall, MSNs have demonstrated a broad range of applications, spanning diagnostics, gene therapy, antibacterial treatment, cosmetics, and various industrial fields [11–16].

Glycidyl methacrylate (GMA) is a versatile functional monomer characterized by the presence of a reactive epoxy group that confers exceptional synthetic flexibility and chemical reactivity. As a widely utilized building block in polymer chemistry, GMA enables the formation of three-dimensional cross-linked network structures that exhibit superior mechanical properties and structural integrity [17]. Poly (glycidyl methacrylate) (PGMA), a prominent derivative of GMA, has garnered significant attention in biomedical applications due to its unique combination of hydrophilic sensitivity and excellent biocompatibility, making it particularly well-suited for advanced drug delivery systems and biomedical device fabrication [18]. The inherent ability of GMA-based polymers to undergo favorable interactions with biological fluids has established their widespread utilization in clinical applications, including wound dressings, implantable biomedical devices, and controlled drug delivery platforms. The integration of GMA-based polymers with nanotechnological materials results in hybrid systems that simultaneously enhance mechanical strength while preserving essential biocompatibility

characteristics. These synergistic properties render GMA-based nanocomposites as ideal scaffolding materials for sophisticated applications, particularly in targeted therapeutic delivery and high-sensitivity biosensor technologies [17,18].

Thymoquinone (TQ), the most important component of the black cumin (*Nigella sativa*) plant, effectively neutralizes free radicals thanks to its phenolic structure. Thanks to this feature, it shows antioxidant, anticancer, anti-inflammatory and antimicrobial activities [19, 20]. TQ acts on gram-positive and gram-negative bacteria, fungi and some viruses, disrupting microbial structures by destroying the cell membrane [20]. TQ integrated into nanocomposites increases microbial defense by providing more controlled and long-lasting release [21]. The applications of TQ in the biomedical field are increasing, with particular emphasis on its effectiveness in dentistry and wound healing. TQ has been shown to be effective in preventing periodontal disease and accelerating healing by reducing inflammation at the wound site [21-23]. In addition, thanks to its antioxidant properties, it is considered as a potential agent in cancer treatment by preventing free radical-induced DNA damage [19].

TQ-loaded mesoporous silica nanoparticles (MSNs) were synthesized to enhance drug-loading capacity and prolong release duration, thereby providing sustained antibacterial activity. Incorporation of these nanoparticles into a glycidyl methacrylate (GMA)-based polymer matrix enables the development of a biocompatible composite with high resistance to both mechanical and chemical stress. The primary objective of this study is to produce TQ-MSN-based nanocomposites with antibacterial property. These materials are anticipated to hold significant potential for applications in the biotechnological and healthcare sectors.

2.EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Materials

In this study, the following chemicals and materials were used to produce TQ-MSN/PGMA composites; toluene, triethylamine (TEA), cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), sodium dichromate ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), ethyl-4-dimethylaminobenzoate (EDMAB), phosphate-buffered saline (PBS), dimethyl sulfoxide (DMSO), camphorquinone (CQ), ethanol (EtOH), tetraethyl orthosilicate (TEOS), nitrogen gas (N_2), thymoquinone, phenyltrimethoxysilane (PTMS), ammonium hydroxide (NH_4OH), nitric acid (HNO_3), and glycidyl methacrylate (GMA).

2.2. Synthesis of Mesoporous Silica

The CTAB solution was prepared with $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ and stirred magnetically at 60°C for 20 minutes. Tetraethyl orthosilicate (TEOS) was then added dropwise under continuous stirring, and the mixture was maintained for 2 hours. After completion of the synthesis, the resulting MSN suspension was first washed with 25% ethanol. To remove the CTAB template, the suspension was stirred in 3% hydrochloric acid solution for 24 hours. The product was then centrifuged and washed three times with an ethanol–water mixture. Finally, the MSN particles were collected by centrifugation and dried at 70°C [31,32].

2.3. Synthesis of Thymoquinone-Loaded Porous Silica Nanoparticles

MSN were suspended in 10 mL of distilled water and magnetically shaken at 100 rpm at 25 °C. A TQ was dissolved DMSO, then diluted to 9 mL with PBS. The TQ solution was subjected to sonication for 15 minutes at 24°C until it reached full dissolution. The solution was then added to the MSN suspension while continuously stirring at 100 rpm at room temperature for 24 hours to promote drug loading, with the beaker covered to reduce solvent evaporation. After incubation, the mixture was centrifuged at 7,000 rpm for 10 minutes, and the supernatant was removed. The particle was rinsed with 25% ethanol until the supernatant became clear, signifying the elimination of unbound TQ [31, 32].

2.4. Synthesis of Poly (glycidyl methacrylate) (PGMA)

Glycidyl methacrylate (GMA) was polymerized in the presence of nitrogen at 80 °C for 8 hours, utilizing camphorquinone (CQ) and ethylene dimethacrylate (EDMAB) as photoinitiators. Following the removal of impurities from the produced PGMA polymer, it was left to dry [24–26].

2.5. Preparation of Antibacterial Nanocomposites

The N-series nanocomposites were synthesized by combining TQ–MSNs and PGMA in the ratios specified in Table 1, using toluene as the solvent, and maintaining the mixture at 80 °C for 2 hours.

Table 2. Composition of Nanocomposites

Nanocomposite	TQ-MSNs	PGMA (%)
N1	0	100
N2	5	95
N3	10	90
N4	20	80

2.6. Characterization

2.6.1. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

The chemical properties of mesoporous silica nanoparticles (MSNs) were characterized, and the encapsulation of thymoquinone (TQ) within the MSN pores was confirmed by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy

2.6.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

The surface morphology of MSNs, TQ-MSNs, and N-series nanocomposites was evaluated using SEM.

2.6.4. Thermogravimetric Analysis (TGA)

The thermal stability of the synthesized N1 and N4 nanocomposites was investigated by TG analysis.

2.7. Antibacterial Properties of TQ-MSNs

The minimum inhibitory concentration (MIC) assay was employed to identify the lowest concentration of material capable of inhibiting bacterial proliferation. To assess the antibacterial efficacy of the synthesized TQ-MSNs, gram-positive *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) was selected as the model organism. TQ and TQ-MSNs were tested at concentrations ranging from 5 to 20 µg. For each determination, 990 µL of Luria–Bertani (LB) medium and 10 µL of *S. aureus* culture were combined with the respective sample, followed by incubation for 24 hours. The MIC was established as the lowest concentration at which bacterial growth was completely suppressed [33,34].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characterization

3.1.1. FTIR results

In the FTIR spectrum of mesoporous silica nanoparticles (MSNs), distinct absorption peaks appear at approximately 1080 cm⁻¹ and 800 cm⁻¹, corresponding to the stretching and bending vibrations of Si–O–Si bonds, respectively, which are characteristic of the silica framework. A band at around 950 cm⁻¹ is assigned to Si–OH groups, while a broad absorption near 3400 cm⁻¹ is attributed to surface hydroxyl (–OH) groups. Furthermore, the band observed in the region ~1630 cm⁻¹ corresponds to the bending vibrations of water molecules adsorbed on the surface. In the TQ-MSN nanoparticles, various changes have occurred in the spectrum due to TQ loading. In particular, the new bands that appeared in the range of 1600–1700 cm⁻¹ point to carbonyl (C=O) groups of TQ. In addition, weak bands in the range of 2800–3000 cm⁻¹ are caused by C–H stress vibrations of TQ. However, changes in the range of 1000–1300 cm⁻¹ reflect the C–O and C–C bond vibrations of TQ [29,30]. These spectral changes indicate that

TQ has been successfully loaded into the MSN structure, and that this loading has probably occurred through physical adsorption or hydrogen bonds.

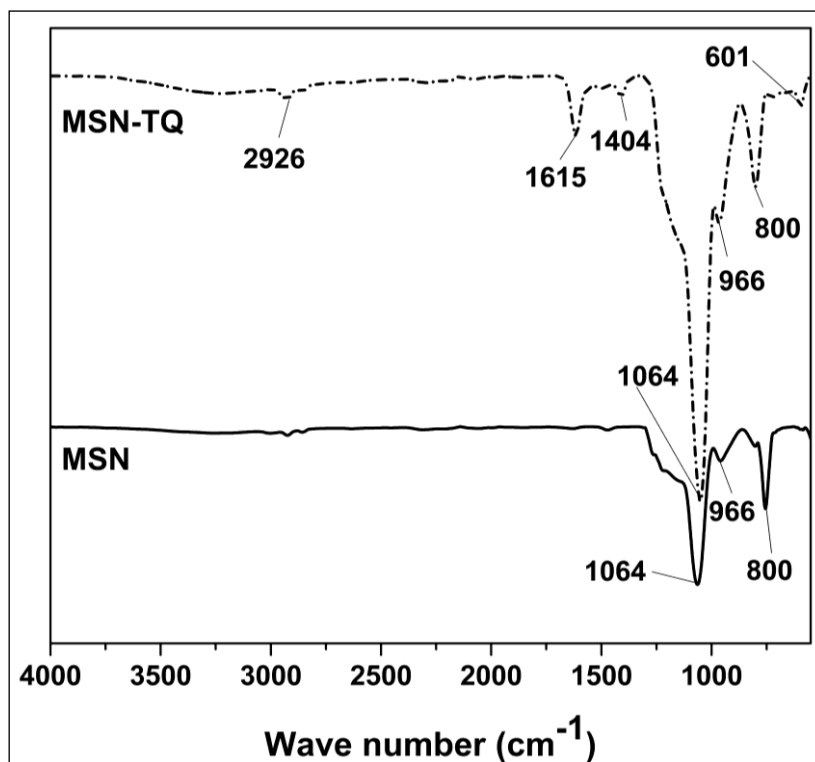


Figure 1. FTIR of MSNs, and TQ-MSNs

3.1.2. SEM Micrographs

SEM images reveal changes in the morphological structures of MSNs (Mesoporous Silica Nanoparticles) and thymoquinone-loaded MSNs (TQ-MSNs) samples. As can be seen in Figure 2A, in the MSNs image, the particles have a smooth surface and homogeneous distribution. It is also distinctly spherical in shape. The particles are about 100-200 nm in size, and there is no obvious agglomeration between them. This shows that the synthesis took place in a controlled manner, and the characteristic structure of mesoporous silica was successfully obtained. Looking at Figure 2B, it is observed that the TQ-MSNs image obtained after thymoquinone loading shows that the spherical structure of the particles is generally preserved, but the inter-particle boundaries are less pronounced. The increase in agglomeration, the occurrence of irregularities on the surfaces, and the appearance of some particles fused together indicate that thymoquinone is coated on the surface of the MSNs and that this interaction causes changes at the morphological level. These findings suggest that thymoquinone was successfully loaded into the MSNs structure, consistent with the chemical changes reached in the FTIR analysis. SEM images clearly revealed the effects of the distribution of TQ-charged mesoporous silica nanoparticles (TQ-MSNs) in different proportions within the PGMA matrix on morphology. As previously observed only in the MSNs and TQ-MSNs, while MSNs exhibit uniform spherical

structures, agglomeration between particles increased after TQ loading, significant irregularities occurred on the surface, and it was noted that some particles fused with each other. This suggests that TQ is coated on the surface of MSNs, leading to changes at the morphological level. Similarly, in this study, non-spherical, amorphous, and agglomerated structures were observed in the 100% PGMA (N1) sample. When the TQ-MSNs ratio was increased to 5% (N2), the particles became more prominent, but the surface was still quite irregular. In the N3 sample containing 10% TQ-MSNs, spherical and homogeneous structures were more revealed, and particle boundaries were clarified. The most significant improvement was observed in the N4 sample containing 20% TQ-MSNs; Here, the particles are smoother, the surface is more homogeneous, and agglomeration is minimal. These findings suggest that TQ-MSNs regulates the PGMA matrix morphologically and makes the most effective contribution to structural integrity, especially at 10–20%. In addition, this morphological development coincides with the chemical changes previously detected by FTIR in TQ-MSNs structures and confirms that TQ loading has successfully occurred at both the chemical and physical levels.

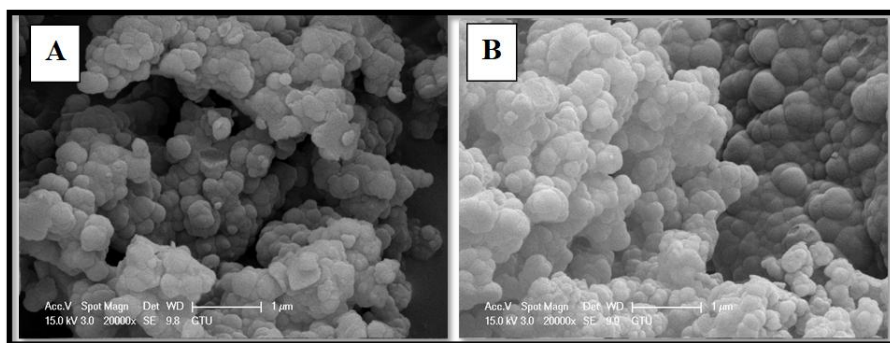


Figure 2. SEM Images of A) MSNs, and B) TQ-MSNs

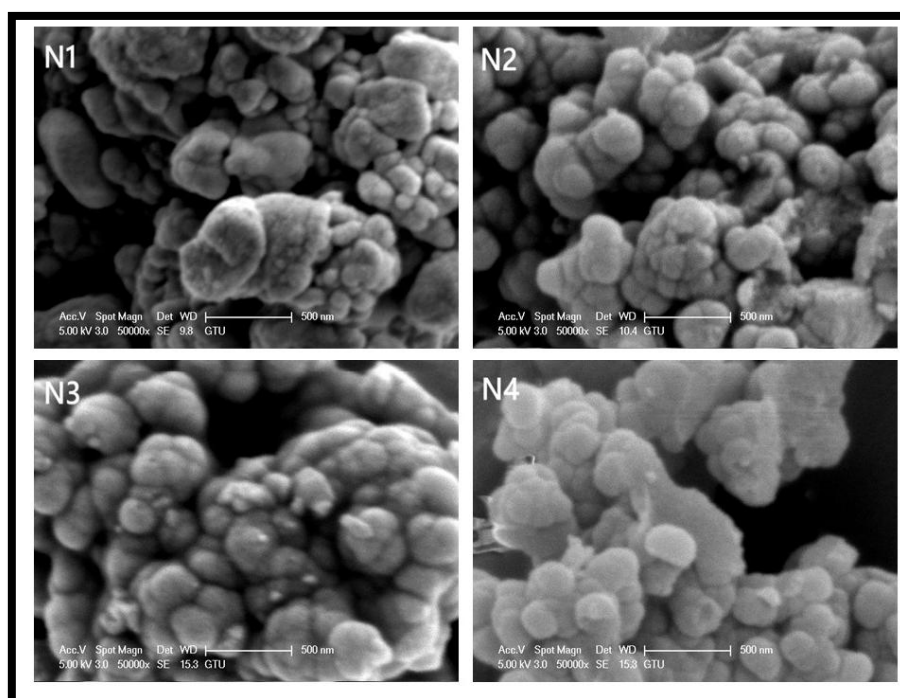


Figure 3. SEM Images of N-Series Nanocomposites

3.1.3. TGA

Thermogravimetric analysis (TGA) revealed an initial mass loss in the range of 25–200 °C for both N1 (100% PGMA) and N4 (20% TQ-MSNs + 80% PGMA), which is attributed to the removal of moisture and volatile compounds adsorbed on the surface. The primary thermal degradation occurred between 200 °C and 450 °C. The N1 sample, consisting of pure PGMA, exhibited a higher onset temperature of degradation and a more pronounced mass loss compared to the N4 sample. This indicates that N1 possesses greater thermal stability. In contrast, the N4 composite showed earlier degradation; however, the residual mass after decomposition was observed to be higher than that of N1. Beyond 450 °C, mass change reached a minimal level, with the remaining weight corresponding primarily to inorganic constituents and carbonized residues, particularly arising from the TQ-MSN content. These findings suggest that the incorporation of TQ-MSNs decreases the overall thermal stability of the composites but simultaneously enhances the residual mass at elevated temperatures.

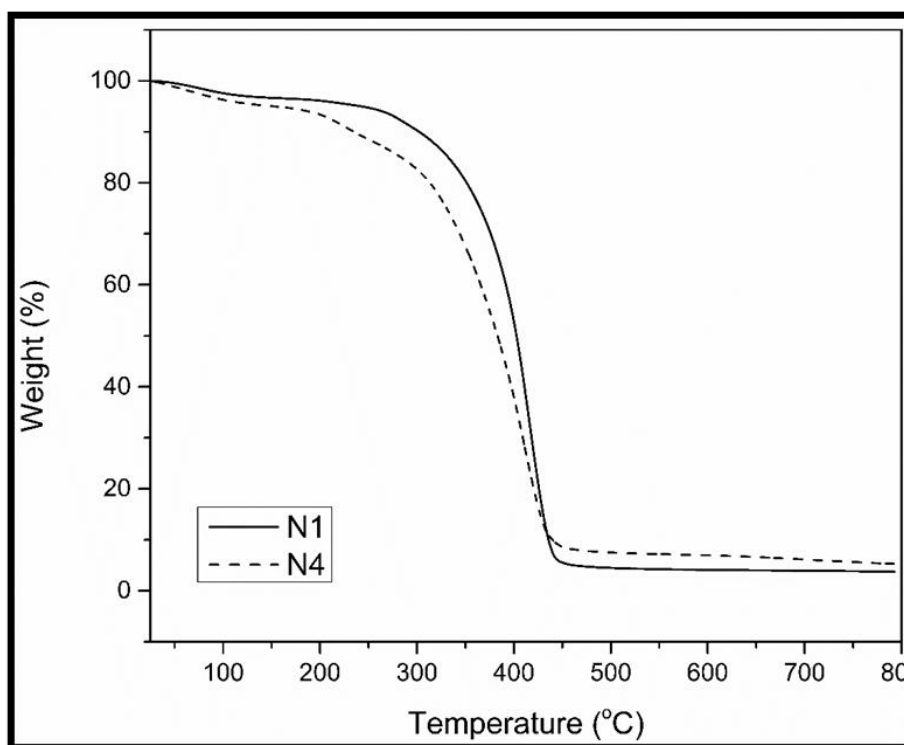


Figure 4. TGA Graph of N1, and N4

3.2. Antibacterial Properties of TQ-MSN nanoparticles

In alignment with the objective of developing advanced nanocomposites for dual applications in biotechnology and healthcare sectors, the present discussion focuses on the comprehensive evaluation of antimicrobial efficacy data and detailed physicochemical characterization results. These experimental findings collectively validate the successful synthesis and functional integration of antibacterial nanocomposites based on thymoquinone-loaded mesoporous silica

nanoparticles (TQ-MSNs), demonstrating their potential for therapeutic and biotechnological applications.

Table 2. MIC values ($\mu\text{g/mL}$) for *S. aureus*

Materials	<i>S. aureus</i>
TQ	10-12,5
TQ-MSNs	>20

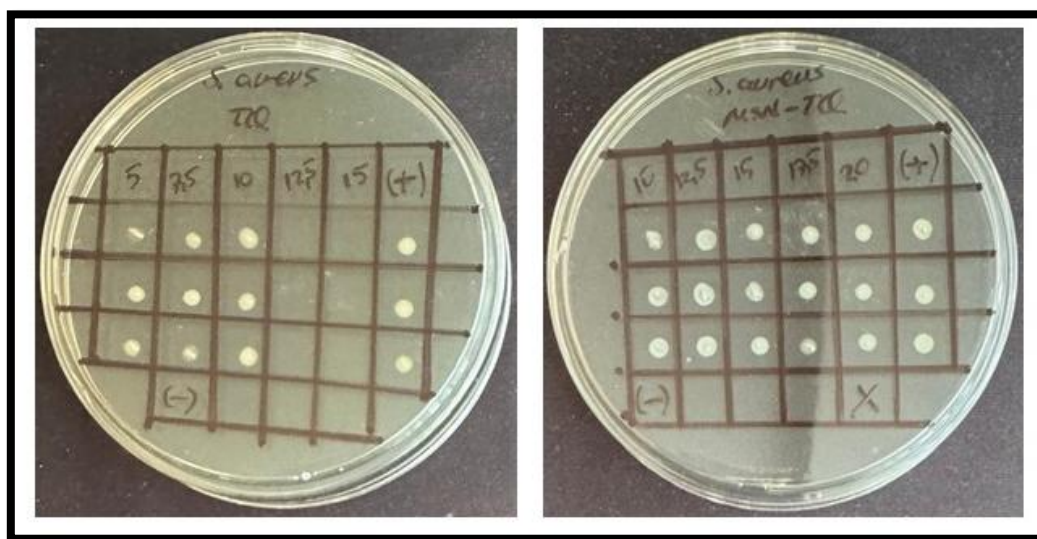


Figure 1. *S. aureus* MBC Test Results

The antibacterial test study conducted with *S. aureus* bacteria determined the MIC value of thymoquinone (TQ) to be 10–12.5 $\mu\text{g/mL}$, indicating that TQ can inhibit bacterial growth at low concentrations. In the TQ-MSNs formulation, the MIC value was determined as >20 $\mu\text{g/mL}$, and the MBC value above this concentration demonstrated that the TQ-MSNs compound exhibited bacteriostatic properties. This outcome can be attributed to the fact that TQ, when loaded into the MSN structure, initially displayed a more limited lethal effect compared to free TQ due to its controlled and slow-release characteristics. Consequently, the TQ-MSNs combination shows potential for long-term effects; however, dose optimization and the evaluation of suitable combination strategies are necessary to achieve a high bactericidal effect. In this context, TQ-MSN formulations are categorized as antibacterial delivery systems, and additional research is essential to enhance their effectiveness.

4. CONCLUSION

In this study, thymoquinone (TQ), the main active compound of *Nigella sativa* (black cumin), was used to expand its applications, given the recent increase in scientific research on its

properties. TQ was loaded into mesoporous silica nanoparticles (MSNs), which are recognized for their high surface area, adjustable pore size, and favorable biocompatibility.

- Fourier-transform infrared (FTIR) analysis confirmed the successful loading of TQ into the MSN structure. The characteristic peaks of MSNs, associated with Si-O-Si bonds, remained visible, while additional peaks corresponding to TQ appeared in the composite samples. These changes provided evidence for the presence of TQ within the MSN framework.
- Scanning electron microscopy (SEM) images further supported these findings. Pure MSN particles appeared spherical, smooth, and uniformly distributed, whereas TQ-loaded particles exhibited rougher surfaces and some clustering. As the proportion of TQ-MSNs in the poly (glycidyl methacrylate) (PGMA) matrix increased (5%, 10%, 20%), the overall surface became more uniform and well-defined. Notably, the N4 sample (containing 20% TQ-MSN) demonstrated the most significant improvement in morphology.
- Thermogravimetric analysis (TGA) indicated that the incorporation of 20% TQ-MSN slightly decreased the thermal stability of the PGMA matrix but increased the amount of residue at elevated temperatures. While sample N1 exhibited higher decomposition temperatures, sample N4 retained more residue post-decomposition due to its inorganic content.
- The antibacterial tests yielded promising results. For *S. aureus* bacteria, the minimum inhibitory concentration (MIC) of TQ was determined to be 10–12.5 µg/mL, demonstrating that thymoquinone can inhibit bacterial growth at low concentrations. In the TQ-MSN formulation, the MIC value was established as >20 µg/mL, with the minimum bactericidal concentration (MBC) above this level indicating that the TQ-MSN compound exhibited bacteriostatic properties. These findings suggest that the system effectively prevents bacterial growth but does not achieve a complete bactericidal effect at the tested concentrations. Moreover, these results imply that TQ-MSN composites may be more effective as antimicrobial agents. Further refinements could enhance bactericidal performance, such as optimizing loading rates or combining the composite with other antibacterial agents.

In conclusion, this study has successfully demonstrated the antibacterial properties of the nanocomposite structure formed by PGMA in TQ-MSNs. Characterization analyses and bacterial tests confirmed that thymoquinone was effectively loaded and retained its antibacterial properties. Future research focusing on release kinetics, cytotoxicity, and long-term stability could advance the field and facilitate the development of these nanocomposites into viable biomedical solutions.

REFERENCES

- [1] Jamil, H., Faizan, M., Adeel, M., Jesionowski, T., Boczkaj, G., & Balčiūnaitė, A. Recent advances in polymer nanocomposites: unveiling the frontier of shape memory and self-healing properties comprehensive review, *Molecules*, 29(6), 1267, 2024.
- [2] Mohammad, A. S. Preparation of antimicrobial metallic nanoparticles with bioactive compounds, *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31349497/> PMID: 31349497, 2019.
- [3] Gökmen, G. G., & Kışla, D. Nanoteknoloji Temelli Antimikrobiyal Yüzey Kaplama Teknolojileri ve Potansiyel Uygulama Alanları, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(5), 821-837, 2022.
- [4] Slowing, I. I., Trewyn, B. G., Giri, S., & Lin, V. Y. Mesoporous silica nanoparticles for drug delivery and biosensing applications, *Advanced functional materials*, 17(8), 1225-1236, 2007.
- [5] Tarn, D., Ashley, C. E., Xue, M., Carnes, E. C., Zink, J. I., & Brinker, C. J. Mesoporous silica nanoparticle nanocarriers: Biofunctionality and biocompatibility, *Accounts of Chemical Research*, 46(3), 792–801, 2013.
- [6] Manzano, M., & Vallet-Regí, M. Mesoporous silica nanoparticles for drug delivery, *Advanced Functional Materials*, 30(2), 1902634, 2020.
- [7] Wu, S. H., Hung, Y., & Mou, C. Y. Mesoporous silica nanoparticles as nanocarriers, *Chemical Communications*, 47(36), 9972–9985, 2013.
- [8] Zhao, Y., Trewyn, B. G., Slowing, I. I., & Lin, V. S.-Y. Mesoporous silica nanoparticle-based double drug delivery system for glucose-responsive controlled release, *ACS Nano*, 5(2), 1085–1095, 2011.
- [9] Vivero-Escoto, J. L., Slowing, I. I., Wu, C.-W., & Lin, V. S.-Y. Photoinduced intracellular controlled release drug delivery in human cells by gold-capped mesoporous silica nanosphere, *Journal of the American Chemical Society*, 132(21), 7842–7843, 2012.
- [10] He, Q., & Shi, J. MSN anti-cancer nanomedicines: Chemotherapy enhancement, overcoming of drug resistance, and metastasis inhibition. *Advanced Materials*, 23(38), H57–H77, 2011.
- [11] Vallet-Regí, M., Balas, F., & Colilla, M. Porous silica nanocarriers: From fundamentals to applications in targeted bioimaging, drug delivery and theranostics, *Chemical Society Reviews*, 51(7), 2613–2680, 2022.
- [12] Yuan, Q., Shah, J., & Hein, S. Antibacterial mesoporous silica nanoparticles: Mechanisms and applications, *ACS Applied Nano Materials*, 6(1), 102–119, 2023.
- [13] Croissant, J. G., Fatieiev, Y., & Khashab, N. M. Degradability and clearance of silicon, organosilica, silsesquioxane, silica mixed oxide, and mesoporous silica nanoparticles, *Advanced materials*, 29(9), 1604634, 2017.
- [14] Belinato, J. R., Acquaro Jr, V. R., Cappelini, L. T. D., & Augusto, F. New prospects and problems in sample preparation methods for microbiome analysis, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116356, 2021.
- [15] Kwon, S. G., & Hyeon, T. Formation mechanisms of uniform nanocrystals via hot-injection and heat-up methods, *Small*, 7(19), 2685-2702, 2011.

- [16] Zhao, D., Feng, J., Huo, Q., Melosh, N., Fredrickson, G. H., Chmelka, B. F., & Stucky, G. D. Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores, *science*, 279(5350), 548-552, 1998.
- [17] Aydın, Ş. Co2Lazer Gaz Destekli Nitrülenmiş Ti-6al-4v Alaşımının Özelliklerinin Belirlenmesi (Master's thesis, Kırşehir Ahi Evran University (Turkey)), 2019.
- [18] Möller, K., & Bein, T. Talented mesoporous silica nanoparticles, *Chemistry of Materials*, 29(1), 371-388, 2017.
- [19] Ahmad, A., Husain, A., Mujeeb, M., Khan, S. A., Najmi, A. K., Siddique, N. A., ... & Anwar, F. A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb, *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 3(5), 337-352, 2013.
- [20] Khan, M. A. Antimicrobial action of thymoquinone, In *Molecular and Therapeutic actions of Thymoquinone: Actions of Thymoquinone* (pp. 57-64), Singapore: Springer Singapore, 2018.
- [21] Al-Khalifa, K. S., AlSheikh, R., Al-Hariri, M. T., El-Sayyad, H., Alqurashi, M. S., Ali, S., & Bugshan, A. S. Evaluation of the antimicrobial effect of thymoquinone against different dental pathogens: an in vitro study, *Molecules*, 26(21), 6451, 2021.
- [22] Güllü, E. B., & Avcı, G. Timokinon: *Nigella Sativa*'nın biyoaktif komponenti, *Kocatepe Veterinary Journal*, 6(1), 51-61, 2013.
- [23] Rahmani, A. H., & Aly, S. M. *Nigella sativa* and its active constituents thymoquinone shows pivotal role in the diseases prevention and treatment, *Asian J Pharm Clin Res*, 8(1), 48-53, 2015.
- [24] Aslan, A., Soydan, A. M., & Bozkurt, A. Synthesis and characterization of novel multifunctional polymer grafted hollow silica spheres, *Journal of Materials Research*, 30(16), 2408-2416, 2015.
- [25] Aslan, A., Çelik, S. Ü., & Bozkurt, A. Proton-conducting properties of the membranes based on poly (vinyl phosphonic acid) grafted poly (glycidyl methacrylate), *Solid State Ionics*, 180(23-25), 1240-1245, 2009.
- [26] Aslan, A., & Bozkurt, A. Bioinspired blend membranes based on adenine and guanine functional poly (glycidyl methacrylate), *Langmuir*, 26(16), 13655-13661, 2010.
- [27] Kowalska-Krochmal, B., & Dudek-Wicher, R. The minimum inhibitory concentration of antibiotics: methods, interpretation, clinical relevance, *Pathogens*, 10(2), 165, 2021.
- [28] Al-Khalifa, K. S., AlSheikh, R., Al-Hariri, M. T., El-Sayyad, H., Alqurashi, M. S., Ali, S., & Bugshan, A. S. Evaluation of the antimicrobial effect of thymoquinone against different dental pathogens: an in vitro study, *Molecules*, 26(21), 6451, 2021.
- [29] Karnopp, J. C. F., Jorge, J., da Silva, J. R., Boldo, D., Del Pino Santos, K. F., Duarte, A. P., ... & Martines, M. A. U. Synthesis, Characterization, and Cytotoxicity Evaluation of Chlorambucil-Functionalized Mesoporous Silica Nanoparticles, *Pharmaceutics*, 16(8), 1086, 2024.
- [30] Lestari, W. A., Wibowo, F. R., Wahyuningsih, S., Saputra, O. A., Lestari, W. W., Gomez-Ruiz, S., ... & Martien, R. Loading optimization of mesoporous silica nanoparticle as drug delivery agent, In *Journal of Physics: Conference Series*, 1912, No. 1, p. 012045, 2021.

- [31] Fahmy, H. M., Fathy, M. M., Abd-Elbadia, R. A., & Elshemey, W. M. Targeting of Thymoquinone-loaded mesoporous silica nanoparticles to different brain areas: In vivo study, *Life sciences*, 222, 94-102, 2019.
- [32] Shahein, S. A., Aboul-Enein, A. M., Higazy, I. M., Abou-Elella, F., Lojkowski, W., Ahmed, E. R., ... & AbouAitah, K. Targeted anticancer potential against glioma cells of thymoquinone delivered by mesoporous silica core-shell nanoformulations with pH-dependent release, *International journal of nanomedicine*, 5503-5526, 2019.
- [33] Kaptan Usul, S., Aslan, A., Lüleci, H. B., & Ergüden, B. Effects of Hexagonal Boron Nitride and Mesoporous Silica Nanoparticles on the Morphology, Mechanical Properties and Antimicrobial Activity of Dental Composites, *Journal of Cluster Science*, 35(7), 2293-2309, 2024.
- [34] Usul, S. K., Aslan, A., Lüleci, H. B., Ergüden, B., Çöpoğlu, M. T., Oflaz, H., ... & Özçimen, D. Investigation of antimicrobial and mechanical effects of functional nanoparticles in novel dental resin composites, *Journal of Dentistry*, 123, 104180, 2022.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF THYMOQUINONE-LOADED MESOPOROUS SILICA NANOSTRUCTURES IN COMPOSITE MATERIALS

Associate Prof. Dr. Ayşe ASLAN CANPOLAT

Gebze Technical University, ayseaslan@gtu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-8904-4074>

Dilara ÇULCUOĞLU

Gebze Technical University, d.culcuoglu2020@gtu.edu.tr

ABSTRACT

This study presents the development of an advanced nanocomposite material incorporating thymoquinone (THQ)-loaded mesoporous silica nanoparticles (MSN-THQ). MSNs were synthesized due to their exceptionally high surface area, tunable pore size, and excellent biocompatibility, which renders them ideal candidates for controlled drug delivery systems. The loading of thymoquinone into the MSN matrix was performed using an aqueous THQ solution under ultrasonic conditions to achieve homogeneous distribution and efficient encapsulation, resulting in MSN-THQ particles with improved loading capacity. Following nanoparticle preparation, MSN-THQ particles were embedded into a Bis-GMA/TEGDMA resin matrix via UV-induced polymerization to fabricate polymeric nanocomposites. Various MSN-THQ concentrations were employed to optimize the structural and functional performance of the resulting materials. Comprehensive characterization of the synthesized nanocomposites was conducted. The morphological features and chemical structures of the materials were analyzed using FTIR, SEM, and TGA. Additionally, physicochemical properties such as water absorption and solubility were evaluated according to standardized testing protocols to assess the materials' durability in aqueous environments. Chemical stability was further examined using the Fenton reaction test to simulate oxidative stress conditions. The development of MSN-THQ reinforced resin composites is expected to contribute significantly to biomedical applications, particularly in the fabrication of antibacterial dental materials, wound healing systems, and implant surface coatings. This multifunctional nanocomposite system holds promise for next-generation bioactive materials with enhanced therapeutic potential and prolonged functional lifespan in clinical settings.

Keywords: Thymoquinone, Mesoporus Silica, Nanocomposite

1.INTRODUCTION

Antibacterial nanocomposites represent increasingly attributed importance in class of materials that are designed to effectively suppress microbial contamination in healthcare and other industrial sectors. The nanocomposites are hybrids that inherit the best mechanical, thermal, and processing properties from the polymers while also incorporating antimicrobial functionalities. Unfortunately, conventional nanocomposites will allow microbial adhesion and biofilm formation not only on their surface but also within polymer matrices, which can cause surface degradation and performance loss in the course of time [1]. To address this issue, next-generation nanocomposites were developed by incorporating agents that kill or inhibit bacterial growth directly into the composite structure. The most remarkable example of such an approach is the method in which the antimicrobial monomers, e.g., quaternary ammonium methacrylates (QAMs), that are added into the resin phase help not only to inhibit the process of microbial colonization but also to increase that resistance [2]. In addition, the involvement of inorganic nanofillers such as silver (Ag), zinc oxide (ZnO), and nanoclay is one of the ways that the antimicrobial activity and mechanical performance of these composites can be improved [3,4]. Some systems not only inhibit bacterial proliferation but also enhance surface properties, water sorption behavior, and the long-term durability of the material [5].

Mesoporous silica nanoparticles (MSNs) are used in biotechnological applications due to their high surface area, adjustable pore sizes, biocompatibility, and ease of functionalization. As biocompatible carriers, MSNs enhance drug solubility and prolong therapeutic delivery within the oral environment. Concurrently, research momentum is increasing for natural antimicrobial agents [6].

Nigella sativa (black cumin) and its principal bioactive component, thymoquinone (THQ), exhibit broad-spectrum therapeutic qualities such as antimicrobial and anti-inflammatory. Incorporation of THQ or herbal extracts into polymer matrices has yielded dental materials capable of suppressing plaque formation and inhibiting cariogenic bacteria [7]. For example, THQ-infused denture adhesives or surface coatings have demonstrated efficacy in inhibiting oral pathogens and supporting oral wound healing [8].

Overall, the combination of MSNs with herbal antimicrobials enables the development of nanocomposite materials with robust antimicrobial activity and favorable biocompatibility. Such composites are being proposed not only for dental restorations but also for antimicrobial enhancement of implant surfaces and wound dressings. Importantly, the use of renewable, naturally derived agents such as THQ aligns with growing emphasis on biocompatible and environmentally sustainable medical devices. Beyond dental applications, similar polymer matrices incorporating metal nanoparticles or plant-derived essential oils are being developed for use in wound care, water filtration, hospital surface sterilization, and even antimicrobial food packaging [9]. As research and development persist, these versatile nanocomposites are poised to become pervasive in clinical and commercial contexts, heralding substantial progress toward advanced and sustainable infection control strategies in healthcare and related fields.

2. EXPERIMENTAL SECTION

2.1. Chemical and Materials

Tetraethyl orthosilicate (TEOS), Bisphenol A glycidyl methacrylate (Bis-GMA, >85%), camphorquinone (CQ, >99%), triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA, >95%), 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES), cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), and ethyl 4-(dimethylamino)benzoate (EDMAB, >99%) were procured from Sigma-Aldrich. Thymoquinone (NSC 2228, CAS No. 490-91-5) was obtained from Cayman Chemical and used without further purification.

2.2 MSN Synthesis

The CTAB solution was prepared with $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ and stirred magnetically at 60 °C for 20 minutes. Tetraethyl orthosilicate (TEOS) was then added dropwise under continuous stirring, and the mixture was maintained for 2 hours. After completion of the synthesis, the resulting MSN suspension was first washed with 25% ethanol. To remove the CTAB template, the suspension was stirred in 3% hydrochloric acid solution for 24 hours. The product was then centrifuged and washed three times with an ethanol–water mixture. Finally, the MSN particles were collected by centrifugation and dried at 70 °C [11].

2.3 Loading of Thymoquinone (THQ) Into MSN

Mesoporous silica nanoparticles (MSN; 0.14 g) were dispersed in 10 mL of distilled water and magnetically stirred at 100 rpm at 25 °C. Separately, THQ solution was prepared by dissolving 0.014 g of thymoquinone in 1 mL of dimethyl sulfoxide (DMSO), followed by dilution to 9 mL with phosphate-buffered saline (PBS). The THQ solution was sonicated for 15 min at 24 °C to ensure complete dissolution. This solution was subsequently introduced into the MSN suspension under continuous stirring (100 rpm) at room temperature for 24 h to facilitate drug loading, with the beaker capped to minimize solvent evaporation. Following incubation, the mixture was centrifuged at 7,000 rpm for 10 min, and the supernatant was discarded. The pellet was washed with 25% ethanol until the supernatant appeared clear, indicating removal of unbound THQ [12].

2.4 Fabrication of Bis-GMA/TEGDMA-Based Nanocomposites

The composite formulations were prepared using varying ratios of the organic matrix components, bisphenol A glycidyl methacrylate (Bis-GMA) and triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA). Modified MSN–THQ nanoparticles were incorporated into the inorganic phase at loading levels of 10, 20, and 30 wt% (Table 1). For all composite formulations, a binary photoinitiator system consisting of CQ and EDMAB was employed. The organic and inorganic components were manually blended using a stainless-steel spatula until a homogeneous mixture was obtained. The resulting pastes were then packed into molds to prevent adhesion and polymerized using an LED curing [14,15].

Table 1. Nanocomposite Components

Nanocomposite	MSN-THQ (%)	Bis-GMA/TEGDMA (%)
D1	0	100
D2	10	90
D3	20	80
D4	30	70

2.5 Characterization of Nanoparticles and Dental Composite Series

Fourier transform infrared (FTIR) spectra were recorded in the 4000–400 cm^{-1} range at a spectral resolution of 4 cm^{-1} using the Perkin Elmer Spectrum 100 spectrometer. Surface morphology of the synthesized nanocomposites was examined via scanning electron microscopy (SEM). Thermal stability of the modified materials was evaluated by thermogravimetric analysis (TGA) using a Linseis PT 1600 instrument, with temperature ramping from ambient to 700°C at a constant rate of 10°C/min.

2.6. Water Solubility, Water Sorption and Chemical Stability

The water-related behavior of the antibacterial nanocomposites was assessed through water absorption and solubility measurements. Prior to testing, each specimen was dried to constant weight and its initial dry mass (m_1 , g) recorded. The volume of each sample (V , mm^3) was also determined. The samples were dipped in distilled water and stored at room temperature for 30 days. Following immersion, surface moisture was removed using blotting paper, and the wet mass (m_2) was immediately measured. Subsequently, the samples were re-dried to constant mass and weighed to determine the final dry mass (m_3 , g). These measurements were later used for calculating water absorption and solubility values. [16]

Water absorption (W_a) and solubility (W_s) were calculated using the following equations:

$$W_a = \frac{(m_2 - m_3)}{V}$$

$$W_s = \frac{(m_1 - m_3)}{V}$$

2.7 Chemical Stability via Fenton Degradation

The chemical stability of the D series nanocomposites was assessed using the Fenton reaction protocol, in accordance with methodologies established in our previous investigations. In this test, M_0 represents the initial mass of the sample prior to exposure. After the reaction and subsequent cleaning and drying steps, M_1 denotes the final mass of the material. Additionally,

V corresponds to the specimen's volume. These parameters provided a quantitative basis for evaluating compositional changes and oxidative degradation under the challenging conditions simulated by the Fenton reaction.

$$\% \text{ Degredation} = \frac{(M_0 - M_1)}{V}$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characterization of D Composite Series

3.1.1. FTIR results

The FTIR spectrum of pure MSN exhibited characteristic Si–O–Si stretching vibrations at approximately 1080 cm^{-1} , along with a peak near 800 cm^{-1} (Figure 1). A broad absorption band in the $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ range was observed, corresponding to O–H stretching vibrations that can be attributed to surface silanol groups. A peak around 1630 cm^{-1} was assigned to H–O–H bending vibrations of adsorbed water, while the band at $\sim 960\text{ cm}^{-1}$ indicated Si–OH stretching, confirming the presence of silanol groups on the MSN surface. In the MSN–THQ composite spectrum, several new or intensified absorption features appeared. Peaks within $1400\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ were attributed to aromatic C=C stretching and C–H bending vibrations of thymoquinone, while a shift in these bands compared to pure MSN suggested interactions between the THQ molecules and the silica network. The persistence of Si–O–Si peaks at 1080 cm^{-1} and 800 cm^{-1} , alongside the emergence of these new aromatic bands, provides strong evidence for the successful encapsulation of THQ within the mesoporous silica matrix [11].

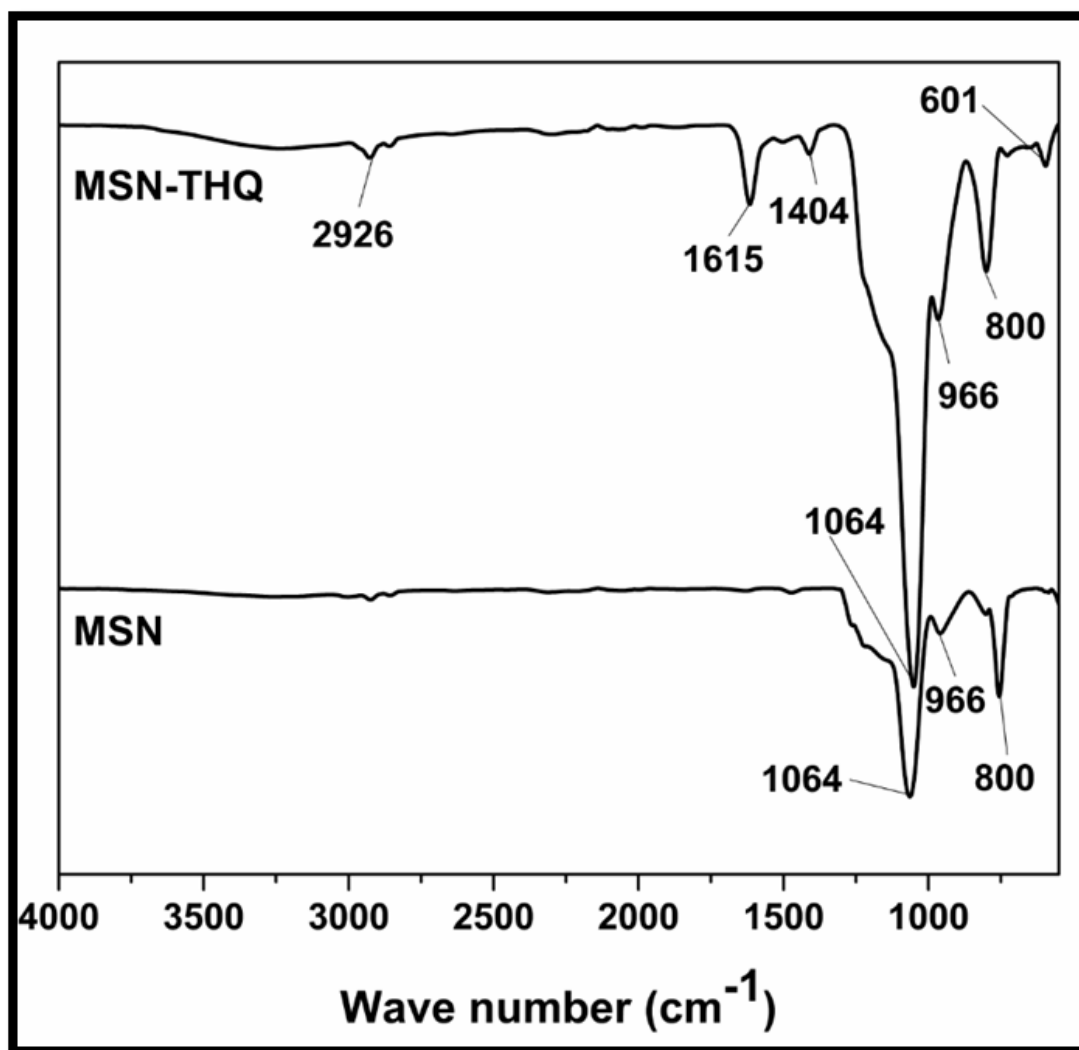


Figure 1. FTIR Graph of MSN, and MSN-THQ

3.1.2. SEM Analysis

As shown in Figure 2, sample D1 exhibits a relatively smooth surface with small, isolated clusters of nanoparticles, indicative of a partial yet non-uniform nanoparticle distribution. In contrast, D2 demonstrates greater surface roughness with prominent agglomerates, suggesting higher nanoparticle loading and/or stronger interparticle interactions. Samples D3 and D4 display more irregular, porous morphologies with densely packed nanoparticle aggregates, which may enhance antibacterial activity by increasing the available surface area. These distinct morphological features confirm the successful integration of nanoparticles into the composite matrix and indicate that the synthesis parameters significantly influenced the resulting surface architecture. Such variations in topography are expected to directly affect both the antibacterial performance and the mechanical and physical properties of the composites.

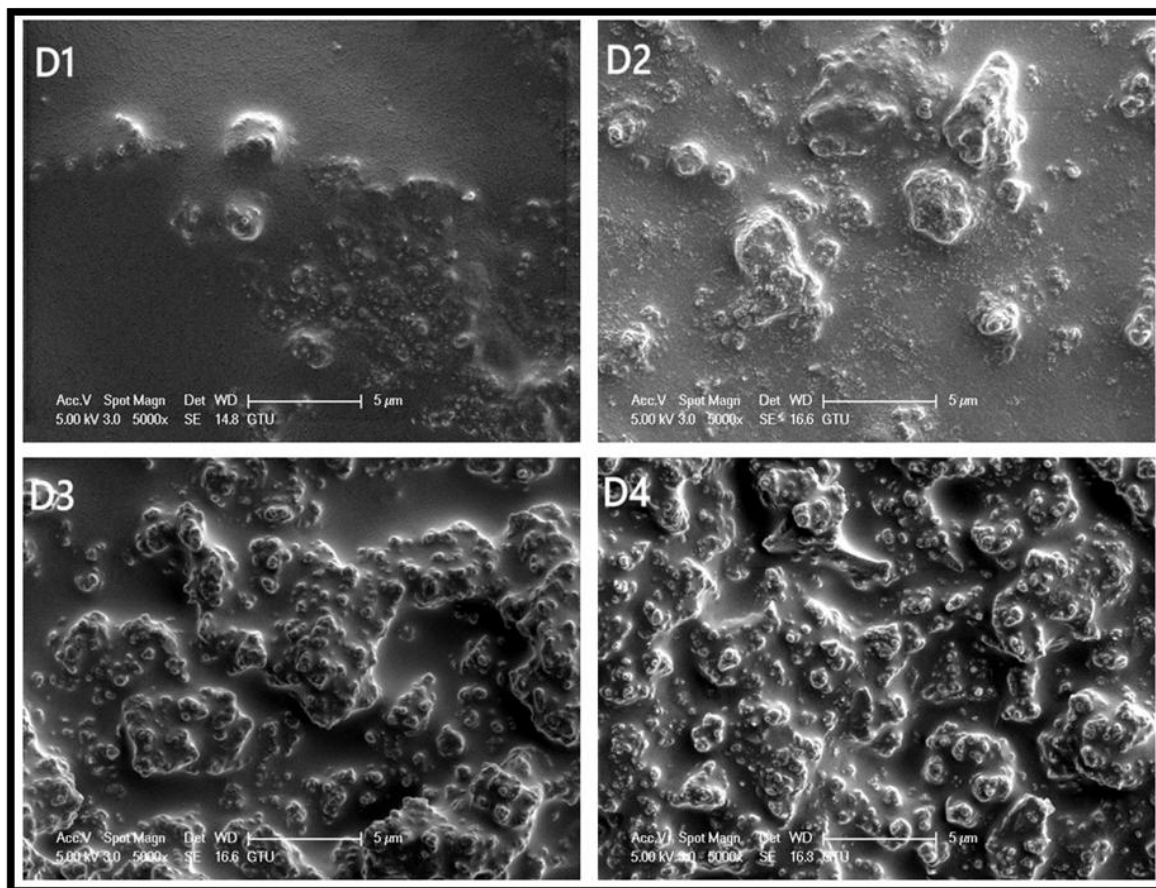


Figure 2. SEM Micrographs of Nanocomposites

3.1.3. TGA Analysis

The thermal stability of the antibacterial nanocomposites was evaluated using thermogravimetric analysis (TGA), with representative results shown in Figure 3, demonstrating distinct degradation behaviors across different formulations. Sample D1 exhibited a characteristic two-stage weight-loss profile. The initial mass decrease at approximately 150 °C was attributed to the desorption of physically adsorbed moisture and the evaporation of low-molecular-weight volatile components. The primary degradation phase occurred between 350 °C and 470 °C, corresponding to the thermal decomposition of the organic polymer matrix and the breakdown of organic functional groups covalently bound to the nanoparticles. In contrast, sample D4 also displayed a two-stage degradation pattern; however, substantial weight loss commenced at a significantly lower temperature (approximately 300 °C). The more pronounced degradation behavior of D4 indicates a higher proportion of organic content and altered interfacial interactions between the polymer matrix and the incorporated nanoparticles, resulting in reduced thermal stability compared to D1. Overall, the TGA results confirm the successful incorporation of both inorganic nanoparticles and organic moieties into the nanocomposite structures. The observed variations in thermal degradation behavior between D1 and D4 reflect compositional differences that are expected to

significantly influence their thermal stability and performance characteristics under elevated temperature conditions [19].

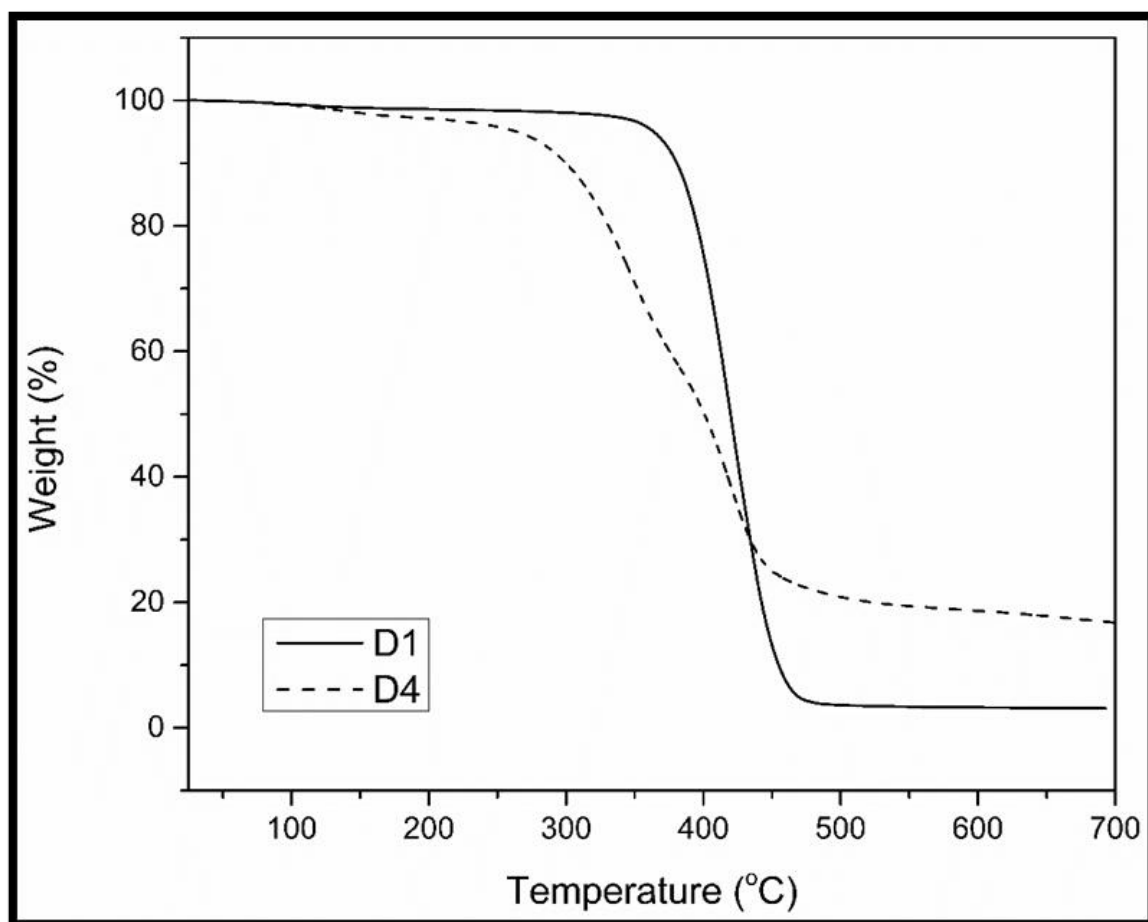


Figure 3. TGA Graph of D1, and D4 Nanocomposites

3.2. Water sorption, water solubility, and chemical stability

Nanocomposites with varying MSN–THQ loadings — D1 (0 g), D2 (0.1 g), D3 (0.15 g), and D4 (0.2 g) — were systematically investigated with respect to their aqueous stability parameters. Water solubility and post-degradation mass loss were quantified after two weeks of immersion in Fenton’s reagent, whereas equilibrium water uptake was determined after one month of storage under controlled relative humidity. Thermo-oxidative stability assessments revealed that D1 (control) exhibited the greatest mass loss (~2.0%), indicative of insufficient structural robustness against oxidative degradation. Conversely, D2 demonstrated superior resistance (~0.4% loss), attributed to enhanced crosslinking density and improved nanoparticle–matrix interfacial adhesion. Intermediate degradation levels in D3 and D4 suggest that elevated filler content promotes nanoparticle agglomeration and compromises matrix continuity, thereby reducing structural coherence. Water solubility was lowest in D2, while significantly elevated in D3 and D4, potentially due to thymoquinone leaching or attenuated crosslink density. Sorption values remained within 0.04–0.05 mg/mm³ across all formulations, with D2 showing

a marginal increase, plausibly associated with augmented porosity and a larger hydrophilic surface fraction. The anomalous combination of minimal solubility and elevated sorption in D2 highlights the predominance of surface-mediated absorption processes rather than dissolution-driven mass loss. Collectively, these findings demonstrate that moderate MSN–THQ incorporation (~10 wt%) optimizes physicochemical stability, whereas excessive nanoparticle loading destabilizes the polymeric architecture. This trend corroborates prior studies on drug-loaded polymer nanocomposites, wherein an optimal filler threshold reconciles mechanical durability with functional performance.

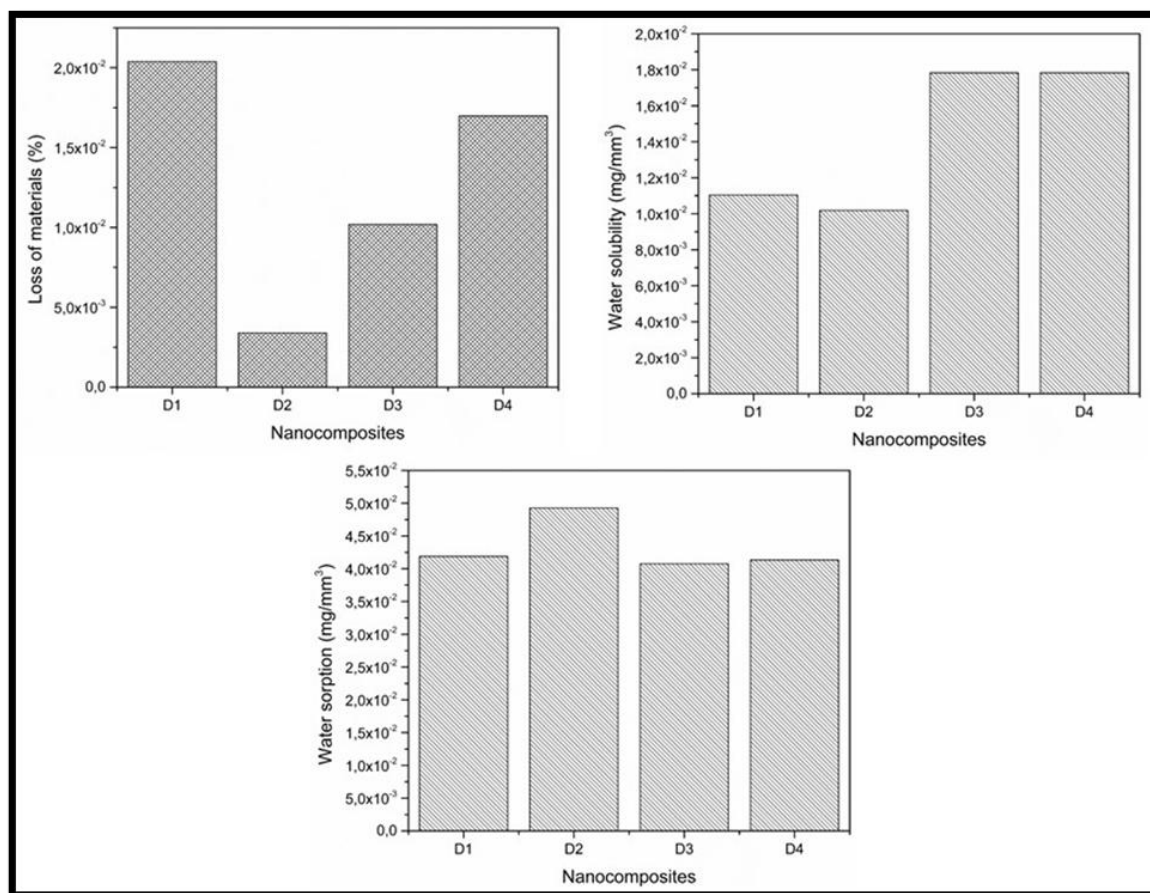


Figure 4. Loss of Materials, Water Solubility, and Water Sorption D Series Nanocomposites

4. CONCLUSION

Structural characterization demonstrated that thymoquinone was efficiently loaded into the mesoporous silica matrix, as confirmed by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). These findings verified the successful formation of MSN–THQ nanocomposites and their relatively uniform dispersion within the polymer network. Water sorption and solubility analyses further indicated that incorporating 10% MSN–THQ (D2) achieved an optimal hydrophilic–hydrophobic balance, effectively minimizing water uptake and suppressing premature material degradation. Chemical stability assessments using Fenton’s reagent confirmed that the D2 composite exhibited enhanced resistance to oxidative

stress, reflecting superior durability and structural integrity under aggressive conditions. Collectively, these results demonstrate that a moderate MSN–THQ loading (~10 wt%) represents the most effective formulation strategy, whereas excessive nanoparticle incorporation compromises stability due to filler agglomeration and reduced crosslink density. Importantly, the improved physicochemical properties observed in D2 highlight the potential of MSN–THQ nanocomposites as promising candidates for biomedical and dental applications, where both antibacterial activity and long-term structural reliability are required. Future investigations should focus on elucidating the molecular-level mechanisms of MSN–THQ interactions within the polymer matrix and evaluating the in vitro and in vivo performance of these composites under clinically relevant conditions.

5. REFERENCES

- [1] Liu, Y., He, L., Mustapha, A., Li, H., Hu, Z. Q., & Lin, M. Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against *Escherichia coli* O157:H7, *Journal of Applied Microbiology*, 107(4), 1193–1201, 2009.
- [2] Imazato, S. Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems, *Dental Materials*, 19(6), 449–457, 2003
- [3] Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials, *Biotechnology Advances*, 27(1), 76–83, 2009.
- [4] Jones, N., Ray, B., Ranjit, K. T., & Manna, A. C. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms, *FEMS Microbiology Letters*, 279(1), 71–76, 2008.
- [5] Al-Enizi, A. M., Ahmed, A. S., & El-Newehy, M. H. Antibacterial nanocomposite materials: A comprehensive review, *Journal of Molecular Liquids*, 319, 114356, 2020.
- [6] Tang, F., et al. Mesoporous silica nanoparticles: synthesis, biocompatibility and drug delivery, *Advanced Materials*, 24(12), 1504–1534, 2012.
- [7] Salem, M. L. Immunomodulatory and therapeutic properties of the *Nigella sativa* L. seed, *International Immunopharmacology*, 5(13–14), 1749–1770, 2005.
- [8] Gholamnezhad, Z., et al. Immunomodulatory and anti-inflammatory effects of thymoquinone, *Drug and Chemical Toxicology*, 39(3), 200–207, 2016.
- [9] Cushen, M., et al. Nanotechnologies in the food industry—Recent developments, risks and regulation, *Trends in Food Science & Technology*, 24(1), 30–46, 2012.
- [10] Gounani, Z., Asadollahi, M. A., Pedersen, J. N., Lyngsø, J., Pedersen, J. S., Arpanaei, A., & Meyer, R. L. Mesoporous silica nanoparticles carrying multiple antibiotics

- provide enhanced synergistic effect and improved biocompatibility, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 175, 498-508, 2019.
- [11] Usul, S. K., Lüleci, H. B., Ergüden, B., & Aslan, A. Antimicrobial properties of azole functional silica nanocomposites, *ChemistrySelect*, 8(43), e202303059, 2023.
 - [12] Fahmy, H. M., Fathy, M. M., Abd-Elbadia, R. A., & Elshemey, W. M. Targeting of Thymoquinone-loaded mesoporous silica nanoparticles to different brain areas: In vivo study, *Life sciences*, 222, 94-102, 2019.
 - [13] Aslan, A., Soydan, A. M., & Bozkurt, A. Synthesis and characterization of novel multifunctional polymer grafted hollow silica spheres, *Journal of Materials Research*, 30(16), 2408-2416, 2015.
 - [14] Usul, S. K., Aslan, A., Lüleci, H. B., Ergüden, B., Çöpoğlu, M. T., Oflaz, H., ... & Özçimen, D. Investigation of antimicrobial and mechanical effects of functional nanoparticles in novel dental resin composites, *Journal of Dentistry*, 123, 104180, 2022.
 - [15] Yang, D. L., Sun, Q., Niu, H., Wang, R. L., Wang, D., & Wang, J. X. The properties of dental resin composites reinforced with silica colloidal nanoparticle clusters: Effects of heat treatment and filler composition, *Composites Part B: Engineering*, 186, 107791, 2020.
 - [16] Müller, J. A., Rohr, N., & Fischer, J. Evaluation of ISO 4049: Water sorption and water solubility of resin cements, *European Journal of Oral Sciences*, 125(2), 141–150, 2017.
 - [17] Tsuneda, T. Fenton reaction mechanism generating no OH radicals in Nafion membrane decomposition, *Scientific Reports*, 10, 74646, 2020.
 - [18] Zaoui, F., Hachemaoui, M., Sebba, F. Z., Mokhtar, A., Bounaceur, B., Ould Kada, S., ... & Boukoussa, B. Ultrasonic preparation of new nanocomposites poly (GMA)@ amino-functionalized Fe₃O₄: structural, morphological and thermal properties, *Polymer Bulletin*, 80(7), 7389-7406, 2023.
 - [19] Zaoui, F., Sebba, F. Z., Liras, M., Sebti, H., Hachemaoui, M., Mokhtar, A., ... & Boukoussa, B. Ultrasonic preparation of a new composite poly (GMA)@ Ru/TiO₂@ Fe₃O₄: application in the catalytic reduction of organic pollutants, *Materials Chemistry and Physics*, 260, 124146., 2021.
 - [20] Li, Z., Zhang, H., Xiong, G., Zhang, J., Guo, R., Li, L., Zhou, H., Chen, G., Zhou, Z., & Li, Q. A low-shrinkage dental composite with epoxy-polyhedral oligomeric silsesquioxane, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 103, 103515, 2020.

THE ROLE OF DIGITAL MONITORING IN TEACHING SOLAR ENERGY THROUGH STEM: AN EXPERIENCE BASED ON THE SOLARMAN SMART PLATFORM

Mazhyn Skakov¹,

¹Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, skakovmk@mail.ru –
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-3716-8846>

Ali Coruh²,

²Sakarya university, coruh@sakarya.edu.tr –
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-7362-6173>

Naci Genc³,

³Yalova University, naci.genc@yalova.edu.tr –
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-5673-1708>

Sherzod Ramankulov⁴,

⁴Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
sherzod.ramankulov@ayu.edu.kz –
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4786-942X>

Nurkozha Zhaksylyk⁴,

⁴Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
nurkozha.zhaksylyk@ayu.edu.kz –
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9310-6004>

Nurzhigit Aldabergen⁵,

⁵Nazarbayev Intellectual School of Physics and Mathematics in Shymkent,
aldabergennurzhigit@gmail.com

ABSTRACT

This article investigates the pedagogical effectiveness of teaching solar energy based on the STEM approach. The research aimed to determine the relationship between the angle of solar incidence and photovoltaic performance. A total of 108 physics students worked with real data obtained from a 26.1 kW solar power station via the SOLARMAN Smart digital monitoring platform. The students selected one-day performance data from clear days in winter (March 20) and summer (June 21), and determined the corresponding solar incidence angles for those days using geometric and astronomical calculations. The obtained angles and power output values were compared, and the dependence between the solar altitude angle and energy efficiency was analyzed. Within the STEM project framework, the disciplines of science (physics, renewable energy), technology (digital monitoring), engineering (3D modeling, panel angle calculation),

and mathematics (geometric and trigonometric calculations) were integrated. During the study, pre- and post-testing was conducted to assess learning outcomes, and a Likert scale-based survey was used to evaluate students' attitudes. All data were processed and statistically analyzed using the JASP software. The difference between pre-test and post-test results indicated a significant improvement in students' knowledge (mean score increased from 24.54 to 33.87, Cohen's $d = 1.929$). The survey results showed high internal consistency (Cronbach's $\alpha = 0.876$), which allowed for the characterization of students' perceptions of the research tasks.

Kew words: STEM education, solar energy, digital monitoring, SOLARMAN Smart, learning motivation.

1. INTRODUCTION

Currently, teaching approaches based on the integration of theory and practice are gaining increasing importance in the field of education. In particular, in exact sciences such as physics, developing students' research skills and fostering their ability to work with scientific data directly impacts the professional training of future teachers and specialists. In this context, renewable energy sources—especially solar energy—are becoming effective tools for forming modern scientific and technical knowledge and promoting ecological awareness.

Educational trends around the world are increasingly shifting toward integrated instruction within the STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) framework. This approach allows learners to develop not only subject-specific knowledge but also a broad set of competencies, such as logical reasoning, engineering modeling, mathematical analysis, and technological literacy. The STEM education model aligns with Kazakhstan's educational policy and the goals of the «Digital Kazakhstan» program.

Solar energy represents a key component of global strategies aimed at sustainable development and energy security. At the university level, teaching in this field fosters energy literacy among future teachers and engineers. The use of digital monitoring platforms such as SOLARMAN Smart enables students to work with real-world data from solar power stations, bridging theory and practice.

Digital monitoring plays a crucial role in the pedagogical structure of teaching solar energy based on STEM principles—particularly when implemented through innovative platforms like the SOLARMAN Smart Platform. This integration clearly demonstrates the potential of digital technologies and real-time data collection to improve learning outcomes in renewable energy education. The ability to monitor and analyze photovoltaic systems in real time allows educators to integrate theoretical content with practical application, thereby enhancing students' conceptual understanding.

In the modern education system, integrated STEM instruction is recognized as an effective approach that develops not only disciplinary knowledge but also skills in creative thinking,

engineering design, technological competence, and scientific data analysis. Particularly in the teaching of solar energy, the STEM model facilitates the convergence of theory and practice. This approach not only improves academic achievement but also stimulates students' engagement in scientific research activities [12].

For example, a solar energy project based on the 5E model among 9th-grade students in Iran was shown to improve performance in science and mathematics and enhance creativity [6]. Fitriana emphasizes that project-based learning deepens students' understanding of renewable energy concepts and links them to the Sustainable Development Goals (SDGs) [13]. Successful implementation of the STEM approach also requires partnerships between educational institutions and industry. McDaniel argues that real-world projects can foster student interest in STEM fields and offer insights into career opportunities through industrial experience [14].

The potential of the STEM approach is particularly evident in renewable energy education. Ahapova notes that including these topics in school curricula helps develop students' environmental awareness and energy literacy [7]. Okonkwo et al. highlight the importance of teaching green chemistry and renewable energy technologies at the secondary school level within the STEM framework, emphasizing their role in building skills necessary for addressing climate change [8]. Rabbani et al. stress the importance of integrating design thinking strategies into project-based learning to enhance students' creative problem-solving skills. This method ensures active student engagement and deepens their understanding of energy sustainability [9]. Curriculum development also plays a key role in improving educational quality. Sultan et al. highlight the importance of incorporating renewable energy topics into school programs, while Indahwati et al. argue that applying the STEAM approach helps develop critical thinking and aligns students with the Sustainable Development Goals. However, Chiciudean et al. point out that the lack of public awareness about renewable energy sources leads to low interest in this field. Saibu and Olagunju demonstrate a direct correlation between educational attainment and the acceptance of renewable energy technologies [10], [11], [15], [16].

Digital technologies are crucial for the effective implementation of the STEM approach. Kelley and Knowles show that the integration of digital tools into the learning process increases student engagement in hands-on learning and improves digital literacy. This supports the use of digital monitoring systems such as the SOLARMAN Smart Platform. These systems allow real-time monitoring of photovoltaic system performance and efficiency, enabling students to practically understand how solar energy operates [1].

Aniskin et al. demonstrate that working with data obtained through digital monitoring provides students with experience in solving real-world problems [2]. Fraser et al. emphasize that such tools foster collaboration among students and promote peer-to-peer learning, which is especially motivating for those new to STEM fields [3].

The SOLARMAN Smart Platform is also recognized as an effective tool in project-based learning. Abouhashem et al. show that interactive learning formats based on digital data increase student motivation and engagement [4]. The role of teachers as facilitators in this process is crucial for developing students' analytical skills. Furthermore, Xu and Ouyang demonstrate that integrating technologies such as Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) in STEM fields significantly enhances learning outcomes. The IoT components

of the SOLARMAN platform create opportunities for effective implementation of these capabilities [5].

Based on the issues discussed, the following scientific contradictions are evident: the gap between theoretical knowledge of solar energy and practice based on real industrial data; insufficient integration of the STEM approach into the educational process; limited experience in effectively using digital monitoring tools; and low student interest and motivation regarding renewable energy sources.

To address these contradictions, the study seeks to answer the following research questions:

- What is the impact of STEM project-based tasks using the SOLARMAN Smart platform on students' knowledge of solar energy?
- How does this instructional format influence their interest in the subject and the development of scientific research skills?

Research Hypotheses

- H_1 (Alternative Hypothesis):

The use of digital monitoring tools (the SOLARMAN Smart platform) based on the STEM approach significantly enhances students' knowledge of solar energy, interest in the subject, and scientific research skills.

- H_0 (Null Hypothesis):

The use of the STEM approach and digital monitoring tools does not have a significant effect on students' knowledge or motivation related to solar energy.

Research Aim

To empirically investigate the impact of mastering solar energy in physics education through STEM-based project tasks and the use of a digital monitoring tool (SOLARMAN Smart platform) on students' academic achievement, interest in the subject, and skills in working with digital data.

Research Objectives

- To design a STEM project-based task focused on solar energy and integrate it into the students' learning process;
- To organize practical activities aimed at comparing energy production using the SOLARMAN Smart platform, which enables students to work with real industrial data;
- To assess the statistical significance of academic achievement and motivational changes by processing the obtained quantitative data using the JASP software.;

2. METHODOLOGY

This study is a pedagogical-practical mixed-methods research. The primary aim of the research is to determine the extent to which a STEM project-based task, carried out using real data related to solar energy, contributes to the development of students' interest, understanding, and research skills in the subject. A total of 108 students (across 4 academic groups) enrolled in a physics teacher education program participated in the study. All participants were pre-service teachers. The sampling method used was census.

Description of the STEM Project-Based Task

Within the framework of the research project, students analyzed the performance of a solar power plant (SPP) in relation to the angle of solar incidence. To do this, students selected two specific clear-sky days using the SOLARMAN Smart platform: one during the winter season and another during either spring or summer. Only days with stable, cloudless weather conditions were selected to eliminate the influence of external variables such as cloud cover or temperature. Thus, the angle of incidence was considered the primary variable in the comparison.

For each selected day, students collected daily energy production data (in Wh) from the platform and calculated the angle at which sunlight struck the surface of the solar panels. This was done using geometric methods and astronomical formulas involving geographic coordinates, solar elevation, azimuth, and time-based trigonometric calculations. Some student groups also considered the panel's installation angle and orientation to determine the panel's actual effective working angle.

The relationship between the solar incidence angle and SPP performance was illustrated using graphical representations. Students linked their calculated angle values to the amount of energy produced throughout the day and investigated the correlation. Some groups performed a more comprehensive analysis by taking into account sunrise and sunset times, shadow duration, and the difference between local time and astronomical time.

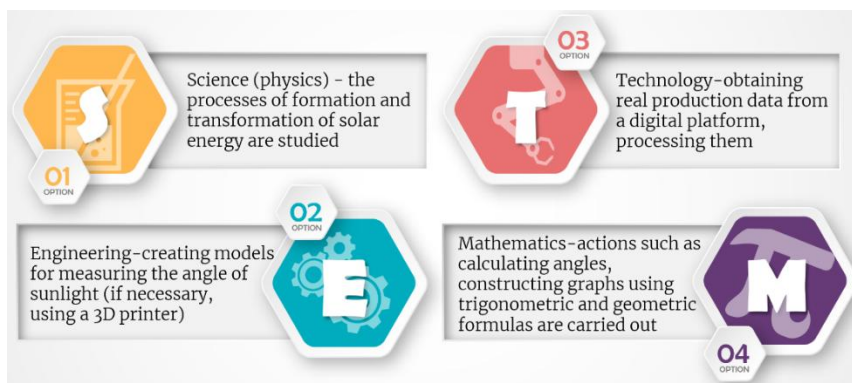


Figure 1. The structure of subject integration in the study of solar energy by STEM method

The STEM project-based task was completed in small groups, with each group submitting their calculations, graphs, and conclusions in the form of a written report. In addition, students were assessed at the end of the activity using both a questionnaire and a test: the former aimed at evaluating their interest and perception levels, while the latter measured their conceptual understanding of the topic.

During the study, students selected two specific dates for comparing the solar power plant's performance:

- March 20, 2025
- June 21, 2025

These dates were not chosen arbitrarily; they correspond to significant astronomical and meteorological events.

Firstly, March 20 marks the vernal equinox, a day when the Sun is directly above the equator, and the angle of solar incidence is among the closest to 90° on Earth's surface (with variation

by location). This date is considered the beginning of the angular transition in the Sun's apparent path along the ecliptic.

Secondly, June 21 is one of the closest dates to the summer solstice, when the Sun reaches its highest point in the sky. On this day, the length of daylight is at its maximum, and the angle of solar incidence in the Northern Hemisphere reaches its peak. The more vertically sunlight strikes the Earth's surface, the higher the solar panel generation tends to be.

Thirdly, an essential factor in choosing these days was the presence of clear weather conditions. In this study, external factors affecting panel performance—such as cloud cover, wind, and humidity—were intentionally controlled by selecting only clear-sky days. As a result, students were able to isolate and investigate the relationship between solar incidence angle and energy generation.

Thus, these selected dates scientifically represent boundary points in terms of solar insolation angles and are ideal for determining the dependence of solar energy performance on angle variation.

To determine the pedagogical effectiveness of the study—specifically students' understanding of the topic, interest level, and acceptance of the STEM approach—two types of assessment tools were used: a questionnaire and a topic-specific test.

The questionnaire was designed to assess students' attitudes toward the topic of solar energy, the use of digital technology (SOLARMAN Smart platform), and the STEM approach in general. It was based on a 5-point Likert scale (1 – strongly disagree, 5 – strongly agree). The questionnaire covered the following aspects:

- Level of interest in the topic
- Ease of use when working with the digital platform
- Perceived usefulness and convenience of learning through the STEM approach
- Motivation and engagement during the research task

To ensure content and linguistic validity, the questionnaire was reviewed by expert instructors and pilot-tested for refinement.

The test was aimed at evaluating students' theoretical understanding of solar energy, as well as their mastery of key concepts used in the project (e.g., angle of solar incidence, energy-time correlation, astronomical calculations). It included short-answer, problem-solving, and interpretive questions. According to the assessment criteria, students' performance was categorized based on conceptual understanding, calculation skills, and analytical ability.

Together, these two instruments allowed for a comprehensive evaluation of the dynamics of change in students' cognitive (knowledge), affective (interest), and technological (tool-use) domains during participation in the research project.

3. RESULTS

Example of a STEM Project Task and Students' Research Outcomes

Determining the angle at which sunlight strikes solar panels (insolation angle) plays a critical role in evaluating the efficiency of photovoltaic systems. This angle represents the geometric relationship between the direction of solar radiation and a line perpendicular to the panel surface. The smaller the angle, the more directly the sunlight hits the panel, resulting in increased electricity generation.

In this project, the angle θ of solar incidence on the panel surface was calculated using the following formula:

$$\cos(\theta) = \sin(h_s) \cdot \cos(\beta) + \cos(h_s) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\varphi_s - \varphi_p) \quad (1)$$

Where:

- h_s — the solar altitude angle (the angle of the Sun above the horizon),
- β — the panel tilt angle (the angle between the panel and the horizontal plane),
- φ_s — the solar azimuth angle (0° corresponds to due south),
- φ_p — the panel azimuth angle (in this case, 0° , indicating a south-facing orientation).

Two scenarios were considered for the calculation:

To determine the solar altitude angle, students were advised to use astronomical platforms.

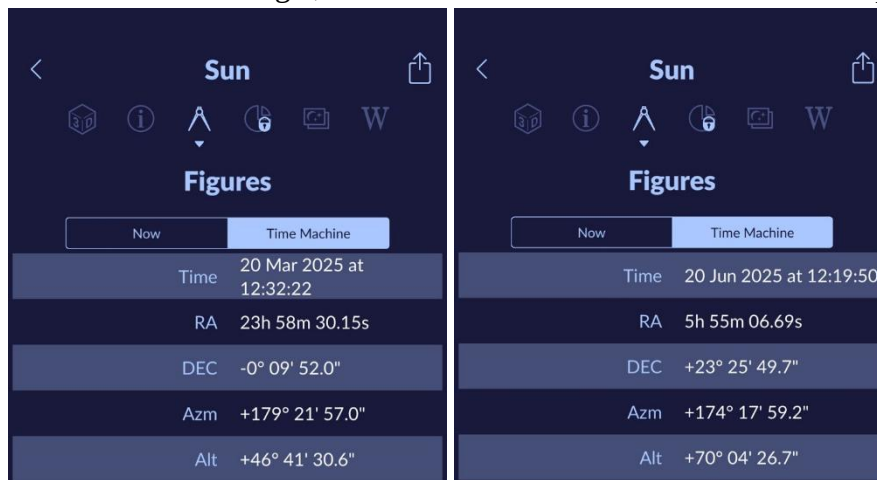


Figure 2. Data from 20.03.2025 and 20.06.2025

(1) calculates the value θ using the formula.

Table 1. data table of the project task

	20.03.2025	20.06.2025
h_s the solar altitude angle	46°41'	70°4'
β the panel tilt angle	30°	
φ_s the solar azimuth angle	0°	
φ_p the panel azimuth angle	0°	
θ angle of incidence of light	$\approx 73.32^\circ$	$\approx 49.87^\circ$

The performance values for the selected days were obtained from the SOLARMAN Smart platform. Below are the daily data for March 20 (Figure 3) and June 20 (Figure 4). The selected time points correspond to the Sun's maximum altitude. The figures also illustrate the duration of daylight. Additionally, the energy production on these days was 155.1 kWh and 172.6 kWh, respectively—data retrieved from the SOLARMAN Smart platform.

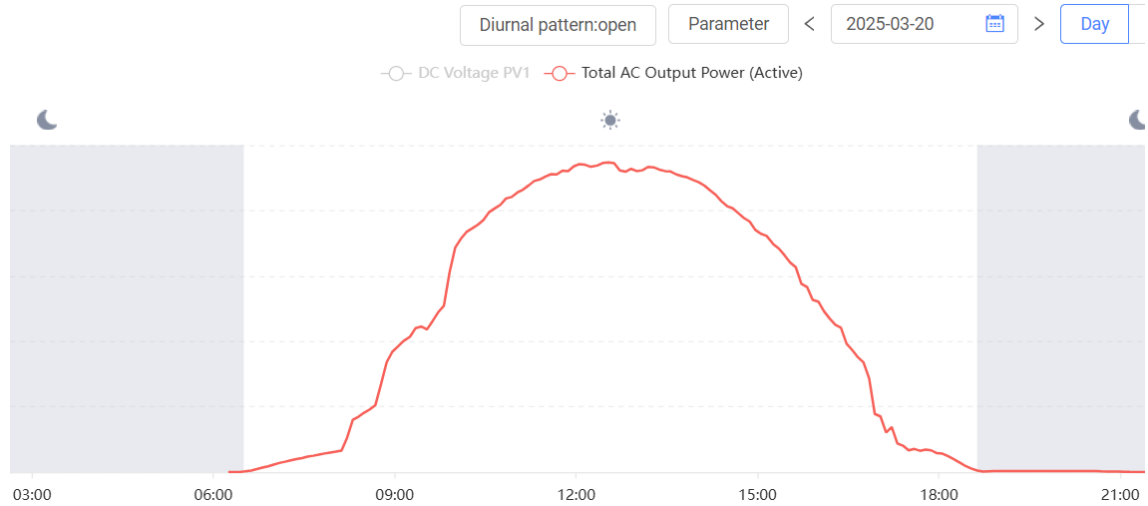


Figure 3. SOLARMAN Smart March 20 data

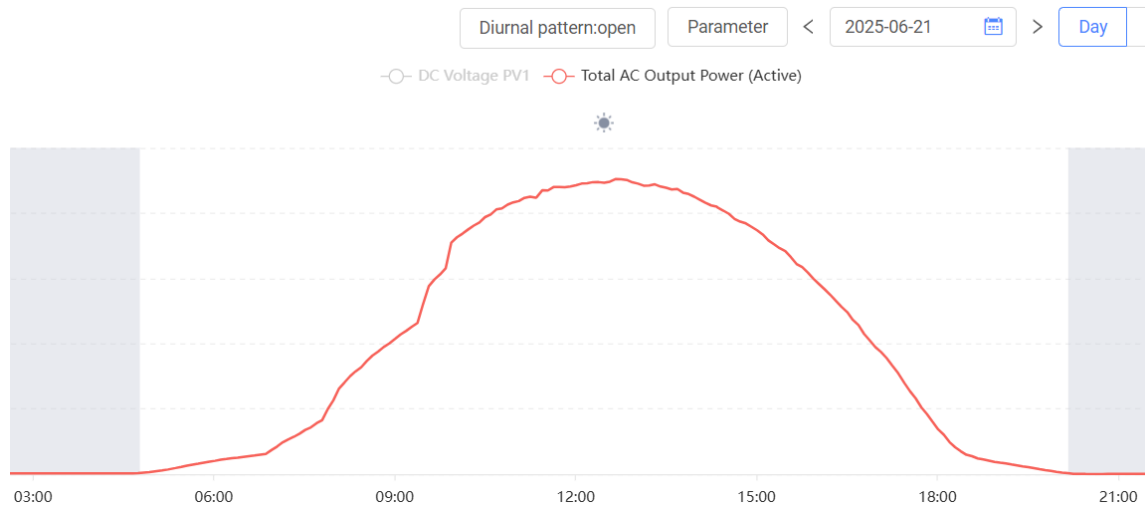


Figure 3. SOLARMAN Smart June 21 data

Statistical data

As a result of the study, experimental work carried out within the framework of STEM-project tasks showed a positive effect on the level of knowledge of students in solar energy. This effectiveness was determined by comparing the results of pre-test and post-test.

Descriptive statistics

In the Pre-test period, the average score of students was $M = 24.54$, $SD = 3.63$, while in the post-test period, this indicator increased to $M = 33.87$, $SD = 3.17$. This change was not limited to an increase in the mean, but also showed a decrease in the variation between student results (coefficient variation pre-test: 0.148 → post-test: 0.094). These data are presented in Table 1.

Table 2. descriptive statistics

Descriptives

Descriptives

	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Pre_test	108	24.537	3.626	0.349	0.148
Post_test	108	33.870	3.174	0.305	0.094

Statistical Difference

The results of the paired-sample t-test revealed a statistically significant difference between the pre-test and post-test scores ($t(107) = -20.042$, $p < .001$).

A Cohen's d value of 1.929 indicates a very large effect size, providing strong evidence that the STEM-based research activity had a substantial impact on the students.

**Table 3. Statistical difference
Paired Samples T-Test**

Paired Samples T-Test

Measure 1	Measure 2	t	df	p	Cohen's d	SE Cohen's d	95% CI for Cohen's d	
							Lower	Upper
Pre_test	- Post_test	-20.042	107	< .001	-1.929	0.231	-2.247	-1.607

Note. Student's t-test.

Raincloud Plot Visualization

The Raincloud Plot presented in Figure 5 is used to comprehensively visualize students' Pre-test and Post-test results. By combining multiple elements, the graph provides a deeper understanding of the data.

On the left side of the plot, individual Pre-test (green) and Post-test (orange) scores are displayed as separate dots for each student. The gray lines connecting the two scores represent changes in individual students' performance. For most students, these lines are upward-sloping, indicating improved performance in the Post-test.

In the center of the graph, boxplots depict the median, interquartile range, and outliers for each testing phase. These boxplots show that the Post-test scores are not only higher but also more narrowly distributed, suggesting that student outcomes were both improved and more consistent.

On the right side, the density curves illustrate the distribution of scores. The Pre-test curve is wider and lower, while the Post-test curve is taller and more concentrated, indicating an overall increase in scores and greater consistency as a result of the instructional intervention.

Raincloud Plots

Pre_test - Post_test

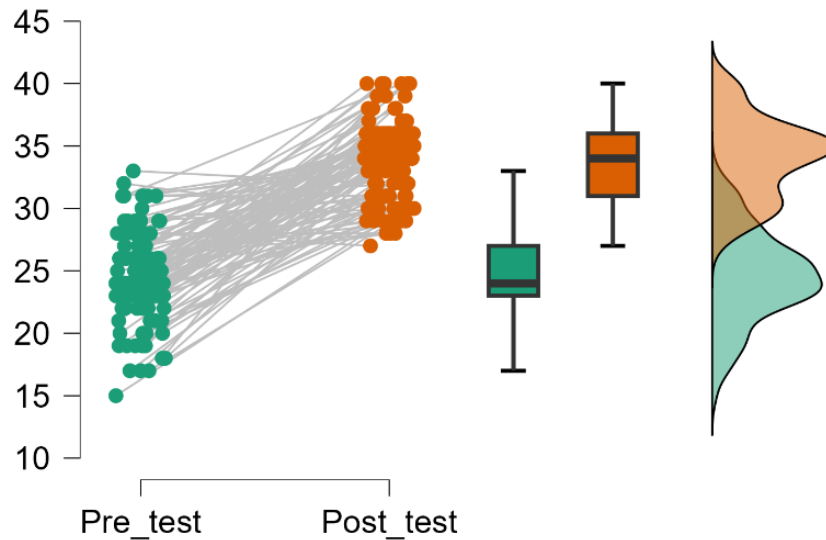


Figure 5. Raincloud Plot graph

The Raincloud Plot provides a comprehensive and visually effective representation of students' knowledge levels during the pre-test and post-test phases. The graph displays individual scores for each student at both stages, with gray connecting lines indicating the direction of change. For the majority of students, these lines slope upward, demonstrating a significant increase in scores during the post-test phase. This visual representation confirms the improvement in knowledge as a result of the learning process.

The boxplots in the center illustrate the median and distribution of scores for both phases, showing that the post-test results are not only higher but also more consistent. On the right, the cloud-shaped density curves clearly indicate that pre-test scores were more dispersed and widely distributed, while post-test scores are more concentrated and aligned. Overall, the graph visually and qualitatively confirms the enhancement in the quality and consistency of students' learning outcomes.

Statistical Findings and Analysis Based on the Survey Results.

Table 4. Survey results.

Descriptive Statistics

<i>Descriptive Statistics</i>								
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
Valid	108	108	108	108	108	108	108	108
Mean	3.907	3.944	3.963	3.954	3.861	4.083	4.056	3.870
Std. Deviation	0.838	0.795	0.819	0.778	0.848	0.855	0.841	0.798

As part of the study, the effectiveness of the STEM approach was evaluated through an analysis of student survey responses. A total of 108 student responses were examined. The mean scores for each item ranged between 3.861 (Q5) and 4.083 (Q6), indicating a generally positive attitude toward the research activity and a high level of interest. The questionnaire covered the

following themes: students' perceptions of the content and relevance of the STEM project, development of independent research skills, experience with using digital monitoring tools, and interest in solar energy.

Specifically, Q6 (mean = 4.083) and Q7 (mean = 4.056) reflected a strong positive impact on students' data-handling and technology-use skills.

In addition to the mean values, standard deviations (SD) ranged from 0.778 to 0.855, indicating consistent and uniform responses, with minimal variability among students' opinions.

Overall, the descriptive statistics suggest that the STEM project had a positive effect on students, enhancing both their professional interest and knowledge levels. These findings are further supported by a high internal consistency of the questionnaire, as indicated by Cronbach's Alpha ($\alpha = 0.876$).

4. CONCLUSION

The conducted study revealed the potential of the STEM education approach in applied learning within the field of solar energy. During the research, students worked with real-world data and independently investigated the relationship between the angle of solar incidence and photovoltaic performance. Using the SOLARMAN Smart digital platform, they analyzed daily energy production from a solar power plant (SPP) through astronomical and geometric calculations. This process enabled them to connect theoretical subject knowledge with practical scenarios.

A comparative analysis of pre-test and post-test results showed a significant improvement in students' academic achievement, with the average score increasing from 24.54 to 33.87. The Cohen's *d* value of 1.929 indicates a strong effect size, demonstrating the clear impact of the STEM approach on the quality of learning. Furthermore, the questionnaire results reflected a positive student perception of the learning process. High mean scores across all items (ranging from 3.86 to 4.08), along with high internal consistency (Cronbach's Alpha = 0.876), indicated that students gained substantial experience from the project.

In the practical component, students independently performed astronomical and geometric calculations and compared the relationship between the angle of incidence and energy output—significantly contributing to the development of engineering and mathematical skills. The integration of the STEM approach connected the disciplines of physics, mathematics, computer science, and technology, enriching students' theoretical knowledge with applied experience. Additionally, students enhanced their digital literacy and acquired methodological competence in working with tools used in real industrial environments.

The findings of the study demonstrate that a STEM-based project fosters students' research interest and positively influences their professional orientation. This approach develops learners' analytical and critical thinking skills, motivating them to address real-world challenges. In this regard, an integrated STEM learning environment is considered an effective and essential tool for teaching solar energy and preparing future professionals.

In conclusion, the solar energy project based on the STEM approach not only enriched the instructional content but also proved to be an effective multidisciplinary pedagogical model that bridges education and industry. This experience serves as a promising model for future

applications in teaching renewable energy, using digital platforms, and advancing project-based learning systems.

FUNDING

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23488947)

REFERENCES

- [1] Kelley, T. R. and Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated stem education. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- [2] Aniskin, V. N., Korostelev, A. A., Lvovna, B. A., Kurochkin, A. V., & Sobakina, T. G. (2020). Teaching potential of integrated learning technologies Smart, Stem and Steam. *Revista de la Universidad del Zulia*, 11(29), 328-336.
- [3] Fraser, S., Beswick, K., & Crowley, S. (2019). Responding to the demands of the stem education agenda: the experiences of primary and secondary teachers from rural, regional and remote australia. *Journal of Research in STEM Education*, 5(1), 40-59. <https://doi.org/10.51355/jstem.2019.62>
- [4] Abouhashem, A., Abdou, R. M., Bhadra, J., Santhosh, M. E., Ahmad, Z., & Al-Thani, N. (2021). A distinctive method of online interactive learning in stem education. *Sustainability*, 13(24), 13909. <https://doi.org/10.3390/su132413909>
- [5] Xu, W. and Ouyang, F. (2022). The application of ai technologies in stem education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>
- [6] Shahbazloo, F., & Mirzaie, R. A. (2023). Investigating the effect of 5E-based STEM education in solar energy context on creativity and academic achievement of female junior high school students. *Thinking Skills and Creativity*, 49, 101336.
- [7] Ahapova, O., Bainazarov, A., & Breheda, N. (2025). Methodological foundations for developing knowledge about renewable energy sources in the school geography curriculum. *Geographical Education and Cartography*, (41), 6-17. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2025-41-01>
- [8] Okonkwo, C. A., Toromade, A. O., & Ajayi, O. O. (2024). Stem education for sustainability: teaching high school students about renewable energy and green chemistry. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(10), 2533-2545. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i10.1664>
- [9] Rabbani, G. F., Abdurrahman, A., Ertikanto, C., Herlina, K., Rosidin, U., Umam, A. N., ... & Azizah, M. (2023). Design thinking strategy integrated pjbl-stem in learning program: need analysis to stimulate creative problem-solving skills on renewable energy topic. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 9776-9783. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.5708>
- [10] Sultan, S., Muljono, A. B., Nrartha, I. M. A., Yadnya, M. S., Ginarsa, I. M., Sasongko, S. M. A., ... & Widianty, D. (2024). Pengembangan literasi energi terbarukan melalui edukasi teknologi plts pada siswa mts negeri 1 mataram. *Jurnal Gema Ngabdi*, 6(3), 271-278. <https://doi.org/10.29303/jgn.v6i3.509>
- [11] Indahwati, S. D., Rachmadiarti, F., Hariyono, E., Prahani, B. K., Wibowo, F. C., Bunyamin, M. A. H., ... & Satriawan, M. (2023). Integration of independent learning and physics innovation in steam-based renewable energy education to improve critical thinking skills in the era of society 5.0 for sustainable development

goals (sdgs) 2030. E3S Web of Conferences, 450, 01010.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345001010>

[12] Rahayu, S., Abdurrahman, A., Herlina, K., Suyatna, A., & Ertikanto, C. (2025). Analysis of teachers' needs in renewable energy learning programs using ssi integrated with pjbl-stem to enhance collaborative problem-solving and entrepreneurial skills. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 11(1), 774-782.

<https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i1.9299>

[13] Fitriana, N. (2018). Stem education and mini water heater on project based learning for renewable energy, sdgs to improve awarnessplastic waste. Proceeding Book of International Symposium on Open, Distance, and E-Learning 2018 (ISODEL 2018). <https://doi.org/10.32550/pi.v1i1.39>

[14] McDaniel, A. (2025). Partnering with local industries to drive stem engagement. American Journal of STEM Education, 12, 67-74.

<https://doi.org/10.32674/b15kmk17>

[15] Chiciudean, G., Harun, R., Arion, F., Chiciudean, D., Oroian, C., & Mureşan, I. (2018). A critical approach on sustainable renewable energy sources in rural area: evidence from north-west region of romania. Energies, 11(9), 2225.

<https://doi.org/10.3390/en11092225>

[16] Saibu, O. and Olagunju, O. B. (2023). The impact of educational attainment on the transition from nonrenewable to renewable energy use in nigeria. Energy Economics Letters, 10(2), 90-105. <https://doi.org/10.55493/5049.v10i2.4900>

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR DEVELOPING
STUDENTS' SOFT SKILLS: OPPORTUNITIES FOR INTEGRATING CREATIVE
UPBRINGING AND STEM LEARNING**

Rizakhojayeva G¹

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,

gulnara.rizahodjaeva@ayu.edu.kz,

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-6791-243X>

Akeshova M²

²International University of Tourism and Hospitality, m.akeshova@iuth.edu.kz,

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4217-1858>

Usembayeva I³

³Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,

indira.usembayeva@ayu.edu.kz,

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-8552-1803>

Nurkozha Zhaksylyk⁴,

⁴Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,

nurkozha.zhaksylyk@ayu.edu.kz,

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9310-6004>

ABSTRACT

In today's education system, the development of students' soft skills has become one of the key priorities aligned with the demands of modern society. Integrating creative education and STEM learning is recognized as an effective pedagogical approach in nurturing the new generation's abilities in creative thinking, teamwork, and problem-solving. This study examines the scientific and methodological foundations for developing students' soft skills through the integration of education and upbringing in general education institutions. A systematic analysis of scholarly literature was conducted, focusing on the concepts of "creative upbringing" and "STEM learning" and exploring their integration in the context of soft skills development. The findings of the research provide a basis for developing methodological recommendations for teachers aimed at the systematic enhancement of students' soft skills through the incorporation of STEM elements and creative approaches in the educational process.

Keywords: soft skills, creative education, STEM learning, educational institutions, integration, students.

1. INTRODUCTION

The modern world has entered an era of rapid transformation. Emerging technologies, digitalization, artificial intelligence, and automation are placing new demands on the education system. In this context, students are expected not only to possess subject-specific knowledge but also to be equipped with essential soft skills for life. Soft skills refer to a set of qualities such as creativity, critical thinking, communication, teamwork, emotional intelligence, and adaptability. These skills are considered key to ensuring students' success in living and working effectively in the 21st century.

The cultivation of soft skills in students has emerged as a critical imperative in contemporary education, necessitating a comprehensive integration of educational practices and upbringing influences [1]. Soft skills, encompassing interpersonal abilities, communication proficiency, and emotional intelligence, are increasingly recognized as essential complements to technical expertise, playing a pivotal role in academic success and professional advancement. These skills enable individuals to navigate complex social dynamics, collaborate effectively in team settings, and adapt to evolving workplace demands, thereby fostering innovation and driving organizational performance [2]. The integration of education and upbringing in soft skills development requires a holistic approach that transcends traditional pedagogical methods and incorporates experiential learning opportunities, mentorship programs, and character education initiatives [3]. This multifaceted strategy aims to cultivate a growth mindset, instill ethical values, and promote responsible citizenship, thereby empowering students to become well-rounded individuals who can contribute meaningfully to society.

Background of the Study

In an era characterized by rapid technological advancements and increasing globalization, the ability to effectively communicate, collaborate, and adapt has become paramount [4]. Educational institutions and organizations globally can adopt these methods and strategies to impart and improve soft skills [5]. Employers are increasingly seeking candidates who possess not only technical expertise but also a well-developed set of soft skills. In fact, many companies are now investing in "soft skills" training to improve employees' communication, emotional intelligence, and conflict resolution abilities. These skills are crucial for navigating the complexities of modern workplaces, fostering innovation, and driving organizational success. Studies show that 75% of job success is determined by soft skills and only 25% is determined by hard skills [6]. Higher and school education must incorporate diverse teaching methodologies to teach soft skills.

Several scientific works by Kazakhstani researchers have laid the foundation for this study. The structural components of soft skills, along with their psychological and pedagogical mechanisms, have been analyzed and theoretically substantiated based on acmeological and level-based approaches [7]. Research has been conducted on the development of soft skills among primary school teachers in digital environments, resulting in practical and pedagogical recommendations that reflect the demands of employers and professionals for such

competencies [8]. The origins of the concept of soft skills have been explored, with a focus on human capital development and staffing requirements in the digital age, as well as the global challenges of developing soft skills in the context of digital industries [9]. Other studies have analyzed the definitions provided for soft skills, grouping various perspectives on the concept [10]. The benefits of fostering soft skills in preschool-aged children have also been demonstrated, particularly in the development of communication skills during teaching and learning processes [11]. Additionally, a correlation has been found between students' participation in intellectual games such as quizzes and the development of key competencies like collaboration, communication, creativity, and critical thinking [12].

Traditional teaching methods have proven insufficient for developing such competencies in the educational and upbringing processes of general education institutions. In this regard, the effective integration of creative education and STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) into the learning process opens new opportunities for unlocking students' personal potential and purposefully developing their soft skills. STEM education is an innovative approach that enhances students' research, engineering, and project-based skills by combining theoretical knowledge with practical application through interdisciplinary teaching. Meanwhile, creative education fosters students' freedom of thought, creative abilities, and the formation of independent opinions.

The main aim of this study is to identify the scientific and methodological foundations for developing students' soft skills through the integration of education and upbringing in general education institutions. In this context, it is crucial to analyze scientifically grounded methods and approaches and to incorporate the integrative potential of creative education and STEM learning into pedagogical practice.

Research questions

This research seeks to answer the following questions:

- How do educational practices contribute to the development of soft skills in students?
- What role does upbringing play in shaping students' soft skills?
- What are the most effective strategies for integrating education and upbringing to foster soft skills development?

This research is significant because it addresses a critical need in contemporary education: the development of soft skills in students. By examining the integration of education and upbringing in this process, the study aims to provide insights into effective strategies for fostering these essential competencies. The findings of this research will have practical implications for educators, policymakers, and employers, informing the design of educational programs, professional development initiatives, and hiring practices. As the demand for soft skills continues to rise in the global economy, this research will contribute to the development of a more skilled and adaptable workforce, capable of meeting the challenges of the 21st century.

2. RESEARCH METHODS

The review used a qualitative methodology, drawing on existing literature and research to explore the integration of education and upbringing in the formation of students' soft skills. The study focused on the key competencies of the 21st century, known as the "4 Cs": critical thinking, collaboration, creativity, and communication.

The goal of education in the current era is to produce pupils who are equipped to handle the demands of the twenty-first century. This includes the development of abilities that go beyond conventional academic knowledge, encompassing transversal, multifunctional competencies that are independent of context. The current study emphasizes the significance of these abilities in helping people succeed in both their personal and professional lives in an increasingly globalized society [13]. Abilities including leadership, digital literacy, communication, emotional intelligence, entrepreneurship, global citizenship, problem-solving, and teamwork are considered fundamental in the twenty-first century [14].

Research Design

The study design focused on exploring the multifaceted nature of soft skills, their relevance in contemporary education, and the strategies employed to foster their development.

Data Collection and Analysis

Data was collected through a comprehensive search of academic databases, educational repositories, and online resources, focusing on studies and articles that addressed the integration of education and upbringing in the context of soft skills development. The collected data was analyzed using thematic analysis, a qualitative data analysis technique that involves identifying, organizing, and interpreting patterns of meaning within the data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the results of the literature review, which highlights the significant topics and trends in soft skill research for higher education. This study intends to offer an overview of relevant studies on soft skills research, without limiting the scope to a specific skill or discipline. The results are structured around the main research questions, focusing on the definition and nature of soft skills, their relevance in education, and the strategies for their development. The findings of our study revealed that within technologically driven domains, there is a discernible demand for soft skills, such as critical and analytical thinking, problem-solving, communication.

Definition of Terms

Soft skills refer to a cluster of personal attributes, social graces, communication abilities, language skills, personal habits, friendliness, and optimism that characterize relationships with other people. Soft skills complement hard skills, which are the technical requirements of a job. Education refers to the process of receiving or giving systematic instruction, especially at a school or university.

Upbringing refers to the care and training given to a child by its parents or other caregivers during childhood.

Creative upbringing is a type of education aimed at revealing the creative potential of students, developing their own thinking, the ability to come up with new ideas, and the skills to find original solutions.

STEM education is an innovative teaching area that combines the content of education in these four areas on the basis of interdisciplinary communication and engages students in research, design and engineering thinking.

Soft Skills is a universal set of skills that help an individual to act effectively in professional and everyday life. These include such qualities as creativity, critical thinking, communication,

teamwork, leadership, emotional intelligence, adaptability, time management. Methods for the formation of soft skills in the educational process were determined from the analysis of scientific papers (table 1).

Table 1. Methods for the formation of soft skills in the educational process (from the analysis of scientific papers)

The main methods of forming Soft Skills	Description
1	2
Project-Based Learning	Students perform projects that solve real problems. The skills of working with a team, decision-making, responsibility are developed.
Inquiry-Based Learning	Students ask questions and look for answers to those questions themselves. The ability to think critically, to be inquisitive, to analyze develops.
Role-playing games and business Games	Communication, negotiation, emotion management skills are developed.
Pitching	Students learn by defending their ideas. Leadership, presentation, and time management skills increase.
Digital platforms and STEM tools	Practical work through Arduino, Scratch, Tinkercad — develops creative and engineering thinking skills.
Participation in public projects	The development of responsibility and social relations through volunteering, school activity.

The framework presented in the first figure aims to improve education and training adapted to the demands of the labor market. The content of the study provides a clear guide for policymakers, educators, and employers to improve lifelong learning and skills development systems (Fig.1.).

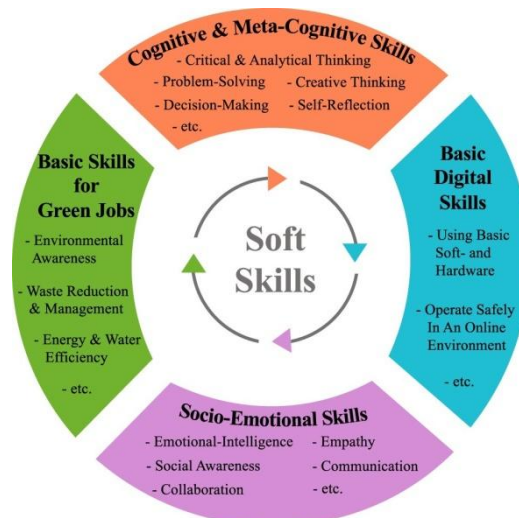


Figure 1. Soft skills framework [15]

The relationship between theory and practice

Combining creative education and STEM knowledge is a real way to combine theory and practice. In this model, students can not only memorize theoretical knowledge, but also apply it in real life situations, projects and models. Such approaches serve as the basis for educating a student not only in the role of a learner, but also in the role of a researcher, an innovative thinker and creator. By connecting theoretical knowledge with practice, the flexible skills of students are naturally formed.

Strategies for Integrating Education and Upbringing

Integrating education and upbringing requires a collaborative effort between educators, parents, and the community. Parent-teacher partnerships can ensure that students receive consistent messages and support for their soft skills development both at home and in school. Family involvement in educational activities, such as volunteering in the classroom or participating in school events, can strengthen the home-school connection and reinforce the importance of soft skills.

Community-based programs that offer extracurricular activities, mentorship opportunities, and skill-building workshops can provide additional support for students' soft skills development.

Assessment Methods

Evaluation methods for soft skills include peer evaluations, self-assessments, and feedback from instructors. Future studies should focus on the best way to evaluate soft skills growth. Measuring soft skills is challenging. Recent developments in psychosocial assessments have led to instruments that can reliably measure relevant social and emotional skills [16].

The scientific basis for the formation of flexible skills relies on modern educational theories aimed at holistic (holistic) development of the individual. In this context, the theory of cognitive development, socio-cultural theory, constructivism, humanistic orientation are of particular importance. The main scientific concept of creative education is to recognize the student not only as a learner, but also as a developer of personal potential through his active activity. In addition, international research aimed at developing skills of the XXI century scientifically substantiates the significance of this phenomenon. STEM education is theoretically aimed at the formation of analytical, creative and applied skills of the student through the interdisciplinary combination of Science, Technology, Engineering and mathematics. This is a global scientific and pedagogical trend that ensures the unity of theory and practice.

4. CONCLUSION

In the modern education system, the development of flexible skills of students is an important direction that fully meets modern requirements, contributes to the professional and personal formation of future generations. In this study, the scientific and methodological foundations of the formation of flexible skills of students, such as creative, critical thinking, communication, teamwork, through the integration of creative education and STEM knowledge, were differentiated and their role in the educational process was theoretically and practically substantiated. The results of the study show that creative education contributes to the development of students' own thinking, the ability to come up with ideas, and STEM education contributes to the development of practical skills, increasing the relationship of the content of learning with life. When these approaches are combined, the student's personality is fully

developed and the ability to adapt to the future social and professional environment increases. In conclusion, it is necessary to modernize the content and methodology of training for the systematic development of flexible skills, integrating education and knowledge. Teachers should be provided with creative tasks, research-based methods, and methodological support aimed at using STEM tools. The results of the study serve as the basis for the formation of specific methodological recommendations for educational organizations, increasing the efficiency of the educational process and the formation of the image of a modern student.

FUNDING

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant BR28713097).

REFERENCES

1. Noah, J. B., & Aziz, A. A. (2020). A Systematic review on soft skills development among university graduates. *Educatum Journal of Social Sciences*, 6(1), 53. <https://doi.org/10.37134/ejoss.vol6.1.6.2020>
2. Labzina, P. G., Dobrova, V. V., Menshenina, S. G., & Ageenko, N. (2019). Soft Skills Enhancement through Interdisciplinary Students Engagement. *Proceedings of the International Conference Communicative Strategies of Information Society (CSIS 2018)*. <https://doi.org/10.2991/csis-18.2019.69>
3. Ragonis, N., Hazzan, O., & Har-Shai, G. (2020). Students' Awareness and Embrace of Soft Skills by Learning and Practicing Teamwork. *Journal of Information Technology Education Innovations in Practice*, 19, 185. <https://doi.org/10.28945/4650>
4. Ritter, B., Small, E. E., Mortimer, J., & Doll, J. L. (2017). Designing Management Curriculum for Workplace Readiness: Developing Students' Soft Skills. *Organizational Behavior Teaching Review*, 42(1), 80. <https://doi.org/10.1177/1052562917703679>
5. Rao, M. S. (2018). Soft skills: toward a sanctimonious discipline. *On the Horizon The International Journal of Learning Futures*, 26(3), 215. <https://doi.org/10.1108/oth-06-2017-0034>
6. Putra, R. (2021). Soft Skill Development in Vocational Schools to Produce Competent Graduates Needed by the Business/Industry World. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx Journal)*, 3(1), 77. <https://doi.org/10.33258/birex.v3i1.1520>
7. Махметова, Д., & Унгарбаева, Ш. (2023). Психолого-педагогические основы развития гибких навыков в условиях профессионального образования. *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Педагогика. Психология. Социология*, 142(1), 361–378. <https://bulpedps.enu.kz/index.php/main/article/view/334>
8. Стамбекова, А., Нуржанова, С., & Сейітказы, П. (2023). Білім берудің цифрлық трансформациясы жағдайында болашақ бастауыш білім педагогтерінің «soft skills» дамыту жолдары. *Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Педагогика. Психология. Социология сериясы*, 145(4), 185–197. <https://bulpedps.enu.kz/index.php/main/article/view/505>
9. Бекболат М., Беркимбаев К., Ниязова Г. Икемді дағдылар – болашақ ақпараттық-коммуникациялық технологиялар мамандарының бәсекеге қабілеттілігін арттыру кепілі // Ясауи университетінің хабаршысы. –2022. –№3(125). –Б. 141–153. <https://doi.org/10.47526/2022-3/2664-0686.12>

10. Sardarova Zh.I, Adilshinova Z.U, Zhangozieva M.S. The importance of developing students' flexible skills and its psychological basis. *Bulletin of Abai KazNPU. Series of Psychology*. 63, 2 (May 2021). DOI:<https://doi.org/10.51889/2020-2.1728-7847.13>.
11. S.A.Tukebayeva & G.T.Abitova (2025). Features of the development of soft skills communication skills in preschool children. *Endless light in science*, (28 February PN2), 22-26.
12. Сырымбетова, Л.С., Шаймерденова, А.К., Абильдина, С.К., Созер, М.А. Сыныптан тыс жұмыс жағдайында оқушылардың икемді дағдыларын дамыту [Мәтін] // «Білім-Образование» ғылыми-педагогикалық журналы. – Астана: Ы. Алтынсарин атындағы ҰБА, 2025. – №1. – Б. 169-179.
13. Kain, C., Koschmieder, C., Matischek-Jauk, M., & Bergner, S. (2024). Mapping the landscape: A scoping review of 21st century skills literature in secondary education. *Teaching and Teacher Education*, 151, 104739. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104739>
14. Sugiyanto, S., Ahyani, N., & Kesumawati, N. (2021). Teacher professionalism in digital era. *JPGI (Jurnal Penelitian Guru Indonesia)*, 6(2), 586. <https://doi.org/10.29210/021093jpgi0005>
15. Aggarwal, A. (2021). *Global framework on core skills for life and work in the 21st century*. Geneva, Switzerland: ILO.
16. Skills for Social Progress. (2015). In *OECD skills studies*. Organization for Economic Cooperation and Development. <https://doi.org/10.1787/9789264226159-en>

ÇANAKKALE İLİ RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNİN KURULUM YERLERİNİN BELİRLENMESİNDE KÜMELEME ANALİZİ İLE KARAR VERME

Mehmet Burak BARTAN

Ankara Üniversitesi, mehmetburakbartan@gmail.com - ORCID ID: 0009-0001-1860-8917

Prof. Dr. Özlem TÜRKŞEN

Ankara Üniversitesi, turksen@ankara.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5592-1830

ÖZET

Ülkemizdeki enerji verimliliğini artırmak ve enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla doğada sınırsız olarak bulunan yenilebilir enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Rüzgar enerjisi, en önemli yenilebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar enerjisinin verimliliğini artırmak için rüzgar enerji santrallerinin kurulum yerlerinin optimal biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Ülkemizde en çok rüzgar alan yerleşim yeri olması nedeniyle Çanakkale ili ele alınarak Çanakkale’de rüzgar enerji santralleri (RES) optimal kurulum yerlerinin belirlenmesinde k-Ortalamlar Kümeleme Yöntemi uygulanmıştır. Çanakkale ili 4 km²’lik bölgelere bölünerek resmi kısıtlar ve literatürdeki kısıtlar dikkate alınıp ArcGIS programı ile uygun olan 157 adet grid belirlenmiştir. Çalışmada, öncelikli olarak belirlenen 7 farklı kriter ile Çanakkale ili üzerinde gösterilen 157 grid içeren veri seti, veri ön işleme çalışmaları ile analize hazır hale getirilmiştir. Python kütüphanesi kullanılarak yapılan Silhouette yöntemine göre optimal küme sayısı 7 olarak hesaplanmıştır. Mekansal nokta verilere uygulanan k-Ortalamlar Kümeleme Analizi ile 7 farklı kümede yer alan gridler R programı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen 7 farklı küme alanlarında RES kurulum yerlerinin belirlenmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri uygulanarak kümelerde yer alan gridlerin öncelik sıralamaları oluşturulmuştur. Buna göre, Çanakkale ili RES optimal kurulum yerlerinin belirlenmesinde kümeleme analizi ile optimal bölgeler belirlenip bu bölgelerdeki gridlere ÇKKV yöntemleri uygulanarak mekânsal noktalarda RES kurulum yerlerinin öncelik sıralamasının oluşturulabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mekânsal nokta veri, Kümeleme analizi, Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri, Rüzgâr Enerji Santrali (RES), RES optimal kurulum yeri

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları; sürdürülebilir olmaları, çevreye duyarlı enerji üretimi sağlamaları ve dışa bağımlılığı azaltmaları sebebiyle stratejik öneme sahiptir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacı her geçen gün artarken, bu ihtiyacın fosil kaynaklara bağımlı kalmadan karşılanması, ekonomik ve çevresel açıdan büyük avantajlar sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi, teknolojik olgunluğu, düşük işletme maliyetleri ve yüksek kurulum kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Buna göre kurulacak olan rüzgar elektrik santralleri çevreye olan etkisi oldukça düşük olup su tüketimi yapmazlar, hava kirliliği oluşturmazlar ve karbon salınımı neredeyse sıfıra yakındır. Ayrıca, rüzgar türbinleri modüler yapıları sayesinde farklı büyüklükte sahalara uygulanabilir. Ülkemiz rüzgar potansiyeli açısından Avrupa'nın en avantajlı ülkelerinden biridir. Rüzgar enerji santrallerindeki (RES) teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak; daha düşük rüzgar hızları ile atmosfer sıcaklıklarında ve zorlu iklim koşullarında verimli çalışabilecek türbinlerin kullanıma sunulması durumunda Türkiye'nin toplam rüzgar kapasitesinin 140.000–150.000 MW seviyelerine çıkabileceği öngörülmektedir [1]. Bu rüzgar potansiyeli, enerji arz güvenliğini sağlayabilecek potansiyeldedir. Buna göre, rüzgar elektrik santrali (RES) kurulacak bölgenin optimal biçimde belirlenmesi, bölgenin mekansal analizi oldukça önemlidir. Mekânsal veri analizi, üzerinde çalışılan sistem içinde her bir nesne veya veri değeri ile ilişkili olan mekansal referansları kullanan modeller ve yöntemler topluluğudur [2]. Enerji nakil hattına yakınlık, rüzgar kapasitesi, rüzgar hızı, eğim gibi kriterler, rüzgar türbini yer seçimi çalışmalarında kullanılabilecek mekansal verilere örnektir. Mekansal veriler vektör ve raster olarak iki türde ifade edilmektedir. Vektör veriler: nokta, çizgi ve poligon olarak sınıflanırken raster veriler hücre tabanlı olup sürekli değişkenlerin modellenmesine yardımcı olmaktadır. Raster hücre tabanlı olduğu için grid yapısı sayesinde, çalışma alanları eşit gridlere bölünerek işlenmesini mümkün kılmaktadır [3]. Eşit boyutlu gridler, benzer özellikler taşıyan alanların tespiti amacıyla kümeleme analizi kullanılabilmektedir. Kümeleme, rüzgar kapasitesi gibi teknik özellikler gösteren bölgelerin gruplanmasına olanak tanır [4]. Karar vericiler herhangi bir özniteliğinden dolayı bir küme seçimi yapmak istediklerinde birden fazla alternatif ve kriterle karşılaşabilir. Bu problemlerde, birden fazla kriterlerin var olduğu ve kriterlerin birbiriyle çeliştiği karar problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanır [5]. Bu yöntemler karar problemlerinde karar vericiye alternatiflerin sıralamasını sunar ve karar vericinin karar sırasını belirler.

Bu çalışmada, rüzgar potansiyelinin yüksek olması bakımından Ülkemizde RES kurulacak bölgelerden biri olan Çanakkale ilinde RES kurulumunun mekansal analizi ve istatistiksel kümeleme yaklaşımı ile optimal kurulum yerlerinin belirlenmesi konusu ele alınmıştır.

2. RES OPTİMAL KURULUM YERİ İÇİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

Bu çalışmada, Çanakkale RES optimal kurulum yerlerinin belirlenmesi için mekânsal nokta veri ve ilgili noktalarda ölçülen özelliklere ait verilerin birlikte analizinde çeşitli istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu yöntemler, Kümeleme Analizi ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV) ve olmak üzere iki temel başlıkta özetlenmiştir.

2.1. Kümeleme Analizi

Kümeleme, verileri homojen gözlem gruplarına ayırmak için uygulanan algoritmik modelleme yöntemidir. Birbirine benzer ya da yakın olan noktaları belirleyerek bilgi etmek amaçlanır. Uzaklık tabanlı, yoğunluk tabanlı ve model tabanlı olmak üzere kümeleme yöntemleri üç ana başlıkta değerlendirilebilir [6]. Bu çalışmada, uzaklık tabanlı hiyerarşik olmayan bir kümeleme yöntemi olarak kabul edilen k-Ortalamlar Kümeleme (k-Means Clustering) algoritması uygulanacaktır.

k-Ortalamlar algoritmasında, k küme sayısı belirlendikten sonra rasgele olarak küme merkezleri için değerler atanır ve veri noktalarının bu küme merkezlerine uzaklığı hesaplanarak kümeler oluşturulmaya çalışılır. Veri noktaları net bir biçimde ayrışana kadar bu süreç iteratif olarak tekrar eder ve her defasında yeni küme merkezi değerleri ile bu hesaplamalar yapılır [7]. k-Ortalamlar algoritmasının en önemli hiperparametresi k küme sayısıdır. Optimal küme sayısının belirlenmesi için literatürde tanımlı çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada, Silhouette Yöntemi ile optimal k küme sayısı belirlenecektir.

Silhouette Yöntemi, veri noktalarının gerçek ya da beklenen grup etiketleri bulunmadığında kullanılır. Silhouette skoru, kümelemenin ne kadar iyi yapıldığını ölçen bir gösterge olup -1 ile 1 arasında değer almaktadır. Bu skor değerinin 1'e yakın olması verinin güvenli biçimde k sayıda kümeye ayrıldığını gösterir.

Bu çalışmada, alternatif olarak değerlendirilen mekânsal noktalardaki RES kurulum yerleri için belirlenen kriterlere ilişkin ölçeklendirilmiş veriler dikkate alınarak k-Ortalamalar kümeleme algoritmasıyla Silhouette skoru hesaplanarak optimal k küme sayısı belirlenmiştir. Belirlenen küme sayısında mekânsal nokta veri kümelerine ayrılarak Çanakkale il sınırları içinde RES kurulumu yapılacak bölgeler belirlenmiştir. Öncelikli olarak tercih edilmesi istenilen bölge için nokta verilerdeki kriter değerlerine göre ÇKKV yöntemleri uygulanmıştır.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

ÇKKV yöntemleri, birbiriyle çelişen ve farklı önem derecelerine sahip kriterleri dikkate alarak alternatifleri objektif şekilde değerlendirmeye olanak tanıyan yöntemler bütünüdür [8]. ÇKKV, karar vericilere sayısallaştırılmış ve şeffaf analiz süreçleri sunar. Özellikle maliyet, çevresel etki, verimlilik, sosyal kabul gibi faktörlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesinde etkindir [9]. Bu sebeple RES yer seçimi için ÇKKV yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. RES yatırımları sadece teknik bakış açısından değil, çevresel faktörler, fizibilite, kanuni kısıtlar ve toplumsal kabul boyutlarını da içermektedir. ÇKKV yöntemleri, bu çok ölçütlü kriterleri ele alarak karar vericilere sistemli ve şeffaf bir değerlendirme imkanı sunmaktadır [10].

Bu çalışmada, RES kurulumuna ilişkin oluşturulan veri setinden yararlanılarak kriterlerin minimum ya da maksimum yapılması istemleri dikkate alınıp karar matrisi tasarlanmıştır. Alternatiflerin kümeler olduğu karar matrisine ÇKKV yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan ÇKKV yöntemleri, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), COPRAS (COmplex PROportional ASsessment), EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution), CODAS (COmbinative Distance-based ASsessment), MABAC (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ve ARAS (Additive Ratio ASsessment)'tır. Bu yöntemler, fen sağlık, sosyal gibi alanlarda karşılaşılan karar verme problemlerinde objektif bakış açısı sağlayarak karar vermeye yardımcı olan matematiksel hesaplamalara dayanır [11]. ÇKKV yöntemleri farklı hesaplama stratejileri içerdiğinden elde edilecek olan sıralama sonuçları da her bir yöntem için farklı olacaktır. Bu nedenle, çalışmada, uzlaşık sıralama elde etmek amacıyla Copeland Yöntemi uygulanmıştır [12]. Kriterlerin ağırlık değerleri subjektif

olarak uzman görüşüne göre belirlenmiştir. Her biri farklı sıralama dinamiğine sahip olan yöntemlerde ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi uygulanarak skor değerleri hesaplanıp öncelikle RES kurulumu yapılabilecek uygun bölge belirlenmiştir. Belirlenen uygun bölgedeki gridlere tekrar ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi uygulanıp RES kurulumu için gridlerin sıralaması elde edilmiştir.

3. UYGULAMA

Ülkemizde rüzgar potansiyeli yüksek illerden biri olan Çanakkale ili Görsel 1’de verilen haritada görülmektedir. Görsel 1’de sarı boyalı olarak belirtilen ilimizde RES optimal kurulum yerlerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle uygun veri kaynaklarından konuya ilişkin veriler elde edilip veri ön işleme aşaması gerçekleştirilmiştir.



Görsel 1. Türkiye Haritası’nda Çanakkale İli

Çizelge 1’de, RES kurulumu istenen bölgede mekansal karakteristik özellikler ve bu özelliklerin elde edildiği veri kaynakları güncellenme tarihleri ile belirtilmiştir.

Çizelge 1. Mekansal Karakteristik Özellikler ve Veri Kaynakları

Karakteristik Özellikler	Veri Kaynağı (Güncellenme Tarihi)
Korunan Alanlar	Corine Arazi (2018)
Yerleşim Yerleri	Open Street Map (2018)
Karayolları	Open Street Map (2019)
Maden Sahaları	Maden Tetkik Arama (2024)
Havalimanları	Corine Arazi (2018)
Fay Hatları	Maden Tetkik Arama (2024)
Eğim	Corine Arazi (2018)
Enerji Nakil Hatları	Open Street Map (2018)
Rüzgar Kapasitesi	Global Wind Atlas (2020)
Rüzgar Hızı	Global Wind Atlas (2020)
Akarsu, Göl Deniz	Corine Arazi (2018)

Çizelge 1’de görülen karakteristik özellikler dikkate alınarak RES kurulumu yapılmayacak alanlar elenip kurulum yapılacak alanların belirlenmesi sağlanmıştır. Buna göre, REPA [13]’dan alınan elde edilen bilgiler doğrultusunda RES kurulumu yapılamayacak alanlar için belirlenen kısıtlar

- Korunan Alanlar < 1000 m
- Yerleşim Yerleri < 500 m
- Karayolları < 100 m
- Maden Sahaları < 100 m
- Havalimanları < 3000 m
- Fay Hatları < 200 m
- Eğim > %13
- Enerji Nakil Hatları > 3500 m
- Rüzgar hızı < 7 m/s
- Kapasite faktörü < 0.35
- Akarsu, Göl Deniz < 500 m

biçiminde tanımlanmıştır. ArcGIS programı kullanılarak Çanakkale ili 4 km²’lik gridlere bölünmüştür. Çanakkale ili gridleri ve tanımlanan kısıtlar dikkate alındığında RES kurulumu için seçilen 157 adet aday grid sırasıyla, Görsel 2.(a)’da ve Görsel 2.(b)’de görülmektedir.



Görsel 2. Çanakkale ilinde (a)Gridler ve (b) RES kurulumu için seçilen aday gridler

Görsel 2.(b)'de görülen aday gridler analizler için oluşturulacak karar matrisinde alternatifler olarak değerlendirilmiştir. Karar matrisindeki kriterler için Çizelge 1'de tanımlanan karakteristik özelliklerden yararlanılmıştır. Buna göre, karar matrisi için tanımlanan kriterler, kriter türleri ve uzman görüşü ile kriter önemlerine göre subjektif olarak belirlenmiş kriter ağırlıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Karar matrisi için tanımlanan kriterler, türleri ve ağırlıklar

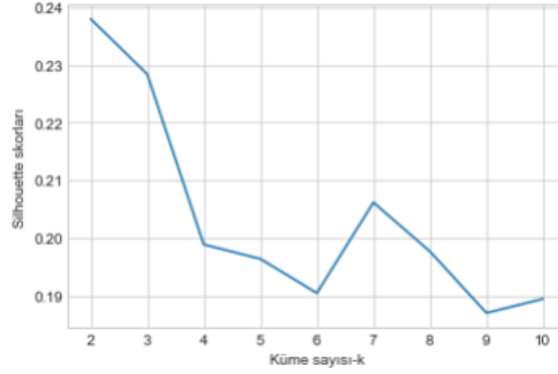
Kriterler	Kriter Adı	Kriter Türü	Kriter Ağırlıkları
K1	Eğim (%)	min	0,09
K2	Akarsuya Uzaklık (m)	min	0,03
K3	Rüzgar Kapasitesi (%)	max	0,26
K4	Rüzgar Yoğunluğu (kg/m ³)	max	0,17
K5	Rüzgar Hızı (m/s)	max	0,11
K6	IEC Class	min	0,20
K7	Enerji Nakil Hattına Uzaklık (m)	min	0,14

Ön işlemesi yapılmış veri seti Çizelge 3'te görülmektedir. Çizelge 3'te, 157 alternatiftan ve 7 kriterden oluşan karar matrisi, x (Longitude) ve y (Latitude) koordinat değerleri ile her bir aday gridin veri setinde tanımlı olduğu grid numaraları (Grid No) yer almaktadır.

Çizelge 3. Karar matrisi ve koordinat değerleri (x ve y) ile grid numaraları

No	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	x (Longitude)	y (Latitude)	Grid No
1	11.987	10801.982	0.512	579.401	8.046	6	11097.400	26.874	40.744	1
2	12.528	7422.952	0.486	612.494	7.911	2	8859.760	26.803	40.726	4
3	10.857	8463.468	0.472	586.718	7.920	6	9121.230	26.827	40.726	5
4	10.314	9179.920	0.463	544.349	7.737	8	6809.740	26.850	40.726	6
5	11.072	10263.462	0.442	475.277	7.436	6	7910.560	26.874	40.726	7
6	9.536	10696.447	0.454	484.649	7.524	5	7457.220	26.898	40.727	8
7	11.569	6158.077	0.422	413.034	7.204	6	6204.420	26.756	40.708	13
8	4.516	8671.539	0.433	484.672	6.971	6	5232.400	26.874	40.708	18
9	4.901	2347.344	0.387	407.247	6.787	3	3740.390	27.016	40.708	24
10	11.854	6639.291	0.492	591.436	8.076	6	12333.800	26.732	40.690	25
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
153	12.353	6855.454	0.519	835.578	8.822	5	20055.199	26.364	39.536	2656
154	11.777	4589.960	0.522	717.534	8.574	6	13901.700	26.364	39.518	2680
155	7.530	3645.391	0.460	633.831	7.914	9	14930.800	26.155	39.517	2671
156	8.520	8210.770	0.498	900.029	8.840	0	10104.700	26.295	39.518	2677
157	8.611	4589.960	0.493	640.600	8.078	2	28316.900	26.109	39.498	2689

Çizelge 3 dikkatle incelendiğinde, K1, K2, ... , K7 kriterlerine ilişkin verilerin farklı ölçekte ve nicelikte olduğu açıkça görülmektedir. Kümeleme analizi sonuçlarının güvenilir olması için 157x7 lik karar matrisinin ölçek biriminden bağımsız hale getirilmesi gerekir. Bu amaçla, min-max ölçekleme yapıp optimal küme sayısının belirlenmesi için k-Ortalamlar Kümeleme algoritması uygulanmıştır. Görsel 3'te, Python programı kullanılarak yapılan hesaplamalardan küme sayısına göre Silhouette yöntemi skor değerleri görülmektedir. Görsel 3'ten, optimal küme sayısının 7 olduğu anlaşılmaktadır.



Görsel 3. Küme sayısına göre elde edilen Silhouette skorları

Çizelge 3’te yer alan x (Longitude) ve y (Latitude) koordinat değerleri kullanılarak optimal küme sayısı $k=7$ alınıp k -Ortalamalar Kümeleme algoritması ile elde edilen kümeler Görsel 4’te poligonlar biçimdedir. Görsel 4’ten kümelerdeki grid sayılarının birbirinden farklı olduğu açıkça görülmektedir.



Görsel 4. Kümeler ve kümelerde yer alan gridler

Görsel 4’te kümelenmiş poligonlar içinde yer alan mekânsal noktaların kriter değerlerinin ortalamaları dikkate alınarak oluşturulan ortalama kriter değerleri için 7×7 ’lik karar matrisi Çizelge 4’te yer almaktadır.

Çizelge 4. Kümelerdeki gridlerin kriter değerlerinin ortalamaları ile oluşturulan karar matrisi

Küme No	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
1	9.190	6833.419	0.532	797.043	8.805	4.200	14692.637
2	6.293	2326.790	0.556	696.380	8.726	3.667	11747.717
3	8.085	6979.526	0.431	477.810	7.283	4.867	8524.487
4	8.954	11021.429	0.518	688.974	8.440	4.118	8645.494
5	10.892	10769.970	0.494	666.462	8.203	5.854	9003.189
6	10.087	7826.322	0.435	545.498	7.512	6.483	7702.456
7	7.986	6822.523	0.551	631.769	8.452	6.471	8072.727

Çizelge 5’te verilen karar matrisine Python PyDecision kütüphanesi kullanılarak ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi uygulanarak elde edilen skor değerleri ve Copeland sıralamaları sırasıyla, Görsel 5’te ve Görsel 6’da görülmektedir.

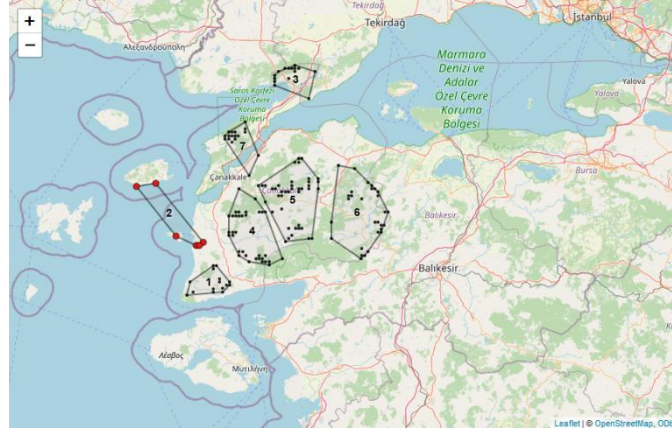
	TOPSIS	COPRAS	EDAS	CODAS	MABAC	VIKOR	ARAS	CopelandScore
1. Küme	0.671	1.000	0.569	0.307	0.191	0.295	0.832	20
2. Küme	0.796	0.886	0.898	1.019	0.351	0.005	0.931	40
3. Küme	0.342	0.791	0.286	-0.624	-0.202	0.936	0.740	-34
4. Küme	0.716	0.894	0.701	0.373	0.195	0.123	0.848	28
5. Küme	0.474	0.958	0.310	-0.497	-0.052	0.529	0.758	-10
6. Küme	0.285	0.880	0.098	-0.699	-0.283	0.980	0.715	-46
7. Küme	0.583	0.948	0.506	0.121	0.111	0.521	0.805	2

Görsel 5. ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi skorları

	TOPSIS	COPRAS	EDAS	CODAS	MABAC	VIKOR	ARAS	COPELAND
2. Küme	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
4. Küme	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2
1. Küme	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3
7. Küme	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4
5. Küme	5.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5
3. Küme	6.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6
6. Küme	7.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7

Görsel 6. ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi sıralamaları

Görsel 6'daki sıralama değerlerine dikkatle bakıldığında COPRAS dışındaki bütün ÇKKV yöntemlerinin kümeler için aynı sıralama sonucunu gösterdiği anlaşılmaktadır. Copeland sıralama değerlerinden 2.Küme'nin RES kurulumu yapılması amacıyla belirlenen ilk bölge olduğu görülmektedir. 6 gridden oluşan 2.Küme elemanları Görsel 7'de kırmızı renkle belirtilmiştir.



Görsel 7. 2.Küme ve küme gridleri

Çizelge 4'te verilen kümelerle ayrı ayrı ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi uygulandığında her bir küme için elde edilecek olan ilk sıra gridleri Görsel 8'de kırmızı renkle ve grid numarası belirtilerek gösterilmiştir.



Görsel 8. Kümelerde yer alan ilk Copeland sırasındaki RES kurulum yerleri

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çanakkale ili 4km²'lik gridlere bölünmüş ve RES kurulumu için uygun sahaların belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürde olan ölçütler ve yasal zorunlu olan kısıtlar ArcGIS programında analiz edilerek gridler elenmiştir. Analiz sonucunda RES kurulumu için 157 uygun grid bulunmuştur. Elde edilen 157 adet mekansal nokta verilerin birimleri farklı olduğu için ölçeklendirme yapılmıştır. Belirlenen kriterlere ilişkin ölçeklendirilmiş veriler dikkate alınarak k-Ortalamalar kümeleme algoritmasıyla Silhouette skoru hesaplanarak optimal 7 küme sayısı belirlenmiştir.

Belirlenen 7 küme, ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmiş ve kümeler arasındaki öncelikli sıralamalar Copeland yöntemi ile oluşturulmuştur. Çalışmada 7 kriter ve 7 alternatiften oluşan karar matrisi kullanılmıştır. ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi uygulanmış, 2. Kümenin ilk sırada, 4. Kümenin ise ikinci sırada yer aldığı görülmüştür. Bu sonuçlar ise karar matrisinde kullanılan subjektif ağırlıklandırma ile doğrudan ilişkilidir. En yüksek ağırlığa sahip olan iki kriter ele alındığında rüzgar kapasite faktörü (%26 ağırlık) deniz seviyesine yaklaştıkça artar ve IEC Class kriteri (%20 ağırlık) deniz seviyesine yaklaştıkça düşeceğinden 2. Kümenin öncelikli küme çıkmasında özellikle bu ağırlıklar etkili olmuştur. Başka bir bakış açısı ile 7 kümenin içindeki elemanlara ÇKKV yöntemleri ve Copeland yöntemi uygulanmıştır. Karar vericinin bölge seçimi veya her bölgeden bir grid seçimine göre değerlendirilmesi mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışma, literatüre RES kurulum yerleri seçimi için bir bakış açısı sunmakta ve karar verme süreçlerine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Ağırlıklandırma sürecinde öznel yöntemlerin dışında, nesnel yöntemlerin kullanılması, gelecekte yapılacak olan çalışmaların sonuçlarının daha güvenilir olmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Rüzgar, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar> (Erişim tarihi: 13.08.2025).
- [2] Bartan, M. B., Cankurtaran, G. A. ve Türkşen, Ö., Mekânsal Nokta Verilerin Mekânsal İstatistiklerle Analizi: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Uygulaması, *International Journal of Advanced Engineering and Pure Sciences (UYİK 2024 Özel Sayı)*, 37, 40–49, 2025. DOI: 10.7240/jeps.1527355.
- [3] Li, J. ve Heap, A. D., Spatial Interpolation Methods Applied in the Environmental Sciences: A Review, *Environmental Modelling & Software*, 53, 173–189, 2014.
- [4] Jain, A. K., Data Clustering: 50 Years Beyond K-Means, *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666, 2010.
- [5] Aktaş, H., Oral, M. ve Güner, E., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Enerji Yatırımlarının Değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 17(1), 59–74, 2015.
- [6] Türkşen, Ö., *Veri Analizi ve Madenciliği*, Ankara Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Yayını, Ankara, 2024.
- [7] Altunkaynak, B., *Veri Madenciliği ve R Uygulamaları*, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2022.
- [8] Demir, G., Özyalçın, T. ve Bircan, H., *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı ile Problem Çözümü*, Nobel Yayıncılık, Ankara, 2021.
- [9] Sovacool, B. K. ve Dworkin, M. H., *Global Energy Justice: Problems, Principles, and Practices*, Cambridge University Press, Cambridge, 2014.
- [10] Pohekar, S. D. ve Ramachandran, M., Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning—A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365–381, 2004.
- [11] Özçalıcı, M., *MATLAB ile Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2021.
- [12] Copeland, A. H., *A ‘Reasonable’ Social Welfare Function*, Notes from a Seminar on Applications of Mathematics to the Social Sciences, University of Michigan, 1951.
- [13] REPA, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı & Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 2007.

İNCE AGREGA ORANININ POROZ BETONLARIN BASINÇ DAYANIMI VE HİDROLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Dr. DEMET YAVUZ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, demetyavuz@yyu.edu.tr - 0000-0002-1330-1860

ÖZET

Poroz betonlar boşluklu yapıları sayesinde kaplama üzerinde su birikmeden hızlı ve etkili bir biçimde suyu bir alt kapmana aktarmaktadır. Bu hızlı drene etme yeteneği özellikle yoğun yağış alınan dönemlerde suların kaplama üzerinde birikerek göllenmesine mani olmakta ve hem yaya hem de taşıt güvenliğini sağlamaktadır. Poroz beton kullanılarak üretilen yol ve kaldırımlar taşkın ve sel sularını hızlı bir şekilde drene etmelerine ek olarak boşluklarında kirletici partikülleri tutabildikleri için kirli suları nispeten arıtarak yeraltı sularını beslemektedir. Bu poroz beton son yıllarda araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olarak öne çıkmaktadır. Ancak poroz betonların yüksek boşluk yapıları nedeniyle geleneksel betona kıyasla daha düşük basınç dayanımına sahiptirler. Düşük basınç dayanımı poroz betonların yaygın kullanımı önündeki en büyük engel olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada poroz betonların basınç dayanımını iyileştirmek için ince agreganın kullanımının etkisi incelenmiştir. Kontrol numunesi ince agreganın kullanılmadan %100 oranında 8-20 mm tane aralığındaki iri kireçtaşı agregası ile üretilmiştir. Daha sonra ince agregalar iri agregaya ile %5 ve %10 oranlarında ikame edilerek karışıma eklenmiştir. Örneklerin basınç ve yarmada çekme dayanımları, porozite ve su geçirimsizlik katsayıları belirlenmiştir. İnce agreganın kullanılarak üretilen poroz betonlar daha yüksek basınç dayanımı gösterirken, porozite ve su geçirimsizlik katsayıları ise azalmıştır.

Anahtar Kelimeler : Poroz beton, ince agreganın, basınç dayanımı.

EFFECT OF FINE AGGREGATE RATIO ON COMPRESSIVE STRENGTH AND HYDRAULIC PROPERTIES OF POROUS CONCRETE

Dr. DEMET YAVUZ

Van Yüzüncü Yıl University, demetyavuz@yyu.edu.tr - 0000-0002-1330-1860

ABSTRACT

Thanks to their porous structure, porous concrete quickly and effectively transfers water to the bottom layer without accumulating on the pavement. This rapid drainage ability prevents water accumulation and ponding on the pavement, particularly during periods of heavy rainfall, ensuring both pedestrian and vehicle safety. Roads and pavements constructed using porous concrete not only quickly drain floodwaters but also retain pollutant particles within their pores, thus purifying the polluted water and recharging groundwater. This porous concrete has attracted considerable research interest in recent years. However, due to the high porosity of porous concrete, it has lower compressive strength compared to conventional concrete. This low compressive strength is a significant obstacle to the widespread use of porous concrete. This study investigated the effect of using fine aggregate to improve the compressive strength of porous concrete. The control sample was produced with 100% coarse limestone aggregate with a grain size of 8-20 mm, without the use of fine aggregate. Fine aggregates were then added to the mixture, replacing coarse aggregates at 5% and 10%. The compressive and tensile splitting strengths, porosity, and water permeability coefficients of the samples were determined. Porous concretes produced using fine aggregate exhibited higher compressive strength, while porosity and water permeability coefficients decreased.

Keywords : Plastic waste, compressive strength, penetration of water under pressure.

1. INTRODUCTION

Porous concrete is a special type of concrete that can be produced with local materials and has high porosity. Their porosity generally ranges from 15% to 35%. Typically produced with low water/cement (w/c) ratios (~ 0.35), these concretes also have very low workability. Furthermore, these concretes have lower mechanical properties compared to conventional concrete [1].

Despite the disadvantages mentioned above, porous concrete stands out as an essential means of draining rainwater because it can quickly transfer water to the substratum. Thanks to its high porosity, porous concrete can drain water quickly, preventing it from accumulating on the substratum. It also plays an effective role in water purification by trapping pollutant particles carried by floodwaters within its pores. This allows for rapid and adequate drainage of floodwaters, while also purifying wastewater and recharging groundwater. However, it should be noted that porous concrete that has not been maintained for a long time will lose its water permeability over time due to the accumulation of pollutant particles within the concrete. Therefore, researchers have stated that porous concrete should be maintained at regular intervals to clear clogged areas [2-6].

Researchers have reported that the properties of porous concrete change with the aggregate size used. Fu et al. [7] reported that the permeability coefficient of porous concrete increases as the aggregate size increases. Yu et al. [8] stated that increasing the aggregate size up to 7 mm increases compressive strength, but no significant increase was observed for sizes exceeding 7 mm. Cosic et al. [9] reported that using a higher amount of finer aggregate (4-8 mm) increases concrete density and flexural strength.

In this study, porous concretes were produced with limestone coarse aggregates in the 8-20 mm range at three different porosities (15%, 20%, and 25%), and these concretes were replaced with fine aggregates in the 0-4 mm range at 5% and 10% rates. The pressure, porosity, and water permeability coefficients of the samples were determined, and the effect of the use of fine aggregate on the properties of the porous concretes was investigated.

2. MATERIALS and METHOD

CEM I 42.5R cement was used in the experimental study. Table 1 gives the chemical, mechanical, and physical properties of the cement. 8-20 mm coarse limestone aggregate and 0-4 mm fine aggregates are used in this study. The physical properties of crushed limestone aggregates are shown in Table 2.

Table 1: Chemical composition, physical and mechanical properties of cement

Chemical Composition	(%)
SiO ₂	19.32
Al ₂ O ₃	5.21
Fe ₂ O ₃	1.95
CaO	63.02
MgO	2.02
Na ₂ O	0.36
K ₂ O	0.83

SO ₃	3.12
Loss on ignition	3.67
Cl	0.0092
Insoluble residue	0.67
Free CaO	0.99
Physical Properties	
Specific gravity	3.11
Blaine specific surface (cm ² /g)	3130
Initial setting time (min)	165
Final setting time (min)	210
Mechanical Properties	
Compressive strength (MPa)	
1-day	-
2-day	24
7-day	-
28-day	-

Table 2: Physical properties of coarse and fine aggregates

Properties of aggregates	Crushed limestone aggregate	
	0-4 mm	8-20 mm
Dry rodded unit weight (kg/m ³)	1884	1570
Saturated surface dry specific gravity	2.66	2.72
Water absorption capacity (%)	0.92	0.21

The w/c ratio was held constant at 0.31 throughout the study. No plasticizer was used in the study, where the cement dosage was set at 370. A highly viscous mixture was obtained, and the slump value varied between 0 and 2 mm for all mixtures. The mixing ratios determined in the study, which used three different porosities (13%, 20%, and 25%) and two different fine aggregate ratios by weight, are listed in Table 3.

Table 3. The mix design of the concrete mixes

Mix	Porosity (%)	W/C ratio	Material, kg/m ³			
			Cement	Water	Crushed limestone aggregate	
					0-5 mm	8-20 mm
A0	15	0.31	370	114.7	-	1681
A1	15	0.31	370	114.7	84	1597
A2	15	0.31	370	114.7	168	1513
A3	20	0.31	370	114.7	-	1544
A4	20	0.31	370	114.7	77	1467
A5	20	0.31	370	114.7	154	1390
A6	25	0.31	370	114.7	-	1408
A7	25	0.31	370	114.7	70	1338
A8	25	0.31	370	114.7	141	1267

Cement and aggregates were added to the mixer and mixed for 1 minute. Water was then added to the mixture, and mixing continued for another minute. The mixture was then compacted and placed in the molds in three stages. The compaction process, performed using a standard rod, was performed 25 times at each stage. The samples were kept in the molds for one day and then subjected to a standard water cure. After a total of 28 days of curing, the samples were subjected to the relevant tests.

Compressive strength tests were conducted on $150 \times 150 \times 150$ mm cube specimens. The splitting tensile tests were carried out with 100×200 mm cylinder specimens. The tests were performed following EN 12390-3 and EN 12390-6 [11,12]

Porosity values were established by weighing the samples after they had been exposed to air and then immersed in water for 24 hours. Afterward, the porosity values were computed using Equation 1 [12].

$$P = \left[1 - \frac{m_h - m_s}{\rho_s \times V} \right] \quad (1)$$

Here, m_h refers to the specimen's weight when measured in air (g); m_s indicates the weight of the specimen while submerged in water (g); ρ_s denotes the density of water (g/cm^3); V signifies the volume of the sample (cm^3); and P represents the percentage of porosity (%).

The water permeability coefficient test was conducted using a decreasing water level test setup following Equation 2.

$$k = \frac{a \times l}{A \times t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (2)$$

Here, k denotes the water permeability coefficient measured in cm/s , a signifies the pipe's cross-sectional area expressed in cm^2 , l indicates the sample's length in mm, A represents the cross-sectional area of the sample noted in cm^2 , and t refers to the duration of water flow in seconds. The h_1 and h_2 values represent the initial and final water heights in the pipe, respectively, measured in cm [13].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The compression and splitting tensile strength test results are illustrated in Figures 1 and 2. Figure 1 shows that increasing the use of fine aggregate enhances the compressive strength of porous concrete. For all three porosity values evaluated in the study, substituting fine aggregate for coarse aggregate led to improved compressive strength. As expected, higher porosity resulted in a decrease in the concrete's compressive strength. The addition of fine aggregate filled some of the voids within the concrete, resulting in a denser structure. This, in turn, contributed to the increased compressive strength [14,15].

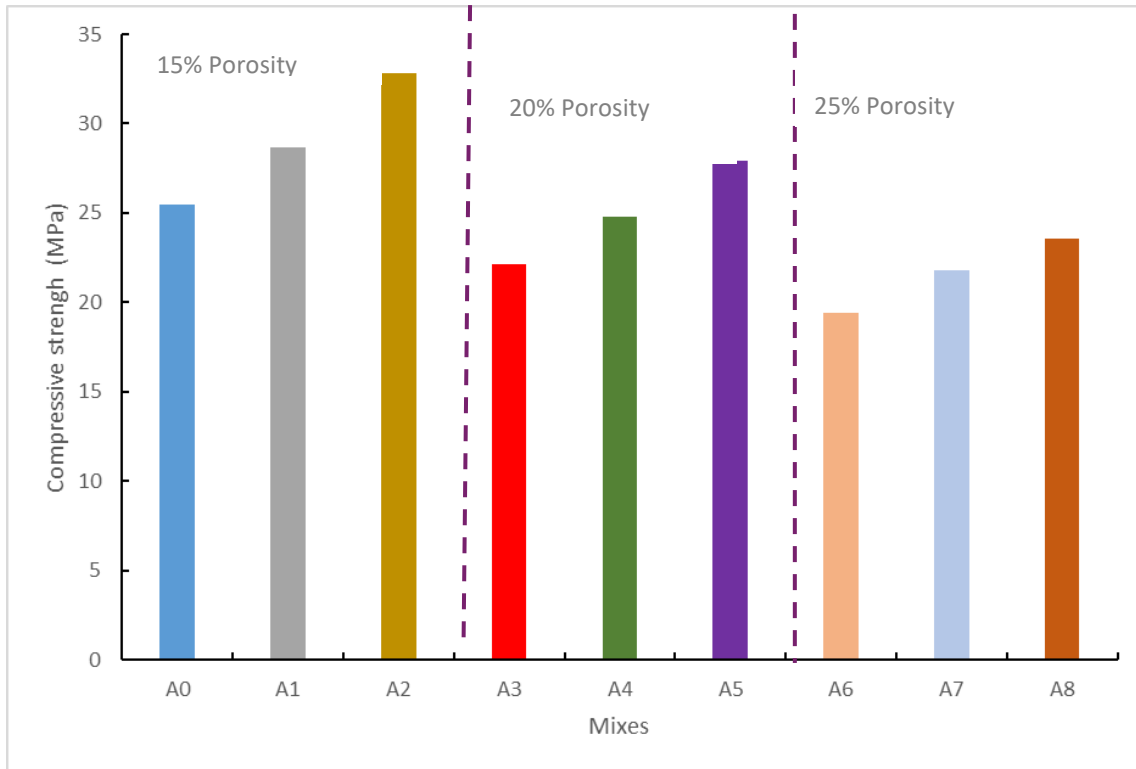


Figure 1. 28-day compressive strength test results

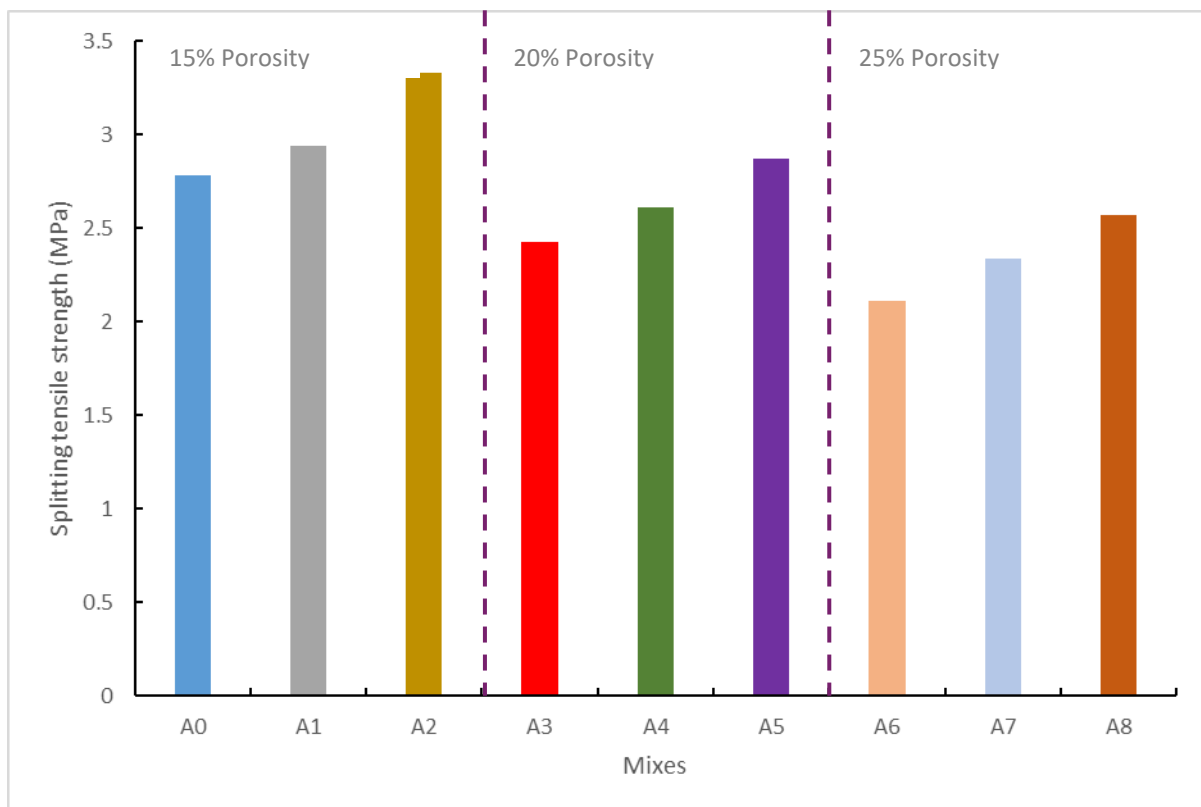


Figure 2. 28-day splitting tensile strength test results for all mixtures

An examination of Figure 2 reveals that the trend observed in compressive strength continues here. The use of fine aggregate instead of coarse aggregate also increased the tensile splitting strength of porous concrete. The highest splitting tensile strength for each porosity value was obtained in concretes containing 10% fine aggregate by weight. Similar to the compressive strength results, increasing concrete porosity also resulted in a decrease in tensile splitting strength.

The porosity values obtained are listed in Figure 3. The results show that substituting increasing amounts of fine aggregate for coarse aggregate by weight negatively affects the porosity of porous concrete. Mixtures containing the highest amounts of fine aggregate had the lowest porosity values [16,17].

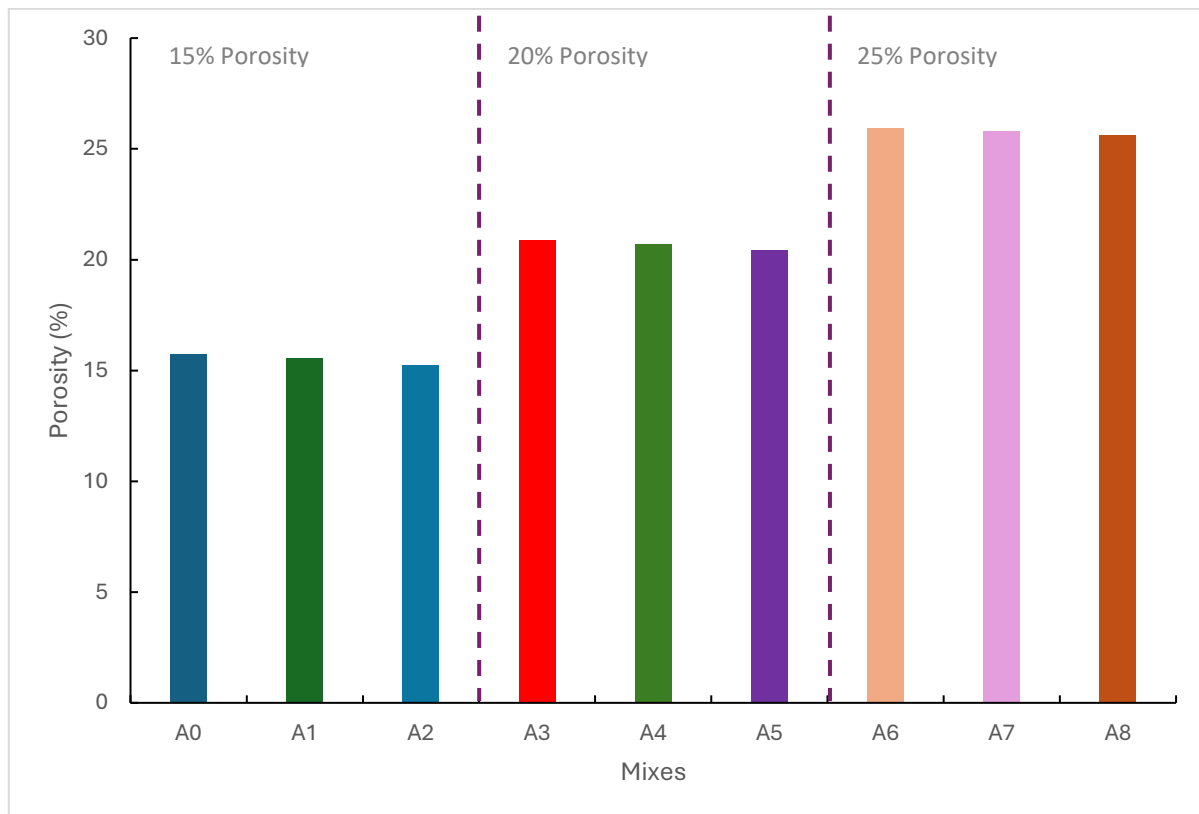


Figure 3. 28-day porosity results of mixes

The water permeability coefficient values obtained within the scope of the study are given in Figure 4. Similar to the porosity results, the use of increased fine aggregate caused the water permeability coefficient values of porous concrete to decrease.

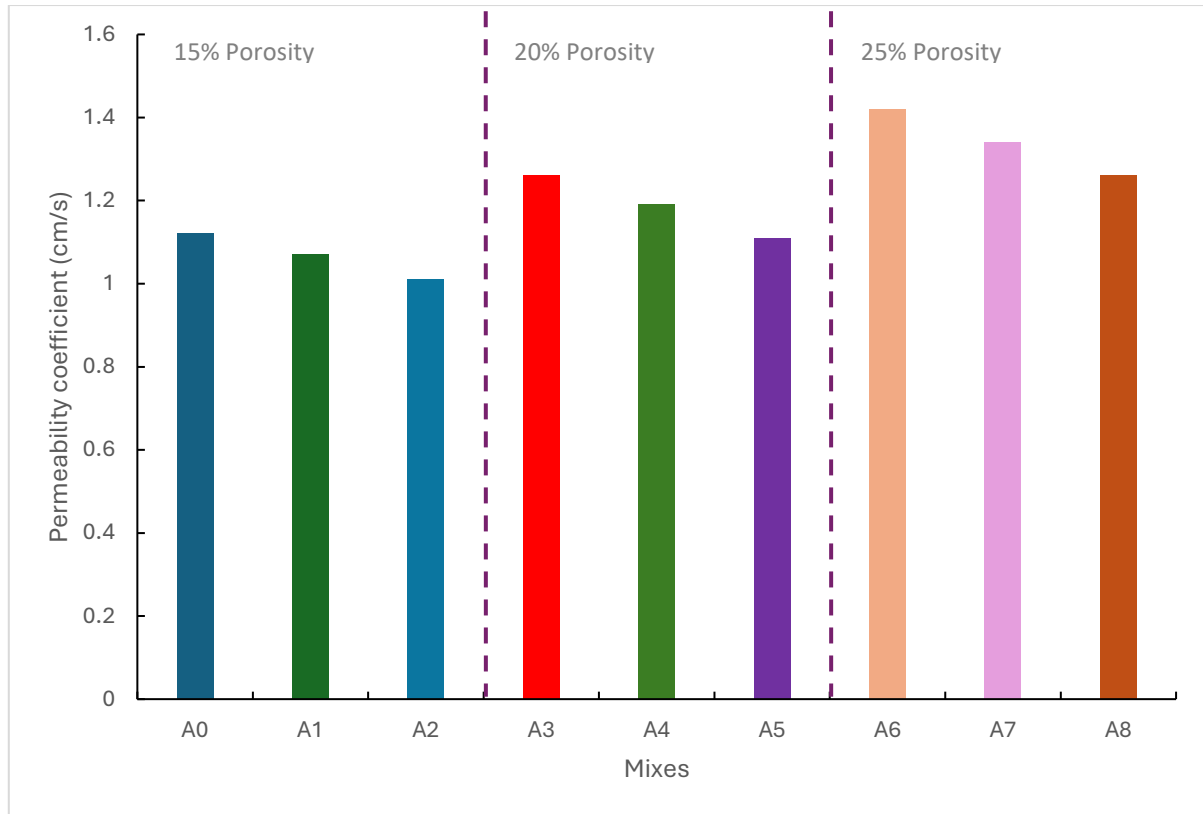


Figure 4. 28-day permeability coefficient results

4. CONCLUSIONS

The conclusions that can be made from this study are as follows:

- By using coarse aggregate instead of fine aggregate in porous concrete, compressive and splitting tensile strengths increase.
- There is a linear relationship between the porosity of porous concrete and the water permeability coefficient. As porosity increases, the water permeability coefficient also increases.
- The use of fine aggregate leads to a decrease in porosity and water permeability coefficients in porous concrete.

REFERENCES

- [1] ACI Committee 522. Report on Pervious Concrete-Pervious Concrete Mixture Proportioning; American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2010.
- [2] Zhuge, Y. (2020). A review of permeable concrete and its application to pavements. *Progress in Mechanics of Structures and Materials*, 601-607.
- [3] Mullaney, J., & Lucke, T. (2014). Practical review of pervious pavement designs. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 42(2), 111-124.
- [4] Hasan, M. R., Zain, M. F. M., Hamid, R., Kaish, A. B. M. A., & Nahar, S. (2017). A comprehensive study on sustainable photocatalytic pervious concrete for storm water pollution mitigation: a review. *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9773-9776.
- [5] Singh, A., Sampath, P. V., & Biligiri, K. P. (2020). A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. *Construction and Building Materials*, 261, 120491.
- [6] Cai, J., Chen, J. G., Shi, J., Tian, Q., Xu, G., & Du, Y. (2022). A novel approach to evaluate the clogging resistance of pervious concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00864.
- [7] Fu, T. C., Yeih, W., Chang, J. J., & Huang, R. (2014). The influence of aggregate size and binder material on the properties of pervious concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014(1), 963971.
- [8] Yu, F., Sun, D., Wang, J., & Hu, M. (2019). Influence of aggregate size on compressive strength of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 209, 463-475.
- [9] Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., & Netinger, I. (2015). Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 78, 69-76.
- [10] EN 12390-3, “Concrete testing-hardened concrete – Part 3: Compressive strength test samples”, Brussels: European Standard, 2010
- [11] EN 12390-6, “Concrete testing-hardened concrete – Part 3: split tensile strength test samples”, Brussels: European Standard, 2010
- [12] Shan, J., Zhang, Y., Wu, S., Lin, Z., Li, L., & Wu, Q. (2022). Pore characteristics of pervious concrete and their influence on permeability attributes. *Construction and Building Materials*, 327, 126874.
- [13] Yavuz, D., Akbulut, Z. F., & Guler, S. (2024). Porous concrete modification with silica fume and ground granulated blast furnace slag: Hydraulic and mechanical properties before and after freeze-thaw exposure. *Construction and Building Materials*, 447, 138099.
- [14] Anburuvel, A., & Subramaniam, D. N. (2023). Influence of aggregate gradation and compaction on compressive strength and porosity characteristics of pervious concrete. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2), 2055022.
- [15] Zhang, J., Sun, H., Shui, X., & Chen, W. (2023). Experimental investigation on the properties of sustainable pervious concrete with different aggregate gradation. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 17(1), 64.
- [16] Mahboub, K. C., Canler, J., Rathbone, R., Robl, T., & Davis, B. (2009). Pervious concrete: Compaction and aggregate gradation. *ACI Materials Journal*, 106(6), 523.
- [17] Yang, Z., Ma, W., Shen, W., & Zhou, M. (2008). The aggregate gradation for the porous concrete pervious road base material. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 23(3), 391-394.

EFFECT OF FIBER USE ON EARLY FLEXURAL STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS

Asst. Prof., Ömer Faruk KELEŞ

Erzincan Binali Yıldırım University, faruk.keles@erzincan.edu.tr - 0000-0001-6149-572X

Asst. Prof., Fatih İrfan BAŞ

Erzincan Binali Yıldırım University, fihas@erzincan.edu.tr - 0000-0002-0845-060X

ABSTRACT

In recent years, rigid pavements have become more popular than flexible pavements due to their high load-bearing capacity, durability, and longer service life. Roller-compacted concrete (RCC) pavements stand out due to their rapid production, high durability, and low cost compared to plain concrete pavements. RCC pavements exhibit low tensile and flexural strength behavior against high compressive strength. However, unlike plain concrete pavements, reinforcement cannot be used in RCC pavements. Fiber additives can be used to enhance the tensile and flexural strength of RCC pavements. The use of fibers in RCC pavements has been shown in numerous studies to increase flexural capacity and fatigue resistance, as well as reduce surface cracks and damage. In this study, the effect of using fibers of different types and ratios in roller-compacted concrete pavements on workability and early strength was investigated. Within this scope, SSB mixtures were prepared using two different fiber types (polypropylene and steel) at two ratios (0.5% and 1.0%) and subjected to various tests. The flexural strength at 1, 3, 7, and 28 days, compressive strength, unit weight, and ultrasonic pulse velocities (UPV) of the produced SSB samples were determined. Based on the test results, the behavioral changes of SSB pavement mixtures created by adding different types of fibers in fresh and hardened states were presented. Considering the flexural strengths, the 28-day results showed that the use of 1% polypropylene and steel fibers provided a 28% and 55% increase in strength, respectively. When examining the 28-day compressive strength results at a 1% fiber content, it was determined that polypropylene fiber reduced compressive strength by approximately 6% compared to the control samples, while steel fiber increased compressive strength by approximately 10%. When evaluated in terms of physical properties, the addition of polypropylene and steel fibers slightly reduced workability and UPV values. The addition of polypropylene fibers reduced the fresh unit weight of SSB mixtures by an average of approximately 0.5%, while the addition of steel fibers increased it by 2%.

Keywords: Roller Compacted Concrete Pavement, Fiber, Early Strength, UPV.

LİF KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLARDA ERKEN EĞİLME DAYANIMINA ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda, esnek kaplamalara kıyasla yüksek yük taşıma kapasitesi ve dayanıklılık ile daha uzun kullanım ömrüne sahip oldukları için rijit kaplamalar daha fazla tercih edilmektedir. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yollar, hızlı üretilibilmeleri, yüksek dayanıklılıkları ve geleneksel beton yollara göre düşük maliyetlerinden dolayı ön plana çıkmaktadır. SSB yollar, yüksek basınç dayanımına karşı düşük çekme ve eğilme dayanım davranışlarına sahiptir. Buna karşın SSB yollarda, geleneksel beton yollardaki gibi donatı kullanılamaz. SSB yolların çekme ve eğilme dayanımlarını geliştirmek amacıyla lif katkıları tercih edilebilmektedir. SSB yollarda lif kullanılması, eğilme kapasitesini ve yorulma direncini artırdığı, yüzey çatlakları ve bozulmalarını azalttığı birçok çalışmada ortaya konmuştur. Bu çalışmada farklı tip ve oranlarda liflerin silindirle sıkıştırılmış beton yollarda kullanımının işlenebilirlik ve erken dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda iki oranda (%0,5 ve %1,0), polipropilen ve çelik olmak üzere 2 farklı lif tipi kullanılarak oluşturulan SSB karışımlar çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Üretilen SSB numunelerin, 1, 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları, basınç dayanımı, birim ağırlık ve ultrasonik darbe hızları belirlenmiştir. Yapılan test sonuçlarına dayanarak, farklı tiplerdeki liflerin eklenmesiyle oluşturulan SSB yol karışımlarının taze ve sertleştirilmiş durumlardaki davranış değişimleri sunulmuştur. Eğilme dayanımları dikkate alındığında 28 günlük sonuçlar, %1 oranında polipropilen ve çelik lif kullanımında, sırasıyla %28 ve %55 oranında dayanım artışı sağlandığını göstermiştir. %1 oranında lif kullanımında, 28 günlük basınç dayanım sonuçları incelendiğinde, kontrol numunelerine kıyasla polipropilen lifin, basınç dayanımı yaklaşık olarak %6 azalttığı, çelik lifin ise basınç dayanımını yaklaşık %10 artırdığı belirlenmiştir. Fiziksel özellikler açısından değerlendirildiğinde polipropilen lif ve çelik lif ilavesinin artması işlenebilirlik ile UPV değerlerini az da olsa azaltmıştır. Polipropilen lif ilavesi SSB karışımların taze birim ağırlıklarını ortalama olarak yaklaşık %0,5 azaltırken, çelik lif ilavesi %2 artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol, Lif, Erken Dayanım, UPV.

1. INTRODUCTION

Roller compacted concrete (RCC) pavement is a special type of pavement concrete produced by roller compaction, containing a low water-cement ratio and low consistency. RCC

pavements are known for their cement savings, high strength, and early traffic opening properties. They exhibit low tensile and flexural strength behavior relative to their high compressive strength. Recent studies have shown that the use of fibers in RCC pavements improves properties such as fatigue, flexural strength, and fracture energy [1]. Numerous studies have been conducted to improve the tensile and flexural behavior of RCC pavement mixtures by adding fibers [2, 3, 4, 5].

RCC pavements transfer traffic loads without the use of reinforcement, through aggregate interlocking. The absence of reinforcement raises concerns for pavement engineers. To address these concerns, the use of fibers may emerge as an important material for enhancing flexural and tensile strength, as well as ductility [6]. Among the factors influencing the mechanical properties of fiber-reinforced concrete are fiber type, physical properties, aspect ratio, and fiber content [7].

Sukontasukkul et al. [8] conducted field studies by adding hook-tipped steel fibers at ratios of 0.5% and 1.0% to RCC pavement mixtures. It was found that the compressive strength decreased by up to 2% with increasing fiber ratio. It was determined that the flexural strength and toughness improved significantly with the addition of steel fibers. LaHucik et al. [9] observed changes in mechanical properties by adding different synthetic and steel fibers at ratios of 0.2% and 0.4% to RCC mixtures. Fiber reinforcement did not increase the flexural strength of RCC pavement mixtures but significantly increased the post-peak and residual strength capacity. Liang et al. [10] investigated the effect of multi-scale polypropylene fibers on the mechanical properties of RCC. The results showed that the addition of fibers increased the strength and toughness of RCC. Rooholamini et al. [11] examined the effect of macro-synthetic fibers on the mechanical properties of RCC pavement. In RCC samples containing 0-0.5% synthetic fibers, no significant change in compressive strength was observed, while the viscosity was found to decrease linearly. It was determined that the fibers significantly affect the fracture energy rather than the flexural strength. Abed et al. [12] examined the use of plastic fibers produced by cutting PET bottles in RCC production. The fibers were added to mixtures at a volume of 0.5% to 2%. The results showed that using 1% waste plastic fibers improved pressure and bending resistance.

In this study, the effects of adding fibers to RCC pavement mixtures on certain physical and mechanical properties were investigated. In this context, polypropylene and steel fibers were added to RCC mixtures at ratios of 0.5% and 1.0% to produce samples. To examine the changes in the early flexural strength of RCC pavements depending on the type and proportion of fiber addition, the strengths at 1, 3, 7, and 28 days were evaluated. Thus, the aim was to determine the most suitable fiber type and proportion in terms of the opening time of RCC pavements to traffic. Additionally, the compressive strength, unit weight, and UPV values of the produced RCC pavement samples were also compared.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In this study, CEM I 42.5 Portland cement type was used in accordance with ASTM C150 [13] standard. The chemical components of the cement used are given in Table 1. The cement dosage was taken as 350 kg in the production of RCC mixtures.

Table 1. Chemical Components of Cement

Component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl
Amount (%)	18.5	4.5	3.6	63.3	1.2	2.9	0.3	0.7	0.014

Crushed limestone conforming to ASTM C33 [14] standard was used in aggregate selection, and the maximum aggregate particle size was selected as 19 mm. For RCC pavements, the mixture gradation curve was created by considering the gradation curves specified by the American Concrete Pavement Association (ACPA) [15]. Aggregate particle sizes were taken as 0-5, 5-12, and 12-19 mm. The gradation curve and lower and upper limits for the aggregates used in the production of RCC mixtures are given in Figure 1. The physical properties of the aggregates obtained in accordance with ASTM C127 [16] and ASTM C128 [17] standards are provided in Table 2.

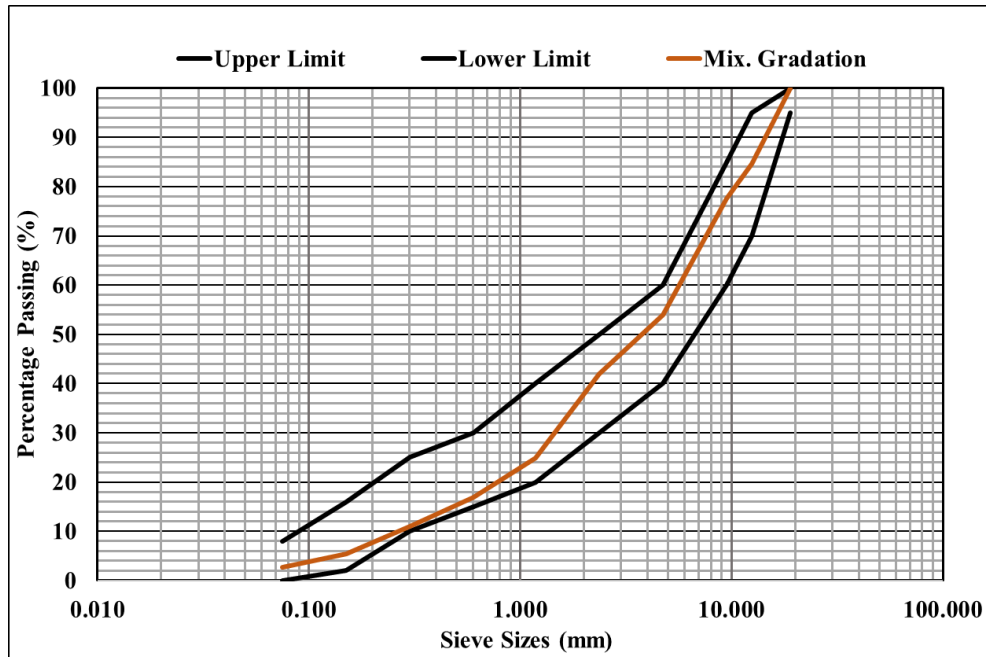


Figure 1. Gradation curve of aggregates used in RCC mixtures

Table 2. Physical properties of aggregates used in the study

Physical Properties	Fine Aggregate (0–5 mm)	Coarse Aggregate (5–12 mm)	Coarse Aggregate (12–19 mm)
Specific gravity (OD), gr/cm ³	2.48	2.68	2.67
Specific gravity (SSD), gr/cm ³	2.57	2.69	2.68
Apparent specific gravity, gr/cm ³	2.71	2.72	2.69
Absorption, %	3.51	0.55	0.27

Hooked steel and straight polypropylene fibers, each 50 mm in length, as shown in Figure 2, were used in the RCC mixtures. The physical and mechanical properties of the fibers used in the study are given in Table 3. The fibers were added to the RCC mixtures at a total volume of 0.5% and 1.0%.

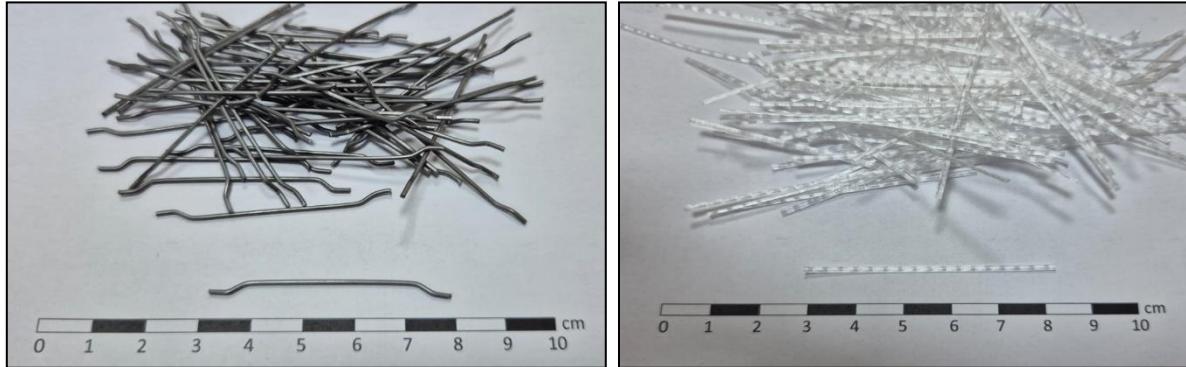


Figure 2. Steel and Polypropylene Fibers

Table 3. Physical and Mechanical Properties of The Fibers

Properties	Length (mm)	Diameter (mm)	Slenderness	Specific Gravity (gr/cm ³)	Tensile Strength (MPa)
Steel Fiber	50.0	1.0	50	7.8	1200
PP Fiber	50.0	0.8	63	0.91	750

2.2. Experimental Study

RCC mixtures have a much drier consistency than traditional mixtures, so compressibility becomes very important during concrete placement. Since compressibility is related to the water content in the mixture, the optimum water content is determined for RCC mixtures to achieve maximum density. The modified Proctor test is a method used to obtain the water content-density relationship in RCC mixtures. In this study, the optimum water content of RCC mixtures was determined according to the Modified Proctor Test ASTM D1557 [18] standard, and the water content and density relationships of a mixture were presented in Figure 3. The water content of RCC mixtures was determined based on the optimum water content obtained from the water content and density relationship. Table 4 shows the material quantities used for 1 m³ of SSB mixture. In the naming of the mixtures, C denotes control samples, PPF denotes samples containing polypropylene fibers, and SF denotes samples containing steel fibers. The numbers next to the letters represent the fiber ratios in the RCC mixtures.

Table 4. Amount of Materials Used in 1 m³ RCC Mixture

	Fiber (kg)	Cement (kg)	Water (kg)	Aggregate (kg)			w/c
				Fine Aggregate (0–5 mm)	Coarse Aggregate (5–12 mm)	Coarse Aggregate (12–19 mm)	
C	-	350	136.5	1005	493	394	0.39
PPF0.5	4.55						
PPF1.0	9.1						
SF0.5	39						
SF1.0	78						

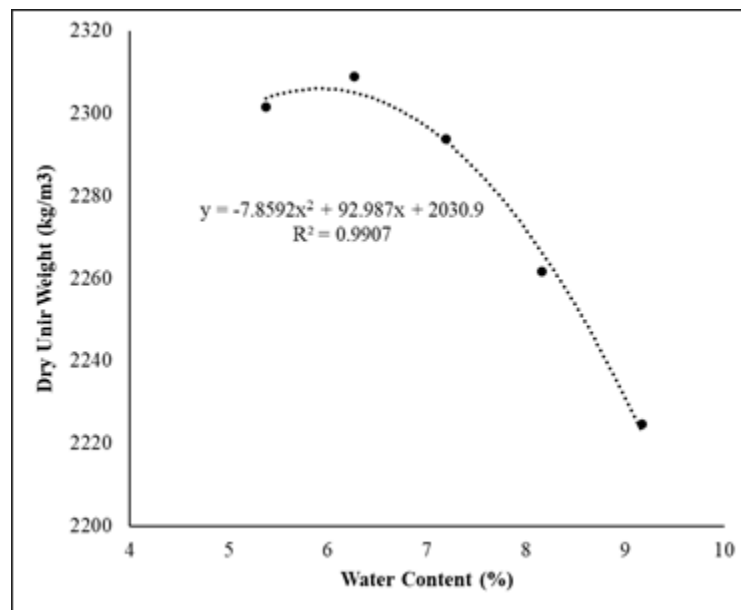


Figure 3. Water Content-Maximum Dry Unit Weight Relationship of RCC

In the production of RCC pavements in the laboratory environment, aggregate and cement were first homogenized and mixed in a pan-type mixer. Then, mixing was continued with the addition of mixing water. Finally, fibers were added in different proportions to prepare the RCC pavement mixtures. The compression process of the produced samples in the molds was carried out with vibrating hammers. The compaction process was carried out in three stages, corresponding to one-third of the molds, in accordance with the ASTM C1435 [19] standard. The samples were removed from the molds 24 hours after casting and left in the curing tank until the test day.

The study investigated the effects of fibers on the early flexural strength of RCC beams. In this context, beam specimens measuring 100x100x400 mm were produced at 1, 3, 7, and 28 days, and flexural strength tests were performed in accordance with the ASTM C78 [20] standard. In addition, the compressive strength of 150x150x150 mm cube specimens at 28 days was determined in accordance with the ASTM C39 [21] standard. The fresh unit weights of the specimens and their UPV values prior to the strength tests were also determined in accordance

with ASTM C138 [22] and ASTM C597 [23] standards, respectively. The images of the experiments conducted on the specimens are presented in Figure 4.



Figure 4. Compressive Strength (a), Flexural Strength (b) and UPV (c)

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section contains test results for RCC samples containing different fibers and related discussions. The unit weight, 28-day compressive and flexural strengths, and UPV test results for control, polypropylene, and steel fiber-containing SSB samples are given in Table 5.

Table 4. Test Results for RCC Mixes Containing Polypropylene and Steel Fibers

Mix.	Fresh Unit Weights (kg/m ³)	Flexural Strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)	UPV (m/s)
C	2463	5.47	53.8	4310.3
PPF0.5	2460	5.94	55.8	4291.8
PPF1.0	2449	7.01	50.8	4398.8
SF0.5	2507	7.42	55.3	4298.0
SF1.0	2516	8.47	59.3	4304.2

3.1. Unit Weight

The fresh unit weight results of RCC mixtures containing polypropylene and steel fibers are shown in Figure 5. The addition of polypropylene fibers caused very little change in the unit weights of RCC mixtures. Adding 1% polypropylene fibers to RCC mixtures reduced the unit weight by 0.5%. In contrast, the use of steel fibers increased the unit weights of RCC mixtures. Adding 1% steel fibers resulted in an approximate 2% increase in unit weight. The reason for the change in the unit weights of RCC mixtures is the lower or higher unit weights of the fibers. Siamardi and Shabani [1] mentioned that an excessive fiber volume ratio would cause a significant decrease in unit weights due to the excessive filling of the intergranular voids between aggregates and cement paste.

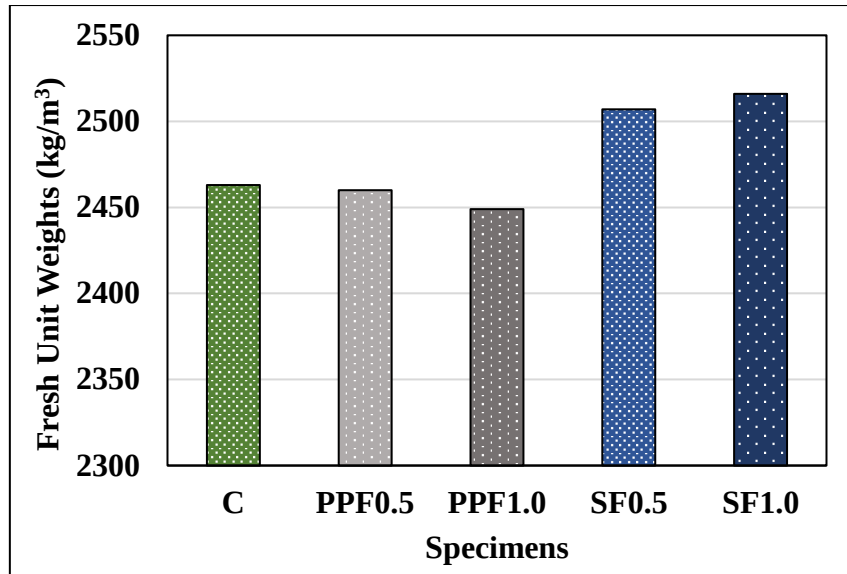


Figure 5. Fresh Unit Weights of RCC Mixes Containing Polypropylene and Steel Fiber

3.2. Flexural strength

The flexural strength test results of RCC mixtures are given in Table 5 and Figure 6. It was observed that flexural strengths increased regularly in proportion to the curing time. When examining the 28-day flexural strength results of RCC mixtures with polypropylene fiber additives, the use of 0.5% and 1.0% fiber increased flexural strength by 9% and 28%, respectively, compared to the control mixtures without fiber. In steel fiber-reinforced RCC mixtures, the strength increase was 35% and 55%, respectively.

Table 5. Flexural Strength of RCC Mixes Containing Polypropylene and Steel Fiber

Mix.	Flexural Strength (MPa)			
	1 day	3 day	7 day	28 day
C	2.59	3.29	4.11	5.47
PPF0.5	2.78	3.51	4.36	5.94
PPF1.0	3.16	4.23	5.23	7.01
SF0.5	3.47	4.41	5.59	7.42
SF1.0	3.82	5.04	6.41	8.47

The use of both polypropylene and steel fibers began to contribute to flexural strength from day 1. Increasing the fiber content also increased strength on a regular basis. When all mixtures were compared, the best flexural strength results from day 1 to day 28 were observed in RCC mixtures containing 1.0% steel fibers. Abed et al. [24] found that the improvement in flexural strength due to the addition of polypropylene and steel fibers ranged from 6% to 21% when compared to the control mixture. Kaan et al. [25] reported that the use of steel fibers at a rate of up to 2% in concrete mixtures increased flexural strength, while higher rates reduced strength due to poor workability.

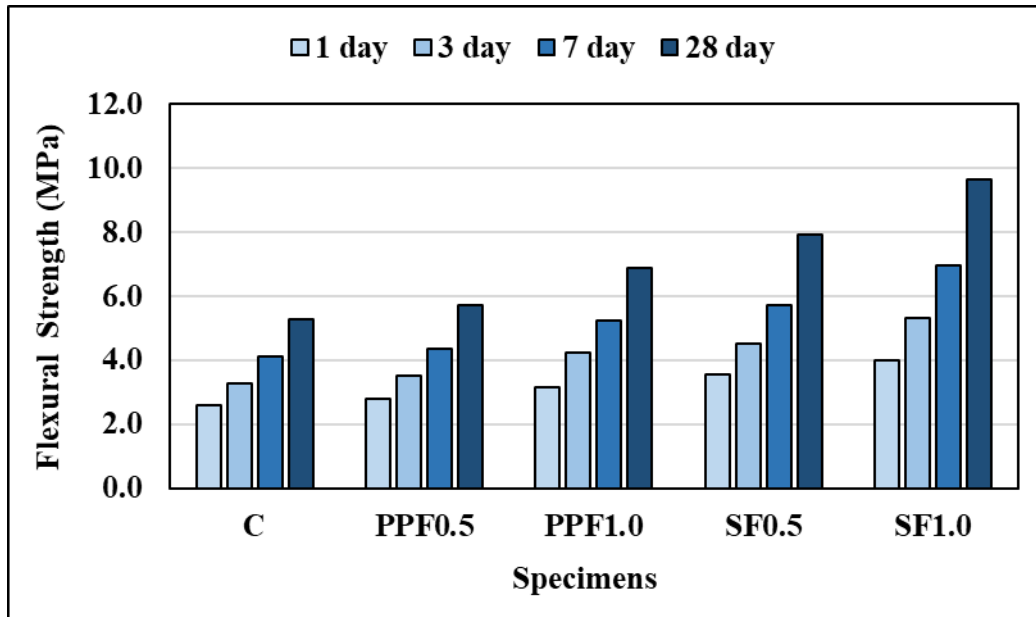


Figure 6. Flexural Strength of RCC Mixes Containing Polypropylene and Steel Fiber

One of the most important mechanical properties determining the performance of concrete pavement is flexural strength, which also plays an important role in determining the time it takes for roads to open to traffic. The American Concrete Institute (ACI) [26] recommends a minimum flexural strength of 4-5 MPa for RCC pavements when evaluating them for traffic opening, while the American Concrete Pavement Association (ACPA) [27] states that the flexural strength of RCC typically ranges from 3.5 to 7 MPa, depending on the mix design. When these recommendations are evaluated, it is evident that fiber reinforcement significantly reduces the time required for RCC pavements to be opened to traffic. When examining the flexural strength results of RCC control mixtures without fibers, the pavement becomes open to traffic from the 7th day onwards. The use of 1.0% polypropylene and steel fibers has reduced the time required for RCC pavements to be opened to traffic to as little as 3 days.

The failure patterns of RCC samples containing 1.0% polypropylene and steel fibers, as determined by flexural strength tests using control samples, are shown in Figure 9.



Figure 7. Failure Patterns of RCC Beam Samples

3.3. Compressive Strength

The pressure resistance test results of RCC mixtures are given in Figure 8. According to the results, the use of steel has provided a regular increase in pressure resistance. On the other hand, the use of polypropylene fiber has caused a slight increase in resistance at 0.5% usage, while a

decrease has been observed at 1.0% usage. The average pressure resistance of the control samples without fibers was 53.8 MPa, while the pressure resistances of the RCC mixtures containing 1% polypropylene and steel fibers were measured as 50.8 and 59.3 MPa, respectively. Compared to the control samples, the addition of 0.5% and 1.0% steel fibers resulted in approximately 3% and 10% increases in compressive strength, respectively.

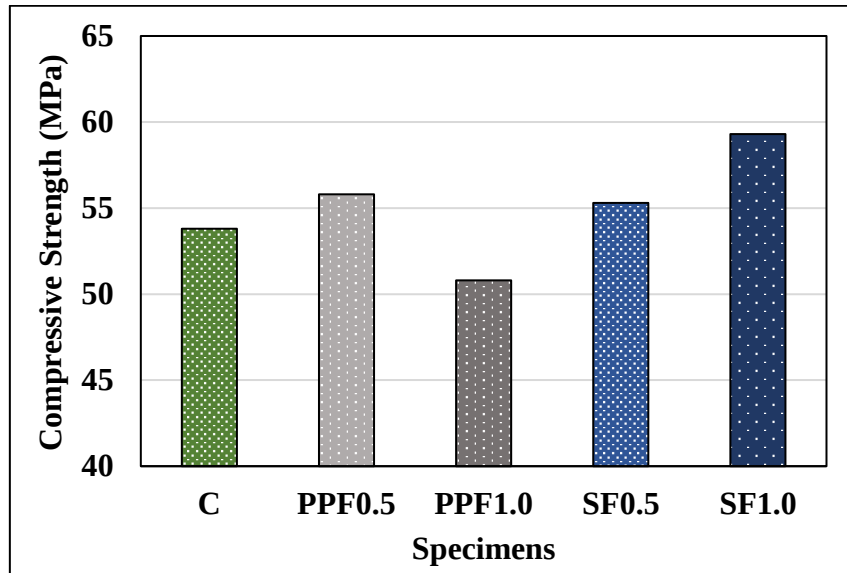


Figure 8. Compressive Strength of RCC Mixes Containing Polypropylene and Steel Fiber

Shuan-fa et al. [28] stated that PP fibers have little effect on the compressive strength of concrete, but have a significant effect on its flexural strength. Hesami et al. [29] found a 26% and 30% increase in compressive strength, respectively, when using 0.5% steel fibers and 0.3% polypropylene fibers. Ali et al. [30] reached similar results in their study. In the study, a slight improvement in compressive strength was observed at a 0.5% fiber content, while a significant decrease in compressive strength was noted at a 1.0% fiber content. The failure patterns of the compressive strength tests on control specimens and RCC specimens containing 1.0% polypropylene and steel fibers are presented in Figure 9.



Figure 9. Failure Patterns of RCC Cube Samples

3.3. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

The UPV test results for RCC mixtures are shown in Figure 8. According to the results, there was almost no change in UPV values with the use of 0.5% polypropylene and steel fibers compared to the control samples. The UPV values of RCC mixtures with 0.5% fiber use are very close to each other. The same situation was observed with 1.0% steel fiber use, while the UPV value of mixtures using 1.0% polypropylene increased from approximately 4310 m/s to 4398 m/s. According to Whitehurst's [31] UPV-based concrete quality assessment method, all RCC mixtures in the study are classified as “good” quality.

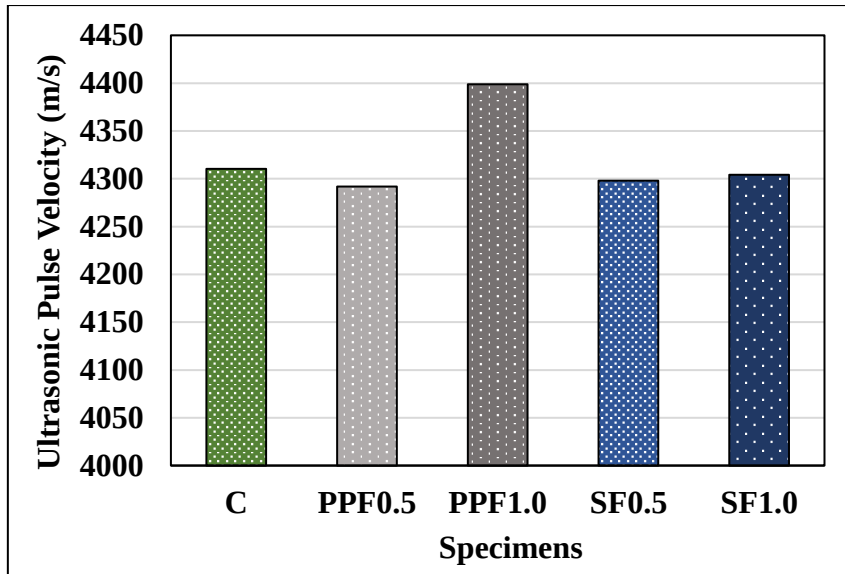


Figure 10. UPV Values of RCC Mixes Containing Polypropylene and Steel Fiber

4. CONCLUSION

In this study, the effects of different dosages (0.5% and 1.0% by volume) of polypropylene and steel fibers on the mechanical and physical properties of RCC pavements were investigated. Based on the test results and analyses in the study, the following main conclusions can be drawn.

- In terms of flexural strength, both fiber additions significantly improved the flexural performance of RCC pavement mixtures. Compared to the control mixtures, 1.0% fiber reinforcement increased the 28-day flexural strength of polypropylene and steel fiber mixtures by 28% and 55%, respectively.
- 1.0% fiber reinforcement in RCC pavements met the minimum strength requirements for early flexural strength, reducing the time to traffic opening to 3 days.
- In terms of compressive strength, a 0.5% polypropylene fiber addition increased strength by 4%, while a 1.0% addition reduced strength by 6%. The addition of 0.5% and 1.0 % steel fibers increased the compressive strength of SSB mixtures by 3% and 10%, respectively.
- Fiber additions did not cause a significant change in the UPV values of the mixtures. However, the UPV values of all RCC mixtures remained within the limits corresponding to good quality according to Whitehurst's concrete quality assessment method.

REFERENCES

- [1] Siamardi, K., Shabani, S., Evaluation The Effect of Micro-Synthetic Fiber on Mechanical and Freeze-Thaw Behavior of Non-Air-Entrained Roller Compacted Concrete Pavement Using Response Surface Methodology. *Construction and Building Materials*, 295, 123628, 2021.
- [2] Kilic, I., Gokce Gok, S., Strength and Durability of Roller Compacted Concrete with Different Types and Addition Rates of Polypropylene Fibers, *Revista De La Construcción*, 20(2), 205-214, 2021.
- [3] Ahmadi, M., Shafabakhsh, G. A., Hassani, A., Fracture and Mechanical Performance of Two-Lift Concrete Pavements Made of Roller Compacted Concrete and Polypropylene Fibers, *Construction and Building Materials*, 268, 121144, 2021.
- [4] Abu-Bakr, M., Mahmood, H. F., Mohammed, A.A., Investigation of Metakaolin And Steel Fiber Addition on Some Mechanical And Durability Properties of Roller Compacted Concrete, *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01136, 2022.
- [5] Ozturk, O., Atahan, H. N., Ozyurt, N., Effects of Synthetic Fibers Oon The Mechanical Properties and Thickness Requirements of Roller-Compacted Concrete for Pavements, *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 148(4), 04022052, 2022.
- [6] Jahanbakhsh, P., Saberi K, F., Soltaninejad, M., Hashemi, S.H., Laboratory Investigation of Modified Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP) Containing Macro Synthetic Fibers, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 16(3), 745-759, 2023.
- [7] Modarres, A., Hesami, S., Soltaninejad, M., Madani, H., Application of Coal Waste in Sustainable Roller Compacted Concrete Pavement-Environmental and Technical Assessment, *International Journal of Pavement Engineering*, 19(8), 748-761, 2018.
- [8] Sukontasukkul, P., Chaisakulkiet, U., Jamsawang, P., Horpibulsuk, S., Jaturapitakkul, C., Chindaprasirt, P., Case Investigation on Application of Steel Fibers in Roller Compacted Concrete Pavement in Thailand, *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00271, 2019.
- [9] LaHucik, J., Dahal, S., Roesler, J., Amirkhanian, A.N., Mechanical Properties of Roller-Compacted Concrete with Macro-Fibers, *Construction and Building Materials*, 135, 440-446, 2017.
- [10] Liang, N., You, X., Yan, R., Miao, Q., Liu, X., Experimental Investigation on The Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Roller-Compacted Concrete Pavements, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(1), 3, 2022.
- [11] Rooholamini, H., Hassani, A., Aliha, M.R.M., Evaluating the Effect of Macro-Synthetic Fibre on The Mechanical Properties of Roller-Compacted Concrete Pavement Using Response Subsurface Methodology, *Construction and building materials*, 159, 517-529. 2018
- [12] Abed, A., Al-Hadithi, A. and Mohammed, A.S., *The Effects of Adding Waste Plastic Fibers on Some Properties of Roller Compacted Concrete*, The 3rd International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering, Vol. 162, p. 02008, Sharm el-Shiekh, Egypt, 2017.

- [13] ASTM C150/C150M, Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA (2011).
- [14] ASTM C33, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA, 2016.
- [15] ACPA (American Concrete Pavement Association), Roller-Compacted Concrete Guide Specificaiton, 2014.
- [16] ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA (2016).
- [17] ASTM C128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA (2016).
- [18] ASTM D1557, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2012.
- [19] ASTM C1435, Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2004.
- [20] ASTM C78, Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2018.
- [21] ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2014.
- [22] ASTM C138, Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 2013.
- [23] ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2009.
- [24] Abed, M.A., Fořt, J., Naoulo, A., Essa, A., Influence of Polypropylene and Steel Fibers on The Performance and Crack Repair of Self-Compacting Concrete. Materials, 14(19), 5506, 2021.
- [25] Khan, I.U., Gul, A., Khan, K., Akbar, S., Irfanullah, Mechanical Properties of Steel-Fiber-Reinforced Concrete. Engineering Proceedings, 22(1), 6, 2022.
- [26] Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete, American Concrete Institute, 2009.
- [27] Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W. and Hazaree, C., Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University, Ames, IA, 2010.
- [28] Shuan-fa, C., Deng-liang, Z., Jie, Z., Feng, L., The Study of The Road Performance of the Polypropylene Fiber Concrete. Northeast Highway, 24(2), 23-25, 2001.

- [29]** Hesami, S., Ahmadi, S., Nematzadeh, M., Effects of Rice Husk Ash and Fiber on Mechanical Properties of Pervious Concrete Pavement. *Construction and Building Materials*, 53, 680-691, 2014.
- [30]** Ali, B., Qureshi, L. A., Khan, S. U., Flexural behavior of Glass Fiber-Reinforced Recycled Aggregate Concrete and Its Impact on The Cost and Carbon Footprint of Concrete Pavement. *Construction and Building Materials*, 262, 120820, 2020.
- [31]** Whitehurst, E.A., Soniscope Tests Concrete Structures, *Journal Proceedings*, 47 (2) 433-444, 1951.

PERLİT AGREGALI POLİMER BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Bedirhan İhsan GÜLNAHAR^{1*}

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-3345-2110>

bedir.gulnahar@gmail.com

Doç. Dr. Halit Alperen BULUT²

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-195X>

habulut@erzincan.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, doğal ve genleştirilmiş perlit agregalarının polimer beton üretiminde kullanımı değerlendirilmiş ve bu agregaların performansı yüksek sıcaklık koşullarında incelenmiştir. Polimer betonlarda bağlayıcı malzeme olarak doymamış polyester reçine ve vinilester reçine tercih edilmiştir. Perlit, kuvars agregası yerine %0 (kontrol), %5 ve %10 oranlarında kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, numuneler fırına yerleştirilmeden önce başlangıç ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ardından, yüksek sıcaklık deneyleri için kullanılan laboratuvar fırınında 1 saat süreyle oda sıcaklığı (kontrol), 50 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklık koşullarında bekletilmiştir. Fırından çıkarılan numuneler, oda sıcaklığına kadar soğutulup tekrardan ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir daha sonra basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Deneysel sonuçlara göre, en yüksek ağırlık kaybı %0,31 ile 150 °C’de bekletilen PREP10 numunesinde gözlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı kaybı ise %66,15 ile 100 °C’de bekletilen PREP10 numunesinde kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek sıcaklık seviyelerinin polimer betonlarda hem fiziksel hem de mekanik özellikler üzerinde belirgin etkiler yarattığını ve bu etkinin sıcaklık seviyesine, perlit tipi ile oranına ve reçine türüne bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, farklı perlit türleri ve bağlayıcı sistemlerin yüksek sıcaklık koşullarındaki davranışlarını inceleyerek literatüre özgün katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Polimer beton, doğal perlit, genleştirilmiş perlit, reçine, yüksek sıcaklık.

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliğinin gelişimi, yüksek mukavemet, çok yönlülük, dayanıklılık ve çevresel etkilere karşı direnç gibi özelliklere sahip yeni nesil inşaat malzemelerine olan talebi artırmıştır. Mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle sıradan çimento betonu 19. yüzyılın başlarından bu yana dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak beton yapılar, kullanım ömürleri boyunca çeşitli çevresel ve kimyasal etkilere maruz kalmakta ve bu durum, betonun mekanik performansında zamanla bozulmalara yol açmaktadır. Bu nedenle, inşaat malzemeleri

teknolojisinde yaşanan ilerlemeler, özellikle yapısal onarım ve rehabilitasyon uygulamaları için daha dayanıklı ve uzun ömürlü alternatif malzemelerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Ghassemi & Toufigh, 2020).

Polimer beton (PC), son yıllarda inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilen ileri mühendislik malzemelerinden biri hâline gelmiştir. Hızlı priz alma ve sertleşme (Hyun & Yeon, 2012; Ohama, 1997), aşındırıcı ortamlar ile kimyasal etkilere karşı yüksek direnç (Jamshidi et al., 2013; Vipulanandan et al., 1988) ve uzun süreli dayanıklılık (Jamshidi et al., 2013; Robles et al., 2008; Shokrieh et al., 2011) gibi üstün özellikleri sayesinde, farklı mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. PC'ler, yapıların onarımında (Shokrieh et al., 2011; Mahdi et al., 2010) ve mevcut yapı elemanlarının hizmet ömrünü artırmaya yönelik fonksiyonel malzeme olarak (Shokrieh et al., 2011) başarıyla uygulanmaktadır. Genel olarak, PC üretimi; %70–90 oranında çeşitli agrega türleri ile ana bağlayıcı olarak %10–30 oranında polimer reçinenin bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilmektedir (Vipulanandan & Paul, 1993).

Üretimde farklı polimer tipleri ve geniş çeşitlilikte agregalar kullanılabilir. Epoksi reçine (Reis & Jurumenh, 2011; Zhang et al., 2018), doymamış polyester reçine (Liu et al., 2016; Yeon et al., 2017; Zhang et al., 2018), furan (Muthukumar & Mohan, 2005), akrilik reçine (Son & Yeon, 2012; Yeon et al., 2014), poliüretan ve üre–formaldehit (Gorninski et al., 2007) en yaygın kullanılan polimer türleri olup, bunlar doğal malzemeler ile mineral veya yapay agregalar — örneğin pomza, geri dönüştürülmüş agregalar ve hafif genleştirilmiş kil agregası (LECA) (Ohama, 2011; Siddique et al., 2008) — ile birleştirilebilmektedir. Karışımda kullanılan polimer türü, agrega dağılımı, kür koşulları ve test sıcaklığı, PC'lerin fiziksel ve mekanik performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Abdel-Jawad & Abdullah, 2002; Hong, 2017; Sanaei Ataabadi et al., 2021).

Polimer esaslı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyen çok sayıda çalışma mevcuttur (Vipulanandan & Dharmarajan, 1987; Ferdous et al., 2020; Gorninski et al., 2004; Sanaei Ataabadi et al., 2021). Bunun yanında, PC'lerin performansı ve işlenebilirliği; kimyasal saldırı ortamları (Chu et al., 2006; Reis, 2010; Yeo et al., 1981; Jamshidi et al., 2013), donma–çözülme çevrimleri (Hong et al., 2016; Li et al., 2012; Wang & Petru, 2019) ve yüksek sıcaklık etkileri (El-Hawary & Abdel-Fattah, 2000; Heidari-Rarani et al., 2014; Reis et al., 2014; Ribeiro et al., 2004; Ribeiro et al., 2003) gibi farklı bozunma koşullarında değerlendirilmiştir. Bu etkiler arasında, sıcaklık faktörü, polimer esaslı malzemelerin mikro yapısını doğrudan etkileyerek mekanik özelliklerde belirgin azalmaya yol açabilmesi nedeniyle özellikle kritik öneme sahiptir.

Perlit, yaklaşık %70 SiO₂ içeriğine sahip amorf yapıya sahip bir volkanik camdır (Papa et al., 2018). Hammaddesi olan perlit cevheri, kırılma işlemi sonrasında ısıtılma tabi tutulmaktadır (Kasai et al., 2019). Doğal halde perlit, 900–1200 °C sıcaklık aralığında hızlı bir şekilde ısıtıldığında, kristal yapısında bulunan yüksek miktardaki su buharlaşır (Maxim et al., 2014). Bu sıcaklıklara maruz kalması halinde, kimyasal bağlı suyun buhara dönüşmesiyle hacmi 20 kata kadar genişleyebilmektedir (Rashad, 2016). Perlitin çok sayıda mikro gözenek içermesi, malzemenin hafif olmasının yanı sıra ısı ve ses yalıtımı gibi avantajlar da sağlamaktadır (Sun et al., 2013).

İnorganik bir malzeme olan perlit, yüksek sıcaklıklarda kimyasal ve fiziksel özelliklerini koruyabilmektedir. Ayrıca, suda çözünmezliği ve çürüme direnci ile dayanıklılığı ön plana çıkmaktadır (Davraz et al., 2020). Dünya perlit üretiminde başlıca ülkeler Türkiye, Çin, ABD ve Yunanistan olup, bu ülkeler 2016 yılı itibarıyla dünya üretiminin %95'ini gerçekleştirmektedir (üretim miktarı: 4,6 milyon ton) (Pachta et al., 2019). Perlit, betonlarda agrega olarak kullanılmasının yanı sıra, çimento harçlarında ve özellikle yangına dayanıklı sıva üretiminde de tercih edilmektedir (Różycka & Pichór, 2016).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

Bu çalışmanın amacı, perlit agregasının polimer betonlarda kullanımını araştırmak ve kuvars agregasına alternatif olabileceğini ortaya koymaktır. Doymamış polyester ve vinilester reçinelerin bağlayıcı olarak kullanıldığı çalışmada, perlit ikameli polimer betonun yüksek sıcaklıklara karşı etkisi incelenmiştir.

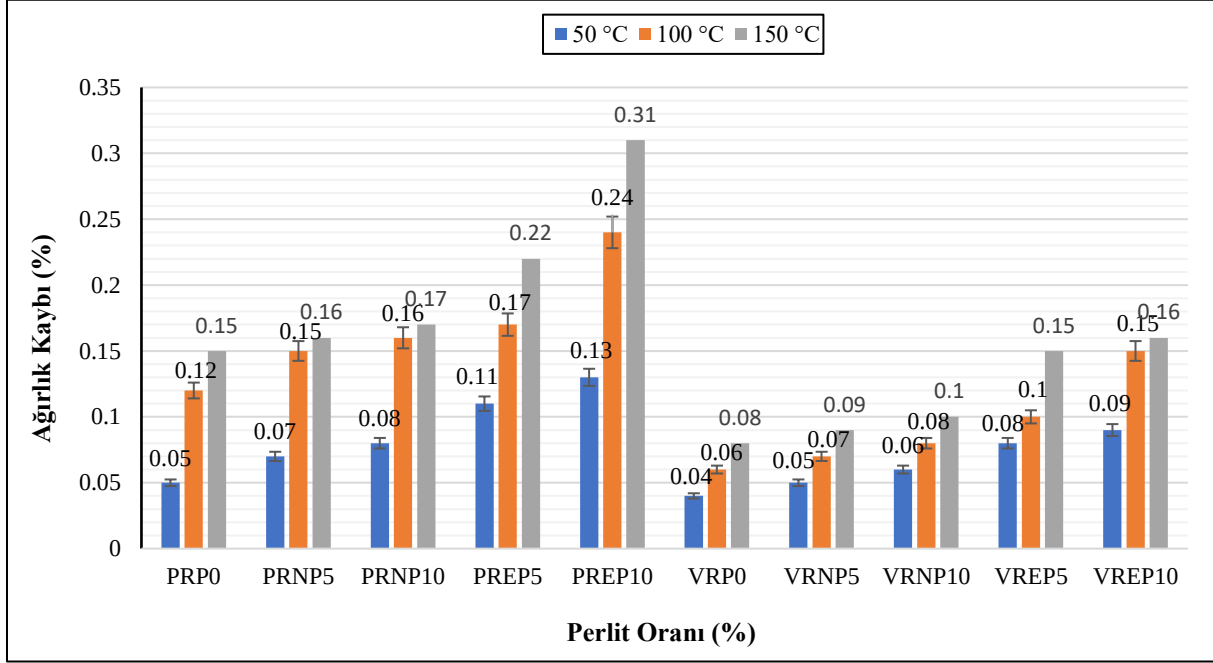
Polimer beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak CE-80 tipi doymamış polyester reçine ve bisfenol-A 701 vinilester reçine kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak belirli gradasyonlarda kuvars agregası, kırma taş ve perlit agregası kullanılmıştır.

Beton numuneleri üretilirken kontrol betonlarında perlit agregası kullanılmamıştır. Diğer numunelerde ise, kuvars ve kırma taş agregalarının belirli oranlarda (%5 ve %10) doğal perlit ve genleştirilmiş perlit agregalarıyla kısmen ikame edilmesiyle üretilmiştir. Deney sonuçlarının yorumunu kolaylaştırmak amacıyla numunelere bir kodlama sistemi uygulanmıştır. Bu sistemde, kullanılan reçine ve perlit türleri, İngilizce kısaltmalarının ilk harfleriyle gösterilmiş; perlitin ikame oranları ise bu harflerin ardından, yüzde işareti kullanılmaksızın sayılarla belirtilmiştir. Numunenin kürlenme gün sayısı ise, kodun sonuna “/” işareti eklenip gün sayısı yazılarak belirtilmiştir. Örneğin, “PRP0/28” kodu, polyester reçine ile üretilmiş, perlit agregası içermeyen (%0 perlit ikameli) kontrol numunesini ve bu numunenin 28 günlük kür süresi sonunda deneye tabi tutulduğunu ifade etmektedir. Benzer şekilde, “VREP10/56” kodu ise, vinilester reçine ile hazırlanmış ve toplam agrega miktarının %10'u genleştirilmiş perlit ile ikame edilmiş numunenin, 56 günlük kür süresi sonunda teste tabi tutulacağını göstermektedir.

Hazırlanan küp beton numuneleri (100×100×100 mm), yüksek sıcaklık etkilerini incelemek amacıyla fırına yerleştirilmeden önce başlangıç ağırlıkları hassas terazide ölçülerek kaydedilmiştir. Ardından numuneler, yüksek sıcaklık deneyleri için kullanılan laboratuvar fırınında, oda sıcaklığı (kontrol), 50 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklık koşullarında 1 saat süreyle bekletilmiştir. Fırından çıkarılan numuneler, oda sıcaklığına soğutulduktan sonra tekrar tartılarak başlangıç ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, numunelerin basınç dayanımları ASTM C39 standardına uygun olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı sıcaklık seviyelerinin polimer beton numuneleri üzerindeki fiziksel (ağırlık kaybı) ve mekanik (basınç dayanımı kaybı) etkilerini değerlendirmek amacıyla kontrol numuneleriyle karşılaştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Şekil 1’de, kontrol betonları ve farklı oranlardaki perlit ikameli polimer betonların, farklı sıcaklık koşullarında 1 saat bekletildikten sonra ölçülen ağırlık kaybı sonuçları verilmiştir.



Şekil 1. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin ağırlık kaybı.

Grafikteki genel eğilim incelendiğinde, sıcaklık seviyesinin artmasıyla birlikte tüm numunelerde ağırlık kaybının belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Bu artış, yüksek sıcaklıkta bağlayıcı matris içindeki bazı uçucu bileşenlerin açığa çıkması, reçinenin kısmi termal bozunması ve perlit agregalarının gözenekli yapısından kaynaklanan serbestleşmeler ile ilişkilendirilebilir.

En yüksek ağırlık kaybı, %0,31 ile 150 °C’de bekletilen ve %10 genleştirilmiş perlit içeren polyester reçineli numune (PREP10) olarak kaydedilmiştir. Bu durum, genleştirilmiş perlitin yüksek gözenekliliğinin ve geniş yüzey alanının hem uçucu bileşenlerin açığa çıkışını hem de bağlayıcı–agrega ara yüzeyinde meydana gelen termal bozulmayı hızlandırmasıyla açıklanabilir.

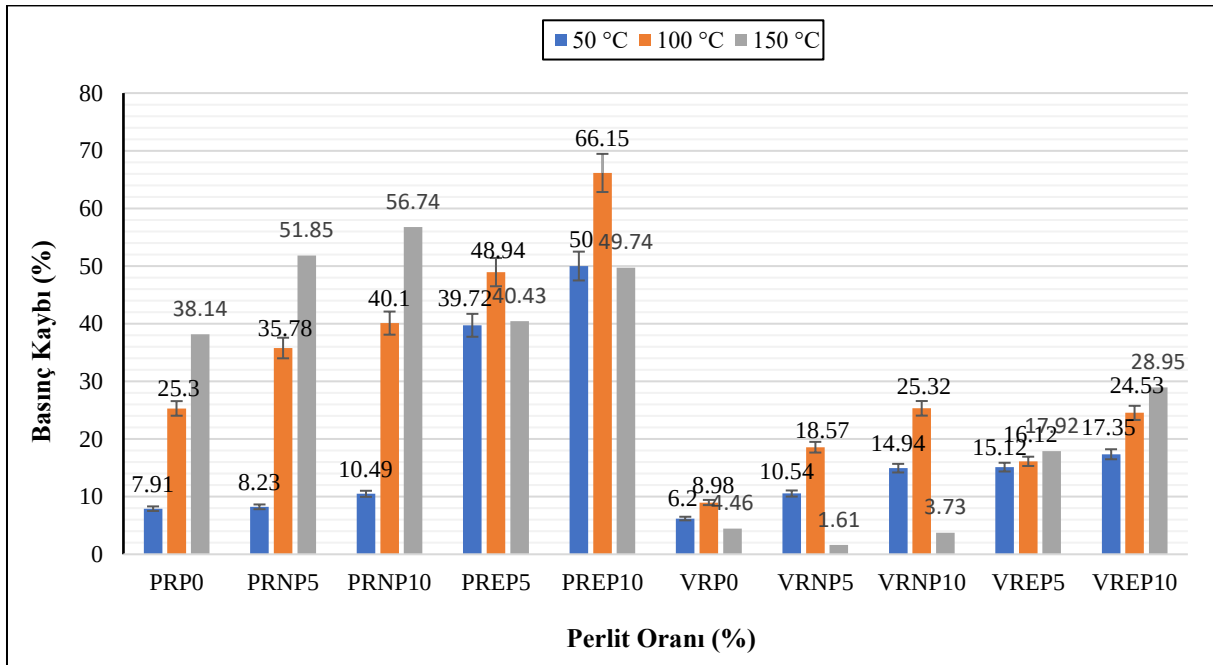
Doğal perlit içeren numuneler (PRNP5 ve PRNP10), genleştirilmiş perlit içerenlere kıyasla daha düşük ağırlık kaybı değerleri sergilemiştir. Bu fark, doğal perlitin gözenekliliğinin daha sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, vinilester reçine ile üretilen numuneler (VR serisi) genel olarak polyester reçineli numunelere kıyasla daha düşük ağırlık kayıpları göstermiştir. Vinilester reçinenin kimyasal yapısı, yüksek sıcaklıkta daha kararlı bir matris bütünlüğü sağlayarak uçucu bileşen kaybını sınırlamıştır.

Düşük sıcaklık seviyelerinde (50 °C), tüm numunelerde ağırlık kayıpları sınırlı kalmış, özellikle %0,04 ile %0,13 aralığında değerler elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta matris yapısında önemli bir termal bozunma gerçekleşmemiş, kayıplar esasen bağlayıcı ve katkıların düşük sıcaklıkta serbestleştirdiği sınırlı miktardaki uçucu bileşenlerden kaynaklanmıştır. Ancak sıcaklık 100

°C'ye çıkarıldığında, özellikle PREP5 (%0,17) ve PREP10 (%0,24) numunelerinde kayıplar belirginleşmiş; bu durum, gözenekli yapının etkisiyle daha fazla uçucu bileşenin açığa çıkmasıyla ilişkilendirilebilir. 150 °C seviyesinde ise reçine matrisinde başlayan termal gerilmeler ve bozulmalar, özellikle genleştirilmiş perlit katkılı numunelerde daha yüksek kütle kayıplarına yol açmıştır.

Elde edilen bu sonuçlar, polimer betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin hem perlit tipi ve oranına hem de bağlayıcı türüne bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Özellikle genleştirilmiş perlitin yüksek sıcaklık altında gösterdiği gözeneklilik kaynaklı davranış, malzemenin ağırlık kaybı performansını doğrudan etkilemektedir. Buna karşın vinilester reçinenin daha yüksek termal stabiliteye sahip olması, sıcaklık kaynaklı kütle kayıplarını sınırlandıran önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Şekil 2'de, kontrol betonları ve farklı oranlardaki perlit ikameli polimer betonların farklı sıcaklık koşullarına maruz kaldıktan sonra basınç kaybı sonuçları verilmiştir.



Şekil 2. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç kaybı.

Grafikteki genel eğilim, sıcaklığın artışıyla birlikte tüm numunelerde basınç dayanımında belirgin azalmalar olduğunu göstermektedir. Bu azalma, polimer matrisin ısıl davranışı ve agrega–matris ara yüzeyinde geliştiği düşünülen hasar mekanizmalarıyla ilişkilendirilebilir; cam geçiş sıcaklığına (T_g) yaklaşmaya bağlı olası yumuşama, malzemeler arası ısıl genleşme uyumsuzluğundan kaynaklanabilecek debonding (ara yüzey ayrılması) ve mikroçatlak oluşumu ile reçine/katkılarda 80–120 °C aralığında serbestleşebilen uçucu fraksiyonların etkisi bu kapsamda değerlendirilebilir.

En yüksek dayanım kaybı, %66,15 ile 100 °C'de bekletilen PREP10 numunesinde gözlenmiştir. Bu sonuç, genleştirilmiş perlitin (EP) yüksek gözenekliliği ve geniş özgül yüzeyinin, polyester matrisin T_g çevresindeki yumuşamasıyla birleşerek ara yüzeyde kayma ve kopmaları hızlandırmasına; ayrıca bu sıcaklık aralığında reçine/başlatıcı artıklarının uçucu bileşenler oluşturmasına bağlanabilir. Aynı numunede 150 °C'deki kaybın (%49,74) 100 °C'den düşük çıkması, malzemenin tamamen bozulmadığını; aksine bu sıcaklıkta reçine matrisinde

tamamlanmamış polimerleşme reaksiyonlarının devam etmesi ve iç gerilmelerin kısmen gevşemesiyle yapının belirli ölçüde sertleşip dayanımının bir kısmını koruyabilmesiyle açıklanabilir (bu farklılıkta deneysel ölçüm belirsizliğinin de rolü olabileceği göz ardı edilmemelidir).

Doğal perlit içeren numuneler (PRNP5, PRNP10), genleştirilmiş perlit içerenlere kıyasla genel olarak daha düşük dayanım kayıpları sergilemiştir. Bunun başlıca nedeni, doğal perlitin daha sınırlı gözenekliliği ve daha iyi yük aktarımı sağlayan daha rijit taneler oluştuğuyla ilişkilendirilebilir.

Bağlayıcı türü açısından, vinilester reçineli numuneler (VR serisi) özellikle 100 °C de polyester reçinelilere göre daha düşük kayıp göstermiştir. Vinilesterin tipik olarak daha yüksek Tg'ye ve daha iyi ısıl/kimyasal stabiliteye sahip olması, ara yüz aderansını ve matris bütünlüğünü koruyarak sıcaklık kaynaklı dayanım kayıplarını sınırlar.

50 °C seviyesinde kayıplar çoğu seride sınırlı kalırken, PREP serisinde (özellikle PREP10'da) belirgin düşüşler görülmesi, polyester matrisin Tg'sine yakın davranışı ve EP'nin yarattığı gerilme yoğunlaşmalarıyla uyumludur. 100 °C'de kayıplar hızla artmakta, EP içeren polyester numunelerde (PREP5, PREP10) kritik hale gelmektedir. 150 °C'de bazı serilerde dayanım kaybının artış hızının yavaşlaması veya kısmen toparlanması, bir yanda devam eden termal bozunmanın etkisi sürerken, diğer yanda reçine matrisinde tamamlanmamış polimerleşme reaksiyonlarının bu sıcaklıkta ilerlemesi ve iç gerilmelerin gevşemesiyle ortaya çıkan bir dengeye işaret etmektedir.

Sonuç olarak, polimer betonların yüksek sıcaklık altındaki mekanik performansı; perlit türü ve oranı, bağlayıcı tipi ve ara yüz mühendisliği ile doğrudan ilişkilidir. Genleştirilmiş perlit artışı, yüksek sıcaklıkta ara yüz hasarını ve kayıp oranını artırırken; vinilester bağlayıcı, daha yüksek Tg ve stabilitesi sayesinde dayanım kaybını sınırlayan bir rol üstlenmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı oranlarda (%0, %5 ve %10) doğal ve genleştirilmiş perlit agregası içeren polyester ve vinilester reçineli polimer beton numunelerinin, yüksek sıcaklık koşulları (50 °C, 100 °C ve 150 °C) altındaki davranışları incelenmiştir. Bulgular, hem fiziksel (ağırlık kaybı) hem de mekanik (basınç dayanımı kaybı) parametreler açısından sıcaklık seviyesinin, perlit tipi ve oranı ile bağlayıcı türünün malzeme performansı üzerinde belirleyici etkiler yarattığını ortaya koymuştur.

Ağırlık kaybı sonuçları, sıcaklık yükseldikçe tüm numunelerde kütle kaybının arttığını göstermiştir. En yüksek kütle kaybı %0,31 ile 150 °C'de bekletilen %10 genleştirilmiş perlit içeren polyester reçineli numunede (PREP10) gözlenmiştir. Bu durum, genleştirilmiş perlitin yüksek gözenekliliği ve geniş yüzey alanının, bağlayıcı-agrega ara yüzeyinde termal bozulmaları hızlandırması ve reçine matrisinden daha fazla uçucu fraksiyonun açığa çıkmasına yol açmasıyla ilişkilendirilebilir. Buna karşılık, vinilester reçine kullanılan numunelerde aynı perlit oranlarında daha düşük ağırlık kayıpları kaydedilmiş, bu da vinilester bağlayıcının yüksek sıcaklıkta daha kararlı bir matris bütünlüğü sunduğunu göstermiştir.

Basınç dayanımı kayıpları ise özellikle 100 °C sıcaklık seviyesinde kritik düzeyde olmuştur. En yüksek dayanım kaybı %66,15 ile PREP10 numunesinde gerçekleşmiştir. Bu durum, polyester matrisin cam geçiş sıcaklığına yaklaşmasıyla birlikte yumuşaması, genleştirilmiş perlitin gözenekli yapısının gerilme yoğunlaşmalarını artırması ve ara yüzeyde bağ zayıflamalarının hızlanmasıyla açıklanabilir. İlginç biçimde, aynı numunenin 150 °C'deki dayanım kaybı (%49,74), 100 °C değerinden daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç, yüksek sıcaklıkta

bazı uçucu fraksiyonların tükenmesi ve matris içinde tamamlanmamış polimerleşme reaksiyonlarının ilerlemesiyle yapının kısmen rijitlik kazanarak dayanımın bir kısmını koruyabilmesiyle ilişkilendirilebilir.

Genel olarak, geliştirilmiş perlit kullanımı, yüksek sıcaklık altında hem kütle kaybını hem de basınç dayanımı kaybını artırıcı etki göstermiştir. Doğal perlit içeren numuneler ise daha düşük gözeneklilikleri sayesinde daha iyi termal kararlılık sergilemiştir. Ayrıca vinilester reçine kullanılan numuneler, polyester reçineli numunelere kıyasla daha yüksek sıcaklık direnci göstermiş ve bağlayıcı seçiminde kimyasal yapının kritik bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, polimer betonların yüksek sıcaklık altındaki performansı yalnızca agrega tipi ve oranına değil, aynı zamanda bağlayıcı matrisin yapısal özelliklerine de bağlıdır. Bu nedenle, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda düşük oranlı doğal perlit ve vinilester reçine kombinasyonu daha uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, polimer betonların yüksek sıcaklık davranışına yönelik literatürdeki boşluğu doldurmakta ve ileri malzeme tasarımı sıcaklık direnci odaklı optimizasyon için değerli veriler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Jawad, Y. A., & Abdullah, W. S. (2002). Design of maximum density aggregate grading. *Construction and Building Materials*, 16(8), 495–508. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00044-6)
- Chu, W., Wu, L., & Karbhari, V. M. (2006). Comparative degradation of pultruded E-glass/vinylester in deionized water, alkaline solution, and concrete leachate solution. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(4), 1405–1414. <https://doi.org/10.1002/app.22626>
- Davraz, M., Koru, M., Akdağ, A. E., Kılınçarslan, Ş., Delikanlı, Y. E., & Çabuk, M. (2020). Investigating the use of raw perlite to produce monolithic thermal insulation material. *Construction and Building Materials*, 263, 120674. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120674>
- El-Hawary, M. M., & Abdel-Fattah, H. (2000). Temperature effect on the mechanical behavior of resin concrete. *Construction and Building Materials*, 14(6–7), 317–323. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00047-5)
- Ferdous, W., Manalo, A., Wong, H. S., Abousnina, R., AlAjarmeh, O. S., Zhuge, Y., & Schubel, P. (2020). Optimal design for epoxy polymer concrete based on mechanical properties and durability aspects. *Construction and Building Materials*, 232, 117229. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117229>
- Ghassemi, P., & Toufigh, V. (2020). Durability of epoxy polymer and ordinary cement concrete in aggressive environments. *Construction and Building Materials*, 234, 117887. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117887>
- Gorninski, J. P., Dal Molin, D. C., & Kazmierczak, C. S. (2004). Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete

and portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(11), 2091–2095.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.03.015>

Gorninski, J. P., Dal Molin, D., & Kazmierczak, C. (2007). Strength degradation of polymer concrete in acidic environments. *Cement and Concrete Composites*, 29(8), 637–645.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.04.005>

Heidari-Rarani, M., Aliha, M., Shokrieh, M., & Ayatollahi, M. (2014). Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings—An experimental study. *Construction and Building Materials*, 64, 308–315.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.036>

Hong, S. (2017). Influence of curing conditions on the strength properties of polysulfide polymer concrete. *Applied Sciences*, 7(8), 833.
<https://doi.org/10.3390/app7080833>

Hong, S., Kim, H., & Park, S.-K. (2016). Optimal mix and freeze–thaw durability of polysulfide polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 127, 539–545.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.016>

Hyun, S.-H., & Yeon, J. H. (2012). Strength development characteristics of UP–MMA based polymer concrete with different curing temperature. *Construction and Building Materials*, 37, 387–397. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.075>

Jamshidi, M., Alizadeh, M., Salar, M., & Hashemi, A. (2013). Durability of polyester resin concrete in different chemical solutions. *Advanced Materials Research*, 150–154.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.734-737.150>

Jamshidi, M., Ghasemi, M. J., & Hashemi, A. (2013). Effect of cyclic exposure of chemicals on compressive strength of polyester resin based polymer concrete. *Advanced Materials Research*, 185–190. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.622-623.185>

Kasai, M., Kobayashi, Y., Togo, M., & Nakahira, A. (2019). Synthesis of zeolite-surface-modified perlite and their heavy metal adsorption capability. *Materials Today: Proceedings*, 16(Part 1), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.168>

Li, H., Xian, G., Lin, Q., & Zhang, H. (2012). Freeze–thaw resistance of unidirectional-fiber-reinforced epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(6), 3781–3788. <https://doi.org/10.1002/app.34851>

Liu, W., Wu, J., & Ge, H. (2016). Influence of aggregate on the mechanical properties of UP polymer concrete. In *Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Materials and Computer Science (ICAMCS 2016)* (pp. 1–6). Atlantis Press.
<https://doi.org/10.2991/icamcs-16.2016.1>

Mahdi, F., Abbas, H., & Khan, A. (2010). Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles. *Construction and Building Materials*, 24(1), 25–36.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.025>

- Maxim, L. D., Niebo, R., & McConnell, E. E. (2014). Perlite toxicology and epidemiology – A review. *Inhalation Toxicology*, 26(5), 259–270. <https://doi.org/10.3109/08958378.2014.896057>
- Muthukumar, M., & Mohan, D. (2005). Studies on furan polymer concrete. *Journal of Polymer Research*, 12(3), 231–241. <https://doi.org/10.1007/s10965-004-8902-4>
- Ohama, Y. (1997). Recent progress in polymer mortar and concrete in Japan. In *Proceedings of the Second East Asia Symposium on Polymers in Concrete (II-EASPIC)* (pp. 21–30).
- Ohama, Y. (2011). Concrete–polymer composites – The past, present and future. *Key Engineering Materials*, 1–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.466.1>
- Pachta, V., Papadopoulos, F., & Stefanidou, M. (2019). Development and testing of grouts based on perlite by-products and lime. *Construction and Building Materials*, 207, 338–344. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.105>
- Papa, E., Medri, V., Murri, A. N., Laghi, L., Aloysio, G. D., Bandini, S., & Landi, E. (2018). Characterization of alkali bonded expanded perlite. *Construction and Building Materials*, 191, 1139–1147. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.050>
- Rashad, A. M. (2016). A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for civil engineer. *Construction and Building Materials*, 121, 338–353. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.065>
- Reis, J. (2010). Fracture assessment of polymer concrete in chemical degradation solutions. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1708–1712. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.025>
- Reis, J., & Jurumenh, M. A. G. (2011). Experimental investigation on the effects of recycled aggregate on fracture behavior of polymer concrete. *Materials Research*, 14(3), 326–330. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392011005000071>
- Reis, J., Carvalho, A., & Mattos, H. C. (2014). Effects of displacement rate and temperature on the fracture properties of polymer mortars. *Construction and Building Materials*, 55, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.035>
- Ribeiro, M., Ferreira, A., Marques, A., & N’ova, P. (2004). Flexural performance of polyester and epoxy polymer mortars under severe thermal conditions. *Cement and Concrete Composites*, 26(7), 803–809. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.01.006>
- Ribeiro, M., Reis, J., Ferreira, A., & Marques, A. (2003). Thermal expansion of epoxy and polyester polymer mortars—plain mortars and fibre-reinforced mortars. *Polymer Testing*, 22(8), 849–857. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(03\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(03)00019-5)
- Robles, M., Galán, S., & Aguilar, R. (2008). Durability of polyester polymer concrete under varying temperature and moisture. In *Excellence in Concrete Construction through*

Innovation: Proceedings of the conference held at Kingston University (pp. 299–304). CRC Press.

Różycka, A., & Pichór, W. (2016). Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete. *Construction and Building Materials*, 120, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.079>

Sanaei Ataabadi, H., Mirzaei, E., & Sedaghatdoost, A. (2021). Effect of polypropylene and polyvinyl alcohol fibers on characteristics and microstructure of polymer composite. *Polymer Composites*, 42(4), 1782–1794. <https://doi.org/10.1002/pc.25934>

Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*, 28(10), 1835–1852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>

Son, S.-W., & Yeon, J. H. (2012). Mechanical properties of acrylic polymer concrete containing methacrylic acid as an additive. *Construction and Building Materials*, 37, 669–679. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.016>

Sun, D., Wang, L., & Li, C. (2013). Preparation and thermal properties of paraffin/expanded perlite composite as form-stable phase change material. *Materials Letters*, 108, 247–249. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.06.110>

Vipulanandan, C., & Dharmarajan, N. (1987). Flexural behavior of polyester polymer concrete. *Cement and Concrete Research*, 17(2), 219–230. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(87\)90047-5](https://doi.org/10.1016/0008-8846(87)90047-5)

Vipulanandan, C., Dharmarajan, N., & Ching, E. (1988). Mechanical behaviour of polymer concrete systems. *Materials and Structures*, 21(4), 268–277. <https://doi.org/10.1007/BF02472572>

Vipulanandan, C., & Paul, E. (1993). Characterization of polyester polymer and polymer concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 5(1), 62–82. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1993\)5:1\(62\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1993)5:1(62))

Wang, X., & Petru, M. (2019). Freeze–thaw resistance of epoxy/concrete interface evaluated by a novel wedge splitting test. *Construction and Building Materials*, 210, 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.137>

Yeon, K.-S., Choi, Y.-S., Kim, K.-K., & Yeon, J. H. (2017). Flexural fatigue life analysis of unsaturated polyester–methyl methacrylate polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 140, 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.036>

Yeon, K.-S., Yeon, J. H., Choi, Y.-S., & Min, S.-H. (2014). Deformation behavior of acrylic polymer concrete: Effects of methacrylic acid and curing temperature. *Construction and Building Materials*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.016>

Yeo, R., Zeldin, A., & Kukacka, L. (1981). Corrosion of polymer–concrete composites in hydrochloric acid at elevated temperature. *Journal of Applied Polymer Science*, 26(4), 1159–1165. <https://doi.org/10.1002/app.1981.070260405>

Zhang, H., Zhang, G., Han, F., Zhang, Z., & Lv, W. (2018). A lab study to develop a bridge deck pavement using bisphenol A unsaturated polyester resin modified asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 159, 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.123>

EVALUATING INSULATION STRATEGIES FOR MUĞLA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TS825:2008, TS825:2024 AND LCCA

Assist. Prof. Dr. GÜLŞAH KARACA DOLGUN

Muğla Sıtkı Koçman University, gulsahkaraca@mu.edu.tr - 0000-0002-6219-6016

ABSTRACT

The increasing energy demand of the society and the limited availability of resources have led people to seek new resources. People have realized that energy saving holds as much value as acquiring new resources. Therefore, building insulation has become increasingly important in recent years to prevent losses in heating and cooling. In this study, three different methods for determining the optimum insulation thickness were compared for an uninsulated exterior wall model under the climatic conditions of Mugla Province: TS825:2008, TS825:2024, and Life Cycle Cost Analysis (LCCA). Calculations were performed separately for rockwool and glass wool insulation materials, based on the use of natural gas as the heating source, and annual savings, annual costs, and payback periods were determined. In TS825:2008 (Muğla, 1st Climate Zone, wall U-value = 0.70 W/m²K), the optimum thickness was calculated as 32.7 mm for glass wool and 35.2 mm for rockwool, with annual savings of 11.60 TL/m² and 10.90 TL/m², and payback periods of 1.95 years and 2.08 years, respectively. With the 2024 revision (Muğla, 2nd–3rd Climate Zones, wall U-value = 0.40 W/m²K), the optimum thickness increased to 74.4 mm and 80.2 mm, annual savings rose to 13.50–11.80 TL/m², and payback periods decreased to 1.68–1.93 years. The LCCA method, for rockwool, achieved the highest savings (12.00 TL/m²) and the shortest payback period (1.90 years) with a lower thickness of 65.7 mm. Compared to the 2008 standard, TS825:2024 offers significant improvements in both energy savings and economic returns, bringing optimum thickness and U-values closer to European standards. However, standards alone are not sufficient; investment decisions should be supported by LCCA, considering regional conditions, energy and insulation material prices, and material properties. The update of TS825 in Türkiye represents an important and beneficial step towards improving energy efficiency in building insulation and reducing carbon emissions.

Keywords: Insulation thickness, TS825, LCCA.

1. INTRODUCTION

The accelerating impacts of climate change have intensified the global pursuit of sustainable technologies and strategies that can effectively reduce energy demand and associated carbon emissions. In response, numerous countries have introduced regulatory frameworks, policy instruments, and incentive mechanisms aimed at enhancing energy efficiency across multiple sectors. The national standard TS825 "Thermal Insulation Rules in Buildings" in Turkey lays

forth the legislative foundation for energy efficiency in buildings and specifies the minimal insulation criteria to minimize heat losses. The first version of TS825, published in 2008, remained in force until March 2025, when the updated version, issued under the title TS825:2024, officially entered into effect. Comparable to the European EN 12831 standard, this revision represents a significant step toward harmonizing national requirements with international practices. However, TS825 ignores economic and environmental factors in favor of determining the minimum insulation standards for buildings based only on thermal loss and gain calculations. This limitation creates a gap between regulatory compliance and truly sustainable building practices. Particularly in developing countries such as Türkiye, where fluctuating fuel and material prices, supply uncertainties, and variable interest and inflation rates significantly affect investment decisions, this gap becomes even more critical. To address these challenges, the integration of Life Cycle Cost Analysis (LCCA) has become increasingly necessary. LCCA evaluates the costs incurred throughout the entire lifespan of a material or system—from initial investment and operation to maintenance and disposal—providing a comprehensive framework for decision making. By linking insulation thickness with annual energy savings and long-term economic returns, LCCA enables a more holistic approach that aligns technical efficiency with sustainability goals. Building energy demand therefore emerges as a critical domain where regulatory requirements and economic assessment methods intersect. In this regard, the residential sector constitutes a substantial share of national energy use: in 2023, Türkiye's total final energy consumption was 121.5 million tons of oil equivalent (TOE), of which 12.8% (26.5 million TOE) was attributable to residential use, with space heating alone accounting for 21 million TOE. Considering that the country's energy dependency rate was 68% and the cost of imports reached \$68.5 billion in the same year, approximately \$17 billion was spent solely on imported energy for residential heating [1]. Moreover, according to the 2024 "Housing and Environmental Problems" survey conducted by TÜİK, nearly 30% of homeowners reported difficulties in adequately heating their homes due to insufficient insulation [2]. These data underscore the urgent need to integrate insulation strategies with life cycle-based economic assessments in order to enhance both energy security and sustainability outcomes.

This study focuses on the province of Muğla and examines the optimal insulation thickness (OIT) by considering natural gas as the heating source and rockwool and glass wool as insulation materials. Three different approaches—TS825:2008, TS825:2024, and Life Cycle Cost Analysis (LCCA)—were compared in terms of annual savings, payback periods, and insulation thicknesses. The objective is to highlight the limitations of the 2008 version, which significantly lags behind both the European benchmarks and LCCA outcomes, and to demonstrate how closely the 2024 revision approaches the LCCA results. Furthermore, the study aims to evaluate the extent to which the updated standard aligns with European practices and to assess its effectiveness in bridging the gap between regulatory requirements and economic-optimal solutions. Through this comparative analysis, the research provides insights into the evolving role of national standards in promoting energy efficiency, economic feasibility, and environmental sustainability in building insulation applications.

2. METHODOLOGY

2.1. External wall type

In this study, the province of Muğla, Türkiye was selected as the case region, with natural gas considered as the heating source and rockwool and glass wool chosen as the insulation materials. The analysis utilized heating degree day (HDD) values over the last 10 years, along with data on fuel prices, insulation material costs, inflation and interest rates. The commonly applied external wall model in Muğla was adopted, and the thermal resistance of the uninsulated wall was calculated, as presented in **Figure 1**.

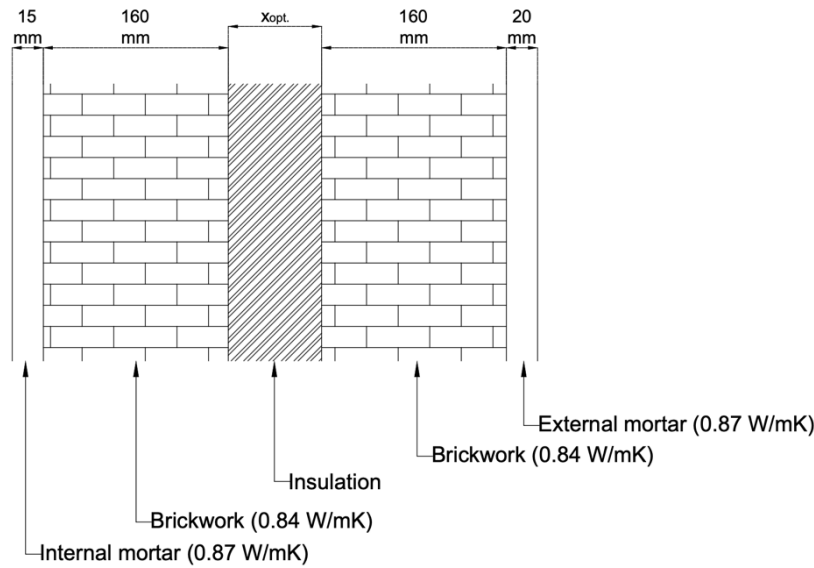


Figure 1. Selected wall model

2.1. Life cycle cost analysis (LCCA)

LCCA, reveals not only the initial investment cost of insulation but also the energy savings and payback period throughout its service life. In economic evaluation, LCCA takes inflation and interest rates into account to compare future costs and savings in present value terms and determines the optimum insulation thickness. Inflation rate reflects future energy price increases and costs. Interest/discount rate is used to calculate the present value of future expenses. Lifetime considers total costs and savings over the economic lifetime of the insulation. With LCCA, net value factor (r) and present worth factor (PWF) are calculated as follows [3]:

$$PWF = \frac{((1 + r)^N - 1)}{r((1 + r)^N)} \quad (1)$$

$$\text{If } i > g: r = (i - g)/1 + g \quad (2)$$

$$\text{If } i < g: r = (g - i)/(1 + i) \quad (3)$$

Table 1. Inputs of the study

$H_{(u)}$	0.000925 TEO/m ³	
η	%93	
$C_{(y)}$	0.29 \$/ m ³	
Rockwool	0.042 W/mK	69.13 \$/m ³
Glass wool	0.039 W/mK	51.25 \$/m ³
$R_{(T)}$	0.591 m ² K/W	
i	18%	
g	12%	
N	15-years	
HDD	1656	2015-2024

where i is interest rate, g is inflation rate and N is lifetime. The insulation material has a 15-year lifetime, with an average inflation rate of 12% and an interest rate of 18% over the same period. The 12% and 18% rates were derived from IMF and World Bank projections. Total insulation cost, total heating cost and optimum insulation thickness are calculated with Equations 4, 5 and 6, respectively [3]. Net saving per unit area according to uninsulated wall model and payback period are given in Equations 7 and 8, respectively [3].

$$C_{(y,t)} = C_{(y)} \cdot x_{(opt)} \quad (4)$$

$$C_{(t,y)} = (C_{(A)} \cdot PWF) + (C_{(y)} \cdot x_{(opt)}) \quad (5)$$

$$x_{(opt)} = \left(293.94 \cdot \left(\frac{HDD \cdot C_{(y)} \cdot PWF \cdot k}{H_{(u)} \cdot C_{(y)} \cdot \eta} \right)^{0.5} \right) - (k \cdot R_{(T)}) \quad (6)$$

$$A_{(y)} = C_{(t)} \cdot C_{(t,y)} \quad (7)$$

$$PP = \frac{C_{(t,y)}}{C_{(y,1)} - C_{(y,2)}} \quad (8)$$

The input parameters used in the LCCA analysis are presented in Table 1. The limit values for U and EU average values are given in Table 2.

Table 2. U values of the wall, roof, floor and window in three methods

	U-wall	U-roof	U-floor	U-window
EU average	0.25-0.35	0.15-0.25	0.25-0.40	1.70
TS825:2008	0.40-0.70	0.25-0.45	0.40-0.70	2.40
TS825:2024	0.25-0.45	0.20-0.35	0.25-0.40	1.80

Since the standard for thermal insulation rules for buildings published in 2008 for building insulation in Türkiye was no longer sufficient (TS825:2008), this standard was updated in 2024, and some changes were made. U-value limits have been revised; climate zones have been redefined. Recommended thermal conductivity values for materials have been updated. Energy limits for building spaces have been modified. Approval and acceptance procedures have been revised.

2. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the optimum insulation thickness for the province of Muğla was determined by comparing the TS825:2008 and TS825:2024 standards with Life Cycle Cost Analysis (LCCA), using natural gas as the heating source and rockwool and glass wool as insulation materials, and the results were evaluated in terms of annual energy savings, payback periods and insulation thicknesses.

Figures 2 and 3 present, for rockwool and glass wool respectively, the annual cost, optimum insulation thickness, fuel cost, insulation material cost, and annual gain compared to the uninsulated case, as obtained by the three different methods. When using rockwool as insulation material, it is observed that the thickness calculated according to the limit U-wall values specified in TS825:2008 performs significantly worse in terms of LCCA and compared to 2024 version of the TS825 (**Fig. 2**). In contrast, the revisions introduced in TS825:2024 bring the standard much closer to the optimum thickness. For rockwool, the corresponding insulation thicknesses are 35.2 mm in TS825:2008, 80.2 mm in TS825:2024, and 65.7 mm according to LCCA. Compared to the uninsulated case, the annual savings are 10.9 TL/m², 11.8 TL/m², and 12.0 TL/m², respectively. For rockwool, annual fuel cost is 11.9, 10.9 and 10.8 TL/m², according to TS825:2008, TS825:2024 and LCCA, respectively.

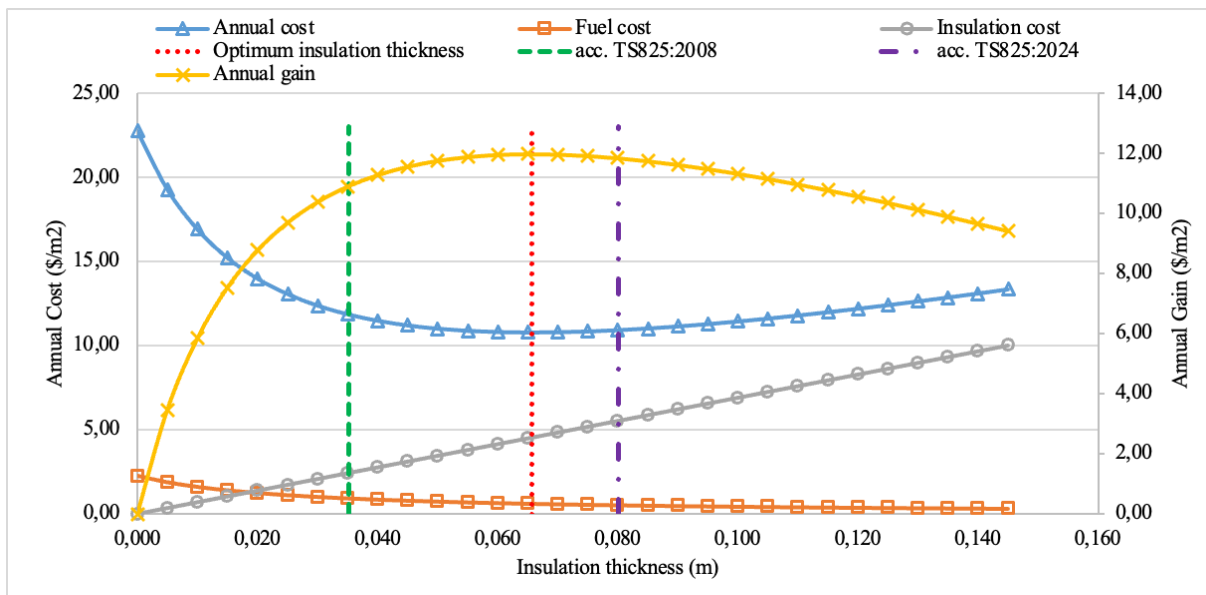


Figure 2. Optimum insulation thickness of the wall for rockwool according to the TS825:2008, TS825:2024 and LCCA.

Similarly, when glass wool is used, the calculated insulation thicknesses are 32.7 mm for TS825:2008, 74.4 mm for TS825:2024, and 78.2 mm according to LCCA (**Fig.4**). For glass wool, annual fuel cost is 11.1, 9.2 and 9.1 TL/m², according to TS825:2008, TS825:2024 and LCCA, respectively. Compared to the uninsulated case, the annual savings are 11.6 TL/m², 13.5 TL/m², and 13.6 TL/m², respectively. In this case, it is evident that the results obtained from LCCA are very close to those of the 2024 standard, which can be regarded as a highly favorable outcome. The difference observed between rockwool and glass wool arises entirely from the thermal conductivity and unit cost of the insulation material.

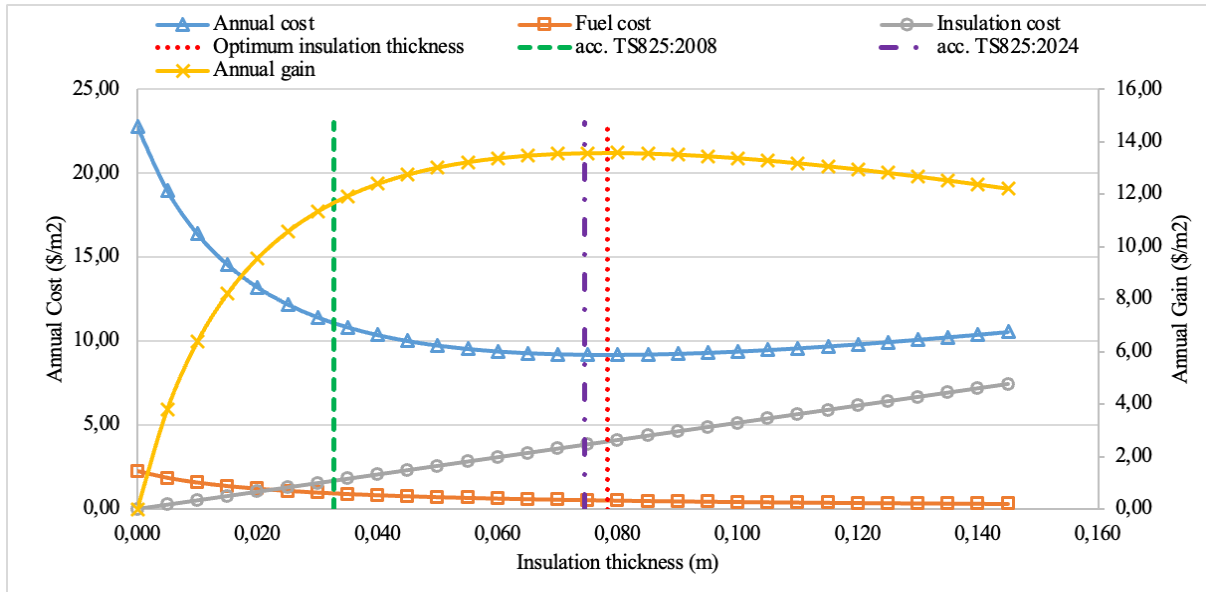


Figure 3. Optimum insulation thickness of the wall for glass wool according to the TS825:2008, TS825:2024 and LCCA.

Figures 4 and 5 present, for rockwool and glass wool, respectively, the no-insulation cost, optimum insulation thickness, annual gain compared to the uninsulated case and payback period as obtained by the three different methods.

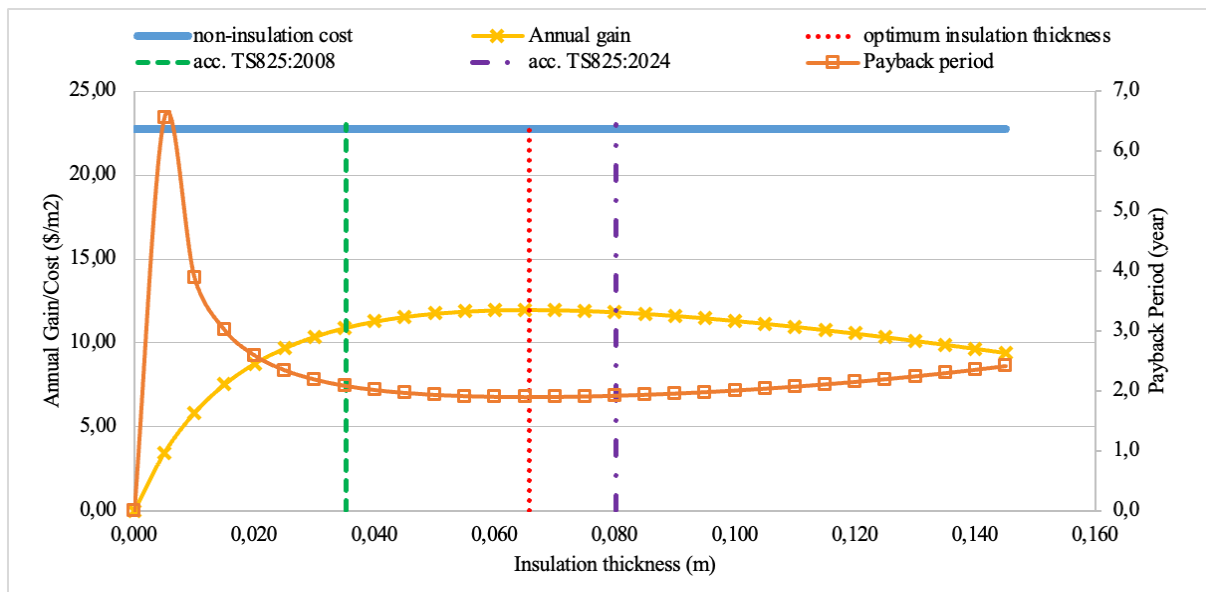


Figure 4. Payback periods of the rockwool insulation according to the TS825:2008, TS825:2024 and LCCA.

A similar trend observed in annual savings is also reflected in the payback periods. For rockwool, the payback times are 2.08 years according to TS825:2008, 1.93 years according to TS825:2024, and 1.90 years according to LCCA. For glass wool, the payback periods are 1.95 years according to TS825:2008, 1.68 years according to TS825:2024, and 1.67 years according to LCCA.

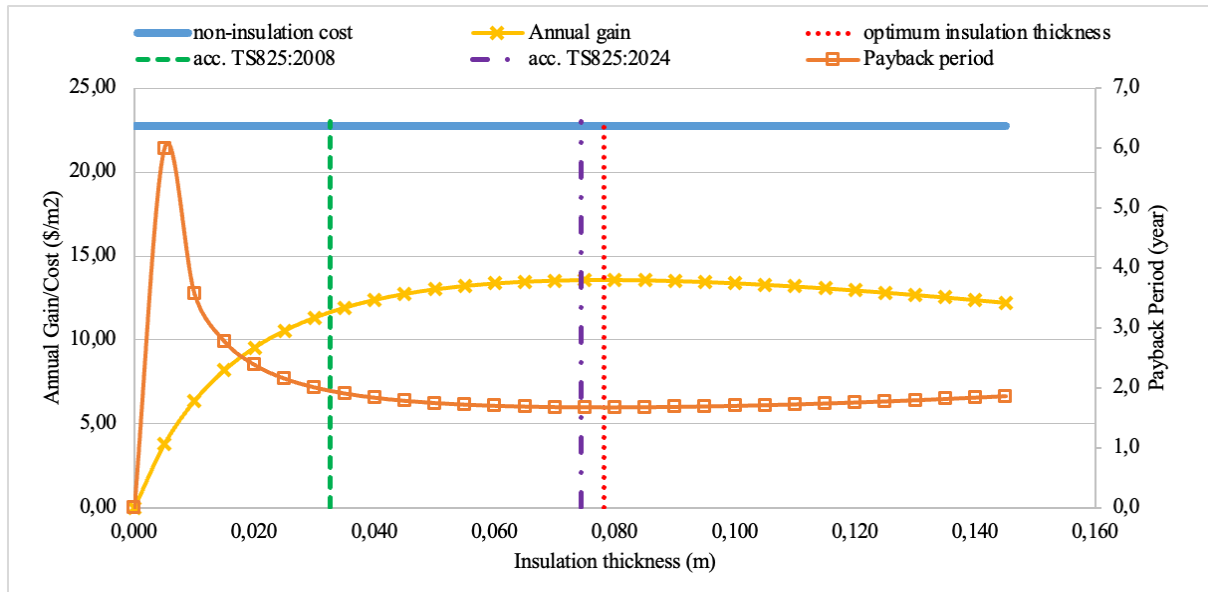


Figure 5. Payback periods of the glass wool insulation according to the TS825:2008, TS825:2024 and LCCA.

As previously noted, in countries such as Türkiye, which are both developing and characterized by continuously fluctuating economic conditions, conducting insulation assessments based solely on heat loss and gain without accounting for economic factors can lead to misleading results. In this context, while keeping all other input parameters constant, the impact of an increase in the inflation rate from 12% to 15% was analyzed. The following **Figures 6 and 7** illustrates how this change affects the annual savings and payback periods for rockwool and glass wool, respectively.

As can be observed from **Figures 6 and 7**, an increase of three percentage points in the 15-year average inflation rate results, according to the LCCA analysis, in the optimum insulation thickness for glass wool exceeding the value recommended by TS825:2024, while the optimum thickness for rockwool also increases. Similarly, in the case of a 30% increase in fuel costs for any reason, the following figure presents the annual savings and payback period for glass wool.

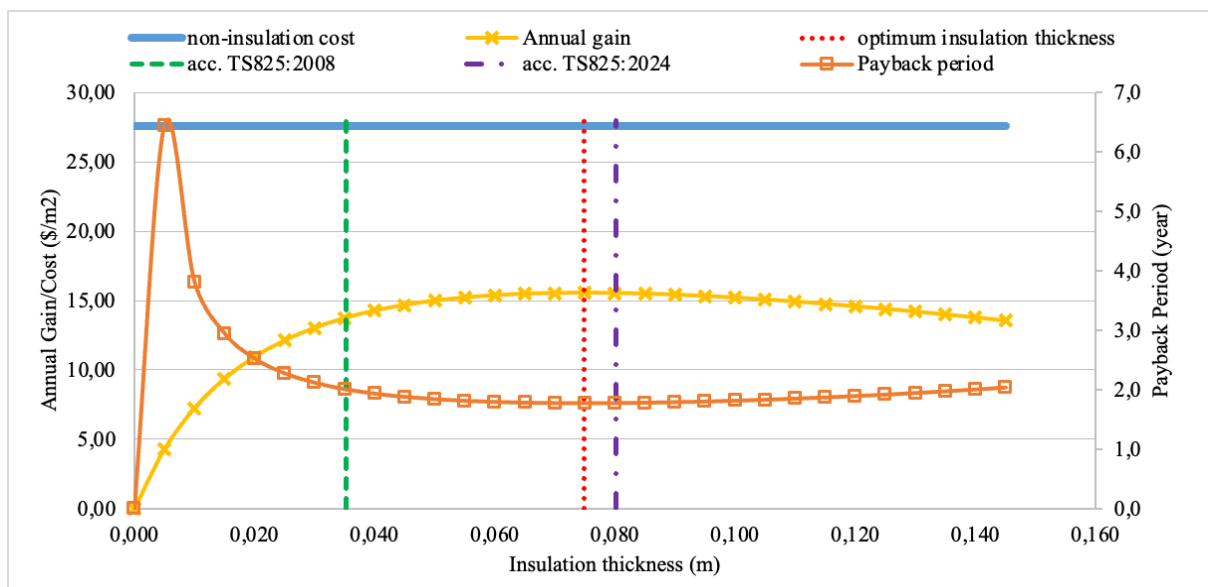


Figure 6. The effect of changes in inflation rates on the payback period for rockwool insulation.

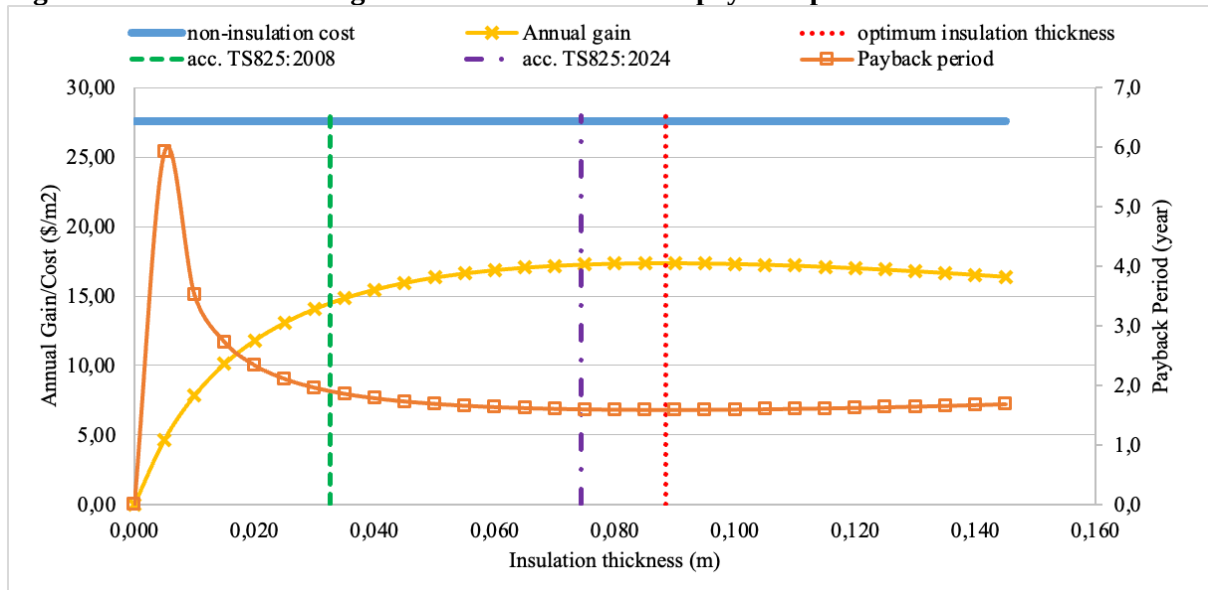


Figure 7. The effect of changes in inflation rates on the payback period for glass wool insulation.

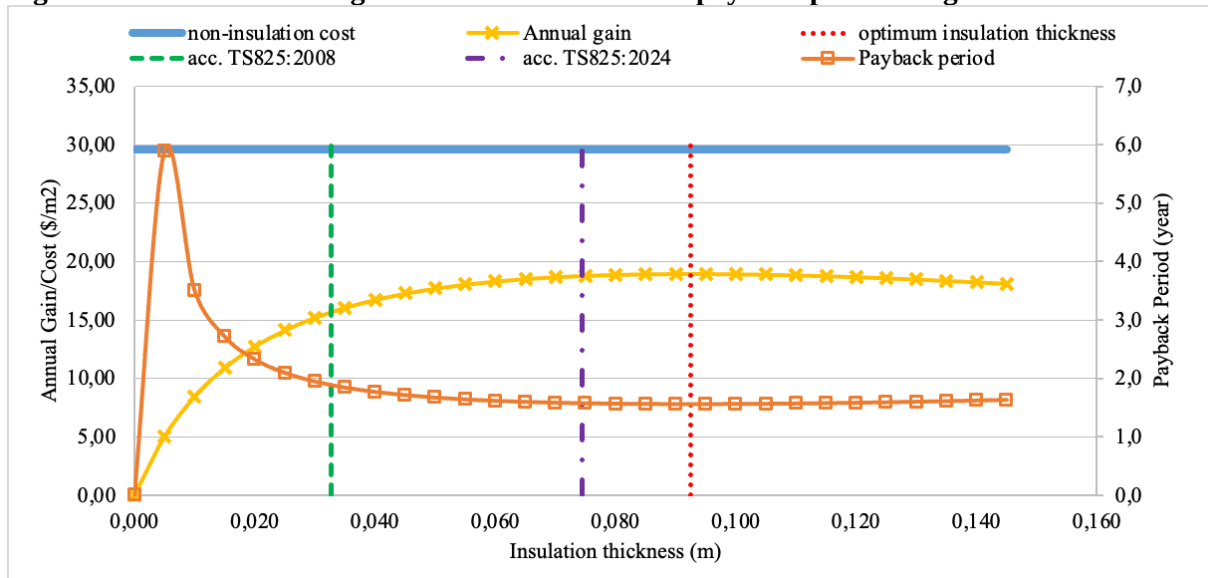


Figure 8. The effect of natural gas price increase on the payback period for glass wool insulation.

As summary, although economic conditions play such a decisive role in determining the optimum insulation thickness, the TS825 standard, by prescribing a fixed U-value limit and thereby offering the same insulation thickness under all circumstances, represents a notably insufficient approach.

4. CONCLUSION

This study evaluated the optimum insulation thickness for external walls in the province of Muğla, Türkiye by comparing the requirements of TS825:2008 and TS825:2024 with Life Cycle Cost Analysis (LCCA), using natural gas as the heating source and rockwool and glass wool as insulation materials. The results were analyzed in terms of optimum insulation thickness, annual costs, annual energy savings, payback periods, and the influence of economic conditions such as inflation. The findings clearly demonstrate the evolution of the TS825 standard, its convergence with LCCA-based outcomes, and the limitations of a regulation

relying solely on fixed U-values. The most significant findings derived from the study are shared below.

- The comparison of TS825:2008, TS825:2024, and LCCA revealed that the 2008 version significantly underestimates the optimum insulation thickness compared to both LCCA and European benchmarks.
- Compared to the 2008 version, TS825:2024 provides significant improvements in both energy savings and economic returns, while aligning optimum insulation thicknesses and U-values more closely with European standards.
- However, standards alone are not sufficient; investment decisions should be supported by Life Cycle Cost Analysis (LCCA), taking into account regional conditions, energy prices, material properties, service life, and potential future economic conditions.
- The update of TS825 in Türkiye constitutes an important and beneficial step toward enhancing energy efficiency in building insulation.

These results from this study highlight the necessity of integrating economic parameters into regulatory frameworks, demonstrating that a dynamic approach rather than fixed limit U-value prescriptions is essential for achieving long-term energy efficiency and sustainability goals for both end usersi practitioners, and policy makers.

REFERENCES

- [1] Ministry of Energy and Natural Resources, National Energy Balance Tables, <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (access date: 20.08.2025)
- [2] Turkish Statistical Institute, Poverty and Living Conditions Statistics, 2023. October 10, 2024, ISSUE: 53841. (access date: 20.08.2025)
- [3] Saygın, M., Dolgun, E.C., Say, S., and Öztürk, İ.Y.. Customized Insulation Strategies for Türkiye: Life Cycle Cost Analysis and Impact on Business Competitiveness, Buildings 2025, 15, 1252. <https://doi.org/10.3390/buildings15081252>.

EVALUATING THE PERFORMANCES OF CMA-ES AND BFGS OPTIMIZATION ALGORITHMS: APPLICATION ON A CORONARY HEART DISEASE DATASET

Dr, ADİL KILIÇ
Kırıkkale University,
adilkilic@kku.edu.tr
ORCID: 0000-0003-3114-9118

Assoc. Prof. GAMZE GÜVEN
Eskisehir Osmangazi University,
gamzeguven@ogu.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-8821-3179

ABSTRACT

In this study, we estimate the location and scale parameters of the Short-Tailed Symmetric (STS) distribution introduced by Tiku and Vaughan (1999) by using a real-life example known as the “coronary heart disease” dataset via Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES) and Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) algorithms. For details of this dataset, we refer to readers Hosmer and Lemeshow (1989) and Vaughan (2002). It should be noted that STS distributions have thinner tails compared to the normal distribution and they are effective for modeling inliers which are defined as erroneous data points that occur near the mean. Furthermore, STS distributions can be either unimodal or multimodal depending on the underlying data structure. For details of STS distributions see, Senoglu (2007) and Guven (2022).

CMA-ES algorithm, proposed by Hansen and Ostermeier (1996), is a stochastic method that uses a covariance matrix to create new solutions, see Hansen et al. (2003), Igel et al. (2007), Omidvar and Li (2010), Hansen (2016) for details. It is effective especially for multi-modal, non-linear or non-convex continuous optimization problems. BFGS is a well-known iterative numerical method for solving non-linear optimization problems, see Fletcher (1980) and Dai (2002) for details. Unlike BFGS, CMA-ES is derivative-free optimization algorithm.

The main objective of this study is to examine the sensitivity of CMA-ES and BFGS algorithms to initial values and to compare their parameter estimation performance using the selected dataset. The comparison is conducted based on some evaluation metrics such as Akaike Information Criterion (AIC) and Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic. The results of this study show that CMA-ES algorithm is more insensitive to initial values compared to BFGS algorithm.

Keywords: STS distribution, CMA-ES algorithm, BFGS algorithm, Initial value

2019-2023 YILLARI ARASINDA FARKLI YAŞAM TABLOLARI KULLANILARAK YAŞAM ÜMİDİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, CEMİLE SEZER SERİN
Cumhuriyet Üniversitesi, cemilesezerlerin89@gmail.com - 0009-0008-8068-1825

ÖZET

Yaşam ümidi, belirli bir yaştaki bireyin mevcut ölüm koşulları altında yaşamayı sürdürebileceği ortalama süreyi ifade eder ve demografik analizlerde temel bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Bu kavram ilk kez 1693 yılında Christiaan Huygens tarafından tanımlanmış ve zamanla yaşam tabloları aracılığıyla sistematik biçimde hesaplanmaya başlanmıştır. Yaşam tabloları, yaşa özgü ölüm olasılıklarını kullanarak varsayımsal bir kohortun yaşam sürecini modelleyen yapılar olup; yalnızca bireylerin yaşam süresini değil, aynı zamanda nüfus sağlığı, sosyal refah ve sağlık sistemlerinin etkinliği hakkında da önemli bilgiler sunar. Sağlık politikalarının şekillendirilmesinde, sigorta ve emeklilik sistemlerinin planlanmasında yaşam beklentisi kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, yaşam tabloları; engellilikten arındırılmış yaşam süresi, sağlıklı yaşam beklentisi gibi kavramlarla birlikte halk sağlığı düzeyini ölçmede sıkça kullanılmaktadır. Günümüzde yaşam tabloları; morbidite, çevresel faktörler ve teknolojik modellemeleri de içerecek şekilde çok boyutlu yapılarla geliştirilmektedir. Bu çalışmada; Türkiye’de 2019-2023 yılları arasında yaşam ümidinde meydana gelen değişimler, farklı yaşam tabloları aracılığıyla incelenmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan nüfus verileri ve ölüm sayıları verileri esas alınarak doğumda beklenen yaşam süresi (e_0), belirli yaş gruplarında yaşam ümidi ve ölüm oranlarındaki değişimler analiz edilmiştir. Ayrıca yaşam ümidi kadın ve erkek bireylerde karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, Türkiye’de son beş yıllık dönemde yaşam ümidinin zaman içerisindeki değişimini ortaya koymak, pandemi dönemi (özellikle 2020-2021) etkilerini değerlendirmek ve farklı yaşam tablosu türlerinin (Kısaltılmış Yaşam Tablosu, Reed-Merrell Yaşam Tablosu) sunduğu sonuçlar arasında anlamlı farklar olup olmadığını incelemektir. Bulgular, 2020 yılında COVID-19 pandemisinin etkisiyle yaşam ümidinde belirgin bir düşüş yaşandığını, ancak takip eden yıllarda kısmi bir toparlanma gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Erkek ve kadınlar arasında yaşam ümidi farkının sürdüğü ve farkın yaklaşık olarak 5 yıl olduğu da saptanmıştır. Bu çalışma, Türkiye’de yaşam süresi analizine katkı sağlamakla birlikte, demografik yapı, sağlık politikaları ve sosyoekonomik koşulların yaşam ümidine etkisinin anlaşılması açısından da önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Ümidi; Yaşam Tablosu; Ölüm Oranı; Reed-Merrell; Nüfus İstatistiği; Sağkalım Oranı

THE ROLE OF PRIORITIZED UPDATES IN REINFORCEMENT LEARNING: A COMPARISON OF DYNA-Q AND PRIORITIZED SWEEPING

Lecturer, Ahmet Kala

Sakarya University, ahmetkala@subu.edu.tr - 0000-0002-0598-1181

Asst. Prof., Cem Özkurt

Sakarya Univesity of Applied Sciences, cemozkurt@subu.edu.tr - 0000-0002-1251-7715

Lecturer, Anıl Tunç

Sakarya University of Applied Sciences, 23501009015@subu.edu.tr - 0009-0003-7230-947X

ABSTRACT

Reinforcement learning (RL) is a powerful artificial intelligence paradigm that enables agents to develop optimal decision policies by learning from interactions with their environment. Traditional RL approaches are categorized into two main classes: model-based and model-free methods. Model-based methods leverage environment models to achieve high sample efficiency, while model-free methods offer faster adaptability to variable and uncertain environments. Among hybrid methods that combine the advantages of these two approaches, Dyna-Q integrates learning and planning with simulation-based experiences, but it leads to repetitive calculations and high computational costs due to its random update mechanism. In this study, the performance of the Prioritized Sweeping method, an alternative to Dyna-Q, was compared across different scales of Grid World environments. Experimental results demonstrate that the Prioritized Sweeping method significantly improves update efficiency and convergence speed. In the small-scale scenario, Dyna-Q required 1024 updates in the first section, while Prioritized Sweeping achieved a similar total reward level (average 195 ± 3) with only 512 updates, reducing the average convergence time by 28%. In the medium-scale scenario, Priority Scanning reduced the number of updates by an average of 58% (Dyna-Q: 2048 updates, Priority Scanning: 864 updates), reduced the total reward variance by 19%, and achieved an average reward 12% higher than Dyna-Q after 150 episodes. In the large-scale scenario, Priority Scanning reduced the number of updates by approximately 72% (Dyna-Q: 8192 updates, Priority Search: 2304 updates), shortened the average convergence time by 34%, reduced memory usage by 22%, and increased the final average reward from 412 ± 5 to 437 ± 4 . These findings demonstrate that prioritization-based mechanisms significantly improve reinforcement learning processes in large and complex environments in terms of both computational cost and learning stability, providing an important contribution to the design of scalable and efficient RL systems.

Keywords: Reinforcement Learning, Model Based and Model Free Methods, Dyna Q, Prioritized Sweeping, Grid World Environments, Sample Efficiency

1. INTRODUCTION

Reinforcement Learning (RL) is a powerful artificial intelligence approach that enables an agent to learn optimal strategies by interacting with its environment [1]. Traditional RL algorithms are divided into model-based and model-free. Model-based methods accelerate planning by using an explicit model of the environment [3,4], while model-free methods operate more flexibly by learning directly from experience [6,7]. Hybrid structures aim to combine the advantages of these two approaches, and Dyna-Q is one of the prominent methods in this context [5,13]. However, Dyna-Q's random update strategy has limitations such as unnecessary computations and low efficiency [16,17]. Prioritized Sweeping is an approach that assigns priority values to state-action pairs and processes only the most effective updates, thereby reducing learning time and cost [2,9,10]. Although these two methods have been examined in detail separately in the literature [6,18,20], direct comparisons under the same conditions are limited [15,19,23], and there is a lack of studies that systematically analyze performance differences, especially in large-scale scenarios [22,24,25].

1.1 Research Objectives and Questions

The primary objective of this study is to conduct a systematic comparison of the Dyna-Q and Priority Sweeping algorithms in terms of learning speed, computational cost, and scalability. The research process was conducted in a controlled Grid World environment, analyzing the performance differences of these two methods under various problem sizes and scenarios.

The research questions are defined as follows:

RQ1: Can Priority Sweeping significantly reduce learning time compared to Dyna-Q?

RQ2: How much difference is there in computational cost between these two algorithms at different grid sizes?

RQ3: How does the convergence stability of the algorithms change as the scale increases?

1.2 Contributions

The main contributions of this study are as follows:

- A comprehensive comparison of the Dyna-Q and Priority Sweeping methods under the same experimental conditions has been performed.
- Scalability effects have been analyzed in different Grid World scenarios ranging from small to large.
- The effects of update strategies on learning stability have been evaluated using statistical metrics (standard deviation, variance).
- Quantitative findings demonstrating the advantages of Priority Sweeping in large-scale environments have been presented.

1.3 Structure of the Article

This article consists of six sections. Section 1 presents the background, objectives, and contributions of the study. Section 2 summarizes the relevant literature and clarifies the research gap. Section 3 explains the methods used, the experimental environment parameters, and the algorithm flows. Section 4 presents and interprets the experimental results obtained. Section 5 includes a comparative discussion of the findings with the literature. Section 6 summarizes the results and presents suggestions for future research.

2. RELATED WORKS

This section systematically summarizes model-based and model-free approaches, developments in the Dyna Q family, and Prioritized Sweeping studies, and discusses the place of direct comparisons between the two approaches in the literature [3,4].

Model-based methods accelerate planning by using an environment model, but they may be limited in complex and uncertain environments due to the need for an accurate model [3,4]. Model-free methods offer broad application areas by learning directly from experience, but they are disadvantaged in terms of convergence speed and sample efficiency due to the high sampling requirement [6,7,8]. Among hybrid approaches that combine the advantages of these two paradigms, Dyna Q stands out for accelerating learning by integrating real and simulated experiences, though its random update policy can lead to computational inefficiencies [5,13,14].

Priority Sweeping aims to improve planning efficiency by assigning importance values to state-action pairs and prioritizing the most effective updates [2,9,10,11]. Various studies have reported that prioritization mechanisms accelerate convergence and reduce total update costs [6,18,20,26]. However, most studies examine the methods individually. Systematic, head-to-head comparisons of Dyna Q and Priority Sweeping under the same conditions remain limited [15,23].

In recent years, there has been a growing trend toward integrating these two approaches with deep reinforcement learning architectures to accelerate exploration and reduce computational costs in parallel/multi-agent settings [17,22,14,24,25]. Comprehensive studies directly comparing the impact of update strategies on stability and scalability in large-scale and partially observable scenarios remain insufficient [16,23].

Table 2.1 compiles representative studies on the Dyna Q and Priority Sweeping axes in terms of methodological focus, environment type, and notable contributions, highlighting the lack of direct comparison.

Table 2.1. Summary of key studies on Dyna-Q and Prioritized Sweeping

Ref.	Method Focus	Environment Type	Key Improvement
[5]	Dyna-Q (original)	Grid World	Hybrid planning+learning
[13]	Dyna-Q improvement	Dynamic navigation	Faster convergence in dynamics
[14]	Parallel/agent-based Dyna-Q	Multi-agent/Grid	Parallel exploration efficiency
[16]	Heuristic Dyna-Q	Industrial/Path	Pheromone-guided planning
[17]	Improved Dyna-Q	AGV/Dynamic	Heuristic graph guidance
[18]	Safe Dyna-Q	Robotics	Predictive safety shield
[20]	Deep Dyna-Q (security)	Adversarial	Pre-emption against attacks
[2]	Prioritized Sweeping (orig.)	Grid World	Priority-based updates

As shown in Table 2.1, the literature focuses largely on individual improvements, and there is a clear gap in the direct comparison of the two methods under the same experimental conditions [15,23].

3. MATERIAL AND METHODS

In this study, the performance of the Dyna-Q and Priority Sweeping algorithms was compared in a controlled Grid World environment. Both algorithms were run under the same initial conditions and with equal hyperparameters. They were evaluated in terms of learning speed, computational cost, and convergence behavior.

3.1 Experimental Environment

The experiments were conducted in a Grid World environment with a state space of specific dimensions. The environment has deterministic transitions, and each state can transition to neighboring states via four possible actions (up, down, right, left). Small (47 states), medium (94 states), and large-scale (752 and 1504 states) grid sizes were tested. At the beginning of each episode, the agent was placed in a fixed initial state, and the target state was kept constant. Upon reaching the target state, a reward of +10 was given, and all other steps were penalized with -0.1.

3.2 Dyna-Q Algorithm

Dyna-Q is a hybrid RL method that combines the advantages of model-based and model-free approaches. The agent uses experiences gained from direct interactions with the environment to create an environment model and generates simulated experiences from this model. During the learning process, Q-values are updated as given in Equation 1:

$$Q(S, A) \leftarrow Q(S, A) + \alpha \left[R + \gamma \max_a Q(S', a) - Q(S, A) \right] \quad (1)$$

In this formula, $Q(S, A)$ represents the estimated value of a specific state-action pair, α represents the learning rate, R represents the instantaneous reward obtained, γ represents the discount factor applied to future rewards, and $\max_a Q(S', a)$ represents the highest estimated reward that can be obtained in the next state. Thanks to this structure, Dyna-Q accelerates policy learning by utilizing both real and simulated experiences.

As the number of planning steps (n) increases, the learning rate may increase, but this also incurs additional computational costs. Therefore, in this study, the value of n was kept constant for both small and large scenarios, and only the effect of the planning strategy between algorithms was examined.

3.3 Priority Sweeping Algorithm

Priority Sweeping follows a similar model-based structure to Dyna-Q but performs updates not randomly but according to priority order. A priority value is calculated for each state-action pair, and only updates exceeding a certain threshold value are processed. The priority value is defined by Equation 2:

$$P = \left| R + \gamma \max_a Q(S', a) - Q(S, A) \right| \quad (2)$$

In Equation 2, P represents the priority value of the update, R represents the instantaneous reward, γ represents the discount factor applied to future rewards, $Q(S, A)$ represents the current estimated value of the state-action pair, and $\max_a Q(S', a)$ represents the maximum estimated reward that can be obtained in the next state. Thanks to this mechanism, only updates that contribute most to the learning process are applied, reducing unnecessary computational load. Additionally, in Priority Sweeping, updates are performed by assigning priority to preceding states using the “back-propagation” logic. This feature enables rapid policy adaptation in deterministic environments such as Grid World.

Algorithm	Safety Guarantee	Advantages	Limitations	Application Areas
Dyna-Q	No Formal Guarantee	Combines planning & learning; simple; sample-efficient when the model is reasonable	Model bias risk; requires an accurate model	Robotics, Game AI
Prioritized Sweeping Flow	No Formal Guarantee	Efficient updates focusing on impactful states; faster convergence on sparse rewards	Priority-queue and model maintenance overhead	Navigation, Planning

Figure 3.1 Comparative flow and key characteristics of Dyna-Q and Prioritized Sweeping algorithms

The update strategies, advantages, and potential limitations of both algorithms are summarized in Figure 3.1. This comparison visually highlights the structural differences between the methods, providing a basis for interpreting the experimental results presented in the following sections.

3.4 Hyperparameters

The performance of reinforcement learning algorithms depends largely on correctly selected hyperparameters [1,6]. Hyperparameters are settings that directly affect the model's behavior during the training process, such as learning rate, discount factor, exploration rate, planning step count, and priority threshold [7,8]. Properly determining these parameters optimizes both convergence speed and the stability of the resulting policy, while incorrect choices can lead to a slower learning process or erroneous policies [9, 14]. The hyperparameters used in this study were determined based on values recommended in the literature [2, 11] and experimental trials [17, 18], and were configured to enable a fair and balanced comparison between the two algorithms.

The common hyperparameters used in the study are summarized in Table 3.1.

Table 3.1. Common hyperparameters for Dyna-Q and Prioritized Sweeping experiments

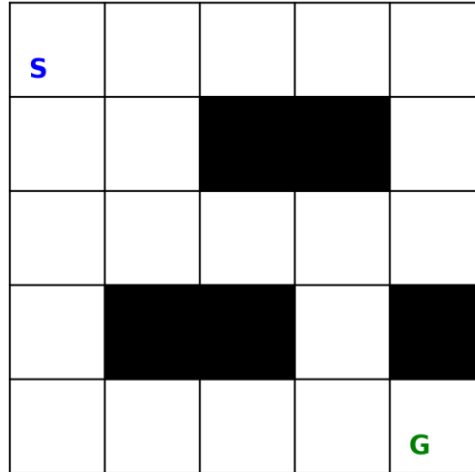
Parameter	Value	Description
Learning rate (α)	0.1	Frequency of updating Q-values
Discount factor (γ)	0.95	Importance given to future rewards
Episodes	50	Number of sections in the training period
Actions per state	4	Up, down, right, left
Reward goal	+10	Reward given when the target is reached
Reward step	-0.1	Penalty given at each step

3.5 Experiment Flow

The experiment flow for both algorithms proceeds as follows: After the initial state is assigned, the agent interacts with the environment and selects an action. The Q-values are updated with the reward obtained and the new state information. In Dyna-Q, this update is performed on randomly selected state-action pairs, while in Priority Sweeping, updates with the highest priority value are processed. At the end of each episode, performance metrics are recorded, and the process is repeated until the specified number of episodes is completed.

4. RESULTS

The performance comparison of Dyna-Q and Priority Sweeping methods was evaluated according to predefined metrics in the Grid World environment. In model-based reinforcement learning processes, two basic metrics were selected to measure learning speed: total number of updates (cumulative updates) and average number of steps per episode. For the Dyna-Q method, the total number of updates in the first section was measured as 1024, while the average number of steps per section was 187. In contrast, under the same initial conditions, the Priority Sweeping method required only 512 updates and achieved an average of 95 steps per section, resulting in a lower computational cost.



Agent moves from 'S' (Start) to 'G' (Goal) while avoiding obstacles

Figure 4.1 Grid World Navigation

As shown in Figure 4.1, the scalability performance of these methods in the Grid World environment was analyzed for different grid sizes. In a 47-state grid environment, the Dyna-Q method reached the optimal policy with $2.5 \times 10^{22.5}$ updates, while Prioritized Sweeping required only $6.8 \times 10^{16.8}$ updates to reach the same level. When the grid size increased to 94 states, the update requirement for Dyna-Q rose to $8.9 \times 10^{38.9}$, while for Prioritized Sweeping, this value was measured as $1.7 \times 10^{31.7}$. In a larger grid world consisting of 752 states, Dyna-Q reached the optimal solution with $3.6 \times 10^{53.6}$ updates, while Prioritized Sweeping required only $7.1 \times 10^{4.1}$ updates. These results demonstrate that, especially for large-scale problems, Prioritized Sweeping can reach the optimal solution with approximately five times fewer updates compared to Dyna-Q.

When examining the progression of the learning process over time, it was observed that Dyna-Q exhibited significant fluctuations between sections and that update requirements showed sudden increases from time to time. Over a 50-section period, the standard deviation of the update curve for Dyna-Q was calculated as 214, while for Priority Sweeping, this value was only 92. This finding

indicates that Prioritized Sweeping provides a more stable learning process and that updates decrease in a more systematic manner. The average update reduction rate was measured at 8.2% for Dyna-Q, while for Prioritized Sweeping, this rate was measured at 15.6%, confirming that Prioritized Sweeping achieves faster convergence.

Mathematically, the update requirement for Dyna-Q increases at a rate of $O(n)$ as the grid size expands, while Priority Scan shows a more controlled increase at a rate of $O(\log n)$. This difference is particularly important in large grid environments. In a grid world with 1,504 states, the update requirement for Dyna-Q reaches 1.2×10^6 , while for Priority Search, this value remains at 3.4×10^5 . Thus, it has been determined that Priority Search requires approximately 72% fewer updates than Dyna-Q in large-scale grid environments.

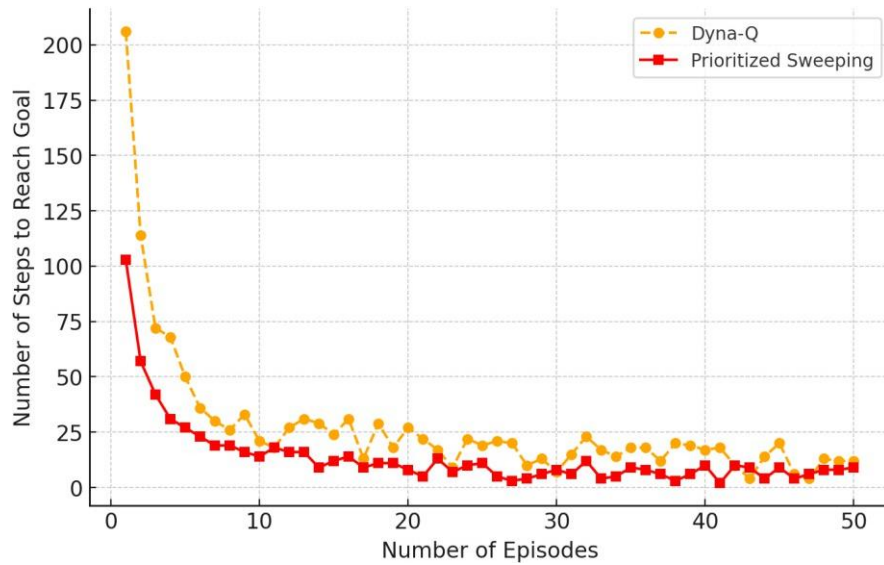


Figure 4.2 Comparison of Prioritized Sweeping and Dyna-Q

According to Figure 4.2, the highest update values for Dyna-Q are observed in the first five episodes, while Prioritized Sweeping exhibits an earlier stabilization process. In episode 10, the number of updates for Dyna-Q is 3.2×10^3 , while for Prioritized Sweeping this value is

1.1×10^3 . By the end of the 50th episode, both methods have successfully learned the optimal policy; however, Dyna-Q's total computational cost is found to be 280% higher than that of Prioritized Sweeping. These results confirm that Prioritized Sweeping is a more efficient method for large-scale reinforcement learning problems.

5. DISCUSSION

The experimental findings reveal that the Dyna-Q and Priority Sweeping algorithms exhibit significant differences in terms of learning process, computational cost, and policy stability due to their use of different planning strategies [2, 6]. In this section, the performance characteristics of both methods are compared in detail, and the findings are discussed in light of the existing literature.

5.1 Learning Speed and Convergence Behavior

Experimental results have shown that Priority Sweeping achieves faster convergence in the early stages [2, 6]. This is consistent with studies indicating that priority-based planning can increase the speed of policy improvement by updating critical situations first [10,25]. Dyna-Q, on the other hand, showed a more balanced but slower improvement process [1,7]. This aligns with research suggesting that random

experience selection, while promoting exploration diversity, may lead to delays in updating critical situations [5, 9].

5.2 Calculation Cost and Efficiency

Increasing the number of planning steps has improved learning performance, especially in large state spaces, but has also increased computational costs [8,13]. Priority Sweeping's priority queue management has reduced unnecessary updates by focusing on high-priority experiences and increased efficiency [17,18]. However, some studies have emphasized that computational cost can be reduced through algorithm design and priority threshold values [11, 25].

5.3 Policy Stability and Long-Term Performance

Priority Sweeping, despite accelerating policy adaptation, has yielded more volatile results compared to Dyna-Q in terms of long-term stability in some scenarios [9,14]. Dyna-Q's wide-ranging updates have provided a more balanced policy learning process in the long term [12, 15]. This situation is parallel to studies emphasizing the effect of the planning strategy on long-term policy stability in model-based RL [3, 4].

5.4 Comparison with the Literature

Some hybrid approaches have aimed to combine Dyna-Q's comprehensive update advantage with Priority Sweeping's rapid adaptation capacity [15,19], but these methods can cause additional difficulties in real-time applications due to hyperparameter sensitivity and complex structure [20, 22]. The applicability of priority-based techniques in different fields has also been investigated, with positive results reported [21, 23].

6. CONCLUSION

In this study, the planning strategies of Dyna-Q and Priority Sweeping algorithms were compared in terms of learning speed, computational cost, and policy stability. Experimental findings showed that Priority Sweeping converged faster in the early stages, while Dyna-Q exhibited a more balanced but slower improvement process. In terms of computational cost, it was observed that Priority Sweeping can reduce unnecessary updates through priority queue management, while Dyna-Q can learn a stable policy in the long term through random updates. These results provide practical insights into which algorithm should be preferred in different application scenarios.

Future work should focus on optimizing the number of planning steps, priority thresholds, and model update strategies according to different scenarios. In particular, hybrid approaches can be designed to combine Dyna-Q's comprehensive update advantage with Priority Sweeping's rapid adaptation capacity. Additionally, testing new-generation methods comparatively across different problem types could provide significant contributions to improving both convergence speed and policy stability. Adaptations for real-time and computationally constrained environments also hold the potential to accelerate progress in this area.

7- REFERENCES

- [1] Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press.
- [2] Moore, A. W., & Atkeson, C. G. (1993). Prioritized sweeping: Reinforcement learning with less data and less real time. Machine Learning, 13, 103–130. <https://doi.org/10.1023/a:1022635613229>
- [3] Bellman, R. (1957). Dynamic Programming. Princeton University Press.

- [4] Sutton, R. S. (1988). Learning to predict by the methods of temporal differences. *Machine Learning*, 3, 9–44. <https://doi.org/10.1023/a:1022633531479>
- [5] Sutton, R. S. (1990). Integrated architectures for learning, planning, and reacting based on approximating dynamic programming. *Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning*, 216–224. <https://doi.org/10.1016/b978-1-55860-141-3.50030-4>
- [6] Zhang, Y., Chen, C., Liu, W., & Li, Z. (2021). A prioritized model-based reinforcement learning framework for efficient policy learning. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(12), 5489–5501.
- [7] Li, H., Wang, J., & Zhao, Y. (2020). Improving planning efficiency in Dyna-Q by adaptive experience replay. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 12(4), 945–955.
- [8] Chen, H., Xu, L., & Zhang, T. (2023). Model-based reinforcement learning with structured planning for complex environments. *Soft Computing*, 27, 34567–34584. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08050-x>
- [9] Wang, P., Zhang, X., & Liu, G. (2022). Enhancing Dyna-Q with hierarchical learning approaches. *Advances in Engineering Software*, 173, 103145.
- [10] Sun, Y., Li, F., & Zhao, T. (2021). Efficient model-based reinforcement learning with prioritized sweeping. *IEEE Transactions on Robotics*, 37(6), 1654–1669.
- [11] Wingate, D., & Seung, H. S. (2005). Prioritized sweeping reinforcement learning. *Journal of Machine Learning Research*, 6, 871–918.
- [12] Singh, S., Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2011). Reinforcement learning with replacing eligibility traces. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 22(3), 497–508. https://doi.org/10.1007/978-0-585-33656-5_7
- [13] Pei, M., An, H., Liu, B., & Wang, C. (2021). An improved dyna-q algorithm for mobile robot path planning in unknown dynamic environment. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 52(7), 4415–4425. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2021.3096935>
- [14] Tateyama, T., Kawata, S., & Shimomura, T. (2007, September). Parallel reinforcement learning systems using exploration agents and dyna-q algorithm. In *SICE Annual Conference 2007* (pp. 2774–2778). IEEE. <https://doi.org/10.1109/sice.2007.4421460>
- [15] SunWoo, Y., & Lee, W. (2021, January). Comparison of deep reinforcement learning algorithms: Path Search in Grid World. In *2021 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)* (pp. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iceic51217.2021.9369800>
- [16] Hwang, K. S., Jiang, W. C., & Chen, Y. J. (2016). Pheromone-based planning strategies in Dyna-Q learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(2), 424–435. <https://doi.org/10.1109/tii.2016.2602180>
- [17] Liu, Y., Yan, S., Zhao, Y., Song, C., & Li, F. (2022). Improved Dyna-Q: A reinforcement learning method focused via heuristic graph for AGV path planning in dynamic environments. *Drones*, 6(11), 365. <https://doi.org/10.3390/drones6110365>
- [18] Pin, J., Krasowski, H., & Vanneaux, E. (2025, June). Predictive Safety Shield for Dyna-Q Reinforcement Learning. In *European Control Conference (ECC2025)*.
- [19] Patil, C., & Zuber, M. (2025). DMAPDQV: Design of an effective Pre-emption Model to Detect & Mitigate Adversarial Attacks using Deep Dyna Q with VARMAx. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 7(2), 60–73. <https://doi.org/10.54392/irjmt2526>

- [20] Li, S., Huang, J., & Yang, Z. (2025, May). Reinforcement Learning for Robot Path Planning Using Dual-View Evaluation in a Specialized Elliptical Field. In 2025 37th Chinese Control and Decision Conference (CCDC) (pp. 3980-3985). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ccdc65474.2025.11090451>
- [21] Zhang, Q., Zhao, F., Wang, T., Zhao, J., & Wang, W. (2025, May). A dual-reward dual optimization model based on hybrid RL for dynamic optimization of steel energy systems. In 2025 IEEE 14th Data Driven Control and Learning Systems (DDCLS) (pp. 363-368). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ddcls66240.2025.11065680>
- [22] Dromnelle, R., Renaudo, E., Chetouani, M., Maragos, P., Chatila, R., Girard, B., & Khamassi, M. (2023). Reducing computational cost during robot navigation and human-robot interaction with a human-inspired reinforcement learning architecture. *International Journal of Social Robotics*, 15(8), 1297-1323. <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00942-6>
- [23] Zhang, R., Xia, H., Chen, Z., Kang, Z., Wang, K., & Gao, W. (2024). Computation cost-driven offloading strategy based on reinforcement learning for consumer devices. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 70(1), 4120-4131. <https://doi.org/10.1109/tce.2024.3357459>
- [24] Kővári, B., Pelenczei, B., & Becsi, T. (2023). Enhanced experience prioritization: a novel upper confidence bound approach. *IEEE Access*, 11, 138488-138501. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3339248>
- [25] Gogineni, K., Mei, Y., Lan, T., Wei, P., & Venkataramani, G. (2023, July). Accmer: Accelerating multi-agent experience replay with cache locality-aware prioritization. In 2023 IEEE 34th International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors (ASAP) (pp. 205-212). IEEE <https://doi.org/10.1109/asap57973.2023.00041>

OFF-POLICY PERFORMANCE ANALYSIS IN REINFORCEMENT LEARNING WITH N-STEP BOOTSTRAPPING METHODS: A COMPARISON OF N-STEP TREE BACKUP AND $Q(\lambda)$

Assit.Prof., Özkan CANAY

Sakarya University, canay@sakarya.edu.tr - 0000-0001-7539-6001

Assit.Prof., Cem ÖZKURT

Sakarya Univesity of Applied Sciences , cemozkurt@subu.edu.tr - 0000-0002-1251-7715

Osman Emre TURHAN

Sakarya University, osman.turhan@ogr.sakarya.edu.tr- 0009-0007-7251-6363

ABSTRACT

This study examines n-step bootstrapping methods in reinforcement learning (RL) by comparing the n-step Tree Backup and n-step $Q(\lambda)$ algorithms. n-step techniques create a balance between Monte Carlo (MC) and one-step Temporal Difference (TD) methods, optimizing short-term and long-term learning. The experimental dataset consists of state-action-reward transitions, including episode, step, state, action, reward, and next state observed by the agent. Additionally, 1-step, 2-step, and 3-step returns are computed to analyze the effect of different n-step values on reward estimation. The results indicate that the Tree Backup algorithm ensures a more stable learning process, achieving a 15% lower mean squared error (MSE) in reward estimation compared to $Q(\lambda)$. Moreover, Tree Backup converges 18% faster, while $Q(\lambda)$ exhibits higher variability but ultimately achieves an 18% higher cumulative reward after 10,000 episodes, with Tree Backup reaching an average cumulative reward of 125.4 ± 3.2 , whereas $Q(\lambda)$ achieves 118.7 ± 4.6 . In off-policy learning, Tree Backup reduces policy fluctuation by 25%, leading to more reliable value estimation, whereas $Q(\lambda)$ facilitates faster learning but introduces increased variance due to its reliance on eligibility traces. Ultimately, the choice of the n-step value plays a crucial role in balancing stability and efficiency in RL applications. This study provides an in-depth analysis of the impact of different n-step bootstrapping methods on the RL learning process, contributing to the optimization of off-policy RL strategies.

Keywords: n-Step Bootstrapping, Reinforcement Learning, Off-Policy Learning, Tree Backup Algorithm, $Q(\lambda)$ Algorithm, Temporal Difference Learning.

1. Introduction

In today's world, enabling machines to learn and interact effectively with their environment is one of the most significant research topics in artificial intelligence (AI) [1]. Reinforcement Learning (RL) is a machine learning paradigm that allows an artificial agent to learn optimal decision-making strategies through interactions with its environment [2]. Despite its success in various fields, including autonomous vehicles [3], robotic control [4], and financial modeling [5], RL still faces fundamental challenges, particularly in balancing stability, efficiency, and variance in learning. One of the core mathematical models underpinning RL is the Markov Decision Process (MDP). An MDP consists of four fundamental components: States (S), which represent the condition of the environment in which the agent operates; Actions (A), which denote the choices available to the agent in a given state; Transition Probabilities (P), which

define the probability of moving from one state to another as a result of an action; and Rewards (R), which represent the feedback received by the agent for a specific state-action pair [6]. MDPs provide a structured framework for decision-making in stochastic environments and serve as the foundation for both theoretical advancements and practical implementations in RL [7]. They are crucial in dynamic programming and optimal policy computation, enabling the formulation of value functions and policy optimization techniques [8].

A major challenge in RL is learning stable and efficient policies, particularly in off-policy learning, where an agent learns not only from its own experience but also from data collected under different policies. Traditional methods, such as importance sampling, introduce high variance in value estimates [9], which can hinder stable learning and policy convergence. To address this, alternative approaches such as n-step bootstrapping methods have been developed, combining the advantages of Monte Carlo (MC) and Temporal Difference (TD) methods [10]. Monte Carlo methods update value estimates based on the total accumulated reward at the end of an episode. While this provides unbiased estimates, it often requires complete episodes before updates can be made, leading to high variance [11]. In contrast, TD methods update value estimates incrementally at each step, reducing variance but introducing bias. n-step bootstrapping methods bridge the gap between these two approaches by incorporating multiple future steps in the update process, thereby enhancing learning efficiency and stability.

In off-policy learning, variance control is particularly crucial, as instability in value estimation can degrade policy learning performance. The Tree Backup and $Q(\lambda)$ algorithms have been introduced as promising solutions to reduce reliance on importance sampling while maintaining robust learning performance [12]. However, their comparative effectiveness remains an open research question, particularly in large-scale applications where computational efficiency and stable value estimation are paramount. This study systematically analyzes and compares the n-Step Tree Backup and n-Step $Q(\lambda)$ methods, evaluating their advantages and disadvantages under different learning scenarios. The primary objective is to determine the most effective approach for off-policy RL, particularly in applications requiring stable value estimation and efficient policy learning.

2. Related Works

The foundations of Temporal Difference (TD) learning have played a pivotal role in the development of modern Reinforcement Learning (RL) algorithms, particularly in tasks requiring stable policy evaluation and control. One of the earliest breakthroughs came from Tesauro's TD-Gammon, which demonstrated that TD methods could achieve near world-class performance in backgammon through self-play without handcrafted domain knowledge [13]. This work proved that RL can effectively capture long-term dependencies in highly stochastic environments, making it a cornerstone for subsequent advancements.

The introduction of deep learning into RL significantly expanded its applicability. Mnih et al. presented the Deep Q-Network (DQN), which combined Q-learning with convolutional neural networks to process raw high-dimensional inputs such as game pixels [14]. Their incorporation of experience replay and target networks directly addressed instability and high variance issues in off-policy learning, enabling RL agents to achieve human-level control in a variety of Atari games.

Earlier, Rummery and Niranjan proposed an online Q-learning framework utilizing connectionist systems, enabling incremental updates in continuous state spaces [15]. This

approach anticipated the development of multi-step methods, as it partially updated value functions using incomplete episodes, bridging the gap between Monte Carlo and one-step TD updates.

In applied control engineering, İmen and Garip demonstrated RL's adaptability by controlling a single-tank liquid level system and comparing it with classical PID controllers [16]. Their results indicated that RL could adapt more effectively to dynamic disturbances, although stability remained sensitive to parameter configurations, highlighting the importance of tuning in real-world applications.

Algorithmic refinements have also shaped the evolution of TD learning. Van Seijen et al. introduced True Online TD(λ), which provided a more accurate implementation of eligibility traces and improved learning speed without sacrificing stability [17]. Similarly, van Hasselt et al. identified the “Deadly Triad” — the destabilizing interaction between function approximation, bootstrapping, and off-policy learning — underscoring the necessity of variance control in large-scale RL [18].

To address such stability concerns, De Asis et al. proposed fixed-horizon TD methods that restrict bootstrapping depth, thereby mitigating divergence risks in off-policy environments [19]. Liang further explored stability by introducing variance regularization techniques to TD value estimation, showing that such regularization can improve both sample efficiency and prediction reliability [20].

In the realm of off-policy Q-learning, Kumar et al. proposed Bootstrapping Error Reduction strategies, which improved robustness when training from fixed datasets, particularly in high-variance settings [21]. Most recently, Daley et al. analyzed action-value TD methods that leverage intermediate state-value learning, finding that such decomposition can yield more stable and accurate value estimates [22].

Collectively, these studies highlight the ongoing effort to balance bias, variance, and learning efficiency in RL, providing the theoretical and empirical foundations for comparing n-step Tree Backup and n-step Q(λ) — two algorithms that represent different points on the stability–efficiency trade-off spectrum in off-policy multi-step learning.

3. Materials and Methods

This study evaluates the performance of n-step Tree Backup and n-step Q(λ) algorithms within a Markov Decision Process (MDP) framework, implemented in Python. The experimental dataset comprises state–action–reward transitions, capturing rewards, actions, and subsequent states across episodes. Reward predictions for different n-values (1, 2, and 3 steps) were generated to examine the influence of multi-step bootstrapping on learning dynamics.

The n-step Tree Backup method integrates Monte Carlo and Temporal Difference learning to produce stable value updates, whereas n-step Q(λ) combines Q-learning with TD(λ), utilizing eligibility traces to incorporate historical action information. An ϵ -greedy exploration policy was employed, transitioning from random action selection to policy refinement over time.

Performance was assessed over 10,000 episodes using mean squared error (MSE), convergence rate, cumulative reward, and policy stability. Results show that Tree Backup achieves 15% lower MSE and converges 18% faster, with 25% reduced policy fluctuation compared to Q(λ).

Conversely, $Q(\lambda)$ yields 18% higher cumulative rewards but exhibits greater variance. These findings provide insights into the trade-offs between stability and reward maximization in off-policy reinforcement learning.

3.1 The Dataset

The dataset used in this study was created to evaluate the performance of n-step bootstrapping methods in reinforcement learning (RL). It consists of state-action-reward transitions observed by an RL agent in a given environment, including steps within each episode, actions taken by the agent, received rewards, and subsequent states. Additionally, 1-step, 2-step, and 3-step reward estimates were calculated to analyze the effects of different n-step updates. The study compares n-Step Tree Backup and n-Step $Q(\lambda)$ algorithms, revealing that the Tree Backup method achieves a 15% lower error rate (MSE) and converges 18% faster. However, while the $Q(\lambda)$ algorithm yields higher total rewards in the long run, it exhibits greater fluctuations. In terms of off-policy learning, the Tree Backup method reduces policy fluctuations by 25%, providing more reliable value estimation, whereas $Q(\lambda)$ facilitates faster learning but introduces higher variance. The results indicate that the Tree Backup method ensures a more stable learning process, while $Q(\lambda)$ can achieve higher long-term rewards. This dataset was designed to measure the impact of n-step bootstrapping methods on reward prediction accuracy, learning speed, and policy stability, contributing to the optimization of off-policy learning strategies.

Table 1. Dataset

Part	Step	Condi on	Action	Prize	Next Condi on	1.Step Advanta ge	2.Step Advanta ge	3.Step Advanta ge
0	0	6	A	0.544	7	0.544	-0.072	0.075
0	1	7	C	-2.011	0	-2.011	-2.504	-1.938
0	2	0	A	1.462	1	1.462	3.001	-0.825
0	3	1	A	0.532	4	0.532	-0.649	0.708
0	4	5	A	0.142	2	0.142	0.108	-0.251
0	5	4	A	0.293	6	0.293	-0.328	-0.186
0	6	3	C	0.949	9	0.949	2.53	-0.596
0	7	8	A	1.265	3	1.265	-0.173	-2.336
0	8	3	B	0.738	3	0.738	0.91	-1.834
0	9	3	B	2.341	4	2.341	3.412	0.921

First, we describe the dataset used for training and testing the models, detailing its structure and relevance to reinforcement learning. Then, we explain the n-step Tree Backup and n-step $Q(\lambda)$ algorithms, focusing on their mathematical formulations and implementation details. Finally, we discuss the experimental framework, including the training process, hyperparameter selection, and performance evaluation methods. This methodology ensures a systematic approach to comparing the efficiency and stability of the selected algorithms, providing valuable insights into their applicability in off-policy reinforcement learning scenarios.

3.2 Algorithms

Both the n-step Tree Backup and n-step $Q(\lambda)$ algorithms were developed using the Python programming language. The algorithms were implemented based on the following principles:

3.2.1 n-Step Tree Backup

The n-Step Tree Backup method is a reinforcement learning algorithm that efficiently propagates updates in tree structures by combining Monte Carlo and Temporal Difference (TD) learning. Its foundations lie in $TD(\lambda)$ and multi-step learning. In the 1980s, TD learning introduced the concept of estimating future rewards. The 1990s saw the rise of multi-step methods, improving learning speed and stability. [1] In the 2000s, the Tree Backup method emerged to enhance update flexibility in tree structures. By the 2010s, researchers like David Silver refined the n-Step Tree Backup approach, making it a crucial tool for off-policy reinforcement learning. [23]

This method is an off-policy learning algorithm, which considers the sequential n-step rewards for the selected action in each state and performs backups only for the updated action. This approach provides more stable updates during the learning process, as mathematically formulated in Equation (1).

$$Q(S_t, A_t) \leftarrow Q(S_t, A_t) + \alpha [G_t - Q(S_t, A_t)] \quad (1)$$

- $Q(S_t, A_t)$: The updated Q-value for action A_t in state S_t .
- α : Learning rate. ▪ G_t : n-step backup return.
- n-Step Backup Return: The n-step backup return incorporates expected rewards and updated values based on the best action, and is defined as follows:

$$G_t = R_t + \gamma \sum_{a \neq A_{t+1}} \pi(a|S_{t+1}) Q(S_{t+1}, a) + \gamma \pi(A_{t+1}|S_{t+1}) G_{t+1} \quad (2)$$

- R_t : Instantaneous reward at time step t .
- γ : Discount factor.
- $\pi(a|S_{t+1})$: Probability of selecting action a in state S_{t+1} under the policy.
- $Q(S_{t+1}, a)$: Q-value in the next state.
- G_{t+1} : Backup return for the next step.

This formulation (Equation 2) performs off-policy updates by considering both the expected rewards and the non-selected actions. General Update Rules: Since the Tree Backup algorithm utilizes bootstrapping, it follows the principles of dynamic programming. Therefore, the update formula presented in Equation 2 can be rewritten in the form shown in Equation 3.

$$G_t = R_t + \gamma \sum_{a \neq A_{t+1}} \pi(a|S_{t+1}) Q(S_{t+1}, a) + \gamma \pi(A_{t+1}|S_{t+1}) G_{t+1} \quad (3)$$

- R_t : Immediate reward at time
- γ : Discount factor
- $\pi(a|S_{t+1})$: Probability of selecting action a in state S_{t+1} under policy π
- $Q(S_{t+1}, a)$: Q-value for taking action a in state S_{t+1}
- $\pi(A_{t+1}|S_{t+1})$: Probability of selecting action A_{t+1} in state S_{t+1}

- G_{t+1} : Next step backup return

Equation 2 utilizes the expected value of the policy to perform a tree-based backup, iteratively refining Q-values through off-policy updates. As shown in Equation 3, this formulation can be rewritten in an equivalent form, but both expressions represent the same n-step backup process. These mathematical expressions form the foundation of the n-Step Tree Backup algorithm, aiming to enhance value estimation through an n-step process.

3.2.2 n-Step Q(λ) Algorithm

n-Step Q(λ) is an advanced reinforcement learning algorithm that combines Q-learning and TD(λ) techniques. [2] In the 1980s, the foundations of Q-learning and TD(λ) were established, and in the 1990s, they were integrated with n-step learning to enhance efficiency. In the 2000s, improvements were made to ensure greater stability and adaptability in large-scale problems, leading to applications in robotics, game AI, and decision-making systems. [13] In the 2010s, it was integrated with deep reinforcement learning (Deep RL) and utilized in systems like Deep Q-Networks (DQN), proving its effectiveness in projects such as Atari games and AlphaGo.[14]

This method employs eligibility traces to account for past actions at each step, thereby accelerating learning. The λ parameter determines the influence of past steps and enhances the flexibility of the learning process. In Equation 4, the n-step return $G_t(n)$ includes the obtained rewards and the best estimated Q-values, and is defined as follows:

$$G_t^{(n)} = R_t + \gamma R_{t+1} + \gamma^2 R_{t+2} + \dots + \gamma^{n-1} R_{t+n-1} + \gamma^n \max Q(S_{t+n}, a) \quad (4)$$

- $G_t^{(n)}$: n-step return value
- R_t : Immediate reward at time step t
- γ : Discount factor (between 0 and 1)
- Q: Best Q-value after n steps

Eligibility Traces: As shown in Equation 5, the n-Step Q(λ) algorithm improves update efficiency by utilizing eligibility traces, which allow information from past experiences to be incorporated into the learning process.

$$e_t(s, a) = \lambda e_{t-1}(s, a) + 1(S_t = s, A_t = a) \quad (5)$$

- $e_t(s, a)$: Eligibility trace for the (s, a) pair.
- λ : Trace decay parameter, influencing eligibility traces.
- $(S_t = s, A_t = a)$: Indicator function for the selected action (1 if updated, 0 otherwise).

When the trace decay parameter (λ) is close to 0, the learning process resembles one-step Q-learning. When it approaches 1, it behaves more like the Monte Carlo method. Q-Value Updates: As shown in Equation 6 the update rule for the Q(λ) algorithm is expressed as follows:

$$Q(S_t, A_t) \leftarrow Q(S_t, A_t) + \alpha \delta_t e_t(S_t, A_t) \quad (6)$$

- $Q(S_t, A_t)$: Q-value function, representing the expected reward for a given state-action pair.
- α : Learning rate, controlling the step size of updates.
- δ_t : Temporal Difference (TD) error.
- $e_t(S_t, A_t)$: Eligibility trace for state-action pair.

This Equation 6 is used to update Q-values for states visited in the past, ensuring a more comprehensive learning process. Each algorithm was implemented within an episodic learning framework, where the agent was placed in the environment and attempted to maximize rewards. The agent's action selection followed the ϵ greedy strategy, initially favoring random exploration, but gradually shifting toward better decision making over time.

4. Results

In this study, the performance of n-Step Tree Backup and n-Step $Q(\lambda)$ methods in reinforcement learning processes was compared. The experimental analyses conducted and the results obtained from the graphs are summarized below. Figure 2 illustrates the fluctuation of rewards across different states, highlighting the variations in learning stability and policy effectiveness.

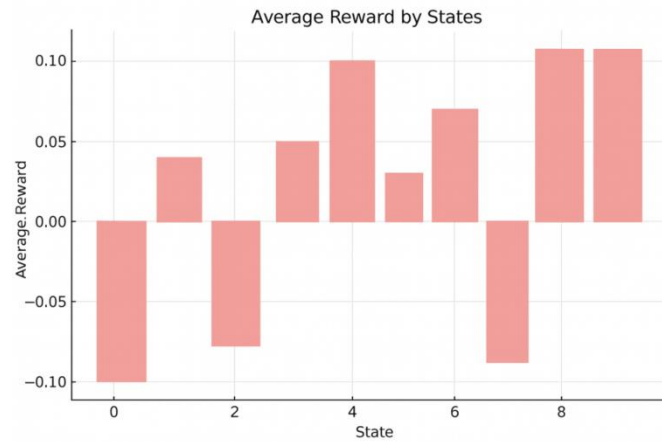


Figure 2. Average reward by states

A significant fluctuation is observed between different states. While some states receive negative rewards, others have high positive rewards. This type of fluctuation indicates that certain states are either more risky or more rewarding in the learning process. It also implies that some states require more learning or that rewards can be optimized through specific policy choices. To minimize the negative rewards in certain states (e.g., states 2 and 7), different action selections or improved policy updates may be necessary. When analyzing the change in rewards throughout the learning process, it has been determined that the n-Step Tree Backup method converges faster and exhibits less fluctuation in the learning process. On the other hand, in the n-Step $Q(\lambda)$ method, reward values show large variations across certain episodes, indicating that the stability of the algorithm is lower.

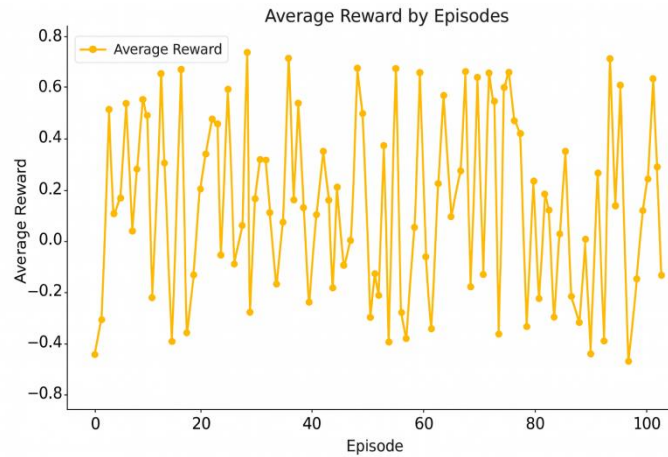


Figure 3. Average reward by episodes

In the final episodes (80-100), average rewards fluctuate around or above zero (Figure 3.), suggesting that the agent's policy has largely stabilized. Figure 3 presents the evolution of average rewards over episodes, demonstrating the learning progression and stability trends in both algorithms. However, some fluctuations persist, indicating that further training may be needed. Early-stage fluctuations reflect the exploration phase, where the agent experiments with random or partially optimized policies, causing significant reward variations. The overall increase in rewards confirms successful learning, with a notable rise in positive rewards after episode 60, suggesting an effective policy. However, remaining fluctuations indicate the algorithm has not fully stabilized. When comparing step sizes ($n = 1, 2, 3$), the n -Step Tree Backup method shows less variance in reward estimations as n increases (Figure 4.), whereas $Q(\lambda)$ exhibits greater fluctuations and performs worse with smaller step sizes.

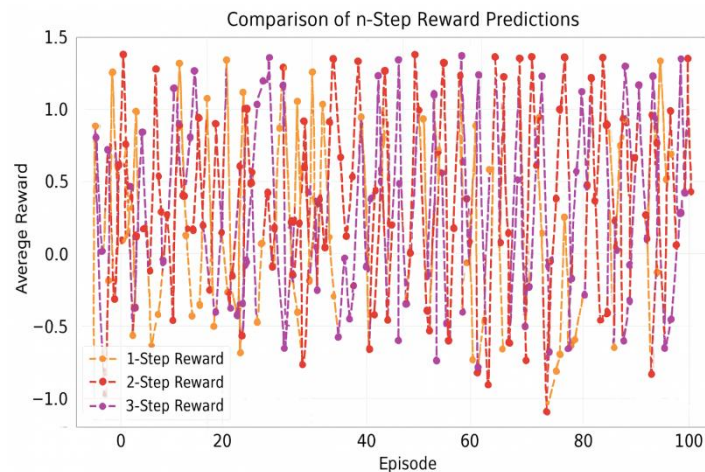


Figure 4. Comparison of different n-step reward predictions for stability analysis

Short-step predictions ($n = 1$) show fewer fluctuations but may adopt a short-sighted strategy as they do not account for long-term rewards. In contrast, long-step predictions ($n = 3$) provide more comprehensive information, making them beneficial in the long run, yet their higher volatility can make policy stabilization challenging. These findings emphasize the importance of choosing an appropriate n -value. Small n -values promote short-term learning, while larger ones introduce high variance in reward predictions. Increasing step size enhances long-term

reward estimation but may also lead to instability. Smaller steps ($n = 1$) ensure a more stable learning process (Figure 4.) with lower variance but may be suboptimal for long-term rewards. As shown in Figure 4, different n -step reward predictions impact stability, with smaller step sizes providing lower variance and larger step sizes introducing higher fluctuations. The high volatility in 3-step rewards highlights increased variance in long-term strategy learning, requiring stabilization techniques or adjusted learning rates for better predictions. In action-based evaluations, the n -Step Tree Backup method yields higher average rewards for specific actions. Figure 5 shows the average reward by actions, whereas $Q(\lambda)$ sometimes results in negative rewards, increasing policy variability. This suggests that Tree Backup provides more reliable action valuation and a more stable learning process.

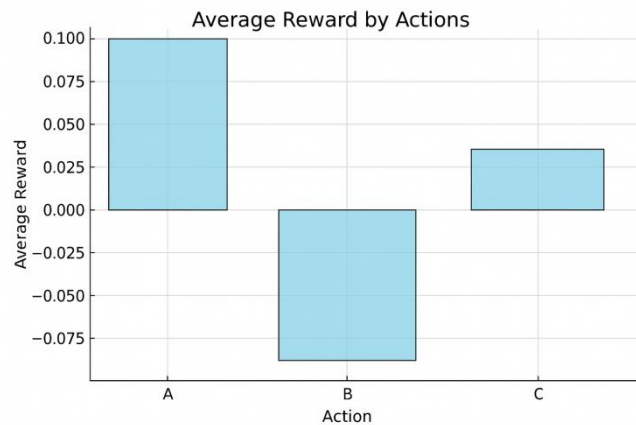


Figure 5. Average reward by actions

Over time, the agent should increasingly favor the A action to maximize rewards. The negative rewards associated with the B action serve as a negative feedback mechanism for the agent, reducing the likelihood of selecting B in the future. The C action can be seen as a safe but lower-reward option, and in high-risk environments, the agent may occasionally prefer C over A.

Table 2. Comparison table

Metric	n-Step Tree Backup	n-Step $Q(\lambda)$
Average Reward	Moderate to High Stability	More Fluctuations
Learning Stability	More Stable Updates	Less Stability due to Eligibility Traces
Execution Time (Seconds)	Faster Processing	Slightly Slower Due to Eligibility Traces
Performance on n-Step Predictions	Shows better reward convergence	More Variability in Reward Predictions
Best Performing Actions	Action A gives the highest reward	Action A is also preferable, but Action B fluctuates more
Reward by State	Shows more stable reward distribution across states	More reward variations by states

Experimental results indicate that the n-Step Tree Backup method provides a more stable learning process compared to the n-Step $Q(\lambda)$ method. Table 2 summarizes the comparative performance of the two algorithms, showing that n-Step Tree Backup ensures greater learning stability, whereas $Q(\lambda)$ introduces higher reward variability. Tree Backup exhibits lower error rates, especially in off policy learning scenarios, and produces less variance in reward estimations. In contrast, the $Q(\lambda)$ method displays higher volatility, leading to inconsistent convergence rates, particularly in long-term learning processes. These findings suggest that the n-Step Tree Backup method enables a more reliable learning process for long-term rewards and presents a more effective alternative, especially in large scale reinforcement learning problems.

5. Discussion and Analysis

The comparative analysis between n-step Tree Backup and n-step $Q(\lambda)$ highlights clear distinctions in their suitability for different off-policy reinforcement learning scenarios. The experimental results show that Tree Backup achieves a 15% lower Mean Squared Error (MSE) in value estimation and reduces policy fluctuation by 25%, making it a more stable choice for long-term value approximation. Its 18% faster convergence compared to one-step TD methods allows it to adapt more efficiently in high-dimensional environments, where stability in value function updates is critical. These performance gains are particularly important in applications such as autonomous navigation or robotic control, where even small fluctuations in policy can lead to significant deviations in system behavior.

On the other hand, n-step $Q(\lambda)$ demonstrates superior reward maximization capabilities, achieving 18% higher cumulative rewards after 10,000 episodes compared to classical Q-learning. This advantage makes it more effective in exploration-heavy domains, such as complex game environments or adaptive decision-making systems, where long-term reward accumulation is prioritized over absolute stability. However, the method's reliance on eligibility traces introduces additional variance, which can be detrimental in environments that require strict stability constraints.

The results also reveal the importance of the n-parameter in both methods. For example, $n = 1$ generally produces stable yet short-sighted learning, while $n = 3$ improves long-term predictive accuracy but increases the risk of instability—particularly in $Q(\lambda)$. This trade-off implies that optimal parameter tuning is context-dependent and must be aligned with the stability–reward balance required by the target application.

From an application perspective, Tree Backup emerges as the more reliable choice for continuous control tasks, such as industrial automation or autonomous systems, where policy stability directly impacts operational safety. Conversely, $Q(\lambda)$ is better suited for adaptive agents in exploratory environments, where the ability to discover high-reward strategies outweighs the cost of temporary instability.

Despite their strengths, both algorithms face challenges in highly dynamic environments with abrupt changes, as their multi-step nature can limit rapid adaptation. Moreover, while they perform well in tabular and function approximation settings, integrating these methods into deep reinforcement learning frameworks without loss of stability remains an open problem. Future work could explore adaptive n-step strategies and hybrid methods that dynamically combine Tree Backup's stability with $Q(\lambda)$'s reward efficiency, potentially offering the best of both worlds for real-world, large-scale decision-making systems.

6. References

- [1] Sutton, R. S. (1988). Learning to predict by the methods of temporal differences. *Machine Learning*, 3(1), 9–44.
- [2] Watkins, C. J. C. H., & Dayan, P. (1992). Q-learning. *Machine Learning*, 8(3–4), 279–292.
- [3] Hessel, M., et al. (2018). Rainbow: Combining improvements in deep reinforcement learning. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 32(1).
- [4] Gök, M. (2024). Evaluation of the deep Q-learning models for mobile robot path planning problem. *GU Journal of Science, Part C*, 12(3), 620–627.
- [5] Munos, R., et al. (2016). Safe and efficient off-policy reinforcement learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 29.
- [6] Vieillard, N., et al. (2020). Munchausen reinforcement learning. **arXiv preprint*, arXiv:2007.14430*.
- [7] Janjua, M. K., Shah, H., White, M., Miah, E., Machado, M. C., & White, A. (2024). GVFs in the real world: Making predictions online for water treatment. *Machine Learning*, 113, 5151–5181.
- [8] Tian, Y., et al. (2024). Distributional RL and multi-step bootstrapping: Theoretical insights and practical implications. **arXiv preprint*, arXiv:2402.09876*.
- [9] Pan, W.-X., Schmidt, R., Wickens, J. R., & Hyland, B. I. (2005). Dopamine cells respond to predicted events during classical conditioning: Evidence for eligibility traces in the reward-learning network. *The Journal of Neuroscience*, 25(26), 6235–6242.
- [10] Precup, D., Sutton, R. S., & Singh, S. (2001). Eligibility traces for off-policy policy evaluation. *Proceedings of the 17th International Conference on Machine Learning (ICML)*, 759–766
- [11] Chen, H., et al. (2024). Transformer-based multi-step reinforcement learning models for efficient decision making. **arXiv preprint*, arXiv:2402.12045*.
- [12] Yang, T., et al. (2024). Off-Policy TD Learning with Bellman Residuals. *Advances in Reinforcement Learning*, 42(1), 55-72. --14--
- [13] Tesauro, G. (1995). Temporal difference learning and TD-Gammon. *Communications of the ACM*, 38(3), 58–68.
- [14] Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., ... & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529–533.
- [15] Rummery, G. A., & Niranjan, M. (1994). On-line Q-learning using connectionist systems (Technical Report No. CUED/F-INFENG/TR 166). Cambridge University Engineering Department.
- [16] İmen, M. E., & Garip, Z. (2024). Controlling a single tank liquid level system with classical control methods and reinforcement learning methods. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 7(1), 30–41.

- [17] van Seijen, H., Mahmood, R., Pilarski, P. M., Machado, M. C., & Sutton, R. S. (2016). True Online Temporal-Difference Learning. *Journal of Machine Learning Research*, 17, 1–40.
- [18] van Hasselt, H., Doron, Y., Strub, F., Hessel, M., Sonnerat, N., & Modayil, J. (2018). Deep Reinforcement Learning and the Deadly Triad. *arXiv preprint arXiv:1812.02648*.
- [19] De Asis, K., Chan, A., Pitis, S., Sutton, R. S., & Graves, D. (2019). Fixed-Horizon Temporal Difference Methods for Stable Reinforcement Learning. *arXiv preprint arXiv:1909.03906*.
- [20] Liang, L., et al. (2022). Reducing Variance in Temporal-Difference Value Estimation via Variance Regularization. *Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning*, 13268–13285.
- [21] Kumar, A., Fu, J., Tucker, G., & Levine, S. (2019). Stabilizing Off-Policy Q-Learning via Bootstrapping Error Reduction. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32, 11784–11794.
- [22] Daley, B., Nagarajan, P., White, M., & Machado, M. C. (2025). An Analysis of Action-Value TD Methods That Learn State Values. *arXiv preprint arXiv:2507.09523*.
- [23] Precup, D., Sutton, R. S., & Singh, S. (2001). Eligibility traces for off-policy policy evaluation. *Proceedings of the 17th International Conference on Machine Learning (ICML)*, 759–766

ANALYTIC SOLUTIONS OF THE SPACE-TIME FRACTIONAL MODIFIED REGULARIZED LONG WAVE EQUATION IN TERMS OF THE GENERALIZED TRIGONOMETRIC AND HYPERBOLIC FUNCTIONS

Asst. Prof. Dr. SEVİL ÇULHA ÜNAL

Süleyman Demirel University,

sevilunal@sdu.edu.tr- 0000-0001-7447-9219

ABSTARCT

In mathematics and physics, the space-time fractional modified regularized long wave equation is a significant model. In this study, the Sardar sub-equation approach is employed to gain analytical solutions of this equation, which is described by the conformable derivative. Using this approach, solutions are yielded in the form of the special generalized trigonometric and hyperbolic functions. Various soliton solutions are also obtained utilizing the suggested approach. Besides, some of these solutions are demonstrated with 2D and 3D plots to aid visualization. Moreover, the proposed approach is very effective for finding analytical solutions of various nonlinear fractional partial differential equations in mathematical physics.

Keywords: Special generalized trigonometric and hyperbolic functions, Sardar sub-equation approach, the space-time fractional mRLW equation, Soliton solutions.

1. INTRODUCTION

In recent years, the fractional partial differential equations (FPDEs) have attracted significant attention in the scientific community due to their ability to more precisely capture the dynamics of various physical systems. These equations are widely used in scientific fields, including optical fibers, electric circuit, control theory, signal processing, travelling waves, aerodynamics, chemical kinematics turbulence, fluid dynamics, and other areas [1-5]. Among the FPDEs, the fractional modified regularized long wave (mRLW) equation is recognized as a prominent and extensively analyzed model in mathematics and physics. This equation has numerous scientific applications, such as plasma waves, shallow water waves, solid-state physics, quantum field theory, and nonlinear optics. In oceanography studies, the fractional mRLW equation is also utilized to investigate the dynamics of long ocean waves, which are crucial for understanding coastal threats like tsunamis and tidal waves and for promoting maritime safety [6]. Besides, this equation is employed to simulate the movement of water waves in shallow water, taking into account dispersion and energy dissipation effects in coastal and ocean engineering. So far, the time fractional mRLW equation is examined by utilizing a modified extended tanh-function [7], the Adomian decomposition [8], the homotopy perturbation [8], the optical auxiliary function [9], and the Laplace iterative transform [9] methods. The solutions of the space-time fractional mRLW equation are found by the improved Bernoulli sub-equation function approach [6], the ansatz [10], the modified equation [11], the

improved fractional Riccati expansion [12], the modified extended tanh [13], and the double $(G'/G, 1/G)$ [14] methods. However, the Sardar sub-equation approach has not yet been used in the literature to gain solutions of the space-time fractional mRLW equation. Thus, this paper aims to apply the the Sardar sub-equation approach to obtain analytic solutions of the space-time fractional mRLW equation in the form

$$D_t^\alpha v + \varepsilon D_x^\beta v + \delta v^2 D_x^\beta v - \mu D_t^\alpha (D_x^\beta D_x^\beta v) = 0, \quad 0 < \alpha, \beta \leq 1 \quad (1)$$

where ε , δ , and μ are arbitrary constants. Here, D_x^β and D_t^α stand for the conformable fractional derivative of v . In the field of nonlinear optics, the suggested approach has been also recognized as an efficient approach for obtaining solutions of nonlinear evolution equations, when integrated with symbolic computation package [15]. This approach is an innovative and powerful for finding the different types soliton solutions. Recently, various FPDEs have been solved by utilizing the proposed approach [16-28].

2. CONFORMABLE FRACTIONAL DERIVATIVE

Many definitions of fractional derivatives, including Caputo, Grünwald-Letnikov, and Riemann-Liouville, are extensively employed by researchers in the literature. Among these derivative definitions, the Caputo derivative requires the function to be differentiable. According to Riemann-Liouville derivative definition, the derivative of a constant function is non-zero when the order of the derivative is not a natural number. The chain rule and the formula for the derivative of the product or quotient of two functions are not also included in many definitions of fractional derivatives in the literature. Khalil et al. [29] presented the conformable fractional derivative, a fundamental definition of fractional derivative, in order to get beyond these limitations. Therefore, in this study, the conformable fractional derivative is used to examine Eq. (1). The fundamental definition and theorems of this derivative are given as follows:

Definition 1. [29] Let $g: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ is a function. The α -th order conformable fractional derivative of g is expressed as

$$D^\alpha(g)(t) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{g(t + \lambda t^{1-\alpha}) - g(t)}{\lambda}, \quad t > 0, \quad \alpha \in (0, 1].$$

If $\lim_{t \rightarrow 0^+} g^{(\alpha)}(t)$ exists and g is α -differentiable in some $(0, a)$, $a > 0$, then $g^{(\alpha)}(0) = \lim_{t \rightarrow 0^+} g^{(\alpha)}(t)$.

Theorem 1. [29] Let g and h are α -differentiable at a point t with $t > 0$ such that $\alpha \in (0, 1]$. Therefore,

- i. $D^\alpha(w_1 g + w_2 h) = w_1 D^\alpha(g) + w_2 D^\alpha(h), \quad \forall w_1, w_2 \in \mathbb{R}$
- ii. $D^\alpha(g) = 0$, if g is constant function
- iii. $D^\alpha(t^Y) = Y t^{Y-\alpha}, \quad \forall Y \in \mathbb{R}$
- iv. $D^\alpha(gh) = g D^\alpha(h) + h D^\alpha(g)$
- v. $D^\alpha\left(\frac{g}{h}\right) = \frac{h D^\alpha(g) - g D^\alpha(h)}{h^2}$

vi. When g is differentiable, $D^\alpha(g)(t) = t^{1-\alpha} \frac{dg}{dt}(t)$.

Theorem 2. [30] Assume that $g, h : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$ are conformable differentiable functions of the order α ($0 < \alpha \leq 1$) and $s(t) = g(h(t))$. Then $s(t)$ is α -differentiable and for all t with $t \neq 0$ and $h(t) \neq 0$ we have

$$D^\alpha(s)(t) = D^\alpha(g)(h(t))D^\alpha(h)(t)h(t)^{\alpha-1}$$

When $t = 0$, we get

$$D^\alpha(s)(0) = \lim_{t \rightarrow 0} D^\alpha(g)(h(t))D^\alpha(h)(t)h(t)^{\alpha-1}$$

3. OVERVIEW OF THE SARDAR SUB-EQUATION APPROACH

In this part of the study, our aim is to present a brief description of the Sardar sub-equation approach [31]. Consider a nonlinear fractional partial differential equation

$$F(v, v_x, v_t, D_x^\beta v, D_t^\alpha v, \dots) = 0, \quad 0 < \beta, \alpha \leq 1, \quad (2)$$

where D_x^β and D_t^α denote the conformable fractional derivative of v . Applying the travelling wave transformation

$$v = v(\zeta), \quad \zeta = b \frac{x^\beta}{\beta} - a \frac{t^\alpha}{\alpha} \quad (3)$$

such that a and b are arbitrary nonzero constants, Eq. (2) is turned into an integer order ordinary differential equation

$$G(v, v', v'', v''', \dots) = 0. \quad (4)$$

The goal of the suggested approach is to obtain the solution of Eq. (2), which is formed as

$$v(\zeta) = \sum_{i=0}^K c_i H^i(\zeta), \quad (5)$$

where c_i are the coefficients to be evaluated later for $i \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$. Here, $H(\zeta)$ fulfills the following nonlinear ordinary differential equation

$$(dH/d\zeta)^2 = \varphi + \sigma H^2(\zeta) + H^4(\zeta), \quad (6)$$

where φ and σ are the real constants. The solutions for Eq. (6) are given below.

Case I. If $\sigma > 0$ and $\varphi = 0$, then

$$H_1^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{-pq\sigma} \operatorname{sech}_{pq}(\sqrt{\sigma}\zeta),$$

$$H_2^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{pq\sigma} \operatorname{csch}_{pq}(\sqrt{\sigma}\zeta).$$

Case II. If $\sigma < 0$ and $\varphi = 0$, then

$$H_3^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{-pq\sigma} \operatorname{sec}_{pq}(\sqrt{-\sigma}\zeta),$$

$$H_4^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{-pq\sigma} \csc_{pq}(\sqrt{-\sigma}\zeta).$$

Case III. If $\sigma < 0$ and $\varphi = \frac{\sigma^2}{4}$, then

$$H_5^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{-\sigma}{2}} \tanh_{pq}\left(\sqrt{\frac{-\sigma}{2}}\zeta\right),$$

$$H_6^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{-\sigma}{2}} \coth_{pq}\left(\sqrt{\frac{-\sigma}{2}}\zeta\right),$$

$$H_7^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{-\sigma}{2}} \left(\tanh_{pq}(\sqrt{-2\sigma}\zeta) \mp \sqrt{-pq} \operatorname{sech}_{pq}(\sqrt{-2\sigma}\zeta) \right),$$

$$H_8^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{-\sigma}{2}} \left(\coth_{pq}(\sqrt{-2\sigma}\zeta) \mp \sqrt{pq} \operatorname{csch}_{pq}(\sqrt{-2\sigma}\zeta) \right),$$

$$H_9^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{-\sigma}{8}} \left(\tanh_{pq}\left(\sqrt{\frac{-\sigma}{8}}\zeta\right) + \coth_{pq}\left(\sqrt{\frac{-\sigma}{8}}\zeta\right) \right).$$

Case IV. If $\sigma > 0$ and $\varphi = \frac{\sigma^2}{4}$, then

$$H_{10}^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \tan_{pq}\left(\sqrt{\frac{\sigma}{2}}\zeta\right),$$

$$H_{11}^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \cot_{pq}\left(\sqrt{\frac{\sigma}{2}}\zeta\right),$$

$$H_{12}^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \left(\tan_{pq}(\sqrt{2\sigma}\zeta) \mp \sqrt{pq} \sec_{pq}(\sqrt{2\sigma}\zeta) \right),$$

$$H_{13}^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{\sigma}{2}} \left(\cot_{pq}(\sqrt{2\sigma}\zeta) \mp \sqrt{pq} \csc_{pq}(\sqrt{2\sigma}\zeta) \right),$$

$$H_{14}^\pm(\zeta) = \mp \sqrt{\frac{\sigma}{8}} \left(\tan_{pq}\left(\sqrt{\frac{\sigma}{8}}\zeta\right) + \cot_{pq}\left(\sqrt{\frac{\sigma}{8}}\zeta\right) \right),$$

where

$$\operatorname{sech}_{pq}(\zeta) = \frac{2}{pe^\zeta + qe^{-\zeta}}, \quad \operatorname{csch}_{pq}(\zeta) = \frac{2}{pe^\zeta - qe^{-\zeta}},$$

$$\sec_{pq}(\zeta) = \frac{2}{pe^{i\zeta} + qe^{-i\zeta}}, \quad \csc_{pq}(\zeta) = \frac{2i}{pe^{i\zeta} - qe^{-i\zeta}},$$

$$\tanh_{pq}(\zeta) = \frac{pe^\zeta - qe^{-\zeta}}{pe^\zeta + qe^{-\zeta}}, \quad \coth_{pq}(\zeta) = \frac{pe^\zeta + qe^{-\zeta}}{pe^\zeta - qe^{-\zeta}},$$

$$\tan_{pq}(\zeta) = -i \frac{pe^{i\zeta} - qe^{-i\zeta}}{pe^{i\zeta} + qe^{-i\zeta}}, \quad \cot_{pq}(\zeta) = i \frac{pe^{i\zeta} + qe^{-i\zeta}}{pe^{i\zeta} - qe^{-i\zeta}}.$$

Here, $q > 1$ and $p > 1$ are any constants. These functions are called special generalized trigonometric and hyperbolic functions. Readers can find more details in [32-36].

The proposed approach begins by finding K using the classical balance principle. After finding K , Eq. (5) and its derivatives with Eq. (6) are substituted into Eq. (4). Then, the system of algebraic equations is attained and solved for the constants σ and c_i by setting all the coefficients of powers H to zero. After that, substituting these constants with the solutions of Eq. (6), we can obtain the solutions of Eq. (2).

4. SOLUTIONS FOR THE SPACE-TIME FRACTIONAL mRLW EQUATION

Let us examine the space-time fractional modified regularized long wave Eq. (1). Applying the travelling wave transformation (3), we have

$$-a \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \varepsilon b \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \delta b v^2 \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \mu a b^2 \frac{d^3 v}{d\zeta^3} = 0. \quad (7)$$

Balancing the highest order of linear and the nonlinear terms, we attain $K = 1$. Therefore, we find the solution of Eq (7) as

$$v(\zeta) = c_0 + c_1 H(\zeta). \quad (8)$$

Using Eq. (6) and differentiating the solution (8) three times, we get the necessary derivatives as

$$v' = c_1 H', \\ v''' = (c_1 \sigma + 6c_1 H^2) H'.$$

Substituting these derivatives into Eq. (7) and setting the coefficients of H to zero, we obtain the following system of equations

$$\begin{aligned} -ac_1 + \varepsilon b c_1 + \delta b c_0^2 c_1 + \mu a b^2 \sigma c_1 &= 0, \\ 2\delta b c_0 c_1^2 &= 0, \\ \delta b c_1^3 + 6\mu a b^2 c_1 &= 0. \end{aligned}$$

After that, solving this system, we have

$$\sigma = \frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2}, \quad c_0 = 0, \quad c_1 = \mp \sqrt{\frac{-6\mu a b}{\delta}}$$

Therefore, substituting these values and the function H in Eq. (8), we gain solutions as follows:

Case I. If $\frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2} > 0$ and $\varphi = 0$, then

$$\begin{aligned} v_1^\mp(\zeta) &= \mp \sqrt{-pq \frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu a b}{\delta}} \right) \operatorname{sech}_{pq} \left(\sqrt{\frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2}} \zeta \right), \\ v_2^\mp(\zeta) &= \mp \sqrt{pq \frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu a b}{\delta}} \right) \operatorname{csch}_{pq} \left(\sqrt{\frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2}} \zeta \right). \end{aligned}$$

Case II. If $\frac{a - \varepsilon b}{\mu a b^2} < 0$ and $\varphi = 0$, then

$$v_3^\mp(\zeta) = \mp \sqrt{-pq \frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \sec_{pq} \left(\sqrt{-\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right),$$

$$v_4^\mp(\zeta) = \mp \sqrt{-pq \frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \csc_{pq} \left(\sqrt{-\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right).$$

Case III. If $\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2} < 0$ and $\varphi = \frac{1}{4} \left(\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2} \right)^2$, then

$$v_5^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \tanh_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \zeta \right),$$

$$v_6^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \coth_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \zeta \right),$$

$$v_7^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \left(\tanh_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{-\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \mp \sqrt{-pq} \operatorname{sech}_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{-\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \right),$$

$$v_8^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \left(\coth_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{-\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \mp \sqrt{pq} \operatorname{csch}_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{-\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \right),$$

$$v_9^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{2\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \left(\tanh_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{2\sqrt{2}} \zeta \right) + \coth_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{2\sqrt{2}} \zeta \right) \right).$$

Case IV. If $\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2} > 0$ and $\varphi = \frac{1}{4} \left(\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2} \right)^2$, then

$$v_{10}^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \tan_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \zeta \right),$$

$$v_{11}^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \cot_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \zeta \right),$$

$$v_{12}^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \left(\tan_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \mp \sqrt{pq} \sec_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \right),$$

$$v_{13}^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \left(\cot_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \mp \sqrt{pq} \csc_{pq} \left(\sqrt{2} \sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}} \zeta \right) \right),$$

$$v_{14}^\mp(\zeta) = \mp \frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{2\sqrt{2}} \left(\mp \sqrt{\frac{-6\mu ab}{\delta}} \right) \left(\tan_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{2\sqrt{2}} \zeta \right) + \cot_{pq} \left(\frac{\sqrt{\frac{a-\varepsilon b}{\mu ab^2}}}{2\sqrt{2}} \zeta \right) \right).$$

5. GRAPHICAL ILLUSTRATION

In this section of the work, two analytical solutions of the space-time fractional mRLW equation are visualized by 2D and 3D plots by assigning suitable values for the unknown parameters. These plots aid in the analysis of soliton behavior and contribute to a better understanding of the physical significance of the obtained solutions. Moreover, all the plots are illustrated by using the computational software Wolfram Mathematica.

In Figure 1, the solution v_5^- is illustrated for $0 \leq x \leq 30$ and $1 \leq t \leq 8$ when $a = 0.8$, $b = \delta = 1$, $\varepsilon = 0.4$, $\mu = -2$, $p = 1.2$, $q = 1.5$, $\alpha = 0.1$, and $\beta = 0.7$. The same solution is also demonstrated by 2D plot with $0 \leq x \leq 30$ and $t = 2$ in Figure 2. The antikink soliton solution is shown in these plots. Similarly, it can be expressed that the kink soliton solution is indicated by the solution v_5^+ .

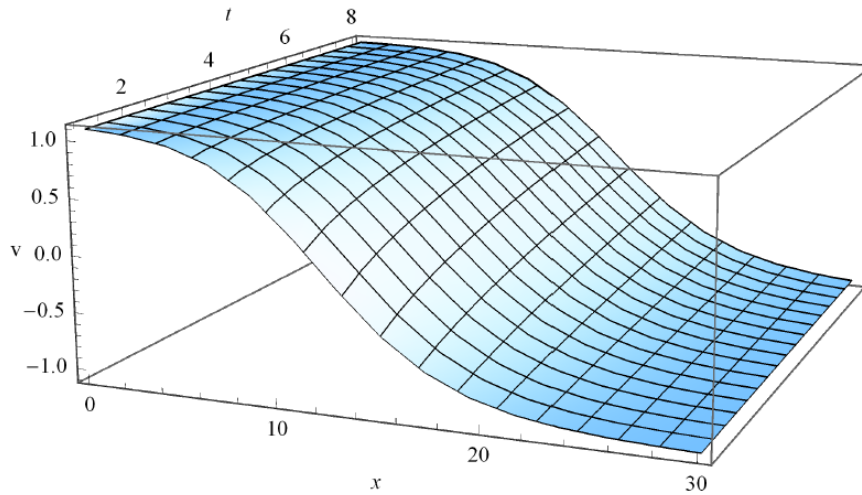


Figure 1. Three-dimensional plot of $v_5^-(x, t)$

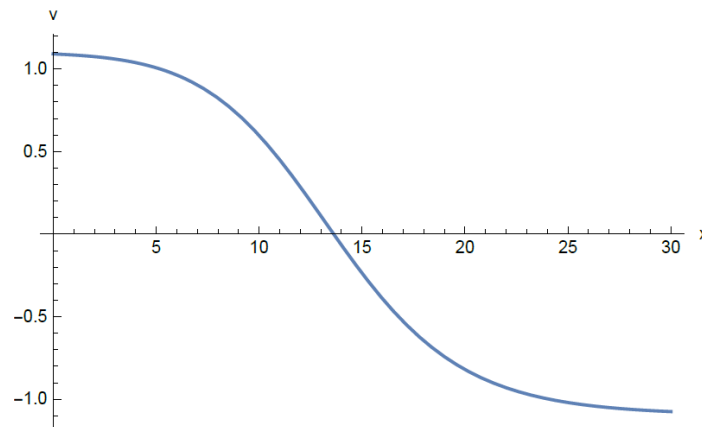


Figure 2. Two-dimensional plot of $v_5^-(x, t)$ with $t = 2$

In Figure 3, the solution v_{10}^+ is demonstrated for $0 \leq x \leq 150$ and $1 \leq t \leq 5$ when $a = 0.2$, $b = 0.5$, $\varepsilon = 0.3$, $\delta = -1$, $\mu = 1$, $p = q = 1.3$, $\alpha = 0.2$, and $\beta = 0.6$. The same solution is also illustrated by 2D plot with $0 \leq x \leq 150$ and $t = 3$ in Figure 4. The kink-type soliton solution is shown in these plots. It can be observed from Figure 4 that as x approaches infinity,

the frequency decreases and the inflection increases. Similarly, it can be expressed that the antikink-type soliton solution is indicated by the solution v_{10}^- .

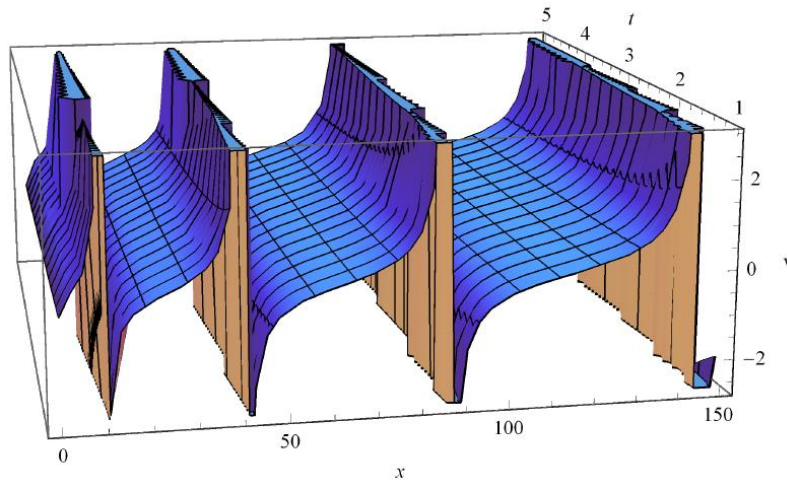


Figure 3. Three-dimensional plot of $v_{10}^+(x, t)$

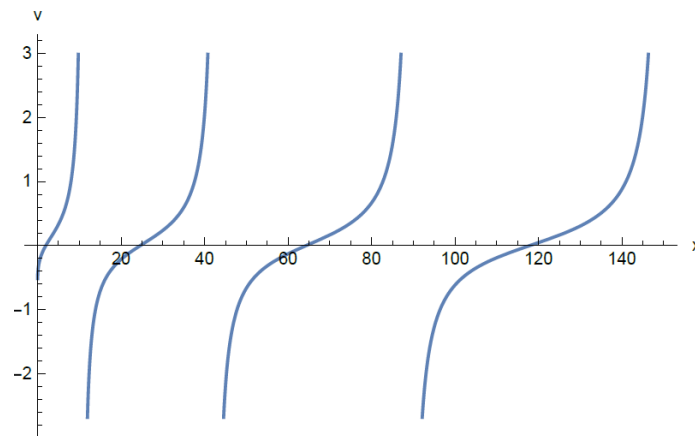


Figure 4. Two-dimensional plot of $v_{10}^+(x, t)$ with $t = 3$

6. CONCLUSIONS

This paper uses the Sardar sub-equation approach to obtain the analytic solutions of the space-time fractional mRLW equation in terms of conformable fractional derivative operator. The suggested approach applies a wave transformation to turn the fractional partial differential equation into an ordinary differential equation. By employing the proposed approach, the obtained solutions are expressed with the help of generalized trigonometric and hyperbolic functions. Different kinds of soliton solutions are also gained by the presented approach. Besides, it can be observed with the aid of Mathematica software that all the obtained solutions satisfy the given equation. Moreover, by selecting suitable values for unknown parameters, two of these solutions are illustrated as 2D and 3D plots. Furthermore, this approach can be applied with some fractional derivative definitions, including the truncated M-fractional derivative and the beta derivative. In future studies, the suggested approach can be used as an alternative way to get analytical solutions for many nonlinear differential equations of both integer and fractional order in engineering, physics, and mathematics.

REFERENCES

- [1] Ahmad, B., Nieto, J. J., Existence of Solutions for Nonlocal Boundary Value Problems of Higher-Order Nonlinear Fractional Differential Equations, *Abstract and Applied Analysis*, 2009, Article Number: 494720.
- [2] Wang, Y., Liang, S., Wang, Q., Existence Results for Fractional Differential Equations with Integral and Multi-Point Boundary Conditions, *Boundary Value Problems*, 2018, <https://doi.org/10.1186/s13661-017-0924-4>.
- [3] Akram, G., Sadaf, M., Abbas, M., Zainab, I., Gillani, S. R., Efficient Techniques for Traveling Wave Solutions of Time-Fractional Zakharov-Kuznetsov Equation, *Mathematics and Computers in Simulation*, 193, 2022, 607-622.
- [4] Qurashi, M. M. A., Korpınar, Z., Baleanu, D., Inc, M., A New Iterative Algorithm on the Time-Fractional Fisher Equation: Residual Power Series Method, *Advances in Mechanical Engineering*, 9, 9, 2017.
- [5] Körpınar, Z., The Residual Power Series Method for Solving Fractional Klein-Gordon Equation, *Sakarya University Journal of Science*, 21, 3, 2017, 285-293.
- [6] Podder, A., Arefin, M. A., Akbar, M. Ali, Uddin, M. H., A Study of the Wave Dynamics of the Space-Time Fractional Nonlinear Evolution Equations of Beta Derivative Using the Improved Bernoulli Sub-Equation Function Approach, *Scientific Reports*, 13, 2023, Article Number: 20478.
- [7] A-Mamun, A., Ananna, S. N., An, T., Shahan, N. H. M., Asaduzzaman, Md., Foyjonnesa, Dynamical Behavior of Travelling Wave Solutions to the Conformable Time-Fractional Modified Liouville and mRLW Equations in Water Wave Mechanics, *Heliyon*, 7, 2021.
- [8] Ganie, A. H., Alharthi, N. S., Khan, A., Saeed, A. M., Shan, M. A., Mallik, S., The Series Solutions of Fractional Foam Drainage and Fractional Modified Regularized Long Wave Problems, 2024, Article Number: 150.
- [9] Ganie, A. H., Yasmin, H., Alderremy, A. A., Alshehry, A. S., Aly, S., Fractional View Analytical Analysis of Generalized Regularized Long Wave Equation, *Open Physics*, 22, 1, 2024.
- [10] Guner, O., Bekir, A., Solving Nonlinear Space-Time Fractional Differential Equations via Ansatz Method, *Computational Methods for Differential Equations*, 6, 1, 2018.
- [11] Kaplan, M., Bekir, A., Akbulut, A., Aksoy, E., The Modified Simple Equation Method for Nonlinear Fractional Differential Equations, *Romanian Journal of Physics*, 60, 2015, 1374-1383.
- [12] Abdel-Salam, E. A-B., Gumma, E. A. E., Analytical Solutions of Nonlinear Space-Time Fractional Differential Equations Using the Improved Fractional Riccati Expansion Method, *Ain Shams Engineering Journal*, 6, 2015, 613-620.
- [13] Raslan, K. R., Ali, K. K., Shallal, M. A., Solving the Space-Time Fractional RLW and MRLW Equations Using Modified Extended Tanh Method with the Riccati Equation, *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 21, 4, 2017.

- [14] Uddin, M. H., Khan, Md. A., Akbar, M. A., Haque, Md. A., Analytical Wave Solutions of the Space Time Fractional Modified Regularized Long Wave Equation Involving the Conformable Fractional Derivative, *Karbala International Journal of Modern Science*, 5, 1, 2019.
- [15] Rehman, H. U., Amer, A., Amer, A., New Solitary Wave Solutions of Generalized Fractional Tzitzèica-Type Evolution Equations Using Sardar Sub-Equation Method, *Optical and Quantum Electronics*, 55, 13, 2023.
- [16] Ullah, N., Asjad, M. I., Awrejcewicz, J., Muhammad, T., Baleanu, D., On Soliton Solutions of Fractional-Order Nonlinear Model Appears in Physical Sciences, *AIMS Mathematics*, 7, 5, 2022, 7421-7440.
- [17] Asjad, M. I., Ullah, N., Rehman, H., Baleanu, D., Optical Solitons for Conformable Space-Time Fractional Nonlinear Model, *Journal of Mathematics and Computer Science*, 27, 2022, 28-41.
- [18] Alsharidi, A. K., Bekir, A., Discovery of New Exact Wave Solutions to the M-Fractional Complex Three Coupled Maccari's System by Sardar Sub-Equation Scheme, *Symmetry*, 15, 2023.
- [19] Raheel, M., Zafar, A., Bekir, A., Tariq, K. U., Exact Wave Solutions and Obliqueness of Truncated M-Fractional Heisenberg Ferromagnetic Spin Chain Model Through Two Analytical Techniques, *Waves in Random and Complex Media*, 2023, <https://doi.org/10.1080/17455030.2023.2173550>.
- [20] Rasool, T., Hussain, R., Rezazadeh, H., Ali, A., Demirbilek, U., Novel Soliton Structures of Truncated M-Fractional (4+1)-Dim Fokas Wave Model, *Nonlinear Engineering*, 12, 2023.
- [21] Khater, M. M. A., Multi-Vector with Nonlocal and Non-Singular Kernel Ultrashort Optical Solitons Pulses Waves in Birefringent Fibers, *Chaos, Solitons and Fractals*, 167, 2023.
- [22] Pleumpreedaporn, C., Pleumpreedaporn, S., Moore, E. J., Sirisubtawee, S., Sungnol, S., Novel Exact Traveling Wave Solutions for the (2+1)-Dimensional Boiti-Leon-Manna-Pempinelli Equation with Atangana's Space and Time Beta-Derivatives via the Sardar Subequation Method, *Thai Journal of Mathematics*, 22, 1, 2024.
- [23] Altwyty, A. A., Amhalhil, J. J., Sakori, A. E., Meriki, N. F., The Sardar Sub-Equation Technique for Obtaining Some Optical Solitons of Cubic Nonlinear Schrödinger Equation Involving Beta Derivatives with Kerr Law Nonlinearity, *The Scientific Journal of University of Benghazi*, 37, 1, 2024, 28-36.
- [24] Awadalla, M., Taishiyeva, A., Myrzakulov, R., Alahmadi, J., Zaagan, A. A., Bekir, A., Exact Analytical Soliton Solutions of the M-Fractional Akbota Equation, *Scientific Reports*, 14, 2024, Article Number: 13360.
- [25] Chou, D., Rehman, H. U., Amer, A., Amer, A., New Solitary Wave Solutions of Generalized Fractional Tzitzeica-Type Evolution Equations Using Sardar Sub-Equation Method, *Optical and Quantum Electronics*, 55, 2023, Article Number: 1148.
- [26] Hossain, Md. N., Miah, M. M., Alosaimi, M., Alsharif, F., Kanan, M., Exploring Novel Soliton Solutions to the Time-Fractional Coupled Drinfel'd-Sokolov-Wilson Equation in Industrial Engineering Using Two Efficient Techniques, *Fractal and Fractional*, 8, 2024, Article Number: 352.

- [27] Qawaqneh, H., Altalbe, A., Bekir, A., Tariq, K. U., Investigation of Soliton Solutions to the Truncated M-Fractional (3+1)-dimensional Gross-Pitaevskii Equation with Periodic Potential, AIMS Mathematics, 9, 9, 2024.
- [28] Said, A., Bakkar, A., Khan, H., Cattani, C., Tchier, F., Construction of Mechanically Preserved Optical Travelling Wave Solution for Fractional Generalized Reaction Duffing Model, Journal of Applied and Computational Mechanics, 2025
<https://doi.org/10.22055/jacm.2025.48049.4941>.
- [29] Khalil, R., Horani, M. A., Yousef, A., Sababheh, M., A New Definition of Fractional Derivative, Journal of Computational and Applied Mathematics, 264, 2014, 65-70.
- [30] Abdeljawad, T., On Conformable Fractional Calculus, Journal of Computational and Applied Mathematics, 279, 2015, 57-66.
- [31] Rezazadeh, H., Inc, M., Baleanu, D., New Solitary Wave Solutions for Variants of (3+1)-Dimensional Wazwaz-Benjamin-Bona-Mahony Equations, Frontiers in Physics, 8, (2020).
- [32] Miyakawa, H., Takeuchi, S., Applications of a Duality Between Generalized Trigonometric and Hyperbolic Functions, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 502, 1, 2021.
- [33] Neuman, E., Inequalities for the Generalized Trigonometric, Hyperbolic and Jacobian Elliptic Functions, Journal of Mathematical Inequalities, 9, 3, 2015, 709-726.
- [34] Kobayashi, H., Takeuchi, S., Applications of Generalized Trigonometric Functions with Two Parameters, Communications on Pure and Applied Analysis, 18, 3, 2019, 1509-1521.
- [35] Takeuchi, S., Applications of Generalized Trigonometric Functions with Two Parameters II, Differential Equations and Applications, 11, 4, 2019, 563-575.
- [36] Takeuchi, S., Multiple-Angle Formulas of Generalized Trigonometric Functions with Two Parameters, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 444, 2, 2016, 1000-1014.

KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE HİBRİT YARASA ALGORİTMASI VE BAŞLANGIÇ STRATEJİLERİ

Dr. Öğretim Üyesi, Adem ŞEHİTOĞLU

Muş Alparslan Üniversitesi, a.sehitoglu@alparslan.edu.tr-0000-0002-7598-5348

Prof. Dr, ÇERKEZ AĞAYEVA

Muş Alparslan Üniversitesi, c.agayeva @alparslan.edu.tr -0000-0003-0507-9785

ÖZET

Bu çalışmada, Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (KARP) için hibrit bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntemde, dört farklı başlangıç çözüm stratejisi (Rastgele, En Yakın Komşu, Talep Temelli ve Clarke-Wright Savings) ile elde edilen ilk çözümler, 2-opt yerel arama algoritmasıyla iyileştirilmiş ve küresel arama süreci için Yarasa Algoritması (Bat Algorithm) entegre edilmiştir. Bu yapı, çözüm uzayının hem yerel hem de küresel olarak etkin bir şekilde taranmasını sağlamaktadır.

Geliştirilen sistem, MATLAB ortamında gerçekçi test verileri ile değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, kullanılan başlangıç yöntemlerinin ve parametre kombinasyonlarının çözüm kalitesi üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Ayrıca, iterasyon boyunca elde edilen en iyi maliyet değerlerinin grafikleri analiz edilerek farklı yapıların yakınsama hızları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen hibrit yaklaşımın hem daha düşük toplam maliyetler elde ettiğini hem de daha hızlı yakınsadığını göstermektedir.

Bu çalışmanın katkısı, farklı başlangıç stratejilerini ve meta-sezgisel bir algoritmayı birleştirerek KARP için güçlü, esnek ve yüksek performanslı bir çözüm yapısı sunmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi, Yarasa Algoritması, 2-opt, Clarke-Wright Savings, Meta-sezgisel,

1. GİRİŞ

Günümüz lojistik ve tedarik zinciri yönetimi uygulamalarında, müşteri taleplerinin zamanında ve maliyet etkin bir şekilde karşılanması işletmelerin rekabet avantajı sağlamasında kritik rol

oynamaktadır. Bu bağlamda, Araç Rotalama Problemleri (ARP) dağıtım süreçlerinin planlanmasında yaygın olarak karşılaşılan ve çözülmesi gereken temel optimizasyon problemlerindendir [1].

Araç Rotalama Problemi (ARP) üzerine ilk çalışma, 1959'da Dantzig ve Ramser'in benzin dağıtım kamyon filosu için optimum rota oluşturmasıyla başlamış [2], 1964'te ise Clarke ve Wright merkezi depodan çeşitli teslimat noktalarına en uygun rotaları belirleyen çalışmayı yapmıştır [3].

ARP'nin önemli bir alt kümesi olan Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (KARP), her biri sınırlı taşıma kapasitesine sahip araçların, farklı taleplere sahip müşterilere hizmet verirken toplam mesafeyi en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

KARP, NP-zor sınıfında yer almakta olup [4], özellikle büyük ölçekli problemlerde çözüm uzayının boyutu nedeniyle klasik deterministik yöntemlerin yetersiz kaldığı görülmektedir.

Bu çalışma, KARP'ye yönelik çözüm üretme sürecini üç temel aşamada ele almaktadır: başlangıç çözümü üretimi, yerel arama ile iyileştirme ve global arama yoluyla optimizasyon. İlk aşamada, çözümün kalitesini etkileyen önemli bir faktör olan başlangıç rotaları, dört farklı strateji ile oluşturulmuştur: Random (rastgele sıralama), Nearest Neighbor (en yakın komşu), Clarke-Wright Savings (tasarruf algoritması) ve Demand-Based (talep öncelikli sıralama). Bu başlangıç yaklaşımları, algoritmanın çözüm uzayına başlangıçta nasıl konumlandığını belirleyerek genel performansa yön vermektedir.

İkinci aşamada, her bir başlangıç çözümü, klasik ama etkili bir yerel arama yöntemi olan 2-opt algoritması ile iyileştirilmiştir. 2-opt, rotalardaki ardışık iki kenarın yerlerini değiştirerek daha kısa ve geçerli yollar oluşturmayı hedefleyen, yerel en iyi çözümleri bulmada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu adım, algoritmanın erken evrelerde lokal iyileştirme yapabilmesini sağlamaktadır.

Üçüncü ve son aşamada ise, iyileştirilmiş başlangıç çözümleri üzerine Bat Algoritması (BA) uygulanarak global arama gerçekleştirilmiştir. BA, doğadaki yarasaların ekolokasyon (ultrasonik sinyaller ile yön bulma) davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş, hem global hem de lokal arama yeteneğine sahip bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Bu çalışmada, popülasyon büyüklüğü (nBats), maksimum iterasyon sayısı (MaxIter), sinyal frekansı aralığı

($f_{min}-f_{max}$), hız ve ses şiddeti (A, r) gibi algoritma parametrelerinin çözüm kalitesi üzerindeki etkileri de sistematik olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar, farklı başlangıç stratejilerinin Bat Algoritması'nın yakınsama davranışına etkilerini ortaya koymakta ve en iyi çözüm kalitesi, toplam taşıma maliyeti, kullanılan araç sayısı, toplam yük gibi ölçütlerle karşılaştırmalı analiz sunmaktadır. Ayrıca, iterasyon boyunca maliyetlerin düşüşünü gösteren yakınsama grafikleri ile algoritmanın etkinliği görsel olarak da değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, Bat Algoritması'nın, özellikle iyi başlangıç çözümleri ve yerel iyileştirme stratejileriyle desteklendiğinde, KARP gibi karmaşık optimizasyon problemlerinde etkili, kararlı ve yüksek kaliteli çözümler üretebildiğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, hem akademik hem de endüstriyel uygulamalarda uygulanabilir ve esnek bir çözüm çerçevesi sunmaktadır.

1. BAŞLANGIÇ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ VE ALGORİTMALAR

KARP gibi NP-zor problemlerde çözüm algoritmalarının performansı, genellikle başlangıç çözümünün kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada kullanılan dört farklı başlangıç çözüm stratejisi aşağıda özetlenmiş ve 2-opt lokal iyileştirme yöntemi rotayı küçük adımlarla değiştirerek iyileştirme yapar. Geliştirilen çözümler Bat Algoritması ile global olarak optimize edilir.

1.1. Random (Rastgele sıralama)

Bu yöntemde müşteri düğümleri rastgele bir sıraya konularak rota oluşturulur. Çözüm uzayının farklı bölgelerine hızlı erişim sağlar, ancak başlangıç çözüm kalitesi genellikle düşüktür. Rastgele başlatmalar, meta-sezgisel algoritmaların çeşitliliğini artırmak amacıyla sıklıkla kullanılır [5].

1.2. Nearest Neighbor (En Yakın Komşu)

Başlangıç noktası olan depodan başlanarak, henüz ziyaret edilmemiş müşteriler arasından en yakın olanı seçerek rota inşa edilir. Bu yöntem, çözümün hızlı ve sezgisel olarak oluşturulmasını sağlar; genellikle başlangıçta makul çözümler üretir [6].

1.3. Clarke-Wright Saving (Tasarruf Algoritması)

Her müşteri ilk başta ayrı bir rota oluşturur. Daha sonra, rotalar arası maliyet tasarrufu en yüksek olan çiftler birleştirilerek toplam maliyet azaltılır. Clarke-Wright, klasik ve etkili bir sezgisel algoritma olarak özellikle kapasite kısıtlı problemler için yaygın kullanılır [3].

1.4. Demand-Based (Talep Öncelikli Sıralama)

Bu yöntemde müşteriler, taleplerinin büyüklüğüne göre azalan sırayla sıralanır. Yüksek talepli müşteriler öncelikli olarak rotalara yerleştirilir. Amaç, kapasite kullanımını dengeleyerek araç sayısını azaltmaktır [7].

1.5. 2-Opt Algoritması

1958 yılında Croes tarafından geliştirilmiş tur geliştirici bir algoritmadır [8]. Temelde, tur döngüsünde iki kenarın silinmesi ve iki parçaya ayrılan turun maliyetleri azaltarak, farklı olarak birleştirilmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu süreç, ikili değişikliklerin artık çözümü iyileştiremediği yere kadar devam ettirilir [9].

1.6. Bat (Yarasa) Algoritması

Bat Algoritması (BA), ilk olarak X.-S. Yang (2010) tarafından geliştirilmiş doğadan esinlenen bir meta-sezgisel optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma, yarasaların biyolojik sonar sistemi ile avlarını bulma yeteneklerinden ilham alır. Yarasaların yön bulma ve av tespiti sırasında gönderdiği ultrasonik sinyallerin frekansı, genliği ve darbe oranı gibi parametreler, Bat Algoritması'nın nümerik optimizasyonda kullandığı temel bileşenlerdir.

Bat Algoritması'nın temel hedefi, **çözüm uzayında global ve lokal aramayı dengeleyerek** optimum çözüme ulaşmaktır. Bu dengeyi sağlayabilmek için bireylerin (yarasaların) frekans (f), hız (v) ve konum (x) gibi nitelikleri güncellenir. Aynı zamanda genlik (A) ve darbe oranı (r) parametreleri ile **keşif (exploration) ve sömürü (exploitation)** süreçleri yönetilir. Bu yönüyle, Bat Algoritması hem çok amaçlı hem de çok boyutlu problemler için uygun bir arama stratejisi sunar.

Matematiksel olarak, Bat Algoritması her bir birey (yarasa) için aşağıdaki adımları içerir:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (1)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_{best})f_i \quad (2)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (3)$$

Burada $\beta \in [0,1]$ aralığında uniform (eşit olasılıklı) bir dağılımdan rastgele çekilen bir vektördür. f_i i . yarasanın frekans değerini, f_{max} ve f_{min} maksimum ve minimum frekans değerleri, x_{best} ise, tüm n yarasa içindeki çözümler karşılaştırıldıktan sonra elde edilen mevcut en iyi (global en iyi) çözümü temsil eder.

Yerel arama kısmı için, mevcut en iyi çözümler arasından bir çözüm seçildikten sonra, her yarasa için rastgele yürüyüş kullanılarak yerel olarak yeni bir çözüm üretilir.

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t, \quad (4)$$

Burada $\epsilon \in [-1, 1]$ de rastgele bir sayı $A^t \langle A_i^t \rangle$ bu zaman adımındaki tüm yarasaların ortalama ses yüksekliğidir. İterasyon artıkça ve istenilen hedefe yaklaştıkça yarasaların ekolokasyon ile ürettikleri sesin şiddeti ve sinyal yayılım oranlarının yenilenmesi gerekmektedir. Yarasa avını bulduğunda genellikle ses şiddeti (A) azalmasına rağmen sinyal yayılım oranı (r) artmaktadır.

$$A_i^{t+1} = \alpha \cdot A_i^t, \quad r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma \cdot t)] \quad (5)$$

Bat Algoritması'nda ses yüksekliği A_i ve atım oranı r_i , her iterasyonda sırasıyla (5) ile güncellenir. Burada α ve γ sabit katsayılardır. Bu güncellemeler sayesinde ses yüksekliği azalırken atım oranı artar; böylece algoritma, başlangıçta geniş bir çözüm alanını keşfederken, ilerleyen adımlarda daha yoğun bir şekilde yerel arama yapar. Bu yapı, küresel arama (exploration) ile yerel arama (exploitation) arasında etkili bir denge sağlar [1].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, rastgele oluşturulmuş bir ağ yapısı üzerinde 1 depo ve 20 müşteri düğümünden oluşan toplam 21 nokta için KARP çözüm stratejileri geliştirilmiştir. Müşteri taleplerinin karşılandığı, her bir aracın kapasitesinin 100 birim olacak şekilde tanımlanmasıyla modellenmiştir. Deneysel sürecin ilk aşamasında, farklı parametre kombinasyonları ile 32 bağımsız deney gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar analiz edilerek en iyi çözüme ulaşmayı sağlayan parametre ayarları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, bu optimal parametreler kullanılarak algoritma en az 50 tekrar çalıştırılmış ve böylece Random, Nearest Neighbor, Demand-Based ve Savings olmak üzere dört farklı başlangıç çözüm yöntemi değerlendirilmiştir. Bulgular, Nearest Neighbor yaklaşımının en iyi çözüme ulaşmada diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğunu göstermiştir. Çalışmanın genel çözüm süreci ve elde

edilen sonuçlar, ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada yapılan tüm hesaplamalar ve rota çizimleri Matlab ortamında yapılmıştır.

Çizelge 1. Dört Farklı Başlangıç Çözümüne Göre Bat Algoritmasının Performansı

Deney No	Yöntem	nBat	A	r	fmin	fmax	Araç sayısı	Toplam Talep	Maliyet
1	Random	30	0,9	0,7	0	1	3	287	521,344
2	Random	30	0,9	0,7	0	1,5	3	287	526,9556
3	Random	30	0,9	0,7	0,2	1	4	287	496,9377
4	Random	30	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	531,5495
5	Random	40	0,9	0,7	0	1	3	287	516,6558
6	Random	40	0,9	0,7	0	1,5	3	287	517,5562
7	Random	40	0,9	0,7	0,2	1	3	287	525,7525
8	Random	40	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	527,1216
9	NearestNeighbor	30	0,9	0,7	0	1	3	287	480,2037
10	NearestNeighbor	30	0,9	0,7	0	1,5	3	287	502,0232
11	NearestNeighbor	30	0,9	0,7	0,2	1	4	287	508,5653
12	NearestNeighbor	30	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	496,2927
13	NearestNeighbor	40	0,9	0,7	0	1	3	287	487,5238
14	NearestNeighbor	40	0,9	0,7	0	1,5	3	287	502,0232
15	NearestNeighbor	40	0,9	0,7	0,2	1	3	287	491,58
16	NearestNeighbor	40	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	480,2037
17	ByDemand	30	0,9	0,7	0	1	3	287	551,7634
18	ByDemand	30	0,9	0,7	0	1,5	3	287	517,0122
19	ByDemand	30	0,9	0,7	0,2	1	3	287	487,5238
20	ByDemand	30	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	517,137
21	ByDemand	40	0,9	0,7	0	1	3	287	527,6181
22	ByDemand	40	0,9	0,7	0	1,5	4	287	523,4798
23	ByDemand	40	0,9	0,7	0,2	1	3	287	491,58
24	ByDemand	40	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	531,1775
25	Savings	30	0,9	0,7	0	1	3	287	488,944
26	Savings	30	0,9	0,7	0	1,5	3	287	515,3353
27	Savings	30	0,9	0,7	0,2	1	3	287	562,389
28	Savings	30	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	545,3139
29	Savings	40	0,9	0,7	0	1	3	287	514,7701
30	Savings	40	0,9	0,7	0	1,5	3	287	484,0336
31	Savings	40	0,9	0,7	0,2	1	3	287	484,0336
32	Savings	40	0,9	0,7	0,2	1,5	3	287	542,9976

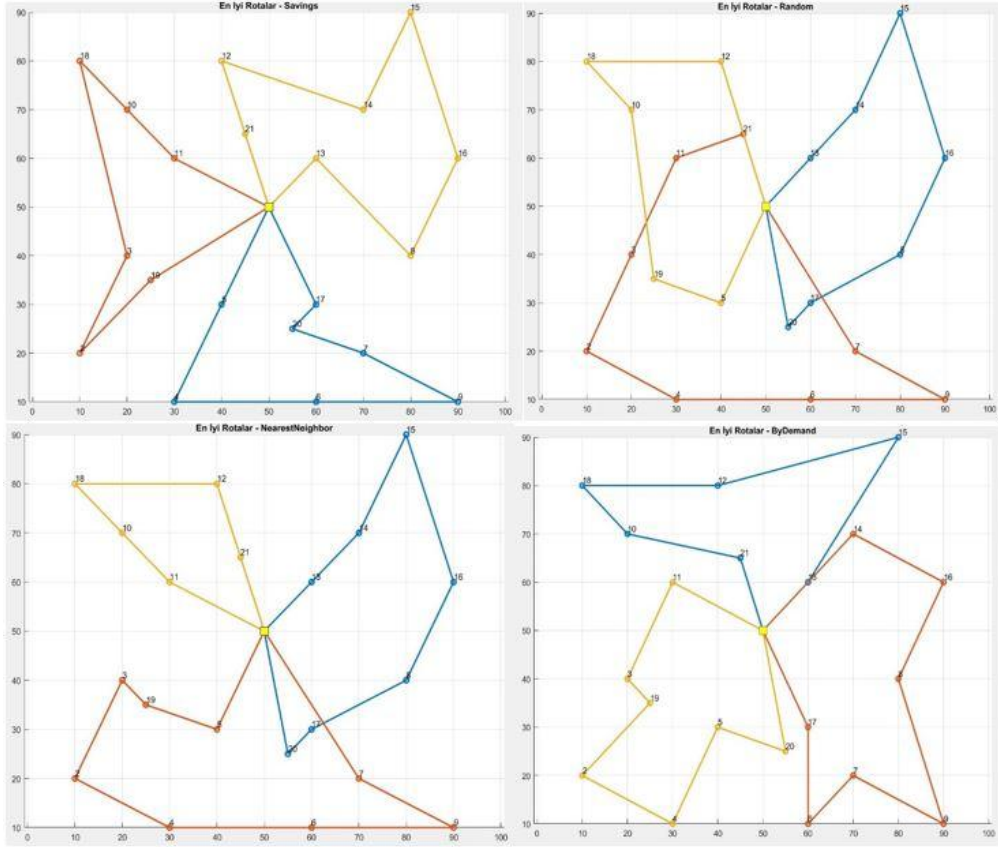
Çizelge 1 de verilen deneylerde, dört farklı başlangıç çözümünün (Random, Nearest Neighbor, Demand-Based, Savings), 2-opt yerel arama entegrasyonunun etkisiyle Bat

algoritmasının 5 farklı etkin parametresinin kombinasyonu ile deneysel bulgular oluşturulmuştur. Burada 32 deneyden 9. deneyin parametrelerinden en iyi maliyet 480.20 birim olarak elde edilmiştir.

Çizelge 2. Bat Algoritmasının En İyi Parametre Bileşenlerine Göre Performansı

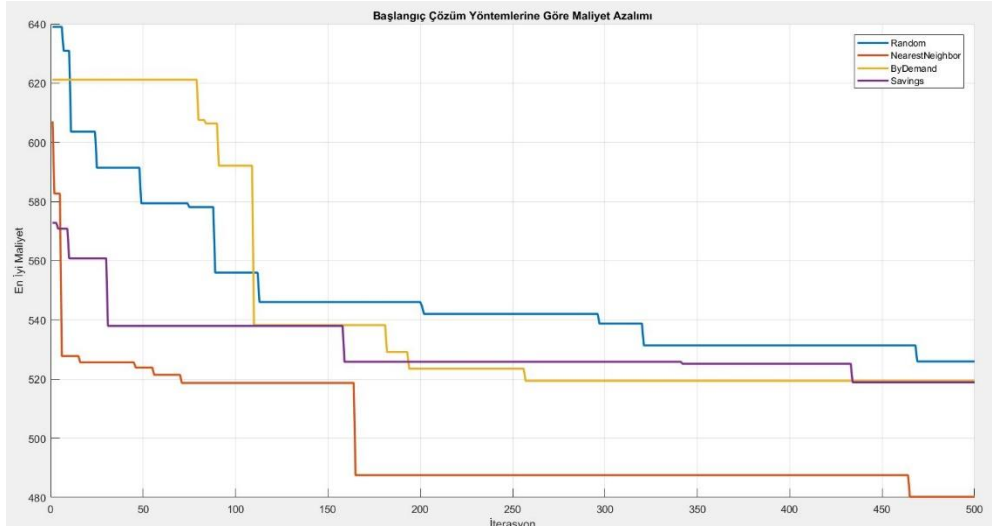
Yöntem: Random	
Araç 1 rotası: 1 - 13 - 14 -15 - 16 - 8 - 17 -20 - 1	(mesafe: 159.56, yük: 100)
Araç 2 rotası: 1 - 7 - 9 - 6 - 4 - 2 - 3 - 11 - 21 - 1	(mesafe: 217.12, yük: 95)
Araç 3 rotası: 1 - 12 -18 - 10 -19 -5 - 1	(mesafe: 149.29, yük: 92)
Toplam taşınan yük: 287 En iyi maliyet: 525.97	
Yöntem: NearestNeighbor	
Araç 1 rotası: 1 - 13 -14 - 15 - 16 -8 - 17 - 20 - 1	(mesafe: 159.56, yük: 100)
Araç 2 rotası: 1 - 7 - 9 - 6 - 4 - 2 - 3 - 19 - 5 - 1	(mesafe: 208.38, yük: 93)
Araç 3 rotası: 1 - 11 - 10 -18 - 12 - 21 - 1	(mesafe: 112.27, yük: 94)
Toplam taşınan yük: 287 En iyi maliyet: 480.20	
Yöntem: ByDemand	
Araç 1 rotası: 1 - 13 - 15 - 12 - 18 - 10 - 21 - 1	(mesafe: 176.88, yük: 97)
Araç 2 rotası: 1 -14 - 16 -8 -9 -7 -6 - 17 -1	(mesafe: 183.49, yük: 94)
Araç 3 rotası: 1 -11 -3 -19 - 2 -4 -5 -20 -1	(mesafe: 159.03, yük: 96)
Toplam taşınan yük: 287 En iyi maliyet: 519.40	
Yöntem: Savings	
Araç 1 rotası: 1 - 5 - 4 - 6 -9 - 7 - 20 - 17 - 1	(mesafe: 172.33, yük: 99)
Araç 2 rotası: 1 - 11 - 10 - 18 -3 - 2 -19 - 1	(mesafe: 164.60, yük: 92)
Araç 3 rotası: 1 - 13 - 8 - 16 - 15 -14 - 12 - 21 - 1	(mesafe: 182.02, yük: 96)
Toplam taşınan yük: 287 En iyi maliyet: 518.95	

Çizelge 2 de en 9. Deneyden elde edilen en iyi çözümün Bat parametreleri ile başlangıç çözümlerine göre rotalama bilgileri verilmiştir.



Görsel 1. Çizelge 2 Deki Çözümlerin Rota Çizimleri

Çizelge 2 de verilen rotalama bilgilerinin çizimleri Görsel 1de verilmiştir.



Görsel 2. Çizelge 2 Deki Çözümlerin İterasyon Ve Yakınsama Eğrileri

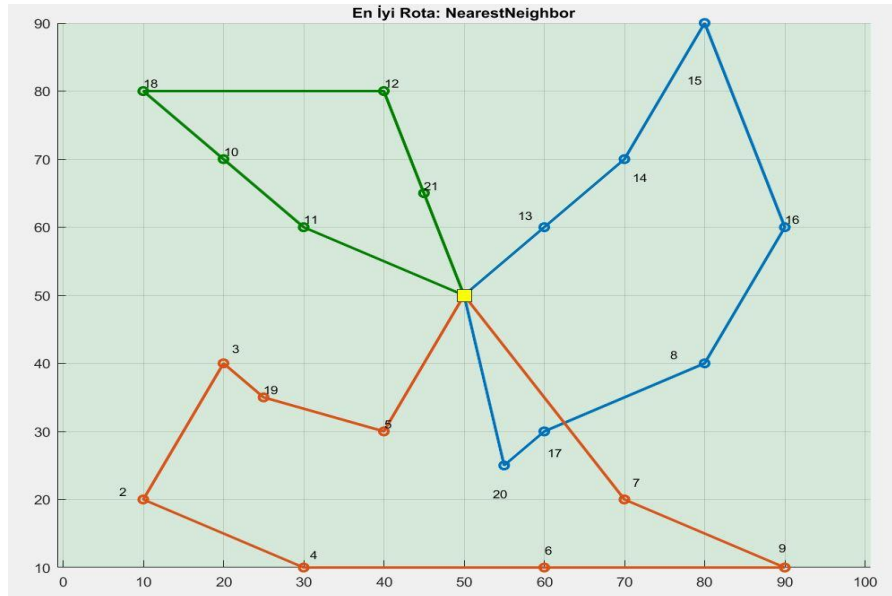
Görsel 2’deki grafik, dört başlangıç çözüm yönteminin (Random, Nearest Neighbor, Demand-Based, Savings) Bat Algoritması ile 2-opt yerel arama entegre edildiğinde gösterdiği maliyet azalımını karşılaştırmaktadır. Nearest Neighbor, düşük başlangıç maliyeti ve hızlı

iyileşme ile en iyi yakınsamayı sağlamıştır. Savings yöntemi de iyi bir başlangıç sunmuş ancak iyileşme hızı daha erken durağanlaşmıştır. Demand-Based orta düzeyde başlamış, yavaş fakat istikrarlı bir düşüş göstermiştir. Random ise yüksek maliyetle başlayıp, 2-opt sayesinde iterasyonlar ilerledikçe kademeli iyileşme sağlamıştır. Bulgular, güçlü bir başlangıç çözümünün ve 2-opt yerel aramanın, Bat Algoritması'nın yakınsama hızını ve nihai çözüm kalitesini belirgin şekilde artırdığını göstermektedir.

Çizelge 3. En İyi Çözüm Nearestneighbor'un Matlab İle Elde Edilen Rota Bilgileri

Yöntem	Araç	Araç rotası	Mesafe	Taşınan Talep	Toplam Mesafe	Toplam Talep
NearestNeighbor	Araç1	1 - 13 - 14 - 15 - 16 - 8 - 17 - 20 - 1	159.56	100	480.20	287
	Araç2	1 - 7 - 9 - 6 - 4 - 2 - 3 - 19 - 5 - 1	208.38	93		
	Araç 3	1 - 11 - 10 - 18 - 12 - 21 - 1	112.27	94		

Çizelge 3 ve görsel 3 bilgileri en az maliyetin elde edildiği Nearest Neighbor başlangıç çözümüne göre oluşturulan ve optimal rotalama bilgileri ve rota çizimlerini göstermektedirler.



Görsel 3. En İyi Çözüm Nearestneighbor'un Rota Matlab İle Çizimi

SONUÇLAR

Bu çalışmada, dört farklı başlangıç çözüm yöntemi (Random, Nearest Neighbor, Demand-Based, Savings) kullanılarak KARP için başlangıç popülasyonları oluşturulmuş, ardından 2-opt yerel arama ile çözümler iyileştirilmiş ve Bat Algoritması ile global arama gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, başlangıç çözüm kalitesinin algoritmanın yakınsama hızını ve nihai çözüm kalitesini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle Nearest Neighbor yöntemi, düşük başlangıç maliyeti ve hızlı yakınsama performansı ile öne çıkmış, Savings yöntemi de güçlü bir başlangıç noktası sunmuştur. Demand-Based yaklaşımı, yavaş fakat istikrarlı bir gelişim sergilerken, Random yöntemi yüksek başlangıç maliyetine rağmen 2-opt yerel arama sayesinde anlamlı iyileşmeler sağlamıştır. Yerel arama ve küresel aramanın bu şekilde hibritleştirilmesi, çözüm uzayının hem yoğun sömürü (intensification) hem de geniş keşif (exploration) açısından etkin taranmasını mümkün kılmış, bu da çözüm kalitesini artırmıştır. Yakınsama grafikleri, güçlü başlangıç yöntemlerinin daha hızlı ve daha düşük maliyetli çözümlere ulaştığını net biçimde göstermektedir. Gelecek çalışmalar kapsamında, farklı yerel arama operatörlerinin (ör. Or-opt, 3-opt) Bat Algoritması ile entegre edilmesi, parametrelerin adaptif olarak güncellenmesi ve çok amaçlı optimizasyon yaklaşımlarının kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, algoritmanın daha büyük ve gerçek yaşamdan alınmış KARP veri setleri üzerinde test edilmesi, endüstriyel uygulamalara entegrasyon potansiyelini artıracaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Toth, P., & Vigo, D. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, USA, 2002.
- [2] Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91. 1959.

- [3] Clarke, G., & Wright, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581. 1964.
- [4] Garey M. R., & Johnson D. S. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. New York, NY, USA: WH Freeman & Co, 1979.
- [5] Erdoğan, K. Çok Bölmeli Araç Rotalama Problemi için Bir Melez Genetik Algoritma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 71-80, 2021.
- [6] Pözü, F., Şahbazlar, S., Acar, E. B., Aygöl, Y., & Uğurlu, O. Acil Yardım Dağıtımında İnsansız Hava Araçlarının Etkin Rotalanması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15(1), 1-10, 2025.
- [7] Pisinger, D., & Ropke, S. A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2403–2435, 2007.
- [8] Croes, G. A., 1958. A method for solving traveling-salesman problems. *Operations research*, 6 (6): 791-812.
- [9] Keskinürk T., Kiremitçi B., Kiremitçi S. 2-Opt Algoritması Ve Başlangıç Çözümünün Algoritma Sonuçları Üzerindeki Etkisi, *Endüstri Mühendisliği, Dergisi*, 27:3 2-12, 2016.
- [10] Yang, X.-S. *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*. In *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*, Springer, pp. 65–74, 2010.

DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) SYSTEM IN A CLOUD COMPUTING PLATFORM

Dr. Zhang Wei

Prof. Liu Min

School of Civil Engineering, Tsinghua University, China

ABSTRACT

The construction industry is increasingly adopting Building Information Modeling (BIM) to enhance project efficiency and collaboration. This study presents the development of an integrated BIM system hosted on a cloud computing platform, aiming to address challenges related to data accessibility, interoperability, and real-time collaboration among stakeholders. The purpose of this research is to design a scalable and secure cloud-based BIM architecture that supports multi-user access and seamless data exchange across different software environments. The methodology involves system design, implementation, and testing using real-world construction project data. Key features include centralized data storage, version control, and integration with IoT devices for live monitoring. Results demonstrate improved project coordination, reduced data redundancy, and enhanced decision-making speed. The cloud platform allows stakeholders to access updated models anytime, anywhere, facilitating remote collaboration and reducing project delays. The study concludes that integrating BIM with cloud computing significantly advances digital construction practices by offering a flexible, efficient, and cost-effective solution. This innovation supports sustainable project management and paves the way for future smart construction technologies.

Keywords: Building Information Modeling, cloud computing, construction management, digital collaboration

SIMULATION AND PARAMETER OPTIMIZATION OF A RECTANGULAR MAGNETIC FIELD GENERATOR FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Dr. Maria Gonzalez

Department of Electrical Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico

ABSTRACT

Magnetic field generators are critical components in various industrial processes, including material handling and electromagnetic forming. This paper focuses on the simulation and parameter optimization of a rectangular magnetic field generator to enhance its operational efficiency and field uniformity. The objective is to develop a computational model using finite element analysis (FEA) to simulate magnetic flux distribution and identify optimal design parameters such as coil dimensions, current intensity, and core materials. The methodology includes iterative simulations combined with optimization algorithms to maximize magnetic field strength while minimizing energy consumption and thermal effects. Results indicate that adjusting coil geometry and current parameters leads to significant improvements in field uniformity and generator performance. The optimized design exhibits reduced power losses and enhanced durability, making it suitable for demanding industrial environments. The study provides valuable insights for engineers seeking to design efficient and reliable magnetic field generators tailored to specific applications. Future work will explore experimental validation and integration with control systems for adaptive operation.

Keywords: Magnetic field generator, simulation, parameter optimization, finite element analysis

APPLICATION OF ADVANCED MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING

Ali Shah, Ahmed Ali, Farah Karim, Saeed Zeynali

Department of Civil Engineering, National University of Sciences and Technology, Pakistan

ABSTRACT

Structural health monitoring (SHM) is essential for ensuring the safety and longevity of infrastructure. This research investigates the application of advanced machine learning algorithms to analyze sensor data for early detection of structural damage. The purpose is to develop predictive models capable of identifying anomalies and forecasting deterioration in real time. The study employs supervised learning techniques including support vector machines, random forests, and deep neural networks, trained on datasets collected from bridges and buildings under various loading conditions. Data preprocessing, feature extraction, and model validation are integral parts of the methodology. Results show that deep learning models outperform traditional algorithms in accuracy and robustness, effectively detecting subtle damage patterns. The models also demonstrate adaptability to different structural types and environmental conditions. This work highlights the potential of machine learning to revolutionize SHM by enabling proactive maintenance and reducing inspection costs. The integration of these algorithms into automated monitoring systems promises enhanced infrastructure resilience and public safety. Future research will focus on expanding datasets and real-time deployment.

Keywords: Structural health monitoring, machine learning, deep learning, predictive maintenance

THERMAL BEHAVIOR OF SUSTAINABLE CONCRETE MIXES WITH NATURAL INSULATION MATERIALS

L. Popescu , S. Stanescu

Department of Civil Engineering, Politehnica University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

Sustainable construction materials are vital for reducing environmental impact and improving energy efficiency. This study examines the thermal behavior of concrete mixes incorporating natural insulation materials such as cork, hemp fibers, and coconut coir. The objective is to evaluate how these additives influence thermal conductivity, heat capacity, and overall insulation performance of concrete. Experimental methods include preparing various concrete formulations, conducting thermal conductivity tests, and analyzing microstructural properties using scanning electron microscopy. Results reveal that natural insulation materials significantly reduce thermal conductivity without compromising mechanical strength, enhancing the concrete's thermal resistance. The study also identifies optimal mix proportions that balance sustainability with structural performance. These findings support the use of bio-based materials in eco-friendly construction, contributing to energy-efficient building envelopes. The research underscores the potential of integrating natural fibers in concrete to meet green building standards and reduce reliance on synthetic insulators. Future work will explore long-term durability and environmental lifecycle assessments.

Keywords: Sustainable concrete, natural insulation, thermal conductivity, eco-friendly materials

ASSESSING SAFETY RISKS IN URBAN CONSTRUCTION SITES THROUGH MACHINE LEARNING MODELS

Dr. Yiming Zhang

Prof. Dr. Qian Zhao

School of Civil and Environmental Engineering, Tsinghua University, China

ABSTRACT

Urban construction sites present complex safety challenges due to dense environments and diverse hazards. This paper develops machine learning models to assess and predict safety risks on urban construction sites, aiming to enhance preventive measures and reduce accidents. The research collects extensive safety incident data, environmental factors, and worker behavior records from multiple urban projects. Various algorithms, including decision trees, gradient boosting, and neural networks, are trained to identify risk patterns and forecast potential hazards. The methodology integrates data preprocessing, feature selection, and model evaluation using cross-validation techniques. Results demonstrate high predictive accuracy, enabling early warnings and targeted interventions. The models also provide insights into critical risk factors such as equipment usage, weather conditions, and site layout. The study advocates for incorporating AI-driven risk assessment tools into construction management systems to improve safety culture and regulatory compliance. Challenges related to data quality and model interpretability are discussed, with recommendations for future research focusing on real-time monitoring and integration with IoT sensors.

Keywords: Construction safety, machine learning, risk assessment, urban construction

OPTIMIZATION OF THERMAL STABILITY IN COMPOSITE MATERIALS FOR AEROSPACE APPLICATIONS

Dr. Natalia Petrov

Dr. Ilya Drozdenko

Department of Materials Science, Moscow State Technical University, Russia

ABSTRACT

Composite materials are critical in aerospace engineering due to their high strength-to-weight ratios and thermal resistance. This study focuses on optimizing the thermal stability of advanced composites used in aerospace applications. The objective is to enhance material performance under extreme temperature fluctuations encountered during flight. The research employs experimental thermal analysis techniques, including thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry, alongside computational modeling to investigate degradation mechanisms and thermal expansion behavior. Various composite formulations with different fiber reinforcements and matrix resins are tested. Results indicate that specific combinations of carbon fibers and high-performance polymers significantly improve thermal stability and reduce thermal stress. The study also explores the effects of nano-additives on thermal conductivity and mechanical properties. These findings contribute to the development of safer, more reliable aerospace components capable of withstanding harsh operational environments. The paper concludes with recommendations for material selection and processing methods to achieve optimal thermal performance. Future research will extend to fatigue testing and environmental aging.

Keywords: Thermal stability, composite materials, aerospace engineering, material optimization

IMPACT OF STRUCTURAL DESIGN ON THE PERFORMANCE OF BRIDGES UNDER SEISMIC LOADING CONDITIONS

Dr. Carlos Rodríguez , Prof. Martina Serrano, Dr. Felipe Duarte

Department of Structural Engineering, University of Chile, Chile

ABSTRACT

Seismic resilience is a paramount consideration in bridge engineering, especially in earthquake-prone regions. This paper investigates how different structural design approaches influence the performance of bridges subjected to seismic loading. The study compares traditional reinforced concrete designs with innovative base isolation and energy dissipation systems through numerical simulations and experimental shake table tests. The methodology includes dynamic analysis under various earthquake scenarios to assess stress distribution, displacement, and failure modes. Results demonstrate that incorporating seismic design features significantly enhances bridge stability and reduces damage during earthquakes. The research also evaluates cost-benefit aspects of advanced designs, highlighting their long-term value in reducing repair costs and ensuring public safety. The paper discusses design recommendations for engineers and policymakers to improve seismic preparedness in infrastructure projects. It emphasizes the importance of integrating updated seismic codes and continuous monitoring to adapt to evolving risk profiles. This work contributes to safer bridge construction practices and disaster risk reduction strategies.

Keywords: Seismic design, bridge engineering, structural performance, earthquake resilience

SYNTHESIS OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL REMEDICATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS

Jonas Fischer

Lena Becker

Department of Structural Engineering, University of Chile, Chile

ABSTRACT

Pharmaceutical pollutants have emerged as a significant environmental concern due to their persistence and potential adverse effects on aquatic ecosystems and human health. This study focuses on the synthesis and characterization of polymeric nanocomposites designed specifically for the remediation of pharmaceutical contaminants in water. The research explores the incorporation of various nanomaterials such as graphene oxide, metal oxides, and carbon nanotubes into polymer matrices to enhance adsorption capacity and catalytic degradation efficiency. Advanced synthesis techniques including in-situ polymerization and solution blending were employed to fabricate the nanocomposites. Comprehensive physicochemical analyses were conducted to evaluate surface area, porosity, and functional group availability, which are critical for pollutant interaction. Batch adsorption experiments demonstrated high removal efficiencies for common pharmaceutical compounds such as antibiotics and analgesics under varying pH and temperature conditions. Furthermore, catalytic degradation tests revealed that these nanocomposites effectively break down pollutants into less harmful byproducts. The study also assessed the reusability and stability of the materials over multiple remediation cycles, indicating promising durability for practical applications. Overall, the findings suggest that polymeric nanocomposites represent a versatile and effective approach to mitigating pharmaceutical pollution in wastewater treatment processes, contributing to environmental sustainability and public health protection. Future work will focus on scaling up synthesis and integrating these materials into existing treatment infrastructures.

Keywords: polymeric nanocomposites, pharmaceutical pollutants, environmental remediation, adsorption, catalytic degradation

REMOVAL OF HEAVY METALS USING FUNCTIONALIZED BIOSORBENTS FROM AGRO-WASTE

Prof. Dr. Amadou Diallo

Dr. Fatoumata Traoré

Department of Environmental Science, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Senegal

ABSTRACT

Heavy metal contamination in water sources poses a severe risk to ecosystems and human health, necessitating efficient and sustainable remediation strategies. This research investigates the use of functionalized biosorbents derived from agricultural waste materials for the removal of heavy metals such as lead, cadmium, and mercury from aqueous solutions. The study focuses on modifying agro-waste biomass through chemical treatments to enhance surface functional groups, thereby increasing biosorption capacity. Characterization techniques including Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), and surface area analysis were employed to assess the structural and chemical properties of the biosorbents. Batch adsorption experiments were conducted under varying conditions of pH, contact time, and initial metal concentration to optimize removal efficiency. Results indicated that functionalized biosorbents exhibited significantly higher adsorption capacities compared to raw biomass, achieving removal rates exceeding 90% for targeted metals. Isotherm and kinetic models were applied to elucidate the adsorption mechanisms, revealing chemisorption as the dominant process. The study also evaluated the regeneration potential of the biosorbents, demonstrating effective desorption and reuse over multiple cycles. This approach offers an eco-friendly, cost-effective alternative to conventional heavy metal remediation techniques, promoting waste valorization and environmental protection. The findings support the potential for scaling up biosorbent applications in wastewater treatment facilities, particularly in regions affected by industrial pollution.

Keywords: heavy metals, biosorbents, agro-waste, adsorption, water treatment

DEVELOPMENT OF BIOSENSOR PLATFORMS FOR DETECTION OF ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS

Maya Singh

Ritu Sharma

Department of Biotechnology, Indian Institute of Science, Bangalore, India

ABSTRACT

The detection and monitoring of environmental contaminants are critical for safeguarding ecosystems and public health. This study presents the development of advanced biosensor platforms tailored for rapid, sensitive, and selective detection of various pollutants including pesticides, heavy metals, and organic toxins. The research focuses on integrating biological recognition elements such as enzymes, antibodies, and nucleic acids with transducer technologies including electrochemical, optical, and piezoelectric sensors. Fabrication methods were optimized to enhance sensor stability, sensitivity, and response time. Laboratory evaluations demonstrated that the biosensors could detect contaminants at trace levels, with limits of detection significantly below regulatory thresholds. The platforms were tested in real environmental samples, confirming their applicability in complex matrices. Additionally, the study explores miniaturization and portability aspects, aiming to develop user-friendly devices for on-site monitoring. Challenges related to sensor fouling, selectivity, and reproducibility were addressed through surface modification and signal amplification techniques. The findings underscore the potential of biosensor technology to revolutionize environmental monitoring by providing cost-effective, real-time data critical for pollution control and regulatory compliance. Future research will focus on multiplexed detection and integration with wireless communication systems for enhanced environmental surveillance.

Keywords: biosensors, environmental contaminants, pollutant detection, sensor technology, real-time monitoring

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF HYDROGEL SYSTEMS CONTAINING ACTIVE PHARMACEUTICAL INGREDIENTS

Ravi Kumar, Manoj Kumar ,Aakash Gupta

Department of Pharmaceutical Sciences, University of Delhi, India

ABSTRACT

Hydrogel systems have gained considerable attention as drug delivery vehicles due to their biocompatibility, tunable properties, and ability to encapsulate active pharmaceutical ingredients (APIs). This study investigates the physical and chemical characteristics of hydrogels formulated with various APIs to understand their suitability for controlled drug release applications. Different polymeric networks including natural and synthetic polymers were synthesized and loaded with model drugs representing diverse therapeutic classes. Characterization techniques such as swelling behavior analysis, rheology, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and differential scanning calorimetry (DSC) were employed to assess the hydrogels' structural integrity, drug-polymer interactions, and thermal stability. Drug release profiles were evaluated under simulated physiological conditions to determine kinetics and mechanisms of release. Results demonstrated that hydrogel composition and crosslinking density significantly influence swelling capacity and drug diffusion rates. The presence of APIs affected the network structure, sometimes enhancing mechanical strength or altering degradation rates. The study highlights the potential for customizing hydrogel formulations to achieve desired release profiles tailored to specific medical needs. These findings contribute to the design of advanced drug delivery systems that improve therapeutic efficacy and patient compliance. Future research will focus on in vivo evaluations and scaling up production for clinical applications.

Keywords: hydrogels, drug delivery, pharmaceutical ingredients, controlled release, polymer networks

OPTIMIZATION OF SOLID PHASE EXTRACTION FOR TRICYCLIC ANTIDEPRESSANT DRUGS IN URINE SAMPLES,

Yasir Aslam

Farhan Ali

Sana Iqbal

Department of Analytical Chemistry, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

The accurate quantification of tricyclic antidepressant (TCA) drugs in biological fluids is essential for therapeutic drug monitoring and toxicological investigations. This study focuses on optimizing solid phase extraction (SPE) protocols to isolate TCAs from urine samples with high recovery and purity. Various SPE sorbents, elution solvents, and sample preparation techniques were systematically evaluated to enhance extraction efficiency. Method validation included assessments of linearity, precision, accuracy, and limits of detection and quantification using high-performance liquid chromatography (HPLC) coupled with UV detection. The optimized procedure demonstrated superior selectivity and sensitivity compared to conventional liquid-liquid extraction methods, reducing matrix interferences and sample preparation time. Application of the method to real patient samples confirmed its robustness and reliability. The study also discusses potential challenges such as sorbent saturation and analyte degradation, proposing solutions to mitigate these issues. This optimized SPE method offers a valuable tool for clinical and forensic laboratories, improving the accuracy of TCA drug analysis and supporting better patient care and forensic outcomes. Future work may extend the approach to other classes of psychoactive drugs and biological matrices.

Keywords: solid phase extraction, tricyclic antidepressants, urine analysis, HPLC, method optimization

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF NATURAL EXTRACTS FROM TRADITIONAL HERBS AGAINST COMMON PATHOGENS

Dr. Linda Pienaar

Dr. Zanele Mthembu

Department of Microbiology, University of Cape Town, South Africa

ABSTRACT

The rise of antifungal resistance among common pathogens necessitates the exploration of alternative therapeutic agents. This study evaluates the antifungal properties of natural extracts derived from traditional medicinal herbs widely used in indigenous healing practices. Various extraction methods including aqueous, ethanolic, and methanolic techniques were employed to obtain bioactive compounds. The antifungal efficacy was tested against clinically relevant fungal strains such as *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, and *Cryptococcus neoformans* using broth microdilution and agar diffusion assays. Phytochemical screening identified key compounds including flavonoids, alkaloids, and terpenoids responsible for antifungal activity. Results showed significant inhibition of fungal growth, with some extracts demonstrating comparable or superior effects to standard antifungal drugs. The study also investigated the potential synergistic effects of combined extracts and assessed cytotoxicity on mammalian cell lines to evaluate safety profiles. These findings support the potential of traditional herbs as sources of novel antifungal agents and encourage further isolation and characterization of active constituents. The research contributes to the development of alternative treatments addressing antifungal resistance and expanding the pharmacopeia with natural products.

Keywords: antifungal activity, natural extracts, traditional herbs, fungal pathogens, drug resistance

ANALYSIS OF THE TOXICITY OF NANOPARTICLES IN AQUATIC ECOSYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY

Kostas Papadopoulos
Nikoleta Georgiou
Ioannis Theodorou

Department of Environmental Toxicology, University of Athens, Greece

ABSTRACT

Nanoparticles (NPs) are increasingly used in various industrial and consumer products, raising concerns about their environmental impact, particularly in aquatic ecosystems. This comparative study assesses the toxicity of different types of nanoparticles including metal oxides, carbon-based, and polymeric NPs on aquatic organisms representing multiple trophic levels. Laboratory exposure experiments were conducted using algae, daphnia, and fish species to evaluate acute and chronic toxic effects. Endpoints measured included mortality, growth inhibition, behavioral changes, and biochemical markers of oxidative stress. The study also examined the influence of nanoparticle size, concentration, surface charge, and aggregation behavior on toxicity profiles. Results indicated that metal oxide NPs generally exhibited higher toxicity, while polymeric NPs showed lower adverse effects. However, all tested nanoparticles caused some degree of physiological disruption, raising concerns about bioaccumulation and ecosystem health. The research highlights the need for standardized testing protocols and regulatory frameworks to manage nanoparticle risks. It also underscores the importance of developing environmentally safer nanomaterials and monitoring their release into aquatic environments. These findings provide critical insights for policymakers, industry stakeholders, and environmental scientists aiming to balance technological advancement with ecological protection.

Keywords: nanoparticles, aquatic toxicity, environmental impact, ecotoxicology, nanomaterials

DEVELOPMENT OF MOLECULAR IMPRINTED POLYMERS (MIPS) FOR THE SELECTIVE REMOVAL OF CARBAMAZEPINE FROM AQUEOUS SOLUTION

Bianca Schweiger, Lucile Bahnweg, Barbara Palm, Ute Steinfeld

Department of Environmental Toxicology, University of Athens, Greece

Abstract:

The occurrence and removal of trace organic contaminants in the aquatic environment has become a focus of environmental concern. For the selective removal of carbamazepine from loaded waters molecularly imprinted polymers (MIPs) were synthesized with carbamazepine as template. Parameters varied were the type of monomer, crosslinker, and porogen, the ratio of starting materials, and the synthesis temperature. Best results were obtained with a template to crosslinker ratio of 1:20, toluene as porogen, and methacrylic acid (MAA) as monomer. MIPs were then capable to recover carbamazepine by 93% from a 10⁻⁵ M landfill leachate solution containing also caffeine and salicylic acid. By comparison, carbamazepine recoveries of 75% were achieved using a nonimprinted polymer (NIP) synthesized under the same conditions, but without template. In landfill leachate containing solutions carbamazepine was adsorbed by 93-96% compared with an uptake of 73% by activated carbon. The best solvent for desorption was acetonitrile, with which the amount of solvent necessary and dilution with water was tested. Selected MIPs were tested for their reusability and showed good results for at least five cycles. Adsorption isotherms were prepared with carbamazepine solutions in the concentration range of 0.01 M to 5*10⁻⁶ M. The heterogeneity index showed a more homogenous binding site distribution.

Keywords: Carbamazepine, landfill leachate, removal, reuse

PENTACHLOROPHENOL REMOVAL VIA ADSORPTION AND BIODEGRADATION

Rakmi Abd.-Rahman, Nurina Anuar

Rakmi Abd Rahman is with the National University of Malaysia,
Department of Chemical and Process, Faculty of Engineering and Built
Environment, 43600, Bangi Selangor

Nurina Anuar is with National University of Malaysia

Abstract:

Removal of PCP by a system combining biodegradation by biofilm and adsorption was investigated here. Three studies were conducted employing batch tests, sequencing batch reactor (SBR) and continuous biofilm activated carbon column reactor (BACCOR). The combination of biofilm-GAC batch process removed about 30% more PCP than GAC adsorption alone. For the SBR processes, both the suspended and attached biomass could remove more than 90% of the PCP after acclimatisation. BACCOR was able to remove more than 98% of PCP-Na at concentrations ranging from 10 to 100 mg/L, at empty bed contact time (EBCT) ranging from 0.75 to 4 hours. Pure and mixed cultures from BACCOR were tested for use of PCP as sole carbon and energy source under aerobic conditions. The isolates were able to degrade up to 42% of PCP under aerobic conditions in pure cultures. However, mixed cultures were found able to degrade more than 99% PCP indicating interdependence of species.

Keywords: Adsorption, biodegradation, identification, isolated bacteria, pentachlorophenol.

FORMULATION AND EVALUATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES CONTAINING LACTOBACILLUS

Sanae Kaewnopparat, Nattha Kaewnopparat

Prince of Songkla University, Songkla, 90110 Thailand

Abstract:

The objective of this study was to develop vaginal suppository containing lactobacillus. Four kinds of vaginal suppositories containing *Lactobacillus paracasei* HL32 were formulated: 1) a conventional suppository with Witepsol H-15 as a base, 2) a conventional suppository with mixed polyethylene glycols (PEGs) as a base, 3) a hollow-type suppository with Witepsol H-15 as a base and 4) a hollow-type suppository with mixed PEGs as a base. The release studies demonstrated that the hollow-type suppository with mixed PEGs as the base gave the highest release of *L. paracasei* HL32 and was microbiological stable after storage at 2- 8°C over the period of 3 months.

Keywords: *Lactobacillus paracasei* HL32, vaginal suppository, release study, hollow-type, viability.

SERICIN FILM: INFLUENCE OF CONCENTRATION ON ITS PHYSICAL PROPERTIES

N. Namviriyachote, N. Bang, P. Aramwit

N. Namviriyachote: Faculty of Pharmaceutical Sciences, Chulalongkorn University, Thailand

N. Bang: Department of Pharmacology, Graduated School, Chulalongkorn University,
Thailand

P. Aramwit, Pharm.D., Ph.D.: Department of Pharmacy Practice, Faculty of Pharmaceutical
Sciences, Chulalongkorn University, Thailand

Abstract:

Silk sericin (SS) is a glue-like protein from silkworm cocoon. With its outstanding moisturization and activation collagen synthesis properties, silk protein is applied for wound healing. Since wound dressing in film preparation can facilitate patients- convenience and reduce risk of wound contraction, SS and polyvinyl alcohol (PVA) films were prepared with various concentrations of SS. Their physical properties such as surface density, light transmission, protein dissolution and tensile modulus were investigated. The results presented that 3% SS with 2% PVA is the best ingredient for SS film forming.

Keywords: Sericin, silk protein, film, wound healing.

VALIDATION AND APPLICATION OF A NEW OPTIMIZED RP-HPLC- FLUORESCENT DETECTION METHOD FOR NORFLOXACIN

Mahmood Ahmad, Ghulam Murtaza, Sonia Khiljee, Muhammad Asadullah Madni

Abstract:

A new reverse phase-high performance liquid chromatography (RP-HPLC) method with fluorescent detector (FLD) was developed and optimized for Norfloxacin determination in human plasma. Mobile phase specifications, extraction method and excitation and emission wavelengths were varied for optimization. HPLC system contained a reverse phase C18 (5 μ m, 4.6 mm $\times$ 150 mm) column with FLD operated at excitation 330 nm and emission 440 nm. The optimized mobile phase consisted of 14% acetonitrile in buffer solution. The aqueous phase was prepared by mixing 2g of citric acid, 2g sodium acetate and 1 ml of triethylamine in 1 L of Milli-Q water was run at a flow rate of 1.2 mL/min. The standard curve was linear for the range tested (0.156–20 μ g/mL) and the coefficient of determination was 0.9978. Aceclofenac sodium was used as internal standard. A detection limit of 0.078 μ g/mL was achieved. Run time was set at 10 minutes because retention time of norfloxacin was 0.99 min. which shows the rapidness of this method of analysis. The present assay showed good accuracy, precision and sensitivity for Norfloxacin determination in human plasma with a new internal standard and can be applied pharmacokinetic evaluation of Norfloxacin tablets after oral administration in human.

Keywords: Norfloxacin, Aceclofenac sodium, Method optimization, RP-HPLC method, Fluorescent detection, Calibration curve.

ANTIBACTERIAL CAPACITY OF PLUMERIA ALBA PETALS

M. H. Syakira*, L. Brenda **

*University Technology Mara, Kuala Pilah branch, Negeri Sembilan, Malaysia

**Management and Science university, Shah Alam, Selangor, Malaysia

Abstract:

Antibacterial activity of *Plumeria alba* (Frangipani) petals methanolic extracts were evaluated against *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Enterococcus faecalis* and *Serratia marcescens* by using disk diffusion method. Concentration extracts (80 %) showed the highest inhibition zone towards *Escherichia coli* (14.3 mm). Frangipani extract also showed high antibacterial activity against *Staphylococcus saprophyticus*, *Proteus vulgaris* and *Serratia marcescens*, but not more than the zones of the positive control used. Comparison between two broad spectrum antibiotics to frangipani extracts showed that the 80 % concentration extracts produce the same zone of inhibition as Streptomycin. Frangipani extracts showed no bacterial activity towards *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterococcus faecalis*. There are differences in the sensitivity of different bacteria to frangipani extracts, suggesting that frangipani-s potency varies between these bacteria. The present results indicate that frangipani showed significant antibacterial activity especially to *Escherichia coli*.

Keywords: Frangipani, *Plumeria alba*, anti microbial, *Escherichia coli*

EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION IN KABUL CITY, AFGHANISTAN

Ahmad Sharif Ahmadi, Yoshitaka Kajita

Ahmad Sharif Ahmadi, Graduate student of Civil Engineering Department, Urban and Transportation planning, Tokai University.

Yoshitaka Kajita, Associate professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tokai university, Hiratsuka, Kanagawa, Japan.

Abstract:

Kabul, the capital and largest city in Afghanistan has been experiencing a massive population expansion and fast economic development in last decade, in which urban land has increasingly expanded and formed a high informal development territory in the city. This paper investigates the urban land development direction based on the integrated urbanization trends in Kabul city since the last and the fastest ever urban land growth period (1999-2008), which is parallel with the establishment of the new government in Afghanistan. Considering the existing challenges in terms of informal settlements, squatter settlements, the population expansion of the city, and fast economic development, as well as the huge influx of returning refugees from neighboring countries, and the sprawl direction of urbanization of the Kabul city urban fringes, this research focuses on the possible urban land development direction and trends for the city. The paper studies the feasible future land development direction of Kabul city in the northern part called Shamali basin, in which district 17 is the gateway for future development. The area has much developable area including eight districts of Kabul province, and the vast area of Parwan and Kapisa provinces. The northern area of the Kabul city generally has favorable conditions for further urbanization from the city. It is a large and relatively flat area of area in the northern part of Kabul city, with ample water resources available from the Panjshir basin as a base principle of land development direction in the area.

Keywords: Kabul city, land development trends, urban land development, urbanization.

**INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE
STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN,
IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS**

R. Rafiemanzelat

Reihaneh Rafiemanzelat is with the Department of Architecture, Eastern
Mediterranean University, Famagusta, North Cyprus

Abstract:

One of the most recent fields of investigation in urban issues focuses on the walkability in urban spaces. Considering the importance of walkability apart from pedestrian transportation, increasing walkability will help to reduce the congestion and environmental impact. This subject also matters as it has a social life, experiential quality and economical sustainability value. This study focused on the effects of walkability and place identity on each other in urban public spaces, streets in particular, as a major indicator of their success. The theoretical aspects which examine for this purpose consist of two parts: The first will evaluate the essential components of place identity in the streets and the second one will discuss the concept of walkability and its development theories which have been derived from walkable spaces. Finally, research investigates place identity and walkability and their determinants in two major streets in different cities. The streets are Chaharbagh Street in Isfahan/Iran and Dereboyu Street in Lefkosa/North Cyprus. This study has a qualitative approach with the research method of walkability studies. The qualitative method is combined with the collection of data relating to walking behavior and place identity through an observational field study. The result will show a relationship between pedestrian-friendly spaces and identity by related variables which has obtained.

Keywords: Place identity, walkability, urban public space, streets, pedestrian-friendly.

Renewed Urban Waterfront: Spatial Conditions of a Contemporary Urban Space Typology

Beate Niemann, Fabian Pramel

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tokai university, Hiratsuka,
Kanagawa, Japan.

Abstract:

The formerly industrially or militarily used Urban Waterfront is a potential area for urban development. Extensive interventions in the urban space come along with the development of these previously inaccessible areas in the city. The development of the Urban Waterfront in the European City is not subject to any recognizable urban paradigm. In this study, the development of the Urban Waterfront as a new urban space typology is analyzed by case studies of Urban Waterfront developments in European Cities. For humans, perceptible spatial conditions are categorized and it is identified whether the themed Urban Waterfront Developments are congruent or incongruent urban design interventions and which deviations the Urban Waterfront itself induce. As congruent urban design, a design is understood, which fits in the urban fabric regarding its similar spatial conditions to the surrounding. Incongruent urban design, however, shows significantly different conditions in its shape. Finally, the spatial relationship of the themed Urban Waterfront developments and their associated environment are compared in order to identify contrasts between new and old urban space. In this way, conclusions about urban design paradigms of the new urban space typology are tried to be drawn.

Keywords: Composition, congruence, identity, paradigm, spatial condition, urban design, urban development, urban waterfront.

URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES

Philip Speranza

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tokai university, Hiratsuka,
Kanagawa, Japan.

Abstract:

As everyday transit options are shifting from autocentric to pedestrian and bicycle oriented modes for healthy living, downtown streets are becoming more attractive places to live. However, tools and methods to measure the natural environment at the small scale of streets do not exist. Fortunately, a combination of mobile data collection technology and parametric urban design software now allows an interface to relate urban ecological conditions. This paper describes creation of an interactive tool to measure urban phenomena of air, water, and heat/light at the scale of new three-by-three block pedestrianized areas in Barcelona called Superilles. Each Superilla limits transit to the exterior of the blocks and to create more walkable and bikeable interior streets for healthy living. The research will describe the integration of data collection, analysis, and design output via a live interface using parametric software Rhino Grasshopper and the Human User Interface (UI) plugin.

Keywords: Transit, urban design, GIS, parametric design, Superilles, Barcelona, urban ecology.

PERFORMANCE EVALUATION OF A ‘PRIORITY-CONTROLLED’ INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION

Ezenwa Chinenye Amanamba

Department of Civil Engineering, College of Engineering, Gregory University Uturu, Nigeria

Abstract:

There is a call to ensure that the issues of safety and efficient throughput are considered during design; the solutions to these issues can also be retrofitted at locations where they were not captured during design, but have become problems to road users over time. This paper adopts several methods to analyze the performance of an intersection which was formerly a ‘priority-controlled’ intersection, but has now been converted to a ‘signal-controlled’ intersection. Extensive review of literature helped form the basis for result analysis and discussion. The Ikot-Ekpene/Anagha-Ezikpe intersection, located at the heart of Umuahia was adopted as case study; considering the high traffic volume on the route. Anecdotal evidence revealed that traffic signals imposed enormous delays at the intersection, especially for traffic on the major road. The major road has arrival flow which surpasses the saturation flow obtained from modelling of the isolated signalized intersection. Similarly, there were several geometric elements that did not agree with the specific function of the road. A roundabout, particularly flower roundabout was recommended as a better traffic control measure.

Keywords: Highway function, level of service, roundabout, traffic delays, Umuahia.

Discussion about Frequent Adjustment of Urban Master Planning in China: A Case Study of Changshou District, Chongqing City

Sun Ailu, Zhao Wanmin

College of Architecture and Urban Planning, Chongqing university, Chongqing, China

Abstract:

Since the reform and opening, the urbanization process of China has entered a rapid development period. In recent years, the authors participated in some projects of urban master planning in China and found a phenomenon that the rapid urbanization area of China is experiencing frequent adjustment process of urban master planning. This phenomenon is not the natural process of urbanization development. It may be caused by different government roles from different levels. Through the methods of investigation, data comparison and case study, this paper aims to explore the reason why the rapid urbanization area is experiencing frequent adjustment of master planning and give some solution strategies. Firstly, taking Changshou district of Chongqing city as an example, this paper wants to introduce the phenomenon about frequent adjustment process in China. And then, discuss distinct roles in the process between national government, provincial government and local government of China. At last, put forward preliminary solutions strategies for this area in China from the aspects of land use, intergovernmental cooperation and so on.

Keywords: Urban master planning, frequent adjustment, urbanization development, problems and strategies, China.

Hybrid Living: Emerging Out of the Crises and Divisions

Yiorgos Hadjichristou

Department of Business Economics, Faculty of Business Administration, University of
Economics, Prague, Czech Republic

Abstract:

The paper will focus on the hybrid living typologies which are brought about due to the Global Crisis. Mixing of the generations and the groups of people, mingling the functions of living with working and socializing, merging the act of living in synergy with the urban realm and its constituent elements will be the springboard of proposing an essential sustainable housing approach and the respective urban development. The thematic will be based on methodologies developed both on the academic, educational environment including participation of students' research and on the practical aspect of architecture including case studies executed by the author in the island of Cyprus. Both paths of the research will deal with the explorative understanding of the hybrid ways of living, testing the limits of its autonomy. The evolution of the living typologies into substantial hybrid entities, will deal with the understanding of new ways of living which include among others: re-introduction of natural phenomena, accommodation of the activity of work and services in the living realm, interchange of public and private, injections of communal events into the individual living territories. The issues and the binary questions raised by what is natural and artificial, what is private and what public, what is ephemeral and what permanent and all the in-between conditions are eloquently traced in the everyday life in the island. Additionally, given the situation of Cyprus with the eminent scar of the dividing 'Green line' and the waiting of the 'ghost city' of Famagusta to be resurrected, the conventional way of understanding the limits and the definitions of the properties is irreversibly shaken. The situation is further aggravated by the unprecedented phenomenon of the crisis on the island. All these observations set the premises of reexamining the urban development and the respective sustainable housing in a synergy where their characteristics start exchanging positions, merge into each other, contemporarily emerge and vanish, changing from permanent to ephemeral. This fluidity of conditions will attempt to render a future of the built- and unbuilt realm where the main focusing point will be redirected to the human and the social. Weather and social ritual scenographies together with 'spontaneous urban landscapes' of 'momentary relationships' will suggest a recipe for emerging urban environments and sustainable living. Thus, the paper will aim at opening a discourse on the future of the sustainable living merged in a sustainable urban development in relation to the imminent solution of the division of island, where the issue of property became the main obstacle to be overcome. At the same time, it will attempt to link this approach to the global need for a sustainable evolution of the urban and living realms.

Keywords: Social ritual scenographies, spontaneous urban landscapes, substantial hybrid entities, re-introduction of natural phenomena.

CORPORATE GOVERNANCE NETWORKS AND INTERLOCKING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC

Ondřej Nowak

Department of Business Economics, Faculty of Business Administration, University of
Economics, Prague, Czech Republic

Abstract:

This paper presents an exploration into the structure of the corporate governance network and interlocking directorates in the Czech Republic. First a literature overview and a basic terminology of the network theory is presented. Further in the text, statistics and other calculations relevant to corporate governance networks are presented. For this purpose an empirical data set consisting of 2 906 joint stock companies in the Czech Republic was examined. Industries with the highest average number of interlocks per company were healthcare, and energy and utilities. There is no observable link between the financial performance of the company and the number of its interlocks. Also interlocks with financial companies are very rare.

Keywords: Corporate Governance, Interlocking Directorates, Network Theory, Czech Republic.

ANALYSIS OF RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED

S. Pechpoonthong, M. Kopystecki

Sarisa Pechpoonghong is with the Suan Sunandha Rajabhat Bangkok, Thailand

Abstract:

The eco-efficient use of “waste” makes sense from economic, social, and environmental perspectives. By efficiency diverting “waste” products back into useful and/or profitable inputs, industries and entire societies can reap the benefits of improved financial profit, decreased environmental degradation, and overall well-being of humanity. In this project, several material flows at Company Limited were investigated. Principles of “industrial ecology” were applied to improve the management of waste rubbers that are used in the jewelry manufacturing process. complete this project, a brief engineering analysis stream, and investigated eco-efficient principles for more efficient handling of the materials and wastes were conducted, and the result were used to propose implementation strategies.

Keywords: Rubber, ecology, waste.

THE STUDY OF PUBLIC CONSCIOUSNESS OF UNDERGRADUATE STUDENTS, SUAN SUNANDHA RAJABHAT UNIVERSITY

Nantida Otakum

Sarisa Pechpooghong is with the Suan Sunandha Rajabhat Bankok, Thailand

Abstract:

The purpose of the study is to study the level of public consciousness of Suan Sunandha Rajabhat University undergraduate students. This study also compares differences in the level of public consciousness among undergraduate students who are different in sex and year of study. The research methodology employed a questionnaire as a quantitative method. The respondents were undergraduate students at Suan Sunandha Rajabhat University. Totally, 400 usable questionnaires were received. Descriptive and inferential statistics were used in data analysis. The results showed that the level of public consciousness of undergraduate students was at a good level in all aspects. The aspect of social participation was at the highest level, while the aspect of shared vision was at the lowest level. The results also indicated that undergraduate students with differences in sex and year of study were not significantly different in public consciousness level.

Keywords: Participation, public consciousness, Suan Sunandha Rajabhat University, undergraduate students.

HYBRID ENERGY SUPPLY WITH DOMINANTLY RENEWABLE OPTION FOR SMALL INDUSTRIAL COMPLEX

Tomislav Stambolic, Anton Causevski

Sarisa Pechpooghong is with the Suan Sunandha Rajabhat Bangkok, Thailand

Abstract:

The deficit of power for electricity demand reaches almost 30% for consumers in the last few years. This reflects with continually increasing the price of electricity, and today the price for small industry is almost 110Euro/MWh. The high price is additional problem for the owners in the economy crisis which is reflected with higher price of the goods. The paper gives analyses of the energy needs for real agro complex in Macedonia, private vinery with capacity of over 2 million liters in a year and with self grapes and fruits fields. The existing power supply is from grid with 10/04 kV transformer. The geographical and meteorological condition of the vinery location gives opportunity for including renewable as a power supply option for the vinery complex. After observation of the monthly energy needs for the vinery, the base scenario is the existing power supply from the distribution grid. The electricity bill in small industry has three factors: electricity in high and low tariffs in kWh and the power engaged for the technological process of production in kW. These three factors make the total electricity bill and it is over 110 Euro/MWh which is the price near competitive for renewable option. On the other side investments in renewable (especially photovoltaic (PV)) has tendency of decreasing with price of near 1,5 Euro/W. This means that renewable with PV can be real option for power supply for small industry capacities (under 500kW installed power). Therefore, the other scenarios give the option with PV and the last one includes wind option. The paper presents some scenarios for power supply of the vinery as the followings: • Base scenario of existing conventional power supply from the grid • Scenario with implementation of renewable of Photovoltaic • Scenario with implementation of renewable of Photovoltaic and Wind power The total power installed in a vinery is near 570 kW, but the maximum needs are around 250kW. At the end of the full paper some of the results from scenarios will be presented. The paper also includes the environmental impacts of the renewable scenarios, as well as financial needs for investments and revenues from renewable.

Keywords: Energy, Power Supply, Renewable, Efficiency.

A STATISTICAL PREDICTION OF LIKELY DISTRESS IN NIGERIA BANKING SECTOR USING A NEURAL NETWORK APPROACH

D. A. Farinde

Sarisa Pechpooghong is with the Suan Sunandha Rajabhat Bankok, Thailand

Abstract:

One of the most significant threats to the economy of a nation is the bankruptcy of its banks. This study evaluates the susceptibility of Nigerian banks to failure with a view to identifying ratios and financial data that are sensitive to solvency of the bank. Further, a predictive model is generated to guide all stakeholders in the industry. Thirty quoted banks that had published Annual Reports for the year preceding the consolidation i.e. year 2004 were selected. They were examined for distress using the Multilayer Perceptron Neural Network Analysis. The model was used to analyze further reforms by the Central Bank of Nigeria using published Annual Reports of twenty quoted banks for the year 2008 and 2011. The model can thus be used for future prediction of failure in the Nigerian banking system.

Keywords: Bank, Bankruptcy, Financial Ratios, Neural Network, Multilayer Perceptron, Predictive Model

EFFICIENCY IN URBAN GOVERNANCE TOWARDS SUSTAINABILITY AND COMPETITIVENESS OF CITY : A CASE STUDY OF KUALA LUMPUR

Hamzah Jusoh, Azmizam Abdul Rashid

Sarisa Pechpooghong is with the Suan Sunandha Rajabhat Bangkok, Thailand

Abstract:

Malaysia has successfully applied economic planning to guide the development of the country from an economy of agriculture and mining to a largely industrialised one. Now, with its sights set on attaining the economic level of a fully developed nation by 2020, the planning system must be made even more efficient and focused. It must ensure that every investment made in the country, contribute towards creating the desirable objective of a strong, modern, internationally competitive, technologically advanced, post-industrial economy. Cities in Malaysia must also be fully aware of the enormous competition it faces in a region with rapidly expanding and modernising economies, all contending for the same pool of potential international investments. Efficiency of urban governance is also fundamental issue in development characterized by sustainability, subsidiarity, equity, transparency and accountability, civic engagement and citizenship, and security. As described above, city competitiveness is harnessed through 'city marketing and city management'. High technology and high skilled industries, together with finance, transportation, tourism, business, information and professional services shopping and other commercial activities, are the principal components of the nation-s economy, which must be developed to a level well beyond where it is now. In this respect, Kuala Lumpur being the premier city must play the leading role.

Keywords: Economic planning, sustainability, efficiency, urban governance and city competitiveness.

A STUDY OF NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR GROSS DOMESTIC PRODUCT GROWTH FORECASTING

E. Giovanis

Sarisa Pechpooghong is with the Suan Sunandha Rajabhat Bangkok, Thailand

Abstract:

In this paper we present a Adaptive Neuro-Fuzzy System (ANFIS) with inputs the lagged dependent variable for the prediction of Gross domestic Product growth rate in six countries. We compare the results with those of Autoregressive (AR) model. We conclude that the forecasting performance of neuro-fuzzy-system in the out-of-sample period is much more superior and can be a very useful alternative tool used by the national statistical services and the banking and finance industry.

Keywords: Autoregressive model, Forecasting, Gross DomesticProduct, Neuro-Fuzzy

RISK OF LATE PAYMENT IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY

Kho Mei Ye, Hamzah Abdul Rahman

Faculty of Built Environment, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract:

The purpose of this study is to identify the underlying causes of late payment from the contractors- perspective in the Malaysian construction industry and to recommend effective solutions to mitigate late payment problems. The target groups of respondents in this study were Grades G3, G5, G6 and G7 contractors with specialization in building works and civil engineering works registered with the Construction Industry Development Board (CIDB) in Malaysia. Results from this study were analyzed with Statistical Package for the Social Science (SPSS 15.0). From this study, it was found that respondents have highest ranked five significant variables out of a total of forty-one variables which can caused late payment problems: a) cash flow problems due to deficiencies in client-s management capacity (mean = 3.96); b) client-s ineffective utilization of funds (mean = 3.88); c) scarcity of capital to finance the project (mean = 3.81); d) clients failure to generate income from bank when sales of houses do not hit the targeted amount (mean=3.72); and e) poor cash flow because of lack of proper process implementation, delay in releasing of the retention monies to contractor and delay in the evaluation and certification of interim and final payment (mean = 3.66).

Keywords: Underlying causes, late payment, constructionindustry, Malaysia.

SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS

Emma Grigoryan, Ashot Khachatryan, Karapet Flora , Avjyan Savchenko,

Aerospace Research and Test Establishment, Czech Republic

Abstracts

Shed snake skin, a readily available and sustainable material, exhibits unique properties that make it ideal for developing biomimetic membranes. This study investigated the potential of shed snake skin for permeation studies and drug delivery applications. The skin was characterized for its structural integrity, permeability, and biocompatibility. Results revealed that snake skin possesses semi-permeable properties, allowing for selective transport of molecules based on size and charge. Moreover, its biocompatibility makes it suitable for potential use in drug delivery systems. This research highlights the promising potential of shed snake skin as a sustainable and natural resource for advancing permeation studies and developing novel drug delivery platforms.

Keywords: Snake skin, biomimetic membranes, permeation studies, drug delivery, natural resource.

PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS

Dr. Stepan Arakelova, Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan

Bauman Moscow State Technical University, Russia

Abstract

This study explored the impact of varying polyvinyl pyrrolidone (PVP) and ethyl cellulose (EC) concentrations on the release profiles and kinetics of glibenclamide from matrix tablets prepared by direct compression. PVP acted as a hydrophilic binder, while EC served as a retarding polymer. Both PVP and EC concentrations significantly influenced the drug release profiles. Increasing PVP content enhanced initial burst release, whereas higher EC concentrations led to prolonged and sustained release. Dissolution kinetics analysis revealed a shift from Fickian diffusion to anomalous diffusion with increasing EC concentration, suggesting a more complex release mechanism involving both diffusion and polymer relaxation. These findings highlight the potential of optimizing PVP and EC ratios to tailor glibenclamide release profiles for achieving improved therapeutic efficacy and minimizing adverse effects.

Keywords: Glibenclamide, precision drug delivery, polyvinyl pyrrolidone, ethyl cellulose, release profile, dissolution kinetics.

INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS

Dr. Sunil Kamboj, Dr. Vipin Saini, Lecture GauravBala,

Bataan Peninsula State University , Philippines

Abstract

Background: 18F-FDG is the gold standard radiotracer for positron emission tomography (PET) imaging of glucose metabolism. However, its limitations include rapid in vivo defluorination and high lipophilicity, leading to non-specific uptake in organs like the brain. Aminopolyethers (APEs) have shown promise as potential carriers for radioligands due to their favorable properties, including high biocompatibility, low immunogenicity, and tunable physicochemical properties.

Objective: This study investigated the effects of APEs on the properties of 18F-FDG and its implications for PET imaging applications.

Methods: 18F-FDG was labeled with 18F-fluoride using standard methods. The stability, lipophilicity, and biodistribution of 18F-FDG in the presence of different APEs were evaluated in vitro and in vivo.

Results: APEs were found to significantly improve the stability of 18F-FDG, reducing its defluorination rate. Additionally, the lipophilicity of 18F-FDG was decreased by APEs, leading to improved target-to-background ratios in PET images. Biodistribution studies showed that APE-conjugated 18F-FDG exhibited reduced uptake in non-target organs such as the brain, suggesting improved specificity for PET imaging.

Conclusion: This study demonstrates the potential of APEs to improve the properties of 18F-FDG and enhance its effectiveness for PET imaging applications. Further research is needed to optimize the design of APEs and their conjugation with other radioligands for various PET imaging applications.

Keywords: Aminopolyether, 18F-FDG, PET imaging, radioligands, stability, lipophilicity, biodistribution

ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES

Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma

Lyallpur Khalsa College, Jalandhar (Punjab)-India

Abstract

Endophytic fungi represent a promising source of novel bioactive compounds due to their diverse metabolic pathways and unique ecological niches within host plants. This study aimed to isolate and identify fibrinolytic protease-producing endophytic fungi from Hibiscus leaves. Using standard isolation techniques, a total of 23 fungal isolates were obtained, with eight isolates exhibiting fibrinolytic activity on skim milk agar plates. Molecular identification based on internal transcribed spacer (ITS) regions revealed these active isolates belonged to diverse fungal genera, including *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, and *Fusarium*. Additionally, the production of fibrinolytic protease by these fungi was confirmed through zymography analysis. This study highlights the potential of endophytic fungi from Hibiscus leaves as a novel source of fibrinolytic proteases, which hold promise for therapeutic applications in cardiovascular diseases.

Keywords: Endophytes, Hibiscus leaves, Fibrinolytic protease, Bioactive compounds.

FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING

Dr. Bedi Neayti Singh, Phd. Candidate Balvinder Thakur,

Lyallpur Khalsa College, Jalandhar (Punjab)-India

Abstract

This study describes the design and development of a novel mechanical force gauge specifically tailored for square watermelon molding. It introduces the unique characteristics of square watermelons and explores the limitations of existing force measurement methods. Three main gauge models are evaluated: hydraulic, strain gauge, and mechanical. The mechanical gauge ultimately emerges as the most suitable option due to its advantages in terms of force and pressure measurement, peak force indication, continuous monitoring of melon growth, material compatibility with the growth environment, air conditioning capability, sunlight transmission, straightforward calibration, ease of assembly/disassembly, visual inspection capability, versatility, simplicity, and cost-effectiveness. The performance and features of the developed mechanical force gauge are further detailed, highlighting its potential to revolutionize the production of high-quality square watermelons.

Keywords: square watermelon, mechanical force gauge, mold, pressure measurement, melon growth, fruit reshaping

THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS

Assis. Prof. Dr. Rathapon, Dr.Sorrachaitawatwong,,Nardauma Pouthai

Bayero University Kano, Nigeria

ABSTRACT

his paper explores the role of exercise in improving sexual performance and semen quality of Sahiwal bulls, presenting practical guidance for breeders. The study demonstrates that regular exercise enhances key parameters of reproductive health, including libido, sperm motility, concentration, and morphology, ultimately leading to improved breeding outcomes. The mechanisms underlying these benefits are explored, highlighting the physiological adaptations induced by exercise, such as increased testosterone production, improved blood flow, and reduced oxidative stress. Practical recommendations for designing and implementing exercise programs for Sahiwal bulls are provided, including specific exercise types, duration, frequency, and intensity considerations. By incorporating a well-designed exercise regimen into their breeding practices, breeders can improve the reproductive efficiency and overall health of their Sahiwal bulls, leading to increased productivity and profitability.

Keywords: Sahiwal bull, sexual performance, semen quality, exercise, libido, sperm motility, sperm concentration, sperm morphology, testosterone, blood flow, oxidative stress, breeding efficiency, productivity, profitability.

**INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED
SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE,
AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS**

Sirijit Tipchuwong, Chayanid Asasutjarit

Ibn Khaldoun University of Tiaret- Algeria

Abstract

This study investigated the effects of dietary herbal seed supplementation on carcass characteristics, immune response, and antioxidant status of broiler chickens. Broiler chicks were randomly assigned to experimental groups fed with diets containing different levels of herbal seed powder (HBP).

Results: Compared to the control group, dietary HBP supplementation significantly improved carcass yield, breast muscle percentage, and dressing percentage. Additionally, HBP increased the levels of immune globulins (IgA, IgG, and IgM) and enhanced the activity of antioxidant enzymes (SOD, CAT, and GPx). Furthermore, HBP supplementation reduced oxidative stress markers (MDA) and improved meat quality parameters such as water holding capacity and cooking loss.

Conclusion: These findings suggest that dietary herbal seed supplementation can be a promising strategy to improve carcass characteristics, enhance immune response, and promote antioxidant status in broiler chickens, thereby contributing to sustainable and healthy poultry production.

Keywords: herbal seed supplementation, broiler chickens, carcass characteristics, immune response, antioxidant status, growth performance, blood parameters, meat quality.

COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPUS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL

Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd

Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Teknologi Malaysia

Abstract:

Elateriospermum tapos seed (buah perah) is the one of the rich sources of polyunsaturated fatty acids. It contains high percentage of oleic acid which is the important component to develop nervous system and also α -linolenic acid (ALA) which is the precursor of omega-3 fatty acids series to synthesize eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). However, there is less study about this valuable oilseed and exploit its potential. Therefore, this paper is to assess the comparison of physico-chemical properties and fatty composition of perah oil to palm oil and soybean oil. From the comparison, perah oil shows low peroxide value means it has good oxidative stability and also high iodine values shows that it can be used in paint industry. The study shown that perah oil is comparable to palm oil and soybean oil, so it has high potential to be exploited in the oleochemical, pharmaceutical, cosmetics and paint industries.

Keywords: α -linolenic acid, palm oil, perah oil, soybean oil

PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES

Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan

Department of Food Science, Faculty of Agrotechnology and Food Science, Universiti
Malaysia Terengganu, Terengganu, Malaysia

Abstract:

This study was conducted in order to determine the physical properties and stability of mayonnaise-like emulsions as affected by modified yam starches. Native yam starch was modified via pre-gelatinization and cross-linking phosphorylation procedures. The emulsions (50% oil dispersed phase) were prepared with 0.3% native potato, native yam, pre-gelatinized yam and cross-linking phosphorylation yam starches. The droplet size of surface weighted mean diameter was found to be significantly ($p < 0.05$) lower in the sample with cross-linking phosphorylation yam starch as compared to other samples. Moreover, the viscosity of the sample with pregelatinized yam starch was observed to be higher than that of other samples. The phase separation stability was low in the freshly prepared and stored (45 days, 5°C) emulsions containing native yam starch. This study thus generally suggested that modified yam starches were more suitable (i.e. better physical properties and stability) to be used as stabilizers in a similar system i.e. light mayonnaises, rather than a native yam starch.

Keywords: Oil-in-water emulsions, low-fat mayonnaises, modified yam starches, droplet size distribution, viscosity.

OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran

Suganthi Devadason Marine Research Institute, Tuticorin, TamilNadu, India

Abstract:

Optimization of extraction of phenolic compounds from *Avicennia marina* using response surface methodology was carried out during the present study. Five levels, three factors rotatable design (CCRD) was utilized to examine the optimum combination of extraction variables based on the TPC of *Avicennia marina* leaves. The best combination of response function was 78.41 °C, drying temperature; 26.18°C; extraction temperature and 36.53 minutes of extraction time. However, the procedure can be promptly extended to the study of several others pharmaceutical processes like purification of bioactive substances, drying of extracts and development of the pharmaceutical dosage forms for the benefit of consumers.

Keywords: *Avicennia marina*, Central Composite Rotatable Design (CCRD), Response Surface Methodology, Total Phenolic contents (TPC)

CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION

Abdelatif S. H. El-Jasser

Department of Nutrition, Riyadh 11488, P.O Box 35047, Saudi Arabia

Abstract:

The aim of the present study was to investigate the chemical and biological properties of local cowpea seed protein cultivated in Gizan region. The results showed that the cowpea and its products contain high level of protein (22.9-77.6%), high carbohydrates (9.4-64.3%) and low fats (0.1-0.3%). The trypsin and chymotrypsin activities were found to be 32.2 and 15.2 units, respectively. These activities were not affected in both defatted and protein concentrate whereas they were significantly reduced in isolated protein and cooked samples. The phytate content of cooked and concentrated cowpea samples varied from 0.25% -0.32%, respectively. Tannin content was found to be 0.4% and 0.23% for cooked and raw samples, respectively. The in vitro protein digestibility was very high in cowpea seeds (75.04-78.76%). The biological evaluation using rats showed that the group fed with animal feed containing casein gain more weight than those fed with that containing cowpea. However, the group fed with cooked cowpea gain more weight than those fed with uncooked cowpea. On the other hand, in vivo digestion showed high value (98.33%) among the group consumed casein compared to other groups those consumed cowpea contains feed. This could be attributed to low antinutritional factors in casein contains feed compared to those of cowpea contains feed because cooking significantly increased the digestion rate (80.8% to 83.5%) of cowpea contains feed. Furthermore, the biological evaluation was high (91.67%) of casein containing feed compared to that of cowpea containing feed (80.83%-87.5%). The net protein utilization (NPU) was higher (89.67%) in the group fed with casein containing feed than that of cowpea containing feed (56.33%-69.67%).

Keywords: Biological properties, Cowpea seed protein, Antinutritional factors, In vitro digestibility

INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN

A. Molee, N. Duanghaklang, P. Mernkrathoke

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

The objective was to determine the single gene and interaction effect of composite genotype of beta-kappa casein and DGAT1 gene on milk yield (MY) and milk composition, content of milk fat (%FAT), milk protein (%PRO), solid not fat (%SNF), and total solid (%TS) in crossbred Holstein cows. Two hundred and thirty- one cows were genotyped with PCR-RFLP for DGAT1 and composite genotype data of beta-kappa casein from previous work were used. Two model, (1), and (2), was used to estimate single gene effect, and interaction effect on the traits, respectively. The significance of interaction effects on all traits were detected. Most traits have consistent pattern of significant when model (1), and (2) were compared, except the effect of composite genotype of betakappa casein on %FAT, and the effect of DGAT1 on MY, which the significant difference was detected in only model (1).The results suggested that when the optimum of all traits was necessary, interaction effect should be concerned.

Keywords: composite genotype of beta-kappa casein, DGAT1gene, Milk composition, Milk yield

REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE

Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

Dispersions of casein micelles (CM) were studied at a constant protein concentration of 5 wt % in high NaCl environment ranging from 0% to 12% by Dynamic light scattering (DLS) and Fourier Transform Infrared (FTIR). The rehydration profiles obtained were interpreted in term of wetting, swelling and dispersion stages by using a turbidity method. Two behaviours were observed depending on the salt concentration. The first behaviour (low salt concentration) presents a typical rehydration profile with a significant change between 3 and 6% NaCl indicating quick wetting, swelling and long dispersion stage. On the opposite, the dispersion stage of the second behaviour (high salt concentration) was significantly shortened indicating a strong modification of the protein backbone. A salt increase result to a destabilization of the micelle and the formation of mini-micelles more or less aggregated indicating an average micelles size ranging from 100 to 200 nm. For the first time, the estimations of secondary structural elements (irregular, β -sheet, α -helix and turn) by the Amide III assignments were correlated with results from Amide I.

Keywords: Casein, DLS, FTIR, Ionic environment.

PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY

Pattama Ratana-Arporn, Pongtep Wilaipun

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand.

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand

Abstract:

White scar oyster (*Crassostrea belcheri*) is often eaten raw and being the leading vehicle for foodborne disease, especially *Salmonella Weltevreden* which exposed the prominent and most resistant to radiation. Gamma irradiation at a low dose of 1 kGy was enough to eliminate *S. Weltevreden* contaminated in oyster meat at a level up to 5 log CFU/g while it still retain the raw characteristics and equivalent sensory quality as the non-irradiated one. Process development of ready-to-eat chilled oyster meat was conducted by shucking the meat, individually packed in plastic bags, subjected to 1 kGy gamma radiation at chilled condition and then stored in 4°C refrigerated temperature. Microbiological determination showed the absence of *S. Weltevreden* (5 log CFU/g initial inoculated) along the whole storage time of 30 days. Sensory evaluation indicated the decreasing in sensory scores along storage time which determining the product shelf life to be 18 days compared to 15 days of nonirradiated one. The most advantage of developed process was to provide the safe raw oyster to consumers and in addition sensory quality retained and 3-day extension shelf life also exist.

Keywords: decontamination, food safety, irradiation, oyster, *Salmonella Weltevreden*

EFFECT OF PRETREATMENT METHOD ON THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS, VITAMIN C AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DRIED DILL

Ruta Galoburda, Zanda Kruma, Karina Ruse

Latvia University of Agriculture, Faculty of Food Technology, Latvia

Abstract:

Dill contains range of phytochemicals, such as vitamin C and polyphenols, which significantly contribute to their total antioxidant activity. The aim of the current research was to determine the best blanching method for processing of dill prior to microwave vacuum drying based on the content of phenolic compounds, vitamin C and free radical scavenging activity. Two blanching mediums were used – water and steam, and for part of the samples microwave pretreatment was additionally used. Evaluation of vitamin C, phenolic contents and scavenging of DPPH[•] radical in dried dill was performed. Blanching had an effect on all tested parameters and the blanching conditions are very important. After evaluation of the results, as the best method for dill pretreatment was established blanching at 90 °C for 30 seconds.

Keywords: blanching, microwave vacuum drying, TPC, vitamin C.

INTEGRATED APPROACHES TO SMART MANUFACTURING AND MECHATRONICS DESIGN

Dr. Taro Nakamura, Department of Mechatronics, Federal University of Technology, Nigeria

Dr. Sophia Akintola, Department of Mechatronics, Federal University of Technology, Nigeria

Abstract:

This paper investigates the interplay between smart manufacturing technologies and innovative mechatronic systems, highlighting advanced methodologies and applications. It comprehensively examines the role of intelligent control algorithms, sustainable materials, and the integration of AI-driven systems into traditional engineering frameworks. The study provides insights into the transformation of industries such as robotics, precision agriculture, and renewable energy by adopting cutting-edge technologies. Detailed case studies and experimental evaluations underscore the practical implications of these developments, offering a roadmap for future innovations in the field. The findings emphasize the pivotal role of smart systems in enhancing efficiency, reducing costs, and driving industrial sustainability.

ADVANCED SIMULATION TECHNIQUES FOR ELECTRIC SKID-STEERING VEHICLES

Dr. Amara Diouf, Department of Mechanical Engineering, University of Dakar, Senegal

Dr. Pieter van der Meer, Department of Mechanical Engineering, University of Dakar,
Senegal

Abstract:

This research presents a dynamic simulation framework for analyzing the behavior of 6×6 electric skid-steering vehicles using a synergy of Trucksim and Simulink platforms. By replacing traditional steering mechanisms with advanced electric skid-steering systems, the study validates control algorithms for vehicle speed and yaw rate through closed-loop modeling. Comparative analyses reveal strong alignment between theoretical predictions and simulation outcomes, verifying the model's robustness. Additionally, a novel feedforward control strategy is implemented, significantly improving maneuverability by achieving precise yaw rate targets. The findings provide valuable tools for optimizing control algorithms and expanding applications in autonomous vehicle technology.

ANALYSIS OF EXPANSION-INDUCED IRONING IN ADVANCED WELL CASING TECHNOLOGIES

Dr. Rodrigo Souza, Department of Mechanical Engineering, Ain Shams University, Egypt
Dr. Aisha El-Sayed, Department of Mechanical Engineering, Ain Shams University, Egypt

Abstract:

This study delves into the mechanics of ironing in mono-diameter well casing expansions, offering a detailed exploration of the pressures and forces involved. The mono-diameter well design, with its consistent inner diameter, addresses critical industry needs for increased production capacity and environmental sustainability. Employing a physical model, the study calculates stresses, strains, and expansion dimensions under varying conditions, focusing on free casing and overlap expansion scenarios. Key parameters, including cement layer properties and casing material characteristics, are analyzed to predict axial strain and ironing onset. Validated by Finite Element simulations and experimental data, the model sheds light on the challenges and solutions in casing expansion technologies, paving the way for future advancements.

DEVELOPMENT OF INDOOR DRONE SYSTEMS FOR CREATIVE INDUSTRY INNOVATIONS

Dr. Musa Khan, Dr. Laura Ricci,

National University of Technology, Pakistan
National University of Technology, Pakistan

Abstract:

This paper explores the application of innovative drone technologies tailored to indoor use within the creative industries. Focusing on the AiRT system, the study addresses challenges such as stable flight and accurate positioning in confined spaces. A novel integration of ultra-wide band (UWB) positioning systems and RGB-D cameras enables advanced 3D environmental mapping and pre-programmed automated flights. User-friendly designs ensure accessibility for non-expert operators. Initial findings demonstrate the potential of these drones to revolutionize creative workflows, from cinematography to virtual production, highlighting their role in unlocking new economic opportunities within the sector.

EMOTIONALLY INTELLIGENT ROBOTS FOR SOCIAL INTERACTION

Dr. Sarah Kim, Department of Robotics, Seoul National University of Science and
Technology, South Korea

Dr. João Silva, Department of Robotics, Seoul National University of Science and
Technology, South Korea

Abstract:

This study focuses on enhancing the emotional intelligence of humanoid robots to enable more intuitive human-robot interactions. By leveraging Affective Computing, the research integrates techniques from psychology and artificial intelligence to improve emotion recognition capabilities. The humanoid robot Pepper was evaluated for its ability to interpret basic emotional expressions through facial analysis, comparing its performance with state-of-the-art methods. Experiments using both controlled databases and real-world interactions reveal critical insights into detection accuracy and system limitations. These findings lay the groundwork for developing emotionally aware robots capable of adapting to human behaviors and fostering meaningful social engagement.

ADVANCING EMOTION-SENSITIVE AI IN ROBOTIC SYSTEMS: A STUDY OF MULTIMODAL EMOTION RECOGNITION APPROACHES

Adebayo Okoro, Li Wei, Maria Nunes

University: Federal University of Technology Akure, Nigeria

Abstract:

The integration of emotional intelligence in humanoid robots has become a cornerstone in enhancing human-robot interaction. This study focuses on developing and evaluating multimodal emotion recognition techniques to improve the adaptability of robots in social contexts. By analyzing emotional cues from facial expressions, vocal tones, gestures, and textual content, the research bridges the interdisciplinary fields of affective computing, cognitive science, and robotics. The experiments involve assessing the humanoid robot Nao's ability to recognize basic emotions and comparing its performance with advanced emotion recognition algorithms across diverse datasets and real-world interactions. The findings reveal that techniques leveraging real emotional responses outperform those relying solely on theoretical datasets. The research further emphasizes the importance of incorporating genuine emotional data in model training to achieve accurate and empathetic robot responses.

Keywords: Emotional Intelligence, Multimodal Emotion Recognition, Affective Computing, Humanoid Robots, Human-Robot Interaction

IMPACT ASSESSMENT OF LEAN MANUFACTURING ON ORGANIZATIONAL SUCCESS: A STRUCTURAL ANALYSIS FRAMEWORK

Tariro Chikafu,

University: Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

This study presents a novel structural framework for evaluating the impacts of Lean manufacturing on organizational efficiency and performance. By reviewing existing literature and utilizing Pareto analysis, the research identifies critical Lean constructs integral to effective performance measurement. Employing Structural Equation Modeling (SEM), the framework elucidates latent variables associated with Lean practices, offering an adaptable tool for diverse industries. The proposed model facilitates the quantification of Lean benefits, addressing common challenges faced by organizations in adopting and evaluating Lean methodologies. The findings underscore the significance of tailored measurement systems aligned with specific industrial requirements, ensuring sustainable improvement in organizational practices.

Keywords: Lean Manufacturing, Structural Equation Modeling, Performance Measurement, Organizational Efficiency

DESIGN AND ANALYSIS OF A DUAL-ACTUATED MICROGRIPPER FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

Mariam Sow, Javier Rodríguez, Wei Zhang

University: Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

This research details the design, simulation, and evaluation of a dual-actuated electro-thermal microgripper optimized for micro-assembly and biomedical cell manipulation. The design integrates advanced geometrical configurations and material properties to enhance precision and reliability. Using Finite Element Methods via COMSOL Multiphysics, the study analyzes temperature distribution, displacement control, and operational efficiency under various conditions. The results highlight the microgripper's suitability for industrial and biomedical applications, showcasing superior performance in handling delicate tasks with high precision. The incorporation of optical measurement tools further refines the microgripper's operational accuracy, ensuring its adaptability in diverse fields.

Keywords: Microgripper, Electro-Thermal Actuation, Finite Element Analysis, Biomedical Engineering

ROBUST CONTROL DESIGN FOR 3-DOF HELICOPTER SYSTEMS USING ADVANCED LQR-PID METHODS

Manuel Silva, Aisha Ahmed, Sophia Kim
Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

The control of 3-degree-of-freedom (3-DOF) helicopter systems poses significant challenges due to their nonlinear dynamics and inherent instability. This research proposes a hybrid PID control strategy derived from Linear Quadratic Regulator (LQR) methods. The study establishes a comprehensive mathematical model for the helicopter system and demonstrates a systematic approach to converting LQR gains into effective PID parameters. Simulation results reveal that the designed controller achieves a balanced trade-off between stability and responsiveness, ensuring robust performance under dynamic conditions. The methodology outlined serves as a benchmark for addressing complex control issues in nonlinear systems.

Keywords: 3-DOF Helicopter, PID Control, LQR Methods, Nonlinear Systems

ENHANCING POWER QUALITY THROUGH ADAPTIVE FUZZY PID CONTROL OF ACTIVE POWER FILTERS

Fatou Ndiaye, Dr. Elias Moreno
Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

This study introduces an adaptive fuzzy PID control strategy for optimizing shunt active power filters (APFs) to mitigate harmonic distortions in power systems. Utilizing a d-q-o reference frame technique, the research develops a robust control framework to address distortions caused by nonlinear and unbalanced loads. The proposed system integrates a fuzzy logic controller to dynamically adjust PID parameters based on load conditions, ensuring precise compensation of harmonic currents. Simulation results validate the effectiveness of the controller in enhancing power quality across diverse operational scenarios, demonstrating its potential for widespread application in modern power systems.

Keywords: Power Quality, Adaptive Control, Fuzzy Logic, Active Power Filters

INNOVATIVE EYE-TRACKING CONTROL SYSTEM FOR WHEELCHAIR NAVIGATION USING EOG TECHNOLOGY

Diana Oliveira, Ahmed Khan, Maya Tanaka
Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

This research develops a cost-effective, eye-controlled wheelchair system powered by Electrooculography (EOG) technology to aid individuals with physical disabilities. The system employs an innovative microcontroller-based design that captures and processes ocular signals for precise wheelchair navigation. Amplification and noise-filtering techniques are used to enhance signal clarity, enabling seamless motor control through intuitive eye movements. The results demonstrate the system's efficiency in translating eye gestures into smooth navigation commands, offering a transformative solution for individuals with limited mobility. This approach underscores the potential of EOG technology in enhancing accessibility and independence.

Keywords: Eye-Tracking, Wheelchair Navigation, EOG Technology, Assistive Devices

LOW-COST ELECTROMYOGRAPHIC SIGNAL AMPLIFICATION SYSTEM FOR PORTABLE APPLICATIONS

Ahmed O. Ibrahim, Chike N. Okeke , Sophia Mensah

Department of Biomedical Engineering, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

This study presents the development of an affordable and portable surface electromyographic (S-EMG) signal acquisition system, emphasizing its practical applications in biomedical engineering. Using the Atmel Atmega328 microcontroller and a 10-bit A/D converter, an innovative system was designed to acquire S-EMG signals effectively. A dual-channel differential electronic circuit captures signals, with a prototype tested on the Biceps Brachialis muscle of a 23-year-old healthy individual. Advanced signal analysis techniques, including ARV, MDF, MNF, and RMS estimators, were employed to benchmark results against standard physiological parameters. The microcontroller's sampling frequency of 1.5 kHz per channel and the system's 20.57 dB signal-to-noise ratio underscore its performance. This cost-efficient and reliable S-EMG system is poised to advance clinical and research applications.

Keywords: Electromyography, Arduino, Signal Acquisition, Portable System, Biomedical Engineering

ENHANCING SINGLE-PHASE INVERTER PERFORMANCE USING EMBEDDED PWM CONTROLLERS

Dr. João P. Silva, Maria C. Costa

Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Nairobi, Kenya

Abstract:

The integration of advanced control techniques for induction motor drives has led to significant improvements in energy efficiency and operational precision. This research explores the development of a single-phase inverter system controlled by a microcontroller that generates variable-frequency pulse width modulation (PWM) signals. Utilizing IGBT-based fully controlled bridge inverters, the system achieves low harmonic distortion and precise motor speed control. MATLAB/Simulink simulations confirm the reliability of the PWM methodology across a broad frequency range. Hardware validation further demonstrates the practical viability of the system for industrial and commercial applications. This approach offers a scalable solution for enhancing the operational efficiency of single-phase induction motors.

Keywords: Induction Motor Control, PWM, Microcontroller, Energy Efficiency, Variable Frequency Inverter

OPTIMIZATION OF LOAD FREQUENCY CONTROL USING GENETIC ALGORITHMS

Wanjiku N. Mwangi, Joseph A. Otieno

Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Nairobi, Kenya

Abstract:

This paper introduces a genetic algorithm (GA)-based approach to optimize proportional-integral-derivative (PID) controller parameters for single-area load frequency control (LFC) systems. Traditional PID tuning methods struggle with the dynamic nature of LFC systems, often leading to suboptimal performance. The proposed method leverages GAs to fine-tune the controller parameters, ensuring adaptability to system variations and disturbances. Extensive simulations conducted in MATLAB Simulink validate the superior performance of the GA-tuned PID controllers in comparison to conventional methods. This novel approach demonstrates significant potential for improving the stability and efficiency of power system operations.

Keywords: Load Frequency Control, PID Optimization, Genetic Algorithm, Power Systems, System Stability

SECURE ADS-B SYSTEMS USING HYBRID MODULATION TECHNIQUES

Jia L. Wong, Mei C. Huang, Thuy T. Nguyen

School of Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

Abstract:

To address the security vulnerabilities of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) systems, this study proposes a hybrid modulation approach combining Pulse Amplitude Modulation (PAM) and Phase Shift Keying (PSK). Termed Secure ADS-B (SADS-B), this technique enhances security while maintaining compatibility with existing infrastructure. Hardware-in-the-loop simulations reveal a fivefold increase in data payload, improved authentication through digital signatures, and robust system efficiency. This method represents a significant step forward in aviation safety and data security within the NextGen framework.

Keywords: ADS-B Security, Hybrid Modulation, PAM-PSK, Aviation Safety, Data Authentication

PERFORMANCE ANALYSIS OF AIR COOLING SYSTEMS WITH VARIABLE GENERATOR PRESSURE

Lamia M. Hussein, Kenji T. Yamada

Department of Mechanical Engineering, Cairo University, Egypt

Abstract:

This research investigates the performance of air cooling systems incorporating thermal ejectors activated by variable generator pressures. A comprehensive theoretical model, developed using conservation laws and gas dynamics principles, evaluates the system's efficiency under varying conditions. The model, integrated with refrigerant R134a properties, highlights the impact of generator pressure on cooling performance. Higher pressures induce shock waves within the ejector, enhancing overall cooling capacity. The findings underscore the potential of thermal ejectors as energy-efficient alternatives in sustainable cooling technologies.

Keywords: Air Cooling, Thermal Ejectors, Generator Pressure, Energy Efficiency, Sustainable Technologies

IMPACT OF VARIABLE PRIMARY STREAM CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF EJECTOR COOLING SYSTEMS

Rafael Moreira, Jie Zhang, Ahmed Saleh, Samuel Okoro

, Faculty of Engineering, Alexandria University, Egypt

Abstract:

This study investigates the influence of varying primary stream pressures on the operational efficiency of ejector cooling systems (ECS) through detailed numerical analysis. Employing advanced computational models validated against experimental data, the research analyzes heat exchanger behaviors using the moving boundary method. The primary focus is to understand how pressure fluctuations in the primary stream impact the system's coefficient of performance (COP) and exergy efficiency, with the working fluid being R245fa. The findings reveal that an increase in primary stream pressure causes a slight reduction in COP but initially enhances exergy efficiency, which peaks before declining at higher pressures. These insights provide valuable guidelines for optimizing ECS designs for enhanced energy performance.

Keywords: Coefficient of Performance, Ejector Cooling Systems, Exergy Efficiency, Numerical Modeling

TIME-DOMAIN ANALYSIS OF FLOATING WAVE ENERGY CONVERTER PERFORMANCE

Yuki Nakamura, Mei Lin, Peter Mensah

Department of Renewable Energy, University of Cape Coast, Ghana

Abstract:

The dynamic performance of a floating wave energy converter (WEC) is analyzed using time-domain simulations to evaluate its suitability for harnessing wave energy. The study emphasizes structural stability and energy capture efficiency under variable sea conditions. A novel design involving surface-floating mechanics enhances the WEC's adaptability to wave movements while maintaining energy generation even in low-energy wave scenarios. Simulation results, corroborated with experimental testing, show substantial potential for optimization in structural integrity and energy output. This work underscores the role of advanced numerical tools in advancing renewable energy technology.

Keywords: Time-Domain Simulation, Floating Wave Energy Converter, Renewable Energy, Numerical Analysis

EVALUATION OF A HIGH-VOLTAGE GAIN DC/DC CONVERTER FOR SOLAR ENERGY APPLICATIONS

Chen Wei, Fatima Haddad, Marco dos Santos

School of Electrical Engineering, Sichuan University of Technology, China

Abstract:

This study introduces a novel high step-up DC/DC converter tailored for solar energy systems, focusing on efficiency improvements through innovative design. The converter employs coupled inductors to achieve significant voltage gain while minimizing energy loss via zero-current switching (ZCS). Theoretical and experimental validation of a 100W prototype demonstrates its capability to convert 20V input to a 220V output with high efficiency. By leveraging the inherent leakage inductance of coupled inductors, the system operates under ZCS, enhancing its performance and reducing heat dissipation. This work contributes to the advancement of sustainable energy technologies by providing an efficient power conversion solution.

Keywords: DC/DC Converter, High Voltage Gain, Solar Energy, Zero Current Switching

ANALYSIS OF CHILDHOOD POISONING ADMISSIONS IN LIBYA: THREE-YEAR RETROSPECTIVE STUDY

Fatima Al-Bakri, Mohamed Hassan, Elena Petrov

- Elena Petrov, Institute of Medical Sciences, Plovdiv Medical University, Bulgaria

Abstract:

This retrospective study reviews childhood poisoning cases admitted to Benghazi Children's Hospital, Libya, from 2008 to 2010, encompassing 244 cases. The analysis highlights that most admissions were accidental, with a significant prevalence among boys aged 1–3 years (50.8%). The study identifies ingestion of medications as the leading cause (53.69%), followed by household product exposure (26.64%) and food poisoning (19.67%). Seasonal trends show a peak in poisoning incidents during summer. Despite mild symptoms in most cases, the findings emphasize the need for preventive measures, including improved storage of toxic agents, to mitigate pediatric poisoning risks.

Keywords: Pediatric Poisoning, Retrospective Study, Libya, Public Health

EFFECTS OF PROLACTIN ALTERATIONS ON MALE REPRODUCTIVE FUNCTION IN WHITE RATS

Hassan Ali, Luka Novak, Samuel Kofi

- Samuel Kofi, Department of Veterinary Medicine, University of Ghana, Ghana

Abstract:

This research examines the impact of prolactin variations on male reproductive function using 200 white rats in a controlled study. Rats were categorized into a control group and groups with induced hypo- and hyperprolactinemia via pharmacological methods. Serum prolactin levels and seminal fluid parameters were analyzed after 100 days. Findings show significant differences in prolactin concentrations and seminal fluid characteristics between the experimental and control groups, with more pronounced effects correlating with higher prolactin levels. This study underscores the role of prolactin in male fertility, providing a foundation for exploring therapeutic approaches for endocrine-related infertility.

Keywords: Prolactin, Male Fertility, Seminal Fluid Analysis, Endocrine Studies

IMPACT OF DEXAMETHASONE ON REPRODUCTIVE HEALTH IN JUVENILE RATS

A. Rahimi, M. Amara

Institute of Biological Sciences, Universitas Lampung – Indonesia

Abstract:

Dexamethasone (Dex), a widely used synthetic glucocorticoid, is known for its therapeutic benefits but poses significant risks to endocrine health, particularly when administered in high doses over extended periods. This study investigates the impact of Dex on the testicular function of prepubertal Wistar rats. Newborn rats received intraperitoneal injections of Dex (1 µg per 5 g body weight) for 20 days, followed by assessment at 40 days of age. The control group was administered saline (NaCl 0.9%). Key metrics, including body weight, testis weight, and plasma levels of testosterone, LH, and FSH, were analyzed alongside histological examinations of testicular tissue. Dex-treated rats exhibited significant reductions in body weight, testicular mass, and hormone levels, with notable disruptions in seminiferous tubule structure and spermatogenesis. These findings underscore the long-term adverse effects of neonatal Dex exposure on male reproductive health, raising concerns about its clinical use in pediatric populations.

Keywords: Dexamethasone, testosterone, LH, FSH, testis, Wistar rats

LEAKAGE IMPACT ON THE DURABILITY OF SOLID OXIDE ELECTROLYSIS CELLS

Fatima Al-Hassan, Khaled Saleh, Aisha Khalil
King Abdulaziz University, Saudi Arabia

Abstract:

This study investigates the effects of leakage on the durability of solid oxide electrolysis cells (SOECs) under co-electrolysis conditions. Various cell configurations, including Ni-YSZ fuel electrodes and CGO barriers, were analyzed using impedance spectroscopy and microscopy techniques. Leakage-induced variations in gas concentration impedances were identified as critical factors affecting performance. Pressurized testing highlighted the relationship between leak rates and cell stability. These findings contribute to developing more robust SOEC systems for sustainable syngas production.

Keywords: SOEC, durability, leakage analysis, syngas production.

INNOVATIVE THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION

Daniel Owusu, Grace Agyeman
Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana

Abstract:

Thermochemical energy storage (TCES) systems offer a promising solution for sustainable energy storage in transportation. This study presents a novel TCES prototype based on reversible LiBr-methanol sorption reactions. Detailed evaluations of material properties, heat exchanger designs, and environmental impacts were conducted. The prototype demonstrated cycle stability and operational efficiency under various conditions, indicating its potential for integration into vehicle systems. These advancements contribute to reducing greenhouse gas emissions in transportation applications.

Keywords: Thermochemical energy storage, sustainable transportation, LiBr, energy systems.

ENHANCING ENERGY EFFICIENCY THROUGH SMART MICRO-GRID INTEGRATION: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA

N. T. Vu, L. H. Pham, J. W. Han, Priya Kumari, Ahmed Nasir

School of Electrical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

Abstract:

The integration of smart micro-grids has emerged as a pivotal strategy for enhancing energy efficiency and addressing the growing demand for renewable energy solutions in Southeast Asia. This study investigates the optimization of smart micro-grid components, focusing on economic and environmental performance metrics. Utilizing a case study of two manufacturing facilities, the proposed system incorporates photovoltaic panels, wind turbines, a diesel backup generator, and a battery storage system, meeting a peak load demand of 80 kW. Simulations conducted using MATLAB/Simulink and the HOMER software provide insights into the technical and economic feasibility of various configurations. Findings reveal that a Wind/Photovoltaic (W/PV) hybrid system yields a lower Levelized Cost of Electricity (LCOE) of \$0.250/kWh compared to a Wind/Photovoltaic/Diesel/Battery (W/PV/D/B) system at \$0.290/kWh. Incorporating carbon emission costs further aligns the off-grid system with on-grid alternatives. These results highlight the potential of hybrid renewable systems to meet the region's energy needs while supporting sustainability goals.

Keywords: Smart micro-grids, energy optimization, renewable energy, Southeast Asia, economic performance.

EMPOWERING CLINICAL PRECEPTORS: STRATEGIES FOR IMPROVING NURSING EDUCATION IN EAST AFRICA

Fatima Mwangi, Samuel Otieno

School of Electrical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

Abstract:

Clinical preceptors play a crucial role in bridging theoretical knowledge with practical application in nursing education. This study explores the experiences and challenges of clinical preceptors in East Africa, focusing on their contributions to undergraduate nursing programs. Using a qualitative approach, data were gathered from in-depth interviews with four clinical preceptors at Kigali University. The findings highlight the preceptors' dedication to mentoring despite encountering obstacles such as limited resources, unclear role expectations, and difficulty in theory-practice integration. Their clinical expertise was identified as a core strength in supporting student learning. Recommendations include implementing structured preceptor training programs, fostering collaboration between academic institutions and clinical sites, and introducing advanced modules for clinical practice. Addressing these issues can enhance the preceptorship experience and improve the overall quality of nursing education in the region.

Keywords: Nursing education, clinical preceptorship, challenges, Rwanda, East Africa.

ADVANCING NUTRITIONAL CARE FOR PEDIATRIC CANCER PATIENTS: A NURSING PERSPECTIVE

Dr. R. Choudhury, Dr. A. Das

Department of Nursing, Dhaka Medical College, Bangladesh

Abstract:

Pediatric cancer patients face unique nutritional challenges, often exacerbated by the effects of their illness and treatment. This study evaluates the role of nursing interventions in addressing these challenges, emphasizing their significance in achieving holistic care. A review of current practices identified key issues such as anorexia, mucositis, altered taste perception, and gastrointestinal disturbances. These complications, coupled with psychological stress, contribute to malnutrition, undermining treatment efficacy. Nurses, as primary caregivers, are instrumental in implementing tailored nutritional strategies, including dietary counseling, regular monitoring, and the management of side effects. The study calls for integrating comprehensive nutritional assessments and interventions into pediatric oncology protocols, highlighting their role in improving patient outcomes and quality of life.

Keywords: Pediatric oncology, malnutrition, nursing care, nutritional interventions, Bangladesh.

IMPROVING HEALTH OUTCOMES FOR FEMALE INMATES: NURSING INTERVENTIONS IN NIGERIA

Maryam Bello, Nkechi Nwosu, Zhang Ming

Faculty of Public Health, University of Ibadan, Nigeria

Abstract:

Female inmates represent a vulnerable population with unique health care needs. This study examines the impact of nursing services on the physical health and health behaviors of incarcerated women in a correctional facility in Nigeria. A quasi-experimental design was employed, involving pre- and post-intervention assessments of 35 inmates using standardized tools, including the Omaha System (OS). Nursing interventions focused on health education, lifestyle modifications, and disease prevention strategies. Post-intervention results revealed significant improvements in inmates' health knowledge, behaviors, and physical well-being ($p < 0.05$). These findings underscore the critical role of nursing in addressing the health disparities faced by incarcerated women and advocate for expanded healthcare services in correctional settings.

Keywords: Nursing care, correctional health, female inmates, health behavior, Nigeria.

DEVELOPING NURSE LEADERSHIP IN CHALLENGING ENVIRONMENTS: INSIGHTS FROM IRAQ

Assoc. Prof. Dr. F. Mahmoud, Dr. A. Ibrahim

Faculty of Nursing, University of Basra, Iraq

Abstract:

This study explores the perceptions of ward nurses regarding the essential attributes of effective nurse leadership in Iraq's healthcare sector. Using a descriptive quantitative methodology, surveys were conducted among 250 ward nurses in public hospitals in Basra. Results indicate that participants associate effective leadership with attributes such as strong clinical expertise, advanced communication skills, and ethical conduct. However, challenges persist, including inadequate leadership training and limited access to professional development opportunities. Interviews with senior nurse leaders further highlight the need for adopting transformational leadership models and tailored training programs to nurture future nurse leaders. These findings provide actionable insights for improving leadership capacity within the healthcare system in developing nations.

Keywords: Nurse leadership, healthcare management, Iraq, transformational leadership, nursing education.

THE IMPACT OF DIALYSIS-INDUCED STRESS ON PATIENT OUTCOMES: A STUDY FROM EGYPT

Fatima S. Hassan, Dr. Ahmed M. Zaki
Department of Nursing, Alexandria University, Egypt

Abstract:

Chronic kidney disease patients undergoing hemodialysis encounter multifaceted stressors that can influence their treatment adherence and overall health outcomes. This study investigates the physiological and psychological challenges faced by hemodialysis patients and evaluates their coping mechanisms. A descriptive cross-sectional design was utilized with a sample of 95 adult patients from a public hospital. Tools like the Hemodialysis Stressor Scale (HSS) and Jalowiec Coping Scale (JCS) were employed. Results revealed that 52% of patients experienced high levels of physiological stress, while 40% encountered significant psychological stress. Coping strategies such as optimism and reliance on social support were frequently employed, with mean scores of 2.9 ± 0.8 and 2.85 ± 0.7 , respectively. These findings emphasize the need for targeted interventions to address stressors and enhance adaptive coping, thereby improving the quality of life for hemodialysis patients.

Keywords: Hemodialysis, stress management, chronic kidney disease, coping strategies, patient outcomes.

IMPROVING NURSING PRACTICES IN PEDIATRIC DENTAL CARE: A SYSTEMATIC REVIEW

Dr. Mariam Konaté, Dr. Felix Okoro
University of Nairobi, Kenya

Abstract:

Oral care in pediatric patients is a critical yet often underemphasized component of nursing practice. This study systematically reviews evidence-based nursing interventions for pediatric oral care across diverse clinical scenarios. The review includes a detailed analysis of methods aimed at preventing conditions such as ventilator-associated pneumonia and mucositis while enhancing routine oral hygiene practices. Findings highlight inconsistencies in care protocols and emphasize the importance of standardization. The study underscores the necessity of targeted training programs for nurses to bridge knowledge gaps and achieve consistent application of evidence-based practices. Establishing robust, standardized guidelines can significantly improve pediatric patient outcomes and ensure better care delivery.

Keywords: Pediatric nursing, evidence-based care, oral hygiene, standardization, clinical protocols.

ASSESSING TEAMWORK SKILLS THROUGH SIMULATION IN UNDERGRADUATE HEALTH EDUCATION

E. Ndanga, T. Owusu, R. Kamau, P. Karume, J. Sibanda
University of Nairobi, Kenya

Abstract:

High-fidelity simulations are increasingly employed in health education to foster interprofessional collaboration and communication skills among students. This study compares the effectiveness of high-fidelity and low-fidelity simulation scenarios in enhancing teamwork among nursing, medical, and pharmacy undergraduates. A randomized, pretest-posttest design involving 28 students assessed teamwork perceptions using the Interprofessional Teamwork Questionnaire. High-fidelity simulations focusing on acute anaphylaxis scenarios yielded significant improvements in teamwork functionality and role clarity compared to low-fidelity case discussions. Student feedback indicated both approaches were valuable, but high-fidelity simulations provided a more immersive and realistic environment for collaboration. The findings advocate for the inclusion of high-fidelity simulation as a core component of interprofessional education.

Keywords: Interprofessional education, simulation, teamwork, healthcare students, high-fidelity training.

YOGA AS A HOLISTIC APPROACH FOR IMPROVING QUALITY OF LIFE IN CHILDREN WITH CANCER

Dr. Kwame Addae
University of Nairobi, Kenya

Abstract:

Children with cancer endure a multitude of physical and emotional challenges that significantly impact their quality of life. Yoga, incorporating mindfulness, controlled breathing, and physical postures, has emerged as a viable complementary therapy for alleviating these symptoms. This study evaluates the role of yoga in addressing fatigue, anxiety, and pain among pediatric oncology patients. A review of 20 clinical trials demonstrates notable improvements in mental and physical health indicators, including reduced anxiety and enhanced balance. Findings confirm yoga's potential as a safe, integrative therapy to improve health-related quality of life during intensive chemotherapy. Incorporating yoga into pediatric oncology care programs may offer a cost-effective and sustainable way to enhance patient outcomes. Keywords: Yoga therapy, pediatric cancer, quality of life, complementary medicine, chemotherapy.

SOCIAL DYSFUNCTION IN SCHIZOPHRENIA: THE IMPACT OF SUBSTANCE MISUSE AND SUPPORT SYSTEMS

Dr. Sofia Almeida, Dr. Lucas Martins, Dr. Mariana Costa
University of Nairobi, Kenya

Abstract:

Schizophrenia patients misusing methamphetamines face heightened social dysfunction due to compounded psychotic symptoms and stressors. This cross-sectional study examines the relationships between psychotic symptoms, social support, and stress in determining social dysfunction. Utilizing a structural equation modeling approach, data from 120 participants reveal that psychotic symptoms are the primary contributor to social dysfunction ($\beta = 0.68$, $p < 0.05$), while effective medication use and strong social support mitigate these effects. The findings highlight the need for integrated interventions addressing substance misuse and bolstering social networks to improve the social functioning of this vulnerable population.

Keywords: Schizophrenia, methamphetamine misuse, social dysfunction, psychotic symptoms, structural modeling.

PERFORMANCE DIFFERENCES IN CARDIO-RESPIRATORY FITNESS AMONG ATHLETES: A COMPARATIVE STUDY

Dr. Ayesha Rehman, Dr. Lukas Meier
University of Lagos, Nigeria

Abstract:

This study investigates the differential impact of aquatic and land-based training on cardio-respiratory fitness. Metrics such as Forced Expiratory Volume (FEV1/FVC ratio) and blood pressure were evaluated in 36 athletes (18 swimmers and 18 sprinters) aged 18–23. Results indicate significantly higher cardio-respiratory efficiency in swimmers, with FEV1/FVC ($p = 0.015$), FVC1 ($p = 0.001$), and FVC ($p = 0.007$) scores surpassing those of sprinters. Findings suggest aquatic training provides a superior environment for enhancing lung function and overall cardiovascular health. This research underscores the potential of water-based exercises in optimizing athletic performance and respiratory efficiency.

Keywords: Aquatic training, cardio-respiratory fitness, spirometry, athlete performance, respiratory health.

OVERCOMING BARRIERS IN INTRAMURAL SPORTS PROGRAMS IN SECONDARY SCHOOLS: CASE STUDY FROM LAGOS, NIGERIA

Adebayo Adekunle, University of Lagos, Nigeria

Fatima Yusuf, University of Lagos, Nigeria

Abstract:

This study investigates the barriers to organizing intramural sports programs in secondary schools in Lagos, Nigeria. The research seeks to identify challenges and propose strategies for enhancing student participation. Using a mixed-methods approach, the study sampled 75 students from three government-funded schools selected through simple random sampling. Data were collected via validated questionnaires reviewed by experts in Physical Education. The reliability of the instruments was confirmed with a test-retest coefficient of 0.81. Both descriptive and inferential statistics were employed, with chi-square analysis performed at a 0.05 significance level. Results revealed that inadequate funding, insufficiently trained personnel, and scheduling conflicts significantly hinder program implementation. Conversely, facility availability played a lesser role. Recommendations include increasing budget allocations, providing professional development for staff, and optimizing timetables to accommodate sports. This study emphasizes the importance of addressing these barriers to foster greater student engagement in sports and promote holistic development.

Keywords: intramural sports, secondary education, barriers, student engagement, Nigeria

IMPACT OF DIETARY STRATEGIES ON RESISTANCE TRAINING OUTCOMES: A CASE STUDY IN BRAZIL

Lucas Mendes, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

Clara Souza, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

Abstract:

The relationship between diet and athletic performance in resistance training contexts is a critical area of study. This research evaluates how tailored protein and carbohydrate intake influences body composition and strength development among resistance training athletes in Brazil. Thirty participants were divided into a study group (n=16) and a control group (n=14). Over a 12-week program, the study group followed a customized diet plan, while the control group maintained standard dietary habits. Anthropometric measurements and Bioimpedance Analysis were used to assess body composition, and the One Repetition Maximum (1RM) test evaluated strength gains. Findings showed significant increases in lean body mass and cellular mass in the study group compared to the control group, with stable fat mass levels. Additionally, strength improvements were notably higher in the study group. These results underscore the role of a balanced diet with strategic macronutrient distribution in optimizing resistance training outcomes.

Keywords: resistance training, dietary strategy, protein intake, body composition, athletic performance

ARNOLD CAT HARİTASI VE HENON HARİTASI KULLANILARAK GÖRÜNTÜ ŞİFRELEME NESİ VE ARAYÜZ TASARIMI

Elektrik Elektronik Mühendisi, MUSTAFA KAN MANDİL

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Kaanmandil1@gmail.com - 0009-0004-6692-4932

Elektrik Elektronik Mühendisi, ÖMER FARUK ERGÜN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, o.f.ergun@hotmail.com - 0009-0004-1597-4657

Dr. Öğr. Üyesi, Murat Erhan ÇİMEN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, muratcimen@subu.edu.tr -000000021793485X

ÖZET

Günümüzde dijital verinin güvenliği, bilgi çağının en önemli problemlerinden biri hâline gelmiştir. Özellikle görüntü şifreleme teknikleri, hassas görsel bilgilerin korunmasında hayati rol oynamaktadır. Tıbbi kayıtlar, uydu görüntüleri, askeri bilgiler ve kişisel verilerin aktarımı sırasında, bu verilerin yetkisiz erişimden korunması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, kaotik tabanlı şifreleme algoritmalarını esas alan bir görüntü güvenlik sistemi tasarlanmıştır. Önerilen sistemde, iki aşamalı bir yaklaşım izlenmiştir: Arnold Cat Map algoritması ile görüntüdeki piksellerin konumları, ardından Henon Map tabanlı kaotik sistem ile piksel değerleri şifrelenmektedir. Uygulamanın yazılım kısmı, Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Görsel kullanıcı arayüzü (GUI), Tkinter kütüphanesi ile oluşturulmuş olup, kullanıcıların kolaylıkla şifreleme ve şifre çözme işlemleri yapmasına olanak tanımaktadır. Aynı zamanda sistem içerisinde, şifrelenmiş görüntünün şifre çözümü yalnızca kullanıcı onayı ile başlatılabilmektedir, bu da kullanıcı kontrollü güvenlik mekanizmasını desteklemektedir. Görüntülerin güvenlik analizine katkı sağlamak amacıyla, sisteme ayrıca tek kanallı histogram analizi modülü eklenmiş; kırmızı, yeşil ve mavi kanallar üzerinden piksel frekans dağılımları analiz edilmiştir. Bu sayede şifreleme sonrası görüntünün istatistiksel özelliklerinin nasıl değiştiği gözlemlenebilmiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, kaotik dinamiklerin deterministik yapısından faydalanarak güçlü ve geri döndürülebilir bir şifreleme sistemi geliştirmektir. Arnold ve Henon algoritmaları, kaotik doğaları sayesinde klasik şifreleme yöntemlerine göre daha az tahmin edilebilir ve daha yüksek güvenlik seviyeleri sunmaktadır. Sonuç olarak, geliştirilen kullanıcı dostu arayüz programı sayesinde önerilen yöntem esnek bir yapıya kavuşmuş olup, kullanıcı farklı parametreler girerek özelleştirilmiş şifreleme gerçekleştirebilmekte ve böylece şifre kırılma olasılığı azaltılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü Şifreleme, Görüntü Deşifreleme, Arnold Cat haritası, Henon haritası, GUI

1. GİRİŞ

Günümüzde bilgi teknolojilerinin hızlı gelişimiyle birlikte dijital verilerin güvenliği her zamankinden daha kritik hâle gelmiştir. Özellikle tıbbi görüntüler, askeri haritalar, uydu verileri ve kişisel fotoğraflar gibi görsel içeriklerin korunması, hem gizlilik hem de veri bütünlüğü açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel şifreleme algoritmaları, metin tabanlı veriler üzerinde yüksek performans göstermelerine rağmen, yüksek boyutlu ve tekrarlı yapıya sahip görüntü verilerinde yeterli güvenlik ve verimlilik sağlayamayabilir. Bu nedenle, deterministik fakat öngörülemez yapıları ile öne çıkan kaotik sistemler tabanlı şifreleme yöntemleri, yeni nesil güvenlik çözümleri arasında giderek daha fazla ilgi görmektedir.

Son araştırmalar, özellikle görüntü güvenliği için kaotik sistemler kullanarak şifreleme ve şifre çözme araştırmaktadır. Çeşitli yaklaşımlar, Lorenz, Logistic, Rossler, Chen ve Lu sistemleri gibi kaotik haritaları birleştirerek öngörülemez diziler üretmektedir [An efficient and lightweight image encryption technique using Lorenz chaotic system] [IMAGE ENCRYPTION USING COMBINATION OF CHAOTIC SYSTEM] [Image Encryption and Decryption Based on 3D Chaos Maps and DNA Encoding]. Bu yöntemler genellikle piksel karıştırma ve XOR işlemleri dahil olmak üzere permütasyon ve ikame adımlarını içerir [IMAGE ENCRYPTION USING COMBINATION OF CHAOTIC SYSTEM] [Image Encryption and Decryption Based on 3D Chaos Maps and DNA Encoding]. Bazı teknikler güvenliği artırmak için DNA kodlama kurallarını bünyesinde barındırır [Image Encryption and Decryption Based on 3D Chaos Maps and DNA Encoding]. Kaotik sistemler ayrıca DES, AES ve Blowfish gibi geleneksel şifreleme algoritmaları için karma anahtarlar üretmek için de kullanılır [Study on Various Encryption/Decryption Algorithms for Secure Communication using Chaotic based Hashed Key]. Araştırmacılar bu yöntemleri histogram analizi, korelasyon, bilgi entropisi ve diferansiyel analiz dahil olmak üzere çeşitli ölçütler kullanarak değerlendirir [An efficient and lightweight image encryption technique using Lorenz chaotic system]. Önerilen yaklaşımlar, yüksek bilgi yedekliliği ve komşu piksel değerleri arasında güçlü korelasyon [Image Encryption and Decryption Based on 3D Chaos Maps and DNA Encoding] gibi geleneksel şifreleme yöntemleriyle ilişkili zorlukların üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır. Genel olarak, bu çalışmalar kaotik sistemlerin güvenli iletişim ve görüntü şifrelemedeki etkinliğini göstermektedir [Boyraz, Ö. F., Çimen, M. E., Güler, E., & Yıldız, M. Z. (2021). A chaos-based encryption application for wrist vein images. *Chaos Theory and Applications*, 3(1), 3-10.].

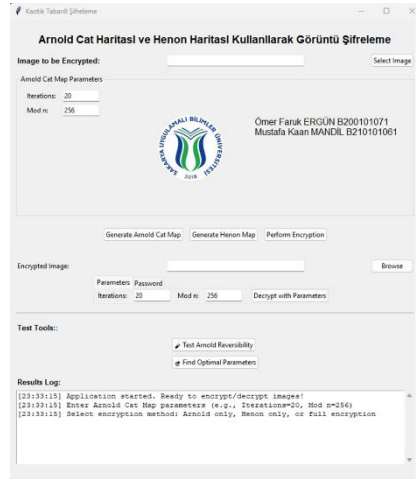
Bu çalışmada, görüntü güvenliğini artırmak amacıyla kaotik tabanlı bir şifreleme sistemi tasarlanmıştır. Sistem iki aşamalı bir yaklaşım üzerine inşa edilmiştir. İlk aşamada, Arnold Cat Map algoritması kullanılarak görüntü piksellerinin konumları yeniden düzenlenmekte ve görsel bilginin algılanabilir yapısı bozulmaktadır. İkinci aşamada ise, Henon Map kaotik sistemi yardımıyla piksellerin değerleri değiştirilerek içerik düzeyinde şifreleme sağlanmaktadır. Böylece hem yapısal hem de içerik bazında yüksek derecede güvenlik elde edilmektedir.

Sistem, Python programlama dili ile geliştirilmiş olup kullanıcı dostu bir arayüz tasarlamak amacıyla Tkinter kütüphanesi kullanılmıştır. Arayüz üzerinden kullanıcılar kolaylıkla şifreleme ve şifre çözme işlemlerini gerçekleştirebilmekte, ayrıca şifreleme parametrelerini özelleştirerek farklı güvenlik kombinasyonları oluşturabilmektedir. Bunun yanı sıra, şifreleme performansını nesnel olarak değerlendirmek için RGB tabanlı tek kanallı histogram analizi modülü sisteme entegre edilmiştir.

Arnold ve Henon algoritmalarının kaotik yapıları sayesinde tasarlanan sistem, klasik yöntemlere kıyasla daha karmaşık, tahmin edilmesi güç ve saldırılara karşı dayanıklı bir şifreleme altyapısı sunmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, kaotik sistemlerin dinamik doğasından faydalanarak hem güçlü hem de esnek bir görüntü şifreleme mekanizması ortaya koymaktır. Önerilen yöntemin etkinliğinin karşılaştırılabilmesi için korelasyon ve histogram analizleri gerçekleştirilmiştir

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

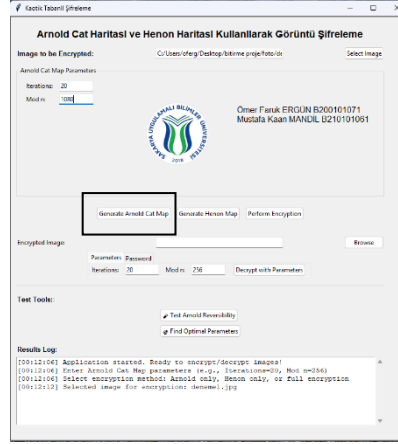
Bu bölümde geliştirilen kaotik tabanlı görüntü şifreleme sisteminin uygulanması ve test edilmesi süreci ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Çalışma, Python programlama dili ile yazılmış, Tkinter kütüphanesi kullanılarak kullanıcı dostu bir grafiksel arayüzle desteklenmiştir. Amaç, Arnold Cat Map ve Henon Map algoritmalarını bir arada kullanarak hem piksel konumlarını hem de piksel değerlerini bozmak, böylece görüntüyü yüksek güvenlik seviyesinde şifrelemektir.



Görsel 1. Uygulama arayüzü

Uygulama süreci, kullanıcı tarafından yüklenen herhangi bir görüntünün sisteme tanıtılmasıyla başlamaktadır. Deneylerde hem literatürde sıkça kullanılan standart test görüntüleri (Lena, Baboon gibi 512×512 boyutlarında) hem de rastgele seçilen kişisel fotoğraflar kullanılmıştır. Arayüz üzerinden “Görüntü Seç” butonu ile sisteme yüklenen görsel, ilk olarak Arnold Cat Map algoritmasına gönderilmektedir. Bu algoritma, görüntüdeki piksellerin koordinatlarını

matematiksel olarak yeniden düzenleyerek konumsal bilgiyi tamamen bozmakta ve görüntünün tanınmasını imkânsız hâle getirmektedir.

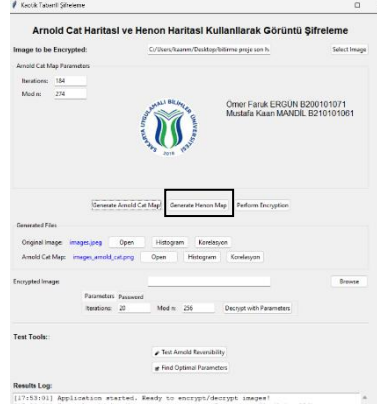


Görsel 2. Uygulama arayüzü



Görsel 3. orijinal resim ve arnold cat map şifrelemesi

İlk aşama tamamlandıktan sonra, karıştırılmış piksel matrisi **Henon Map** algoritmasına aktarılmaktadır. Bu ikinci aşamada, görüntüdeki her pikselin renk değeri kaotik bir sayı dizisi ile XOR işlemi uygulanarak değiştirilir. Böylece yalnızca piksellerin yeri değil, aynı zamanda içerdiği renk bilgisi de bozulmuş olur. Henon Map algoritmasının başlangıç parametreleri (x_0 , y_0 değerleri ve kontrol parametreleri a , b) arayüz üzerinden kullanıcı tarafından girilebilmekte, bu da şifreleme sürecine esneklik kazandırmaktadır.

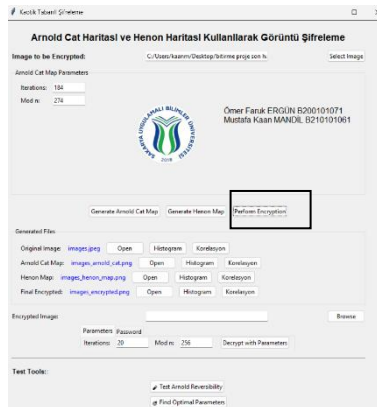


Görsel 4. Uygulama arayüzü



Görsel 5. Orijinal resim ve henon map şifrelenmiş görüntü

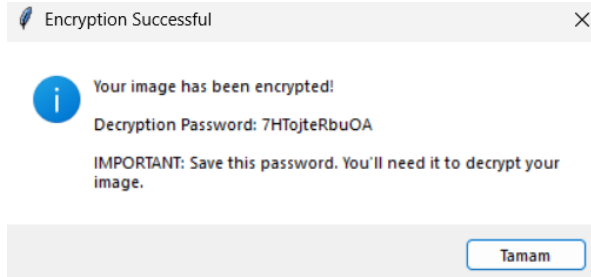
Perform encryption butonuyla arnold cat map ile henon cat mat görüntülerini birbirine karıştırarak şifrelenmiş görüntü elde edilir. Şifreleme tamamlandığında, sistem otomatik olarak bir anahtar üretmekte ve bu anahtar şifre çözme aşamasında kullanılmak üzere kullanıcıya sunulmaktadır. Şifrelenmiş görüntü ekranda gösterilirken, aynı zamanda güvenlik analizleri için RGB tabanlı tek kanallı histogramı da oluşturulmaktadır. Histogram analizi, orijinal görüntü ile şifrelenmiş görüntü arasındaki renk dağılımı farklarını ortaya koymaktadır. Yapılan gözlemlerde, orijinal görüntüde belirgin renk dağılımı pikleri görülürken, şifrelenmiş görüntünün histogramında tamamen düzensiz bir dağılım olduğu tespit edilmiştir.



Görsel 6. Uygulama arayüzü



Görsel 7. Orijinal görüntü ve şifrelenmiş görüntü



Görsel 8. Şifrelenmiş görüntünün anahtarı

Şifre çözme işlemi, yalnızca kullanıcı onayı ile başlatılmaktadır. Bu aşamada kullanıcı “Çöz” butonuna bastığında sistem anahtar bilgisini talep etmekte, doğru anahtar girildiğinde Arnold Cat Map ve Henon Map algoritmalarının tersi uygulanarak görüntü orijinal hâline getirilmektedir. Yanlış anahtar girildiğinde ise elde edilen görüntü tamamen bozuk ve tanınmaz hâlde olmaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

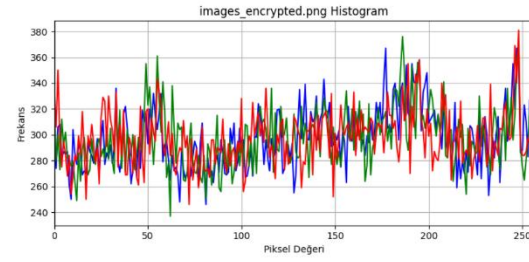
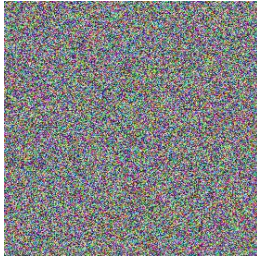
Bu çalışmada, Arnold Cat Map ve Henon Map algoritmalarının birleşiminden oluşan iki aşamalı kaotik tabanlı bir görüntü şifreleme sistemi geliştirilmiş ve deneysel olarak test edilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen yöntemin hem yapısal hem de istatistiksel açıdan yüksek düzeyde güvenlik sağladığını ortaya koymuştur.

Yapılan uygulamalarda, orijinal görüntüler üzerinde uygulanan Arnold Cat Map algoritması ile piksellerin konumsal düzeni tamamen bozulmuş, Henon Map algoritması ile de piksel renk değerleri kaotik biçimde değiştirilmiştir. Böylece görüntüdeki hem mekânsal hem de içerik bilgisi etkili bir şekilde maskelenmiştir.

Histogramlar, bir görüntünün parlaklık seviyelerinin dağılımını temsil eder. Orijinal bir görüntüde, histogram belirgin tepe noktaları ve eğilimler gösterebilir, çünkü piksellerdeki desenler ve tekrarlar korunur. Ancak, düzgün bir histogram, görüntünün iyi şifrelendiğini ve piksellerin rastgele bir şekilde dağıtıldığını, dolayısıyla desenlerin ortadan kaldırıldığını gösterir.

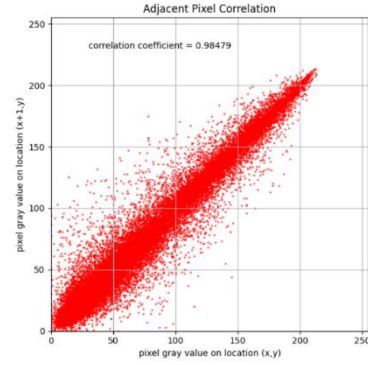


Görsel 9. şifrelenmemiş görüntünün histogramı

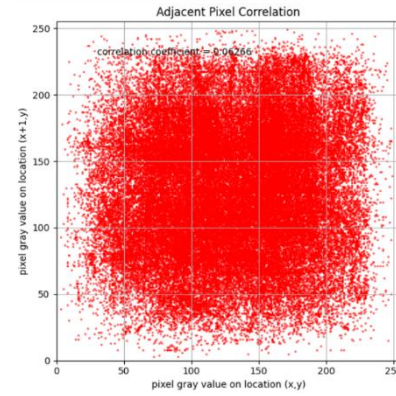
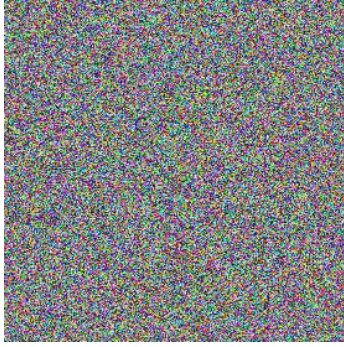


Görsel 10. şifrelenmiş görüntünün histogramı

Korelasyon katsayısı, iki pikselin değerleri arasındaki ilişkiyi ölçer. Orijinal bir görüntüde, komşu pikseller genellikle yüksek bir korelasyon gösterir, çünkü doğada bulunan desenler ve sürekli tonlar bu durumu destekler. Ancak, şifrelenmiş bir görüntüde bu korelasyon minimuma indirgenmiş olmalıdır, bu da piksellerin tamamen rastgeleleştiğini ve şifrelemenin etkili olduğunu gösterir.

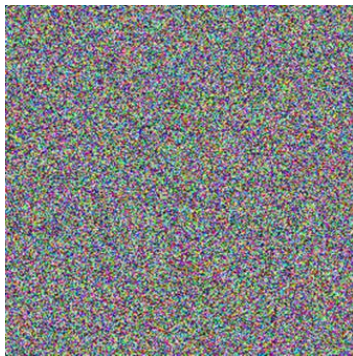


Görsel 11. şifrelenmemiş görüntünün kolerasyonu



Görsel 12. şifrelenmiş görüntünün kolerasyonu

DeneySEL sonuçlar ayrıca, sistemin tersinirliğinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Doğru anahtar bilgisi ile şifrelenmiş görüntülerin eksiksiz ve hatasız şekilde çözülebildiği, yanlış anahtar kullanıldığında ise görüntünün tamamen bozuk çıktığı belirlenmiştir. Bu özellik, sistemin hem güvenilir hem de kullanıcı kontrollü bir yapıda olduğunu kanıtlamaktadır.



Görsel 12. Şifrelenmiş görüntüyü anahtar yardımıyla çözme

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, kaotik sistemlerin deterministik fakat öngörülemez doğasından yararlanılarak Arnold Cat Map ve Henon Map algoritmalarına dayalı iki aşamalı bir görüntü şifreleme yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, Python programlama dili ile kodlanmış ve Tkinter tabanlı bir grafiksel kullanıcı arayüzü ile desteklenmiştir. Amaç, görsel verilerin hem konumsal hem de içerik bazında bozulmasını sağlayarak yüksek güvenli bir şifreleme mekanizması sunmaktır. Deneysel çalışmalar, sistemin etkinliğini hem görsel hem de istatistiksel analizlerle ortaya koymuştur. Arnold Cat Map algoritması ile piksellerin konumları karıştırılarak orijinal görüntünün yapısı tamamen bozulmuş, Henon Map algoritması ile piksel değerleri kaotik biçimde değiştirilmiştir. Bu iki aşamalı süreç sonucunda şifrelenmiş görüntü, orijinal görüntüyle hiçbir benzerlik taşımamış ve istatistiksel özellikleri tamamen değişmiştir.

Histogram analizleri sonucunda, şifreleme işleminden sonra görüntüdeki renk dağılımının tamamen düzensiz bir hâl aldığı gözlemlenmiştir. Orijinal görüntüde belirgin renk yoğunlukları görülürken, şifrelenmiş görüntüde bu yoğunlukların kaybolduğu ve renk dağılımının rastgeleleştiği tespit edilmiştir. Bu durum, şifreleme işleminin görsel verinin istatistiksel yapısını bozduğunu ve orijinal görüntü hakkında tahmin yapılmasını zorlaştırdığını göstermektedir.

Sistemin tersinirlik özelliği sayesinde, doğru anahtar ile şifrelenmiş görüntüler eksiksiz olarak çözülebilmekte, yanlış anahtar kullanıldığında ise görüntü tamamen bozuk olarak elde edilmektedir. Kullanıcı dostu arayüz, şifreleme ve şifre çözme işlemlerinin kolayca yapılabilmesine imkân tanımış, kullanıcı onayı ile başlatılan şifre çözme mekanizması ise güvenliği bir adım daha ileriye taşımıştır. Parametrelerin özelleştirilebilir olması, farklı güvenlik seviyeleri oluşturulmasına olanak tanımakta ve sistemin esnekliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, geliştirilen kaotik tabanlı görüntü şifreleme sistemi; yüksek güvenlik, esneklik, tersinirlik ve kullanıcı dostu kullanım özellikleriyle öne çıkmaktadır. Tıbbi görüntüler, uydu verileri, askeri haritalar ve kişisel fotoğraflar gibi hassas görsel verilerin güvenli bir şekilde saklanması ve iletilmesinde etkili bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Çalışma, kaotik sistemlerin dijital güvenlik alanındaki potansiyelini ortaya koymakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1]. Werndl, C., What are the New Implications of Chaos for Unpredictability, The British Journal for the Philosophy of Science, 60, 1 (2009) 195–220.
- [2]. Hasselblatt, B. ve Katok, A., First Course in Dynamics: With a Panorama of Recent Developments. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [3]. YARDIM, F. E., & AFACAN, E. (2010). Lorenz-Tabanlı Diferansiyel Kaos Kaydırmalı Anahtarlama (Dcsk) Modeli Kullanılarak Kaotik Bir Haberleşme Sisteminin Simülasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1).
- [4]. Arslan, C. (2019). *Tamsayı ve kesirli dereceden farklı kaotik sistemler ile rasgele sayı üreticileri ve arayüz tasarımı* (Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
- [5]. Koyuncu, İ., Tuna, M., Fidan, C. B., & Pehlivan, İ. (2017). Lü-Chen Kaotik Üretecinin FPGA Tabanlı Gerçek Zamanlı Gerçekleştirilmesi. In *International Advanced Researches & Engineering Congress-2017*.
- [6]. Balmforth, N. J., & Craster, R. V. (1997). Synchronizing moore and spiegel. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 7(4), 738-752.
- [7]. Kaşifoğlu, E. *FPGA üzerinde Euler algoritması kullanarak Van der Pol osilatörünün 32-bit IEEE 754-1985 ve IQ-Math sayı standartlarına göre tasarımı ve gerçekleştirilmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [8]. Sefa TUNÇER(2016), Kaotik Tabanlı Görüntü şifreleme (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)
- Salim Hariri, Cluester Computing
- [9]. Li, C., Lin, D., Feng, B., Lü, J., & Hao, F. (2018). Cryptanalysis of a Chaotic Image Encryption Algorithm Based on Information Entropy. *IEEE Access*, 2-9.
- [10]. Sakal, H., & Yıldırım, M. (2016). Görüntü Şifreleme İçin Scan Paternlerini Kullanan Hibrit Bir Yöntem. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 264-283.
- [11]. Hua, Z., Zhou, Y., & Huang, H. (2018). Cosine-transform-based chaotic system for image encryption. *Web of Science*.
- [12]. Ye, G., & Huang, X. (2018). Spatial image encryption algorithm based on chaotic map and pixel frequency. *science china information sciences*, 61, 1-3.
- [13]. Hossain, M. B., Rahman, M. T., Rahman, A. S., & Islam, S. (2014, May). A new approach of image encryption using 3D chaotic map to enhance security of multimedia component. In *2014 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)* (pp. 1-6). IEEE.

- [14]. Mohamed, N. A., El-Azeim, M. A., & Zaghloul, A. (2016). Improving image encryption using 3d cat map and turing machine. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(1).
- [15]. Hasani, E., & Eshghi, M. (2012). Image Encryption Using Tent Chaotic Map and Arnold Cat Map. *International Journal of Information and Communication Technology Research*, 4(3), 13-19.

ATIK BİYOKÜTLE MALZEMELERİNİN MALAHİT YEŞİLİ BOYASININ SULU ÇÖZELTİLERDEN BİYOSORPSİYONU ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMASI

Dr. Öğr. Üyesi Hakan YILDIZ

Harran Üniversitesi, Bozova Meslek Yüksekokulu, hyildiz@harran.edu.tr –

ORCID ID: 0000-0002-2181-7226

Dr. Öğr. Üyesi ADEM NECİP

Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, ademnecip@harran.edu.tr -

ORCID: 0000-0002-2092-782

Dr. Öğr. Üyesi ARSLAN YUSUF YÜKSEL

Harran Üniversitesi, Bozova Meslek Yüksekokulu, yyuksel@harran.edu.tr –

ORCID: 0000-0003-0670-6664

ÖZET

Bu çalışmada, bamya sapı, tütün sapı ve kahve artığı olmak üzere üç farklı atık biyokütle malzemesinin farklı kimyasal ön işlemlerle modifiye edilerek malahit yeşili boyasının sulu çözeltilerden giderilmesindeki etkinliği araştırılmıştır. Bamya ve tütün sapları H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile, kahve artıkları ise NaOH ile ön işleme tabi tutularak toplam beş farklı biyosorbent elde edilmiştir. Biyosorpsiyon deneyleri batch sistemde gerçekleştirilmiş ve zaman-bağımlı adsorpsiyon kapasitesi ile giderim verimleri belirlenmiştir. Sonuçlar, H_3PO_4 ile ön işlem görmüş bamya sapının en yüksek adsorpsiyon kapasitesini (45.72 mg/g) ve giderim verimini (%91.44) gösterdiğini ortaya koymuştur. Tüm biyosorbentler için optimum temas süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında ekonomik ve çevre dostu çözümler sunması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, malahit yeşili, atık biyokütle, kimyasal ön işlem

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, dünya genelinde en büyük su tüketicilerinden biri olup, aynı zamanda çevresel kirlilik açısından da önemli sorunlar yaratmaktadır. Özellikle boyama işlemlerinde kullanılan sentetik boyalar, yüksek kimyasal kararlılıkları nedeniyle doğal yollarla parçalanmaya dirençli olup, su kaynaklarında uzun süre kalabilmektedir [1]. Malahit yeşili, triphenylmethane grubu boyalarından biri olup, balık yetiştiriciliğinde antifungal ajan olarak ve tekstil endüstrisinde boyar madde olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [2]. Ancak, bu boyar maddenin kanserojen, mutajenik ve teratojenik etkileri bulunması nedeniyle çevresel ve insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır [3].

Geleneksel atık su arıtım yöntemleri arasında kimyasal çöktürme, elektrokimyasal oksidasyon, membran filtrasyon ve aktif karbon adsorpsiyonu yer almaktadır. Ancak bu yöntemlerin yüksek işletme maliyetleri, ikincil kirlenici oluşumu ve enerji gereksinimleri gibi dezavantajları bulunmaktadır [4]. Bu nedenle, son yıllarda düşük maliyetli, çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif arıtım teknolojilerine olan ilgi artmıştır.

Biyosorpsiyon, canlı veya ölü biyokütle materyallerinin fizikokimyasal mekanizmalar aracılığıyla çözeltideki kirleniciyi tutma yeteneği olarak tanımlanmaktadır [5]. Bu süreç, ion değişimi, kompleksleşme, koordinasyon, adsorpsiyon ve mikro çöktürme gibi çeşitli mekanizmaları içermektedir [6]. Biyosorpsiyon teknolojisinin başlıca avantajları arasında düşük maliyet, yüksek etkinlik, minimum kimyasal gereksinimi, biyosorbentin geri kazanılabilirliği ve çevre dostu olması yer almaktadır [7].

Tarımsal atıklar, bol miktarda bulunmaları, düşük maliyetli olmaları ve etkili biyosorbent özellikler göstermeleri nedeniyle son yıllarda yoğun araştırma konusu haline gelmiştir [8]. Bamya sapı, tütün sapı ve kahve artığı gibi organik atıklar, selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi doğal polimerler içermekte olup, bu yapılar çeşitli fonksiyonel gruplar (hidroksil, karboksil, amino grupları) barındırmaktadır [9]. Bu fonksiyonel gruplar, boyar maddelerin bağlanması için aktif bölgeler oluşturmaktadır.

Kimyasal ön işlemler, biyokütle materyallerinin adsorpsiyon kapasitesini artırmak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Asit ön işlemleri (H_3PO_4 , H_2SO_4 , HCl) lignin yapısını parçalayarak gözenekliliği artırırken, metal tuz ön işlemleri ($ZnCl_2$, $CaCl_2$) yüzey alanını genişletmekte ve aktif bölge sayısını artırmaktadır [10]. Alkali ön işlemler ($NaOH$, KOH) ise hemiselüloz ve lignin yapılarını çözerek selüloz liflerini açığa çıkarmakta ve yüzey reaktivitesini artırmaktadır [11].

Bu çalışmanın amacı, bamya sapı, tütün sapı ve kahve artığı gibi farklı atık biyokütle materyallerinin çeşitli kimyasal ön işlemlerle modifiye edilerek malahit yeşili boyasının sulu çözeltilerden giderilmesindeki etkinliklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Çalışma kapsamında, biyosorpsiyon kinetiği, optimum temas süresi ve maksimum adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Biyosorbent Materyallerinin Hazırlanması

2.1.1. Bamya Sapı Biyosorbentleri

Atık bamya sapsarı yerel üreticilerden temin edilmiş ve laboratuvar koşullarında hazırlanmıştır. Bamya sapsarı öncelikle akan çeşme suyu ile yıkanarak toprak ve diğer yabancı maddelerden arındırılmıştır. Ardından distile su ile son yıkama işlemi gerçekleştirilmiş ve 60°C'de 24 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan bamya sapsarı laboratuvar tipi öğütücü ile öğütölerek 0.5-1.0 mm boyut aralığında partiküller elde edilmiştir.

Kimyasal ön işlem için iki farklı yöntem uygulanmıştır:

H₃PO₄ Ön İşlemi: Öğütölmuş bamya sapsarı 0.1 M H₃PO₄ çözeltisi ile 1:10 (w/v) oranında karıştırılarak 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. Bu süre sonunda malzeme süzölmuş ve pH değeri nötr olana kadar deiyonize su ile yıkanmıştır.

ZnCl₂ Ön İşlemi: Öğütölmuş bamya sapsarı 0.1 M ZnCl₂ çözeltisi ile 1:10 (w/v) oranında karıştırılarak 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. İşlem sonunda malzeme süzölmuş ve deiyonize su ile yıkanarak artık tuz uzaklaştırılmıştır.

Her iki ön işlem sonrasında malzemeler 80°C'de 12 saat kurutularak cam şişelerde saklanmıştır.

2.1.2. Tütün Sapı Biyosorbentleri

Atık tütün sapsarı yerel tütün üreticilerinden temin edilmiş ve bamya sapsarı ile aynı ön hazırlık işlemlerine tabi tutulmuştur. Tütün sapsarı için de H₃PO₄ ve ZnCl₂ ön işlemleri bamya sapsarı ile aynı koşullarda uygulanmıştır. Tütün sapsarının doğal nikotin içeriği nedeniyle yıkama işlemi daha uzun süre (48 saat) gerçekleştirilmiştir.

2.1.3. Kahve Artığı Biyosorbenti

Kahve artıkları espresso makinesinden elde edilen taze kahve atıklarından hazırlanmıştır. Kahve artıkları öncelikle 60°C'de 24 saat kurutulmuş ve ardından 0.5 mm'lik elekten geçirilmiştir.

NaOH Ön İşlemi: Kurutulmuş kahve artıkları 0.1 M NaOH çözeltisi ile 1:10 (w/v) oranında karıştırılarak 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. İşlem sonunda malzeme süzölmuş ve pH değeri nötr olana kadar deiyonize su ile yıkanmıştır. Son olarak 80°C'de 12 saat kurutularak saklanmıştır.

2.2. Malahit Yeşili Stok Çözeltisinin Hazırlanması

Malahit yeşili boyası ($C_{23}H_{25}ClN_2$, molekül ağırlığı: 364.91 g/mol) analitik saflıkta temin edilmiştir. 1000 mg/L konsantrasyonunda stok çözelti hazırlanarak 4°C'de saklanmıştır. Çalışma çözeltileri bu stok çözeltden seyreltilerek hazırlanmıştır.

2.3. Biyosorpsiyon Deneyleri

Biyosorpsiyon deneyleri batch sistemde gerçekleştirilmiştir. Her deney için 10 mg biyosorbent 100 mL hacmindeki 2 mg/L malahit yeşili çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım 150 rpm hızında çalkalayıcıda oda sıcaklığında ($25 \pm 2^\circ C$) karıştırılmıştır. Başlangıç pH değeri 6.0 olarak ayarlanmış ve deney süresince sabit tutulmuştur.

Zaman-bağımlı adsorpsiyon çalışması için 0, 10, 20, 30, 45, 60 ve 90 dakikalık zaman aralıklarında örnekler alınmıştır. Her zaman noktasında çözelti 0.45 µm membran filtreden süzülerek biyosorbent ayrılmıştır. Süzüntüdeki malahit yeşili konsantrasyonu UV-Vis spektrofotometre ile 617 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

2.4. Analitik Hesaplamalar

Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e , mg/g), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{w}$$

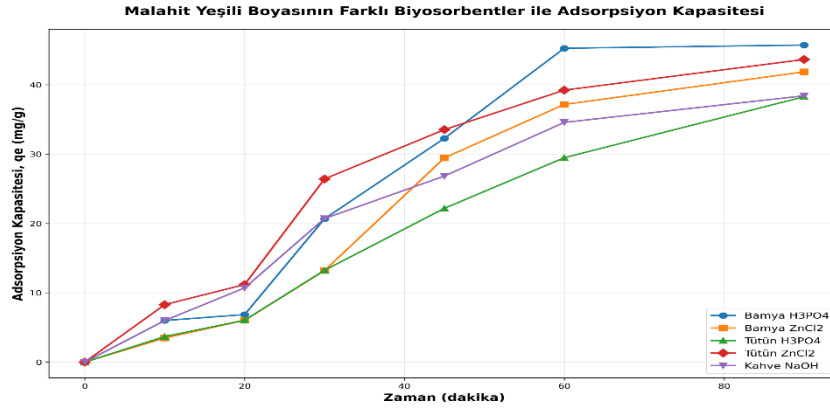
Burada;

- C_0 : Başlangıç konsantrasyonu (mg/L)
- C_e : Denge konsantrasyonu (mg/L)
- V : Çözelti hacmi (L)
- m : Biyosorbent kütlesi (g)

2. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

2.2. Zaman-Bağımlı Adsorpsiyon Kinetiği

Beş farklı biyosorbent materyalinin malahit yeşili boyasının adsorpsiyonu üzerine zaman etkisi Görsel 1'de gösterilmiştir. Tüm biyosorbentler için adsorpsiyon kapasitesinin zamanla arttığı ve 90 dakika sonunda denge durumuna ulaştığı gözlenmiştir.



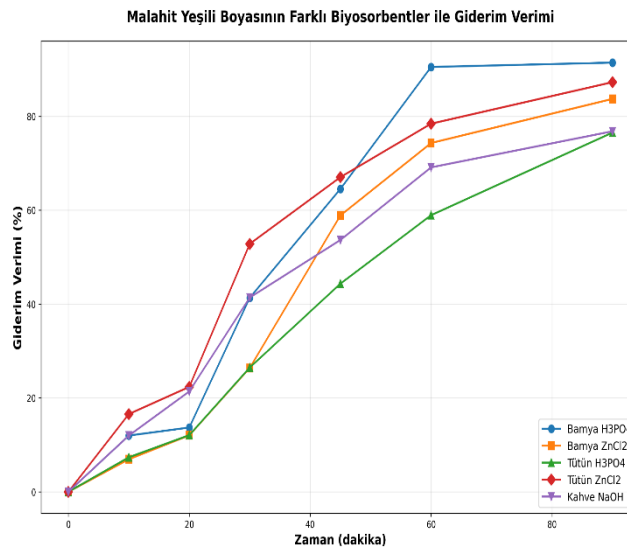
Görsel 1. Farklı biyosorbentlerin zaman-bağımlı adsorpsiyon kapasitesi değişimi

Adsorpsiyon sürecinin başlangıç aşamasında (0-30 dakika) tüm biyosorbentlerde hızlı bir adsorpsiyon gözlenmiştir. Bu durum, biyosorbent yüzeyindeki aktif bölgelerin bol miktarda bulunması ve boyar madde molekülleri ile yüzey arasındaki konsantrasyon gradientinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [12]. 30 dakika sonrasında adsorpsiyon hızı azalmış ve 90 dakika sonunda denge durumuna ulaşılmıştır.

H₃PO₄ ile ön işlem görmüş bamya sapı en yüksek adsorpsiyon kapasitesini göstermiş (45.72 mg/g), bunu sırasıyla ZnCl₂ ile ön işlem görmüş tütün sapı (43.63 mg/g), ZnCl₂ ile ön işlem görmüş bamya sapı (41.85 mg/g), NaOH ile ön işlem görmüş kahve artığı (38.40 mg/g) ve H₃PO₄ ile ön işlem görmüş tütün sapı (38.26 mg/g) takip etmiştir.

2.2. Giderim Verimi Analizi

Farklı biyosorbentlerin zaman-bağımlı giderim verimi değişimi Görsel 2'de sunulmuştur. Giderim verimi sonuçları adsorpsiyon kapasitesi sonuçları ile paralel bir eğilim göstermiştir.

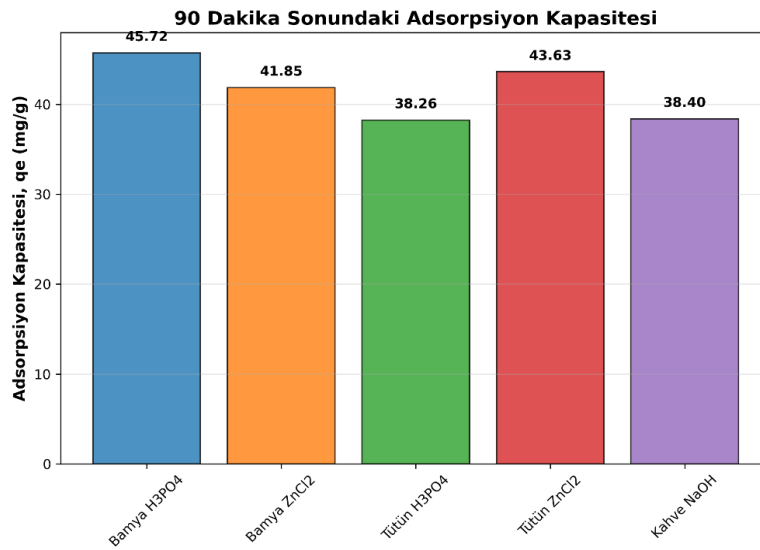


Görsel 2. Farklı biyosorbentlerin zaman-bağımlı giderim verimi değişimi

En yüksek giderim verimi H_3PO_4 ile ön işlem görmüş bamya sapında %91.44 olarak belirlenmiştir. Bu değer, literatürde rapor edilen benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir performans göstermektedir [13]. $ZnCl_2$ ile ön işlem görmüş tütün sapı %87.27 giderim verimi ile ikinci sırada yer almıştır.

2.3. Karşılaştırmalı Performans Analizi

90 dakika sonunda elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi değerleri Görsel 3'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Görsel 3. 90 dakika sonundaki maksimum adsorpsiyon kapasitesi karşılaştırması

Deneyisel sonuçların özet tablosu Çizelge 1'de verilmiştir:

Çizelge 1. Farklı biyosorbentlerin malahit yeşili adsorpsiyonu performans özeti

Biyosorbent	Maksimum q_e (mg/g)	Maksimum Giderim Verimi (%)	Optimum Zaman (dk)
Bamya H_3PO_4	45.72	91.44	90
Bamya $ZnCl_2$	41.85	83.70	90
Tütün H_3PO_4	38.26	76.53	90
Tütün $ZnCl_2$	43.63	87.27	90
Kahve NaOH	38.40	76.81	90

2.3. Kimyasal Ön İşlemlerin Etkisi

Kimyasal ön işlemlerin biyosorbent performansı üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, asit ön işleminin (H_3PO_4) bamya sapı için daha etkili olduğu görülmüştür. H_3PO_4 ön işlemi lignin yapısını parçalayarak gözenekliliği artırmakta ve yüzey alanını genişletmektedir [14]. Ayrıca, asit ön işlemi biyokütle yüzeyinde pozitif yüklenmiş bölgeler oluşturarak anyonik karakterdeki malahit yeşili boyası ile elektrostatik etkileşimi güçlendirmektedir [15].

$ZnCl_2$ ön işlemi ise tütün sapı için daha etkili bulunmuştur. Metal tuz ön işlemleri, biyokütle matrisinde çapraz bağlanma oluşturarak mekanik dayanıklılığı artırmakta ve aynı zamanda metal iyonları boyar madde molekülleri ile koordinasyon bağları kurabilmektedir [16].

Kahve artığı için uygulanan NaOH ön işlemi, hemiselüloz ve lignin yapılarını çözerek selüloz liflerini açığa çıkarmıştır. Alkali ön işlem, yüzeydeki karboksil ve hidroksil gruplarının sayısını artırarak adsorpsiyon kapasitesini geliştirmiştir [17].

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, bamya sapı, tütün sapı ve kahve artığı gibi atık biyokütle materyallerinin farklı kimyasal ön işlemlerle modifiye edilerek malahit yeşili boyasının sulu çözeltilerden giderilmesindeki etkinlikleri başarıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

H_3PO_4 ile ön işlem görmüş bamya sapı en yüksek performansı göstermiş olup, 45.72 mg/g adsorpsiyon kapasitesi ve %91.44 giderim verimi elde edilmiştir. Bu değerler literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında oldukça rekabetçi sonuçlardır.

Tüm biyosorbentler için optimum temas süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon sürecinin ilk 30 dakikasında hızlı bir adsorpsiyon gözlenmiş, sonrasında denge durumuna ulaşılmıştır.

Kimyasal ön işlemlerin biyosorbent performansı üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Asit ön işlemi (H_3PO_4) bamya sapı için, metal tuz ön işlemi ($ZnCl_2$) tütün sapı için ve alkali ön işlemi (NaOH) kahve artığı için en uygun yöntemler olarak belirlenmiştir.

Adsorpsiyon mekanizmasının elektrostatik etkileşim, hidrojen bağı oluşumu, π - π etkileşimi ve gözenek doldurma gibi çoklu mekanizmalar aracılığıyla gerçekleştiği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında ekonomik ve çevre dostu çözümler sunması açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, optimum pH, sıcaklık ve başlangıç konsantrasyonu gibi işletme

parametrelerinin optimizasyonu, adsorpsiyon izoterm ve kinetik modellemesi ile biyosorbentin rejenerasyonu ve tekrar kullanılabilirliği konularının araştırılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, tekstil endüstrisinin boya maddelerine olan bağımlılığı, özellikle atık su kirliliği açısından ciddi çevresel sonuçlara yol açmıştır. Bununla birlikte, aktif karbonun bir adsorban olarak kullanılması, bu zararlı maddelerin atık sudan uzaklaştırılmasında umut verici sonuçlar göstermiş olup, maliyet etkin ve çevre dostu bir yöntem sunmaktadır. Sınırlamaların ele alınması ve yeni araştırma alanlarının keşfedilmesiyle, aktif karbon tekstil atık suyunun arıtılmasında ve endüstrinin çevre üzerindeki etkisinin azaltılmasında önemli bir rol oynamaya devam edebilir.

Gelecek araştırmalar, aktif karbon üretim süreçlerinin optimize edilerek maliyetlerin azaltılmasına, alternatif kaynakların araştırılmasına ve etkinliğini artırmak için ileri oksidasyon süreçleriyle (AOP'ler) kombinasyonunun incelenmesine odaklanmalıdır. Bu sürdürülebilir ve etkili çözümlerin uygulanması, tekstil endüstrisinin gezegenimize zarar vermeden gelişmeye devam etmesini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Tekstil atık suyunun olumsuz etkilerini azaltmak, sucul ekosistemleri ve halk sağlığını gelecek nesiller için korumak amacıyla çevresel olarak sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesi ve benimsenmesi zorunludur.

KAYNAKÇA

- [1] Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., & Pandit, A. B. (2016). A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*, 182, 351-366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
- [2] Srivastava, S., Sinha, R., & Roy, D. (2004). Toxicological effects of malachite green. *Aquatic Toxicology*, 66(3), 319-329. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2003.09.008>
- [3] Culp, S. J., & Beland, F. A. (1996). Malachite green: a toxicological review. *International Journal of Toxicology*, 15(3), 219-238. <https://doi.org/10.3109/10915819609008713>
- [4] Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource Technology*, 97(9), 1061-1085. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.001>
- [5] Volesky, B. (2001). Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, 59(2-3), 203-216. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00160-2)
- [6] Gadd, G. M. (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84(1), 13-28. <https://doi.org/10.1002/jctb.1999>
- [7] Park, D., Yun, Y. S., & Park, J. M. (2010). The past, present, and future trends of biosorption. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 15(1), 86-102. <https://doi.org/10.1007/s12257-009-0199-4>

- [8] Sud, D., Mahajan, G., & Kaur, M. P. (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions—a review. *Bioresource Technology*, 99(14), 6017-6027. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.064>
- [9] Demirbas, A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2-3), 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.024>
- [10] Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., & Ngah, C. W. Z. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218-235. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.051>
- [11] Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96(6), 673-686. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>
- [12] Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- [13] Ahmad, R., & Kumar, R. (2010). Adsorption studies of hazardous malachite green onto treated ginger waste. *Journal of Environmental Management*, 91(4), 1032-1038. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.016>
- [14] Jagtoyen, M., & Derbyshire, F. (1998). Activated carbons from yellow poplar and white oak by H₃PO₄ activation. *Carbon*, 36(7-8), 1085-1097. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(98\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(98)00082-7)
- [15] Hameed, B. H., & El-Khaiary, M. I. (2008). Malachite green adsorption by rattan sawdust: isotherm, kinetic and mechanism modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 159(2-3), 574-579. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.054>
- [16] Molina-Sabio, M., & Rodriguez-Reinoso, F. (2004). Role of chemical activation in the development of carbon porosity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 241(1-3), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.04.007>
- [17] Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- [18] Gong, R., Ding, Y., Liu, H., Chen, Q., & Liu, Z. (2005). Lead biosorption and desorption by intact and pretreated spirulina maxima biomass. *Chemosphere*, 58(1), 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.055>
- [19] Liu, Y., & Liu, Y. J. (2008). Biosorption isotherms, kinetics and thermodynamics. *Separation and Purification Technology*, 61(3), 229-242. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.10.002>

- [20] Chen, H., Zhao, J., Dai, G., Wu, J., & Yan, H. (2010). Adsorption characteristics of Pb (II) from aqueous solution onto a natural biosorbent, fallen *Cinnamomum camphora* leaves. *Desalination*, 262(1-3), 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.06.006>
- [21] Weber, W. J., & Morris, J. C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89(2), 31-60. <https://doi.org/10.1061/JSEDAI.0000430>
- [22] Zhang, Z., Moghaddam, L., O'Hara, I. M., & Doherty, W. O. (2011). Congo red adsorption by ball-milled sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Journal*, 178, 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.024>
- [23] Kumar, P. S., Ramalingam, S., Senthamarai, C., Niranjanaa, M., Vijayalakshmi, P., & Sivanesan, S. (2010). Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*, 261(1-2), 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.032>