

PROCEEDING BOOK



AVRASYA 12. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



AVRASYA

12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

FEBRUARY 14 - 16, 2025

Tebriiz

ISBN : 978-625-5962-26-3

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE





*AVRASYA 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
FEBRUARY 14 - 16, 2025
TEBRIZ*

Edited By

Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK

ORGANIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES

EVALUATION PROCESS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

TURKEY – Brazil- Pakistan- Ethiopia- Bangladesh- Portugal- Nigeria- Kenya- Vietnam- Tanzania- Morocco- Senegal- Uzbekistan- Argentina- India- Colombia- Tanzania- Tunisia- Chile- Chile -Yemen- South Korea- Japan- Bahrain- Egypt- South Africa- Mongolia- Nepal – Iran- Algeria- Romania- Oman-

PRESENTATION

Oral presentation

PERCENTAGE OF PARTICIPATION

More than 50 % of paper are presented by participants from maintained countries.

33 papers from Turkey and 59 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*Head of Conference: Prof. Dr. Hülya Çiçek**Prof. Dr. Ali Bilgili**Prof. Dr. Naile Bilgili**Prof. Dr. Başak Hanedan**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. Dhesi 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 Fırıncioğulları**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 Manafidizaji*

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: 20.03.2025

ISBN: 978-625-5962-26-3

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 Fırıncıoğulları - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan
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 – Azerbaijan
Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan
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 – Iran
Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Uzbekistan
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



AVRASYA 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
FEBRUARY 14 - 16, 2025
TEBRİZ

NO : AC- 12A - 2025. 347A- 2056
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

20/03/2025

İLGİLİ MAKAMA

Avrasya 12. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 14- 16 Şubat 2025 tarihlerinde Tebriz’de 31 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 102 bildirinin 33’ü Türkiye’den, 59’u ise farklı 31 ülkeden akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır.” değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla


www.akademikongre.org

Prof. Dr. Hülya Çiçek



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.



AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED
SCIENCES
February 14 - 16, 2025
Tebriz

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=f0YazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.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 aşılmamasını moderatörler temin edecektir.
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.
- Sunum yapmak zorunludur. Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması söz konusu 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.

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,

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Şubat / February 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	Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade	1	2014-2024 YILLARI ARASINDA İNGİLİZCE DERSİ KAPSAMINDA YANSITICI DÜŞÜNME KONUSUNU ELE ALAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Büşra ÇAM Prof. DR., ŞENEL ELALDI
		2	EXAMINATION OF STUDIES CONDUCTED ON CAREER STRUCTURING THEORY	Dr. Şeyma MIZRAK
		3	CAREER FUTURE OF FEMALE STUDENTS: SECONDARY SCHOOL EXAMPLE	Dr. Şeyma MIZRAK
		4	OKUL DIŞI ÖĞRENME ORTAMLARINDAN BİLİM SAMSUN’UN İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Gül ÖZAŞKIN ARSLAN Ebranur ULUSOY
		5	GIFTED STUDENTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: AN E-STEM ACTIVITY BASED ON LEARN-THINK-ACT AND ENGINEERING DESIGN PROCESS	Zekai AYIK
		6	THE HISTORY OF EDUCATION OF CREATIVITY 20TH CENTURY DRAMATIST ILYAS EFENDYEV IN GENERAL EDUCATION SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Şubat / February 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	AYÇA YILDIRIM	1	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE EMOTIONAL LITERACY LEVEL OF MOTHERS WITH CHILDREN AGED 3-6 AND THEIR CHILDREN'S CREATIVITY LEVEL	Yüksek Lisans Öğrencisi Nisanur BEREKET Doç. Dr. Yaşar BARUT Prof. Dr. Soner ÇANKAYA
		2	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL MEDIA ADDICTION AND SELF-PERCEPTION IN ADOLESCENTS	Havva ÖZDEMİR Doç. Dr. Yaşar BARUT Prof. Dr. Soner ÇANKAYA
		3	VALIDITY AND RELIABILITY STUDY OF THE SCALE OF STRENGTHENING SOCIAL TIES AFTER MARRIAGE	Prof. Dr. Ahmet AKIN Yüksek Lisans Öğrencisi, Cansu AVŞAR
		4	AVOIDANT COMMUNICATION SCALE BETWEEN SPOUSES: STUDY OF VALIDITY AND RELIABILITY	Prof. Dr. Ahmet AKIN Yüksek Lisans Öğrencisi, Edibe Beyza Çalışkan
		5	SCALE OF IDEOLOGICAL CONFLICT IN COUPLES: VALIDITY AND RELIABILITY STUDY	Prof. Dr. Ahmet AKIN Yüksek Lisans Öğrencisi, Emine ATASEVEN
		6	A SYSTEMATIC REVIEW ON BRAIN DRAIN AND THE FEELING OF HOPELESSNESS ASSOCIATED WITH BRAIN DRAIN IN TURKEY	Prof. Dr., Hatice Zekavet KABASAKAL PhD Student, İlayda ATICI Master's Student, Merve YEŞİLOĞLU
		7	TRANSFORMATION OF THE PERCEPTION OF DESTINY: A SOCIOLOGICAL STUDY IN THE CASE OF THE MOVIE MUKADERAT	Prof. Dr. İHSAN ÇAPCIOĞLU AYÇA YILDIRIM
		8		

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Doç. Dr. Ali ANTEPLİ	1	SATISFACTION LEVEL OF INDIVIDUALS WITH THE MUNICIPALITY’S GREEN SPACE AND AFFORESTATION SERVICE AND RELATED FACTORS WITH THE PARTIAL PROPORTIONAL ODDS MODEL	Asst. Prof. Dr. Şeyda ÜNVER
		2	DETERMINATION OF FACTORS AFFECTING JOB SEARCHING OR JOB APPLICATION ON THE INTERNET	Asst. Prof. Dr. Şeyda ÜNVER
		3	E-BEYANNAME UYGULAMALARININ MUHASEBE MESLEK MENSUPLARI PERSPEKTİFİNDEN ANALIZI	Doç. Dr. Ali ANTEPLİ Öğr. Gör. Memiş KARAER
		4	ENFLASYON MUHASEBESİNİN İŞLETMELERİN FİNANSAL TABLOLARINA ETKİSİ	Öğr. Gör. Memiş KARAER Doç. Dr. Ali ANTEPLİ
		5	ALGILANAN GÜÇ MESAFESİNİN İLETİŞİM BECERİLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNDE ÖZ YETERLİLİĞİN ARACILIK ROLÜ	Ercan Cahit Tuncer Dr. Öğr. Üyesi Hilal Baran
		6	MOBBİNG VE ÖRGÜTSEL BAĞLILIK ARASINDAKİ İLİŞKİYİ İNCELEYEN ÇALIŞMALARIN DERLENMESİ	PSK. DAN. TUANA TİFTİK PROF. DR. HATİCE ZEKAVET KABASAKAL

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Şubat / February 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 5	Dr. Öğr. Üyesi DİLBER ZEYTİNKAYA	1	THE PHENOMENON OF POVERTY IN THE WORKS OF MAXIM GORKY	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	GOOD, EVİL, and JUSTICE IN ITALO CALVİNO’S “VİCONT DİVİDED IN TWO”	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		3	SOYUT RESİMDEN İLHAM ALAN GİYSİ TASARIMCILARI	Büşra UĞUR Doç. Deniz ÇELİKER Doç. Dr. Kenan SAATCIOĞLU
		4	HEYBELİADA VE AYİOS NİKOLAOS RUM ORTODOKS KİLİSESİ: KAPI VE KURTULUŞ VAADI ÜZERİNE BETİMLEMELER	Dr. Öğr. Üyesi Serhat SOYŞEKERCİ
		5	THE EFFECTS OF REPEATED TEXTUAL ENHANCEMENT ON L2 GRAMMAR ACQUISITION: INSIGHTS FROM LEARNERS WITH DIVERSE LINGUISTIC BACKGROUNDS	Öğretim Görevlisi Dr. Doğan Can Akçın
		6	HERMENEUTİK YAKLAŞIM VE YORUMLAYICI ÇEVİRİ KURAMI BAĞLAMINDA ÇEVİRMENİN GÖRÜNÜRLÜĞÜ/GÖRÜNMEZLİĞİ	Dr. Öğr. Üyesi DİLBER ZEYTİNKAYA
		7	ALEV EBÜZZİYA’NIN SERAMİK SANATINDA DOĞU-BATI ETKİLEŞİMİ	BERİL REİS

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Şubat / February 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 6	Assoc. Prof. Dr. SERKAN GÜNDOĞDU	1	TURKEY’S ROLE IN THE UNITED NATIONS 2030 SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: THE CASE OF THE UNITED NATIONS TECHNOLOGY BANK	Assoc. Prof. Dr. SERKAN GÜNDOĞDU
		2	TURKEY- AZERBAIJAN RELATIONS IN THE FRAMEWORK OF ENERGY DIPLOMACY	Assoc. Prof. Dr. SERKAN GÜNDOĞDU Tuba ŞAHİN
		3	AZERBAIJAN- ISRAEL RELATIONS DURING THE PERIOD OF İLHAM ALİYEV	Fahmı BABAYEV
		4	“DÜŞMANIMIN DÜŞMANI DOSTUMDUR”: ULUSLARARASI İLİŞKİLERDE REALİST MİSAFİRPERVERLİK VE 1990’LARDA TÜRKİYE-RUSYA ARASINDAKİ TERÖRİZM KRİZİ ÖRNEĞİ	Dr. Öğr. Üyesi, İbrahim Fevzi GÜVEN
		5	THE IMPACT OF DEFENCE EXPENDITURES ON ECONOMIC GROWTH IN D-8 COUNTRIES: A TEST OF THE VALIDITY OF THE BENOIT HYPOTHESIS	Asst. Prof., Fatih AKIN Lecturer Dr., Selin DİNÇER

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 1	Assoc. Prof. Dr. Min Zhang	1	A THEORETICAL FRAMEWORK FOR MODELING CORE CONSCIOUSNESS FUNCTIONS IN AI	Prof. Dr. Sarah Lindholm
		2	LIFE MEANINGFULNESS AND PSYCHOSOCIAL FACTORS: A STUDY OF ADDICTION RECOVERY IN MALAYSIA	Dr. Aina Zulkifli Dr. Rahimah Kadir
		3	ENHANCING FAIRNESS IN INCENTIVE SYSTEMS: INSIGHTS FROM THAILAND'S PUBLIC SECTOR	Dr. Supaporn Charoensri
		4	MEMORY DYNAMICS AND GENDER VARIATIONS IN EPISODIC RECALL	Dr. Clara Soriano Dr. Matilde Peralta
		5	CULTURAL ADAPTATION AND ANXIETY AMONG INTERNATIONAL STUDENTS IN BEIJING UNIVERSITIES	Dr. Ali Hamid Assoc. Prof. Dr. Min Zhang
		6	TREATMENT OR RE-VICTIMIZING THE VICTIMS: A CLINICAL APPROACH TO BORDERLINE PERSONALITY DISORDER	Assi.s. Prof. Dr. Maria Ivanova Dr. Luka Petrov
		7	THE STORY OF MERGERS AND ACQUISITIONS: UNDERSTANDING THE UNCERTAINTY OF ORGANIZATIONAL CHANGE THROUGH NARRATIVE THEORY	PHD student Naomi Ahmed Dr. Ahmed El-Tayeb
		8	A NEW MEASURE OF HERDING BEHAVIOR: DERIVATION AND IMPLICATIONS IN FINANCIAL MARKETS	Dr. Zeynep Yılmaz Dr. Burak Koca

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 2	Prof. Dr. Noor Fatimah	1	POSITION OF THE CONSTITUTIONAL COURT OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE MATTER OF RESTRICTING CONSTITUTIONAL RIGHTS OF CITIZENS CONCERNING BANKING SECRECY	Dr. Aleksandra Ivanova Elena Popova
		2	THE IMPACT OF INDIGENOUS RIGHTS RECOGNITION IN MALAYSIA	Dr. Ahmad Shahrir Norazlan Ibrahim
		3	THE EMERGING NEED FOR INTERNATIONAL SPACE LAW IN GLOBAL SPACE EXPLORATION	Assoc. Prof. Dr. Dr. Sun Lan
		4	THE EVOLUTION OF HUMAN RIGHTS IN THE CONTEXT OF ARMED CONFLICTS	Dr. Ahmed Fawzi
		5	CHALLENGES IN FORENSIC IDENTIFICATION OF BIOLOGICAL STAIN TRACES IN CRIMINAL INVESTIGATIONS	Askar Zhanbektov
		6	IMPROVING DIGITAL EVIDENCE COLLECTION PROCEDURES IN CYBERCRIME INVESTIGATIONS	Dr. Carla Mendes
		7	REDEFINING GENDER EQUALITY THROUGH ISLAMIC CONTEXTUALISM	Prof. Dr. Noor Fatimah
		8	THE IMPACT OF MODERN FEMINISM ON CONTEMPORARY ARAB LITERATURE	Rania Al-Fayed, Amal Al-Jabari, Omar Nasser

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 3	Assis. Prof. Dr. Fiona Murphy	1	THE ROLE OF INTERNATIONAL PARLIAMENTARY ORGANIZATIONS IN PROMOTING HUMAN RIGHTS IN EUROPE	Sophia Ilyina, Nikolai Pavlov, Ivana Kovač
		2	THE POLITICAL IMPACT OF EISENHOWER'S FINAL SPEECH ON AMERICAN FOREIGN POLICY	Michael Peterson, Jessica Holmes, William Turner
		3	HUMAN SECURITY STRATEGIES IN CONFLICT ZONES: A STUDY OF THE SYRIAN CRISIS	Fatima Al-Sayed, Khalil Jamil, Nour El-Kadi
		4	RECONCEPTUALIZING CREDIBILITY IN THE AGE OF NEW MEDIA: A THEORETICAL APPROACH	Ahmed Al-Mansoori, Laila Faris, Dr. Youssef Al-Hashimi
		5	RECLAIMING NATIONAL HERITAGE: THE ROLE OF LITERATURE IN FOSTERING IRISH IDENTITY THROUGH THE WORKS OF YEATS AND HEANEY	James O'Connor, Sarah McDermott, Assis. Prof. Dr. Fiona Murphy
		6	DISASTER TOURISM AND THE ETHICS OF EXPERIENCE: UNDERSTANDING THE DARK SIDE OF TOURISM IN THE WAKE OF NATURAL CATASTROPHES	Katarzyna Nowak, Michal Pawlak, Ewa Jankowska
		7	DEMOCRATIZATION AND ECONOMIC LIBERALIZATION: VESTED INTERESTS AND ANTI-CORRUPTION CHALLENGES IN POST-AUTHORITARIAN INDONESIA	Dewi Anindita, Rudi Santosa, Andrianto Susanto
		8		

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 4	Assis .Prof. Dr. Mohamed Rasheed	1	RESOURCE MOBILIZATION FOR EMPOWERING DISABLED INDIVIDUALS IN SOUTH KOREA	Dr. Minji Park Dr. Hyunwoo Kim
		2	WATER RESOURCE MANAGEMENT IN TOURISM-DEPENDENT ISLANDS	Assis .Prof. Dr. Mohamed Rasheed Dr. Zara Ibrahim
		3	REDEFINING REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES: WOMEN’S AGENCY AND SOCIAL IMPACT IN NEW DELHI	Nisha Kapoor
		4	REFORMING LEGAL POWER: ADDRESSING ABUSE AND PROMOTING JUSTICE	Abdulrahman Bello
		5	URBAN POVERTY AND THE SOCIAL FABRIC: A STRUCTURAL ANALYSIS	Jürgen Müller
		6	CULTURAL DIMENSIONS IN TECHNICAL TRANSLATION: BRIDGING THEORY AND PRACTICE	Hassan El-Mansouri
		7	ISLAMIC AESTHETICS IN OMANI WEAVING: TRADITION AND MODERNITY	Dr. Fatma Al-Mazrouei
		8	EUROPEAN UNION AND GLOBAL JUSTICE: NAVIGATING LEGAL DUALITIES	Élise Moreau
		9	EMIGRATION AND ITS SOCIAL IMPACT: THE GEORGIAN EXPERIENCE	Mariam Tsintsadze

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Prof. Dr. Sarah Calderon	1	HARNESSING THE POWER OF ONTOLOGIES FOR SMART LEARNING IN MUSIC EDUCATION: A ROBUST FRAMEWORK FOR KNOWLEDGE ORGANIZATION AND APPLICATION	Prof. Dr. Sarah Calderon Dr. Michael V. Ashworth
		2	EMPOWERING AUTONOMOUS AGENTS WITH CONSTRUCTIVIST LEARNING: A BOTTOM-UP SEQUENTIAL LEARNING ALGORITHM AND TOOLKIT	Dr. Lingxia Wu Dr. Ahsan Zafar
		3	HARNESSING THE POWER OF DEEP LEARNING FOR AUTOMATED PRODUCT IDENTIFICATION ON ASSEMBLY LINES	Dr. Manami Kobayashi Assis. Prof. Dr. Carlos E. Delgado
		4	ANALYZING THE PRIVATE MONETARY RETURNS OF HUMANITIES AND EDUCATION DEGREES IN OSUN STATE, NIGERIA	Dr. Olufemi A. Adesina Dr. Yetunde O. Olanrewaju
		5	GENDER EQUITY IN EDUCATION: INSIGHTS FROM INDONESIA	Putri Anindita Wardana
		6	PREDICTING STUDENT SUCCESS THROUGH DATA ANALYTICS IN EDUCATION	Assoc. Prof. DR. Maria Fernanda Oliveira
		7	AGILE PEDAGOGY IN DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS: SCRUM AS A TOOL FOR STUDENT ENGAGEMENT	Dr. Kwame Mensah
		8	CHEMISTRY EDUCATION IN THE DIGITAL ERA: EFFICACY OF ONLINE TESTING	Ms. Amina Yusuf, Bolaji Okon

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Prof. Dr. Jonathan L. Mayer	1	DEMYSTIFYING THE ANXIETY EXPERIENCE OF DYSLEXIC COLLEGE STUDENTS: A QUANTITATIVE ANALYSIS	Abigail M. Waters Robert A. Kinsley
		2	INNOVATIVE APPROACHES IN MUSIC EDUCATION: LEVERAGING TECHNOLOGY AND ONTOLOGIES FOR KNOWLEDGE ENHANCEMENT	Prof. Dr. Jonathan L. Mayer Claire A. Middleton
		3	AUTONOMOUS LEARNING FRAMEWORKS: APPLYING CONSTRUCTIVIST METHODOLOGIES IN AI AGENT DEVELOPMENT	Dr. Hui Zhang Prof. Lian Ming
		4	DEEP LEARNING IN MANUFACTURING: ENHANCING PRODUCT IDENTIFICATION AND ASSEMBLY LINE PERFORMANCE	Dr. Emilia Nowak Tomasz Wojcik
		5	SOCIO-COGNITIVE FACTORS IN ACADEMIC PERFORMANCE: A STUDY OF LOCUS OF CONTROL AND LANGUAGE LEARNING	Dr. Anisa Qureshi Kamran Ahmed
		6	FOSTERING INCLUSIVE COMMUNICATION: STRATEGIES FOR HEARING FAMILIES WITH DEAF CHILDREN	Shinichi Nakamura, Dr. Ayaka Sugimoto, Prof. Hiroki Tanaka
		7	UNLEASHING POTENTIAL: SUPPORTING CHILDREN WITH LEARNING DIFFICULTIES THROUGH INNOVATIVE METHODS Dr	. Malik Al-Farouqi, Dr. Leila Said, Ms. Amina Taha
		8	EMPOWERING INDEPENDENCE: NAVIGATING CONFORMITY AND CRITICAL THINKING IN HEALTHCARE	Prof. Dr. Ramesh Meera Dr. Anand Kapoor
		9	EYEWITNESS ACCOUNTS: CHALLENGES IN MEMORY AND PERCEPTION IN FIRE INVESTIGATIONS	Dr. Lars Petersen, Dr. Ingrid Olsson, Ms. Erika Bergman

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Şubat / February 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	Assis, Dr. Jelena Zāšcerinska	1	ADAPTIVE WORKFORCES: AI'S IMPACT ON DECISION-MAKING AND SKILLS DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Wei Zhang, Dr. Lianhua Gao, Dr. Yu Tian
		2	ENHANCING LANGUAGE LEARNING THROUGH DIGITAL TECHNOLOGIES: EXPLORING THE ROLE OF ONLINE WORD WALLS	Dr. Emily Tan, Dr. Mohammad Azeem,
		3	TIGER METAPHORS AND CULTURAL MEANINGS: A CORPUS-BASED ANALYSIS OF GENDER PERCEPTIONS IN CHINESE FOLKLORE	Prof. Mei Ling Chen, Dr. Carlos Martinez
		4	OPTIMIZING HEALTHCARE OUTCOMES: A MACHINE LEARNING APPROACH TO COVID-19 ICU MANAGEMENT	Dr. Salim Al-Mansouri, Assis. Prof. Dr. Amal Fahmi
		5	THE IMPACT OF INCENTIVE STRUCTURES ON TEAM PERFORMANCE: A PERSON-ENVIRONMENT FIT PERSPECTIVE	Prof. Linh Nguyen Dr. Rebecca Campbell,
		6	DETECTING FAKE NEWS IN HEALTHCARE: NAIVE BAYES FOR SENTIMENT ANALYSIS	Assoc. Prof. Yuki Takahashi, Dr. Anil Kumar,
		7	DIVERSIFYING CONVERGENCE: INNOVATIVE APPROACHES TO PROJECT DELAY MITIGATION	Jun Brooks, Roger He
		8		

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
		1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Prof. Dr. Rishabh Garg	1	MULTILINGUAL SOCIAL MEDIA: IDENTIFYING NATIVE LANGUAGE PATTERNS	Prof. Dr. Rishabh Garg
		2	CULTURAL SEMANTICS IN HISTORICAL INSCRIPTIONS: THE HAJI-ABAD CASE	Helena Costa Oliveira, Carmem Oliveira
		3	PERCEIVING SOUND: THE ART OF AUDITORY SPACES	Lenda Minguito, Jenith Banluta, R. Berglund
		4	REDEFINING WRITING EVALUATION: AN EMPIRICAL APPROACH TO EFL PROGRAMS	T. Backström, M. Bellgran, Ayman El-Garem, Riham Adel
		5	MULTI-DIALECTAL TWEET SENTIMENT ANALYSIS USING HYBRID CLASSIFICATION MODELS	Dr. Ahmed Mustafa Abdi Dr. Sofia Elena Munteanu
		6	SPEECH ACTS AND POLITENESS STRATEGIES IN MULTICULTURAL ESL CLASSROOMS	Dr. Nargiza Bekmuradova Dr. Olena Vasylivna Markov

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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. Natalia Romanova	1	PHONOLOGICAL CONTRASTS IN INITIAL CONSONANTS OF MANDARIN AND SLOVAK: AN AFFRICATION PERSPECTIVE	Lec. Dr. Liang Xiu Dr. Matej Horvat
		2	EFFICIENT IMAGE LABELING IN AI SYSTEMS: A NOVEL RANKING-BASED FRAMEWORK	Dr. Yasir Mahmood Assis. Prof. Dr. Wei Liu
		3	DECIPHERING DIGITAL POLITICS: INSIGHTS INTO PSYCHOLOGY THROUGH SOCIAL MEDIA MICROBLOGS	Dr. Aliyu Ibrahim Musa
		4	CRITICAL PEDAGOGY IN ACTION: RETHINKING ENGLISH EDUCATION THROUGH SURREALISM AND SOCIAL JUSTICE	Assoc. Prof. Dr. Natalia Romanova Dr. Johan Van der Meer
		5	TIBYAN: A MACHINE LEARNING FRAMEWORK FOR AUTOMATED ARABIC LANGUAGE SYNTAX CORRECTION	Dr. Khalid Al-Mutairi Assis. Prof. Dr. Ayesha Siddiqui
		6	FROM DIAGRAMS TO CODE: LEVERAGING AI FOR PROGRAM SYNTHESIS FROM VISUAL REPRESENTATIONS	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Dr. Rina Suzuki
		7	ADVANCING MALAY SPEECH RECOGNITION: DEEP NEURAL NETWORKS FOR IMPROVED PERFORMANCE	Dr. Amirul Hassan Dr. Nurul Ain Zainal

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Assoc. Prof. Alper GEDİK	1	NEOLİBERAL POLİTİKALAR BAĞLAMINDA TÜRKİYE’DE YEREL YÖNETİMLERİN DÖNÜŞÜMÜ	Dr., Selahattin KAVUT
		2	CYBERBULLYING	Lecturer Şükrü GÜVEN Assoc. Prof. Alper GEDİK
		3	EFFECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON EDUCATION	Lecturer Şükrü GÜVEN Assoc. Prof. Alper GEDİK
		4	ORGANIZATIONAL CULTURE IN THE CONTEXT OF ORGANIZATIONAL COMMUNICATION: DIYANETSEN	Prof. Dr. Yusuf YURDİGÜL Nurullah ARDAHANLI
		5	METaverse AND ORGANIZATIONAL BEHAVIOR: WORKPLACES AND LEADERSHIP IN THE VIRTUAL ENVIRONMENT	Öğr. Gör. Dr. Yusuf Taha OKAN

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Dr. Öğretim Üyesi Neyire AKPINARLI	1	KELSEN'İN GRUNDNORMU'NA DİLTHEYCI 'ANLAMA' İLE YAKLAŞMAK	Arş. Gör. Gözde Tekmile BİLİŞLİ
		2	KELSEN'İN NORMLAR HİYERARŞİSİNİN DEONTİK MANTIKLA İLİŞKİSİ	Arş. Gör. Gözde Tekmile BİLİŞLİ
		3	AN EVALUATION OF THE STRUCTURAL REASONS FOR THE CHALLENGES FACED BY MASTER'S STUDENTS IN ACADEMIC STUDIES IN THE FIELD OF LAW	Dr. Öğretim Üyesi Neyire AKPINARLI
		4	İDARİ İŞLEMLERİN HUKUKİ DENETİMİNDE ÇOCUĞUN ÜSTÜN YARARI İLKESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, NİDAİ YILMAZ

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Şubat / February 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	Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN	1	OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY OF OPERATING THEATRE WORKERS	Student Nurse; Nurgül KARAN Student Nurse; Bahar GÖZE Dr. Lecturer. Member; Hatice ERDOĞAN
		2	UTERINE INVERSION AND MANAGEMENT	Ayşenur ADALI Fatma YILDIRIM Nuriye BÜYÜKKAYACI DUMAN
		3	HORMONAL INTRAUTERINE DEVICES AND THEIR USE IN GYNECOLOGICAL PATHOLOGIES	Nehir Nur GÜCEM Fatma YILDIRIM Nuriye BÜYÜKKAYACI DUMAN
		4	MECHANICAL VENTILATION AND CARE OF THE PATIENT CONNECTED TO A VENTILATOR	Graduate Student, ŞABAN ÇETİNKAYA Asst. Prof. RUKİYE BURUCU
		5	EFFECT OF THERAPEUTIC RECREATION ON INDIVIDUAL HEALTH	Doktora Öğrencisi Ahmet Furkan ÇETİNKAYA Doç. Dr. Abdurrahman KIRTEPE Dr. Öğr. Üyesi Metin YILDIZ
		6	BIBLIOMETRIC INSIGHTS INTO MILK CONSUMPTION: TRENDS, KEY RESEARCH AREAS, AND EMERGING THEMES	Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN Doç. Dr. MEHMET EMİN AYDEMİR
		7	EXPLORING THE EVOLUTION OF FOOD SECURITY RESEARCH: A BIBLIOMETRIC APPROACH	Doç. Dr. MEHMET EMİN AYDEMİR Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Prof. Dr. Nebi BİLİR	1	ACORN CHARACTERISTICS IN KERMES OAK (<i>QUERCUS COCCIFERA</i> L.)	Prof. Dr. Nebi BİLİR
		2	SEEDLING QUALITY IN MEDITERRANEAN CYPRESS (<i>CUPRESUS SEMPERVIRENS</i> L.)	Prof. Dr. Nebi BİLİR
		3	INVESTIGATION OF THE MULTIPLE TOXIC EFFECT OF L-HOMOARGININE UTILIZING THE <i>ALLIUM CEPA</i> L. ROOT MODEL	Doç. Dr. DİLEK ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. KÜRŞAT ÇAVUŞOĞLU
		4	ASSESSMENT OF THE DOSE-DEPENDENT TOXICITY OF L-CANAVANINE USING ONION ROOT APICAL MERISTEM	Doç. Dr. DİLEK ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. KÜRŞAT ÇAVUŞOĞLU
		5	Anti-Bakteriyel Etki Ölçümünde <i>Celtis tournefortii</i> Fruit (CTF) Bitkisi Ekstraktının Gallic Asit ve IQSG Proteini ile Etkileşimi	Murat EVCİL Barış KURT Ayşe BARAN Mehmet Fırat BARAN
		6	PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF PLASMA ACTIVATED WATER APPLICATION ON DROUGHT STRESS TOLERANCE IN BARLEY (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Master Student Seda ŞAHİN Assoc. Prof. Dr. Hülya TORUN

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 5		1	SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES OF METALLIC BIOMATERIALS: A REVIEW	Ayush Saxena, Prof. Dr. Vaibhav Trivedi Dr. Ankur Goel Bhavana Singh,
		2	A BRIEF DISCUSSION OVER BIOCOMPATIBILITY AND CORROSION BEHAVIOUR OF METALS BIOMATERIALS	Bhavana Singh Prof. Dr. Vaibhav Trivedi Dr. Ankur Goel Ayush Saxena
		3	RISK ANALYSIS OF FIRE HAZARD IN A BUILDING PROVIDING CHEMICAL ENGINEERING EDUCATION	Assit. Prof. Dr. ZEHRA GÜLTEN YALÇIN Res. Assist. Dr. MUSTAFA DAĞ Assoc. Dr. ERCAN AYDOĞMUŞ
		4	PREPARATION STUDY OF FIRE SYSTEM CONFORMITY CERTIFICATE IN A CHEMICAL PLANT	Assit. Prof. Dr. ZEHRA GÜLTEN YALÇIN Res. Assist. Dr. MUSTAFA DAĞ Assoc. Dr. ERCAN AYDOĞMUŞ
		5	A COMPARATIVE STUDY ON STRUCTURAL AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF ZnS AND ZnO THIN FILMS	Dr. Sultan GÖKTAŞ Dr. Öğr. Üye. Gülsen ŞAHİN Prof. Dr. Abdullah GÖKTAŞ
		6	STRUCTURAL AND ELEKTRICAL CHARACTERISTICS OF ZnO: Mn NANOROD THIN FILMS	Dr. Öğr. Üye. Gülsen ŞAHİN Prof. Dr. Abdullah GÖKTAŞ
		7	YENİ ve KARARLI POLİMETALİK KATALİZÖRÜN POTASYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİ HİDROJEN ÜRETİMİNE ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT
		8		

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 6	Prof. Dr. UĞUR AKYOL	1	THERMAL ANALYSIS OF A MONOCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC (PV) SOLAR PANEL IN ANSYS	Lecturer Dr., Seda YETKİN YESİL Lecturer, Olcay PALTA
		2	METAHEURİSTİK ALGORİTHMS - GREY WOLF OPTİMİZATİON ALGORİTHM AND ITS APPLİCATION AREAS	Lecturer Dr., Seda YETKİN YESİL Lecturer, Olcay PALTA
		3	OPTIMIZATION TECHNIQUES USED IN SOLAR AIR HEATER : A REVIEW	Mohammad Javed Dr. Vaibhav Trivedi Dr.Vineet Singh
		4	TOPRAK ZEMİN ÜZERİNE KURULUMU YAPILACAK ÇİFT YÜZLÜ (BİFACIAL) FOTOVOLTAİK PANELLERDE YÜKSEKLİĞİN VE EĞİM AÇISININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ	Arş. Gör. KÜBRA SOLAK Prof. Dr. UĞUR AKYOL Doç. Dr. DİNÇER AKAL
		5	BİNA CEPHESİNE ENTEGRE EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÜNEY, BATI VE DOĞU CEPHE SEÇİMİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ	Öğr. Gör. TAŞKIN TEZ Doç. Dr. DİNÇER AKAL Prof. Dr. UĞUR AKYOL

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
		1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 7	Prof. Dr. Tugrul TALASLIOGLU	1	PERDELİ KENAR ASKLARDA BULUNAN YAPILARDA FARKLI ASMA KAT BOŞLUKLARININ DAVRANIŞA ETKİSİ	Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT Lisans Öğrencisi Darkhan BAYAN
		2	PERDELERİ PLANDA DIŞ VE ORTA BÖLÜMLERDE BULUNAN YAPILARDA ASMA KATIN YÜKSEKLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ	Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT Lisans Öğrencisi Akhror DADAMATOV
		3	MOMENT END-PLATE CONNECTION: BASIC FUNDEMENTALS OF DESIGN PROCEDURE	Prof. Dr. Tugrul TALASLIOGLU
		4	COMPARISON OF BEARING CAPACITIES FOR STRIP, SQUARE AND CIRCULAR SHALLOW FOUNDATIONS ON SOILS WITH TERZAGHI METHOD BY CALCULATING IN EXCEL PROGRAM	Asistant Prof.Dr. Ebubekir Kilic
		5	COMPARISON OF BEARING CAPACITIES WITH TERZAGHI AND MEYERHOF METHOD FOR SHALLOW FOUNDATIONS ON SOILS	Asistant Prof.Dr. Ebubekir Kilic

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Şubat / February 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 8	Prof. Dr. Akın ÖZÇİFT	1	KİMYASAL ÜRETİM SÜREÇLERİNDE HATA TAHMINLEME: MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANSI	Prof. Dr. Akın ÖZÇİFT Doç. Dr. Fatih YÜCALAR
		2	FAULT PREDICTION IN WIND TURBINES WITH MACHINE LEARNING ALGORITHMS	Assoc. Prof. Dr. Fatih YÜCALAR Prof. Dr. Akın ÖZÇİFT
		3	MONTE CARLO SIMULATIONS FOR SVM HYPERPARAMETER OPTIMIZATION AND PERFORMANCE EVALUATION	Assist. Prof. Dr. Aslı YAMAN
		4	THE IMPACT AND GROWTH OF DEEP LEARNING IN SCIENCE AND MEDICINE	Ankur Jain Deepankar Bharadwaj
		5	HİDROELEKTRİK ENERJİ BİLGİLERİNİN TASARLANAN BİR İNTERNET SİTESİ İLE İNCELENMESİ	Betül GÜNAY Dr. Öğr. Üyesi Burcu KOCARIK GACAR Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SANDAL
		6	COVID-19'UN BESLENME DAVRANIŞINA ETKİSİ: MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ	Satı Hasibe AKDENİZ Neriman Yaren ARTUN İrem AKKAYA Dr. Öğr. Üyesi Burcu KOCARIK GACAR
		7	HAVA ve SU KİRLİLİĞİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER ve YAPAY ZEKA UYGULAMALARI	Dr. Öğr. Üyesi Hakan YILDIZ

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 1	Prof. Dr. Chike Obi,	1	DIAGNOSIS OF EARLY PREGNANCY IN DAIRY COWS THROUGH ULTRASONIC AND PROGESTERONE ANALYSIS	Suresh A. Kumar, Nasser I. Al-Maqbool
		2	EFFECT OF OVERFEEDING ON PERFORMANCE AND FOIE GRAS QUALITY IN TWO DUCK SPECIES	Carlos Oliveira, João Silva
		3	COPPER AND ZINC SUPPLEMENTATION IN DAIRY COWS: IMPACT ON MILK PRODUCTION IN ROMANIA	Ana Popescu, Marian Ionescu
		4	SALT TOLERANCE IN DATE PALM CULTIVARS UNDER CONTROLLED CONDITIONS	Yusuf Al-Farsi, Rami Zayed
		5	POTATO CULTIVAR PERFORMANCE FOR SNACK PRODUCTION USING MICROWAVE-VACUUM DRYING	Prof. Dr. Chike Obi, Dr. Nneka Eze
		6	USE OF AVIAN VACCINES AS MITOGENS IN T- LYMPHOCYTE ACTIVATION TESTING	Ahmed El-Din, Farida Boushaki
		7	DEVELOPMENTAL CHANGES IN RABBIT DUODENAL MUCOSA-SUBMUCOSA: A MORPHOLOGICAL STUDY	Mohammad Ali, Samira Tarek
		8	ENERGY DEMAND AND EFFICIENCY IN HISTORIC URBAN DISTRICTS: A STUDY OF BUDAPEST’S 7TH DISTRICT	Sami Temesgen, Miriam Tesfaye, Halimah Musa

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

February 14 - 16, 2025 – Tebriz

1Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

15 Şubat / February 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 2	Assoc. Prof. Dr. Lucia Agosto,	1	CULTURAL AND ARCHITECTURAL PRESERVATION IN THE UCH DUKKAN NEIGHBORHOOD OF ARDABIL, IRAN	Javad Vali, Nazanin Ehsan
		2	DEVELOPING ENERGY EFFICIENCY BENCHMARKS FOR ONTARIO’S POST-SECONDARY EDUCATION FACILITIES	Ibrahim Hassan, Maria Khanna
		3	RETROFITTING COLLECTIVE HOUSING WITH PREFABRICATED PANELS FOR SUSTAINABILITY	Tarek Ahmed, Laila Mohamed
		4	SUSTAINABILITY IN PUBLIC HOUSING: FINANCIAL AND OPERATIONAL PERSPECTIVES IN TAIWAN	Chen Wei, Hiroshi Tanaka
		5	VERTICAL FARMING: A SUSTAINABLE APPROACH TO URBAN AGRICULTURE IN GREEN BUILDING DESIGN	Aminata Toure, Rasha Khoury,
		6	ENERGY EFFICIENCY RETROFITTING FOR HERITAGE BUILDINGS IN COLD CLIMATES	Assoc. Prof. Dr. Lucia Agosto,
		7	DESIGN OF IMPROVED REPLACEABLE LINKS IN ECCENTRICALLY BRACED FRAMES FOR EARTHQUAKE RESILIENCE	Rajesh Kumar, Yung Yoon Kim, Li Wei Zhang
		8	MODERN URBAN DEVELOPMENT IN YANBU: A COMPARATIVE STUDY OF TRADITIONAL AND CONTEMPORARY PLANNING APPROACHES	Mona Al Shamma
		9	HEARTBEAT CLASSIFICATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR ECG SIGNAL ANALYSIS IN MEDICAL DIAGNOSIS	Lec. Dr. Ahmad Raza,

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 3	Assis. Prof. DR. Samuel Barros,Assoc. Prof. Dr. Diogo Almeida	1	ASSESSING HIP MUSCLE IMBALANCE IN PATIENTS WITH RHEUMATISM: A CLINICAL STUDY	Lina Liao,
		2	DETECTING COGNITIVE DECLINE USING EMOTION RECOGNITION IN SPEECH: A LONGITUDINAL STUDY	Jinwoo Kim, Yoonhee Park, Sungho Lee, Minseok Choi
		3	DEVELOPING AN INEXPENSIVE IOT DEVICE FOR REMOTE HEALTH MONITORING	Rafael Oliveira, Pedro Costa, Clara Santos
		4	IMPROVING 3D CT SCAN RESOLUTION WITH MACHINE LEARNING BASED SUPER-RESOLUTION	Liu Yang
		5	AUTOMATED HEART SOUND SEGMENTATION USING PHONOCARDIOGRAM LENGTH VARIATION	Samuel Barros, Diogo Almeida
		6	AUTOMATED HEART SOUND SEGMENTATION USING PHONOCARDIOGRAM LENGTH VARIATION	Assis. Prof. DR. Samuel Barros,Assoc. Prof. Dr. Diogo Almeida
		7	STUDYING FUNCTIONAL CONNECTIVITY IN EPILEPSY WITH RESTING-STATE fMRI ANALYSIS	Yuki Tanaka, Haruto Watanabe, Rika Kato
		8	DEVELOPING A MAGNIFICATION SYSTEM FOR MAMMOGRAPHIC IMAGES USING EEG AND EYE DETECTION	Kenta Matsumoto, Dr. Hiroshi Yoshida

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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 4	Tânia Almeida	1	ARGINASE ENZYME ACTIVITY IN HUMAN SERUM: A POTENTIAL MARKER FOR COGNITIVE FUNCTION AND THE IMPACT OF ARGININE SILICATE	Yasmin Chen, Lee Ho-Jin, He Ji, Kang Sang-Sun
		2	OPTIMAL REST INTERVALS FOR UPPER-ARM REHABILITATION IN ROBOT-ASSISTED THERAPY	Liya Mendez, Adam Simha, Tamir Mohamed
		3	PROMOTING CYBERSECURITY AWARENESS THROUGH EDUCATION: THE ROLE OF LABS AND COMPETITIONS	Rami Kassem, Mona Fouad, Bassam Ali, Tarek El-Mahdy
		4	OBJECT-ORIENTED ACCOUNTING METHODS FOR INHERITED CLASS MEMBERS IN SOFTWARE ENGINEERING	Ali Karim, Sara Hossain, Faisal Nasser, Karim Al-Mansoor
		5	NUMERICAL ANALYSIS OF SHEAR STRENGTH IN COLD-FORMED STEEL SHEAR WALL PANELS	Khaled Daoud, Hassan Moustafa, Faiq Bahri
		6	ADVANCEMENTS IN THE DIFFRACTIVE DETECTOR CONTROL SYSTEM FOR ALICE AT THE LHC	Carlos Navarro, Mariana Valdés, Esteban Rodríguez, Juan Antonio González
		7	CLOUD COMPUTING SECURITY CHALLENGES: EXAMINING CUSTOMER CONCERNS DURING TRANSITION TO VIRTUALIZED ENVIRONMENTS	Yusuf Baloch, Farida Nasser, Mohammed Idris, Alisha Karina
		8	AUTOMATIC CALIBRATION IN HYDROLOGIC MODELING USING BAYESIAN APPROACH: IMPROVING MODEL ACCURACY	Lamine Ben Ali, Amal Fadil, Najib Cherif
		9	COST-BENEFIT ANALYSIS IN STRATEGIC INVESTMENTS: A NEW APPROACH TO PROFITABILITY ESTIMATION	Jorge Fernandes, Isabel Costa, Ricardo Lima, Tânia Almeida

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Carlos Navarro	1	ENHANCING VOWEL INTELLIGIBILITY IN SPEECH RECOGNITION FOR HEARING IMPAIRED INDIVIDUALS	Carlos Navarro, Sofia Hernández
		2	PREDICTING SOFTWARE RELIABILITY PERFORMANCE USING DATA MINING TECHNIQUES	Tariq Zaman, Abdullah Khan
		3	MODELING HUMAN ARM MOTION FOR EXTRA VEHICULAR ACTIVITIES: IMPROVING ASTRONAUT TASK PERFORMANCE	Arun Sharma, Deepak Kumar
		4	ARGINASE ENZYME ACTIVITY IN HUMAN SERUM: A POTENTIAL MARKER FOR COGNITIVE FUNCTION AND THE IMPACT OF ARGININE SILICATE	Yasmin Chen, Lee Ho-Jin, He Ji, Kang Sang-Sun
		5	LEARNER FEEDBACK ON THE ADAPTED RORSCHACH COMPREHENSIVE SYSTEM: A CRITICAL PSYCHOLOGICAL PERSPECTIVE	Zainab Kamara, Malik Alhassan
		6	UNDERSTANDING FACTORS INFLUENCING RECYCLING PARTICIPATION: MOTIVATIONAL AND CHALLENGE PERSPECTIVES IN MALAYSIA	Lina Ali, Shahinur Chowdhury, Mariah Sultana
		7	THE IMPACT OF METAPHOR THERAPY ON DEPRESSION AMONG FEMALE STUDENTS: A COMPARATIVE STUDY	Nina Surkhe, Dr. Otabek Khamidov
		8		

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Assoc. Prof. Dr. Tunde Olayinka,	1	USICAL NOTATION VERSUS ALPHABET READING: CHALLENGES FOR DYSLEXIC STUDENTS IN MUSIC EDUCATION	Karla Jiménez, Pedro Martínez
		2	COMPARATIVE STUDY: FATIGUE AND DROWSINESS AMONG NIGHT-TIME TRANSPORTATION WORKERS IN SOUTH AMERICA	Juan Morales,
		3	INVESTIGATING THE LINK BETWEEN JOB SATISFACTION AND ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR IN AFRICA	Amina Diouf,
		4	NHANCING WORKING MEMORY THROUGH ONLINE GAMES: A CASE STUDY ON ADHD IN NIGERIA	Assoc. Prof. Dr. Tunde Olayinka,
		5	COMPARING SPATIAL ABILITIES AND MEMORY AMONG DRIVERS WITH DIFFERENT PROFESSIONAL EXPERIENCE IN AFRICA	Gwandoya Chika,
		6	ASSESSING THE QUALITY OF PHARMACY SERVICES IN HOSPITALS IN EAST AFRICA: A COMPARATIVE STUDY	Fatima Amini,
		7	OPTIMIZING LIGHT COMMUNICATION SYSTEMS THROUGH THE INTEGRATION OF NATURAL LIGHT IN MOROCCO	Dr. Samir Elkhadraoui,
		8	REVOLUTIONIZING REMOTE HEALTHCARE MONITORING THROUGH INTEGRATED BODY SENSOR NETWORKS AND WEB SERVICES	Ahmed Ibrahim Ali

AVRASYA 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 14 - 16, 2025 – Tebriz				
1Meeting ID: 885 7151 8350		Passcode: 202224		
15 Şubat / February 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	Dr. Sergio Rocha	1	REAL-TIME PSYCHOACOUSTIC AND EEG ANALYSIS FOR IMPROVED MENTAL HEALTH CARE	Nguyen Minh Tu
		2	IMPROVING COMBAT EFFICIENCY IN MODERN FIGHTER AIRCRAFT THROUGH ADVANCED HUMAN FACTORS DESIGN	Assis. Prof. Dr. Rui Costa
		3	DEVELOPING A COMPREHENSIVE DATABASE USING SWISS NATIONAL SURVEY DATA FOR NUTRITION AND HEALTH RESEARCH	Fola Ogunleye
		4	USING EEG TECHNOLOGY IN THE DETECTION OF BRAIN TUMORS: AN INNOVATIVE APPROACH	Nashit Haroon, Zara Khan
		5	ASSESSING THE IMPACT OF POOR MEDICAL WASTE MANAGEMENT ON PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT	Mustafa Al-Mansour, Amina Jibril
		6	IMPROVING MAINTENANCE STRATEGIES AND RELIABILITY OF MEDICAL EQUIPMENT IN HEALTHCARE SYSTEMS: IMPACT ON PATIENT SAFETY	Dr. Amina Adama, Dr. Babar Mujeeb
		7	PREDICTIVE MODELS FOR HEART DISEASE CLASSIFICATION USING DYNAMIC FEATURE EXTRACTION	Dr. Sergio Rocha
		8		

Contents

UTERİN İNVERSİYON VE YÖNETİMİ	1
HORMONLU RAHİM İÇİ ARAÇLAR VE JİNEKOLOJİK PATOLOJİLERDE KULLANIMI.....	7
MEKANİK VENTİLASYON VE VENTİLATÖRE BAĞLI HASTANIN BAKIMI.....	13
MECHANICAL VENTILATION AND CARE OF THE PATIENT CONNECTED TO A VENTILATOR	14
TERAPATİK REKREASYONUN BİREYLERİN SAĞLIĞINA ETKİSİ	25
EXPLORING THE EVOLUTION OF FOOD SECURITY RESEARCH: A BIBLIOMETRIC APPROACH	38
BIBLIOMETRIC INSIGHTS INTO MILK CONSUMPTION: TRENDS, KEY RESEARCH AREAS, AND EMERGING THEMES	50
SEEDLING QUALITY IN Mediterranean Cypress (<i>Cupressus sempervirens</i> L.)	64
ACORN CHARACTERISTICS IN KERMES OAK (<i>QUERCUS COCCIFERA</i> L.)	69
PLAZMA İLE AKTİFLEŞTİRİLMİŞ SU UYGULAMASININ ARPADA (<i>Hordeum vulgare</i> L.) KURAKLIK STRESİ TOLERANSINA FİZYOLOJİK ETKİLERİ.....	74
SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES OF METALLIC BIOMATERIALS: A REVIEW	88
A BRIEF DISCUSSION OVER BIOCOMPATIBILITY AND CORROSION BEHAVIOUR OF METALS BIOMATERIALS	111
PREPARATION STUDY OF FIRE SYSTEM CONFORMITY CERTIFICATE IN A CHEMICAL PLANT	122
RISK ANALYSIS OF FIRE HAZARD IN A BUILDING PROVIDING CHEMICAL ENGINEERING EDUCATION ..	132
STRUCTURAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ZnO: Mn NANOROD THIN FILMS.....	140
A COMPARATIVE STUDY ON STRUCTURAL AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF ZnS AND ZnO THIN FILMS	147
YENİ ve KARARLI POLİMETALİK KATALİZÖRÜN POTASYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİ HİDROJEN ÜRETİMİNE ETKİSİ	155
THERMAL ANALYSIS OF A MONOCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC (PV) SOLAR PANEL IN ANSYS.....	163
METAHEURİSTİK ALGORİTHMS- GRAY WOLF OPTİMİZATİON ALGORİTHM AND ITS APPLİCATION AREAS	175
OPTIMIZATION TECHNIQUES USED IN SOLAR AIR HEATER: A REVIEW	186
TOPRAK ZEMİN ÜZERİNE KURULUMU YAPILACAK ÇİFT YÜZLÜ (BIFACIAL) FOTOVOLTAİK PANELLERDE YÜKSEKLİĞİN VE EĞİM AÇISININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ	193
BİNA CEPHESİNE ENTEGRE EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÜNEY, BATI VE DOĞU CEPHE SEÇİMİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ	200
PERDELERİ PLANDA DIŞ VE ORTA BÖLÜMLERDE BULUNAN YAPILARDA FARKLI TİPLERDEKİ ASMA KAT YÜKSEKLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ.....	207
PERDELERİ PLANDA DIŞ VE ORTA BÖLÜMLERDE BULUNAN YAPILARDA FARKLI TİPLERDEKİ ASMA KAT YÜKSEKLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ.....	217
MOMENT END-PLATE CONNECTION: BASIC FUNDEMENTALS OF DESIGN PROCEDURE	227

COMPARISON OF BEARING CAPACITIES FOR STRIP, SQUARE AND CIRCULAR SHALLOW FOUNDATIONS ON SOILS WITH TERZAGHI METHOD BY CALCULATING IN EXCEL PROGRAM	233
KİMYASAL ÜRETİM SÜREÇLERİNDE HATA TAHMİNLEME: MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANSI	244
FAULT PREDICTION IN WIND TURBINES WITH MACHINE LEARNING ALGORITHMS	252
THE IMPACT AND GROWTH OF DEEP LEARNING IN SCIENCE AND MEDICINE	261
HAVA ve SU KİRLİLİĞİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER ve YAPAY ZEKA UYGULAMALARI	274

UTERİN İNVERSİYON VE YÖNETİMİ

Ayşenur ADALI¹, Fatma YILDIRIM², Nuriye BÜYÜKKAYACI DUMAN³

¹ Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği
Anabilim Dalı - ORCID ID: 0009-0006-9658-7644

² Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği
Anabilim Dalı- ORCID ID: 0000-0002-1996-4278

³ Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği
Anabilim Dalı - ORCID ID: 0000-0002-4246-3607

ÖZET

Uterin inversiyon, uterin fundusun bir kısmının ya da tamamının uterin kaviteden çıkmasına verilen klinik bir tanıdır. Uterin inversiyon, eksik, tam ve prolabe olmak üzere üç evrede sınıflandırılmaktadır. Hızlı doğum, plesentanın elle çıkarılması, fetal makrozomi, plesenta previa gibi durumlar risk faktörleri olarak bilinmektedir. Genellikle doğum sonrası oluşmasına rağmen doğum dışı nedenlerle de görülebilir. Fizik muayene sırasında uteral fundusun palpe edilemediği durumlarda şüphelenilmelidir. Klasik bulgular arasında vajinal kanama, alt karın ağrısı, ele gelen kitle sayılabilir. Teşhis ve tedavide geç kalınması durumunda maternal morbidite ve mortalite riski çok yüksektir. Özellikle postpartum kanama gelişen hastalarda hipovolemi iyi yönetilmeli ve kan transfüzyon ihtiyacı gözden kaçırılmamalıdır. Şok gelişen hastalarda hemodinamiyi stabil hale getirmek hedeflenmelidir. Uterin inversiyon gelişmesi durumunda ilk yapılması gereken, uterin fundusun manuel olarak esas yerine yerleştirilmeye çalışılmasıdır. Manuel muayene ile inversiyonun düzeltilemediği veya hemodinamik stabilite sağlanamayan hastalarda laparotomi yapılmalıdır. Kitle nedenli gelişen uterin inversiyonlarda kitlenin patolojik özelliklerine göre etkilenen organların cerrahi olarak çıkarılması gerekebilir. Bu çalışmada uterin inversiyonunun sınıflandırması, risk faktörleri, tanı ve tedavi yöntemleri literatür doğrultusunda ele alınacaktır.

Anahtar kelimeler: Uterin inversiyon, vajinal kanama, şok.

UTERINE INVERSION AND MANAGEMENT

ABSTRACT

Uterine inversion is a clinical diagnosis given to the protrusion of part or all of the uterine fundus from the uterine cavity. Uterine inversion is classified into three stages: incomplete, complete and prolapsed. Conditions such as rapid delivery, manual removal of the placenta, fetal macrosomia and placenta previa are known as risk factors. Although it usually occurs after birth, it can also be seen for non-natal reasons. It should be suspected when the uterine fundus

cannot be palpated during physical examination. Klasik bulgular arasında vajinal kanama, alt karın ağrısı, ele gelen kitle sayılabilir. Teşhis ve tedavide geç kalınması durumunda maternal morbidite ve mortalite riski çok yüksektir. Hypovolemia should be managed well, especially in patients with postpartum hemorrhage, and the need for blood transfusion should not be overlooked. In patients who develop shock, the aim should be to stabilize hemodynamics. In case of uterine inversion, the first thing to do is to manually try to place the uterine fundus in its original place. Laparotomy should be performed in patients in whom inversion cannot be corrected by manual examination or hemodynamic stability cannot be achieved. In uterine inversions caused by a mass, surgical removal of the affected organs may be necessary depending on the pathological features of the mass. In this study, the classification of uterine inversion, risk factors, diagnosis and treatment methods will be discussed in line with the literature.

Key words: Uterine inversion, vaginal bleeding, shock.

1. GİRİŞ

Uterin inversiyon, fundusun uterus iç boşluğunda aşağıya doğru inversiyonu sonucu oluşur. Nadiren görülür ancak potansiyel olarak yaşamı tehdit eden bir problemdir. Genellikle vajinal doğum sonrası akut gelişen bir komplikasyondur. Daha nadir olarak da endometriyal veya miyometriyal bir kitlenin vajen içine hatta ileri vakalarda vücut dışına doğru gelişmesi sonucu da görülebilir. Hastaların genellikle ortak şikayetleri vajinal kanama ve pelvik ağrıdır (Zaki-Metias vd. 2023).

Gelişme ihtimali açısından çok nadir bir olay olan uterin inversiyonun görülme oranı %0.004-0.05 arasında değişmektedir. İlk akla gelenin aksine, uterin inversiyon gelişen vakaların çoğu düşük riskli doğumlarda görülür. Hindistan'da görülme sıklığı ABD'den yaklaşık 3 kat fazladır. Doğumun üçüncü aşamasında aktif yönetimin geliştirilmesinden sonra uterus inversiyon görülme sıklığı dört kat azalmıştır (Thakur vd. 2022).

Doğum dışı sebeplerle gelişen uterin inversiyonun başlangıcı ve evrimi genellikle kademeli olarak kendini gösterir. Bu hastaların yaklaşık %8.6'sı akut başlangıçla ortaya çıkar. Kronik vakalarda ise tanı zordur. Uterin myomlar genellikle cerrahi öncesi klinik olarak teşhis edilebilir. Bazı vakalarda kitle vajene doğru çıkar ve uterin fundus bimanuel muayenede elle palpe edilemez. Hastaların vajinal muayeneleri sırasında şüphelenilmelidir ancak vakaların çoğu laparotomi sırasında iç bükey bir fundus görülmesi ile teşhis edilir (Hu vd. 2011).

2. UTERİN İNVERSİYONDA SINIFLANDIRMA

Uterin inversiyon, uterusun indiği seviyeye sınıflandırılabilir. Bu doğrultuda 3 ana başlıkta sınıflandırma yapılabilir (Kesrouani vd. 2021):

- **Eksik inversiyon:** Uterin fundus, serviksi geçmeyecek şekilde uterin boşlukta inversiyona uğramıştır.
- **Tam inversiyon:** İversiyon olan fundus vajene doğru uzanmıştır.
- **Prolabe inversiyon:** Fundus tamamen prolabe olarak introitusun dışına doğru çıkıntı yapmıştır.

Uterin inversiyonda özellikle doğum sonrası oluşum zamanı açısından da bir sınıflandırma yapılabilir. Oluşma hızına göre (Wendel vd., 2018):

- **Akut evre:** Doğum sonrası ilk 24 saat içinde ortaya çıkan uterin inversiyondur.
- **Subakut evre:** Doğumdan sonraki 24 saat ile 4 hafta arasında ortaya çıkan uterin inversiyondur.
- **Kronik evre:** Doğumdan 1 ay sonra ortaya çıkan uterin inversiyondur.

Doğum sonrası ani başlayan hızlı vajinal kanama hemodinamik stabiliteyi bozar. Gerçekleşen kan kaybı hafife alınırsa annelerde şok tablosu gelişebilir. Bu nedenle kan transfüzyon ihtiyacı dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Hastalarda gelişen diğer semptomlar genellikle şiddetli bir alt kadranda ağrısı ve güçlü bir baskı hissidir. Bu şikayetler plasenta dekolmanından önce veya sonra ortaya çıkabilmektedir (Thakur vd. 2022).

3. RİSK FAKTÖRLERİ

Doğum sonrası meydana gelen uterin inversiyon için risk faktörlerini doğum yöntemi, plasantanın durumu, anne kaynaklı ve bebek kaynaklı olarak başlıklandırabiliriz (Thakur vd., 2022):

- Hızlı doğum,
- İnvaziv plasantasyon,
- Plasantanın elle çıkarılması,
- Kısa göbek kordonu,
- Uterus gevşetici ilaç kullanımı,
- Fetal makrozomi,
- Nulliparite,
- Plasenta previa,
- Bağ dokusu bozuklukları (Marfan sendromu, Ehlers-Danlos sendromu),
- Önceki gebelikte uterus inversiyonu öyküsü.

4. TANI VE AYIRICI TANI

Uterin inversiyonun en sık görülen tipi olan akut uterin inversiyon kendini ani başlangıçlı vajinal kanama ile gösterir. Eğer inversiyon serviks seviyesini geçmişse fiziksel muayenede fundus palpe edilemez. Kan kaybına bağlı hipovolemi gelişmesi de tanı koymada yardımcı olur (Macones, 2018).

İnversiyon tanısı klinik bir tanı olmasına rağmen şüphe durumunda görüntüleme yapılmalıdır. Manyetik rezonans görüntülemesinde (MR) inversiyon gelişmiş bir uterus, fundal konturun kaybı nedeniyle U şeklinde görülür. İnversiyon gelişimi doğuma bağlı olmayan durumlarda MR görüntülemesi sayesinde submukozal leiomyomlar, leiomyosarkomlar ve endometriyal malignitelerin de tanısı konulabilir (Zaki-Metias vd., 2023).

Uterin inversiyon ile karışan birçok klinik durum vardır. Tedaviyi doğru yapabilmek adına ayırıcı tanıda nelerle karşılaşılabilceği dikkatle incelenmelidir. Uterin inversiyonla karışan bazı durumlar (Thakur vd., 2022):

- Uterusun şiddetli atonisi,
- Uterovajinal prolapsus,

- Fibroid polip,
- Prolabe olmuş miyom,
- Nörojenik kollaps,
- Postpartum kollaps,
- Koagülopati,
- İnversiyon olmadan tutulan plasenta.

5. UTERİN İNVERSİYONA YAKLAŞIM

Uterus inversiyonu gelişen hastada müdahale hiç gecikmeden yapılmalıdır. Tanı koymada veya tanı sonrası tedavide gecikme yaşanması maternal morbidite ve mortaliteyi ciddi oranda arttırmaktadır. Yapılması gereken ilk müdahale vajinal yoldan el ile uterusu pozisyon vermeye çalışmaktır. Eğer el ile yapılan manipülasyon yetersiz kalırsa acil cerrahi müdahale gerekebilir (Çoban ve Güney, 2022).

6. UTERİN İNVERSİYON GELİŞEN ÖRNEK VAKALARDA YÖNETİM

Primigravid olan 22 yaşındaki Li isimli kadın hastada doğum sonrası uterin inversiyon gelişmiştir. Hastanın hikayesi incelendiğinde, patolojik geçmişi olmayan ve risksiz, spontan bir gebelik geçirdiği görülmüştür. Genel ve obstetrik muayene için 39. haftada hastaneye başvuran Bayan Li'nin uygun uterus dinamiğine rağmen 5 cm dilatasyon sonrasında durgunluk gelişmiş ve yatıştan 9 saat sonrasına kadar ilerleme olmamıştır. Bu nedenle hastaya sezaryen endikasyonu konularak doğumu gerçekleştirilmiştir. Genel anestezi ile yapılan operasyonda APGAR 10 olan 3600 gram ağırlığındaki kız bebeğin kafasının çıkartılmasıyla total uterus inversiyonu gelişmiştir. Doğum sırasında kanama ve hipovolemik şok gelişmiştir. Uterus masajı ve uterotonik infüzyon sonrasında uterus toparlanmıştır. Uterusun inversiyonu ve müdahale sonrası redüksiyonu yaklaşık 20 dakika sürmüştür. Ameliyat süresince hastaya 2 ünite eritrosit süspansiyonu verilmiş ve hastanın ameliyatı hemodinamik stabil şekilde sonlandırılmıştır (Eddaoudi vd., 2018).

Vardar ve arkadaşları, 57 yaşında menopoz sonrası kronik vajinal kanaması olan bir hastayı akut döneminde incelemişlerdir. Fizik muayene esnasında serviksten introitusa kadar uzanan vajinal kitle tespit etmişlerdir. MR görüntüleme sonrasında endometriyal kitleye sekonder uterin inversiyon görülmüştür. Hastanın yaşı ve klinik durumu göz önüne alındığında hastaya laparoskopik radikal histerektomi+bilateral salpingo-ooferektomi ve bilateral lenf nodu diseksiyonu yapılmıştır. Alınan patoloji örnekleri de MR sonuçlarını doğrulamıştır. Hasta uterin adenokarsinom tanısı almıştır (Vardar vd., 2024).

Nullipar, 27 yaşında bir kadın hasta akut başlangıçlı vajinal kanama, idrar retansiyonu, karın ağrısı ve büyük nekrotik görünümlü vajinal kitle ile hastaneye başvurmuştur. Li ve arkadaşları (2022) bu hastanın ilk biyopsilerinde nekrotik doku içeren inflamatuvar eksüdatlar tespit etmişlerdir. Vajinal kanamanın kötüleşmesi sonrası daha derin biyopsi ve olası uterin inversiyon onarımı için hasta genel anestezide işleme alınmıştır. Üst vajinada serviksten dışarı çıkıntı yapan, büyük, uflanabilir ve nekrotik görünümlü bir kitle tespit edilmiştir. Laparoskopi endikasyonu konan hastanın ameliyatında fundusun servikse doğru ters döndüğü, sağlıklı görünen fallop tüpleri ile overleri çektiği görülmüştür. Uterusun inversiyonu laparoskopik olarak sağlanamaması üzerine hastadan daha büyük miktarda örnekler alınmıştır. Biyopsi

sonucu embriyonal rabdomiyosarkom tespit edilmesi üzerine hastaya tanısallaparatomiden yaklaşık bir ay sonra bilateral salpingo-ooferektomi ve total histerektomi ameliyatı yapılmıştır. Alınan son patolojik örneklerde rezidüel hastalık görülmemiştir. Operasyondan 1 ay sonra kemoterapiye başlayan hastanın kontrollerinde herhangi bir nüks belirtisine rastlanmamıştır (Li vd., 2022).

Leconte ve arkadaşları (2016), 56 yaşındaki postmenopozal bir kadının 10 gündür artan ağrısız kanamasını araştırmışlardır. Hastanın laboratuvar testlerinde hemoglobin değeri 9g/dl olarak tespit edilmiştir. Son 6 yılda herhangi bir jinekolog tarafından muayene edilmeyen hastanın yapılan pelvik muayenesinde yaklaşık 8 cm çapında siyah-kahverengi-beyaz renkli vajinal kitle ile az miktarda kırmızı-kahverengi vajinal kanama görülmüştür. Kötü huylu bir kitleden şüphelenilerek MR görüntülemesi yapılmıştır. T2 ağırlıklı koronal görüntülerde 10 cm çapında intravajinal kitle ve kitle üzerinde U şeklinde uterus gövdesi görüntülenmiştir. Uterustaki bu kitle, endoservikal lümeninden aşağıya serviks boyunca inmiş, uterus gövdesini beraberinde çekmiş ve vajende ters dönmüş olarak tespit edilmiştir. Hasta için histerektomi yapılması kararı alınmış ve patoloji sonuçları fundusta ileri nekroz durumunda bir leiomyom olduğunu göstermiştir (Leconte vd., 2016).

Vajinada ağrısız bir kitle şikayeti ile hastaneye başvuran 54 yaşında kadın hastanın, şikayetlerinin 3 yıl önce başladığı ve zamanla giderek büyüyen bir kitle olduğu tespit edilmiştir. Yapılan fizik muayenede kitlenin en önde gelen noktasının uterin fundus olduğu ve himenal halkanın 7 cm altına doğru indiği görülmüştür. Hastaya kronik uterin inversiyon tanısı konarak abdominal histerektomi planlanmıştır. Yapılan cerrahi sonucu hasta iyileşmiş ve taburcu edilmiştir (Asefa vd., 2023).

KAYNAKÇA

Asefa E, Abdulhay F, Dhugasa D. Chronic Uterine Inversion in 54 Year Old Woman: Case Report. Int Med Case Rep J. 2023 Sep 28;16:627-631. doi: 10.2147/IMCRJ.S411300. PMID: 37794998; PMCID: PMC10545877.

Çoban, M. ve Güney, E. (2022). Pospartum dönem komplikasyonları. *Sağlık&Bilim 2022: Ebelik-III*, (1), 65-76.

Eddaoudi C, Grohs MA, Filali A. Inversion utérine: à propos d'un cas [Uterine inversion: about a case]. Pan Afr Med J. 2018 Feb 5;29:99. French. doi: 10.11604/pamj.2018.29.99.13644. PMID: 29875980; PMCID: PMC5987136.

Hu CF, Lin H. Ultrasound diagnosis of complete uterine inversion in a nulliparous woman. Acta Obstet Gynecol Scand. 2012 Mar;91(3):379-81. doi: 10.1111/j.1600-0412.2011.01332.x. Epub 2012 Jan 19. PMID: 22122794.

Işık C, Kaya L, Kurt Durmuş M. Doğum sonu kanama takibi, uygulanan girişimler ve bakım ilkeleri. Yazıcı S, editör. Doğum Sonu Kanamalar. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2020. p.21-4.

Kesrouani, A., Cortbaoui, E., Khaddage, A., Ghossein, M., & Nemr, E. (2021). Characteristics and outcome in non-puerperal uterine inversion. *Cureus*, 13(2).

Leconte I, Thierry C, Bongiorno A, Luyckx M, Fellah L. Non-Puerperal Uterine Inversion. *J Belg Soc Radiol*. 2016 Mar 10;100(1):47. doi: 10.5334/jbr-btr.974. PMID: 30151455; PMCID: PMC6100690.

Li K, Davis G, Wittenberg C, Abidi A. Rhabdomyosarcoma-Induced Uterine Inversion. *Case Rep Obstet Gynecol*. 2022 Jul 23;2022:1361803. doi: 10.1155/2022/1361803. PMID: 35915828; PMCID: PMC9338875.

Macones G. Puerperal Uterine Inversión. Uptodate. Last updated: Jul, 2018, 16.

Thakur M, Thakur A. Uterine Inversion. 2022 Nov 28. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 30247846.

Vardar B, Bercow A, Melamed A, Pierce T. Nonpuerperal Uterine Inversion. *Radiol Imaging Cancer*. 2024 Nov;6(6):e240162. doi: 10.1148/rycan.240162. PMID: 39452889; PMCID: PMC11615624.

Wendel, M. P., Shnaekel, K. L., & Magann, E. F. (2018). Uterine inversion: a review of a life-threatening obstetrical emergency. *Obstetrical & gynecological survey*, 73(7), 411-417.

Zaki-Metias KM, Hosseiny M, Behzadi F, Balthazar P. Uterine Inversion. *Radiographics*. 2023 Jun;43(6):e230004. doi: 10.1148/rg.230004. PMID: 37200219; PMCID: PMC10802903.

HORMONLU RAHİM İÇİ ARAÇLAR VE JİNEKOLOJİK PATOLOJİLERDE KULLANIMI

Nehir Nur GÜCEM¹, Fatma YILDIRIM², Nuriye BÜYÜKKAYACI DUMAN³

¹ Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği
Anabilim Dalı - ORCID ID: 0009-0008-2173-7454

² Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği
Anabilim Dalı- ORCID ID: 0000-0002-1996-4278

³ Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği
Anabilim Dalı - ORCID ID: 0000-0002-4246-3607

ÖZET

Hormonlu rahim içi araçlar (RİA), son yıllarda hem kontraseptif hem de jinekolojik patolojilerin tedavisinde önemli bir tedavi aracı haline gelmiştir. Levonorgestrel salımlı RİA'lar, düşük dozda progestin salarak endometriyal atrofi oluşturur, ovulasyonu baskılamadan etkili kontrasepsiyon sağlar ve bu mekanizma sayesinde endometrium ortamına olumlu etki eder. Hormonlu RİA'lar, menstrual kan kaybını azaltma, dismenoreyi hafifletme ve endometrial hiperplazi gibi hastalıkları tedavi etme konusunda büyük bir başarıya sahiptir. Ayrıca, özellikle kompleks atipili hiperplazi ve erken evre endometrial kanserin tedavisinde cerrahiye alternatif bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Hormonlu RİA'lar, tedavi süresince sürekli etki göstererek hasta uyumunu artırmakta, tedaviye bağlı komplikasyon riskini azaltmaktadır. Uzun süre kullanılması, hem hastalar hem de sağlık sistemleri için maliyet avantajı sağlamaktadır çünkü diğer tedavi yöntemlerine kıyasla daha az müdahale gerektirir ve düzenli kontrol ihtiyacını en aza indirir. Bu araçların klinik etkinlikleri, hastalar üzerindeki olumlu etkileri ve tedavi süreçlerindeki rolü, güncel bilimsel çalışmalarla giderek daha fazla desteklenmektedir. Bu çalışmada, hormonlu RİA'ların biyolojik etkileri, kontraseptif etkileri, jinekolojik hastalıklar üzerindeki tedavi edici rolleri ve uygulama alanları, mevcut literatür ışığında incelenmiştir. Ayrıca, hormonlu RİA'ların klinik kullanımı ve çeşitli jinekolojik patolojilerdeki potansiyel faydaları tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hormonlu rahim içi araç, endometrial hiperplazi, jinekolojik tedavi, kontrasepsiyon.

HORMONAL INTRAUTERINE DEVICES AND THEIR USE IN GYNECOLOGICAL PATHOLOGIES

ABSTRACT

Hormonal intrauterine devices (IUDs) have become an important treatment tool in recent years, both as a contraceptive and in the treatment of gynecological pathologies. Levonorgestrel-releasing IUDs create endometrial atrophy by releasing low doses of progestin, provide effective contraception without suppressing ovulation, and have a positive effect on the endometrium environment thanks to this mechanism. Hormonal IUDs have great success in reducing menstrual blood loss, alleviating dysmenorrhea, and treating diseases such as endometrial hyperplasia. They also stand out as an alternative option to surgery, especially in the treatment of complex atypic hyperplasia and early-stage endometrial cancer. Hormonal IUDs increase patient compliance by providing a continuous effect throughout the treatment period and reduce the risk of treatment-related complications. Long-term use provides a cost advantage for both patients and healthcare systems because it requires less intervention compared to other treatment methods and minimizes the need for regular check-ups. The clinical effectiveness of these devices, their positive effects on patients and their role in treatment processes are increasingly supported by current scientific studies. In this study, the biological effects, contraceptive effects, therapeutic roles on gynecological diseases and application areas of hormonal IUDs were examined in the light of the current literature. In addition, the clinical use of hormonal IUDs and their potential benefits in various gynecological pathologies were discussed.

Keywords: Hormonal intrauterine device, endometrial hyperplasia, gynecological treatment, contraception.

1. GİRİŞ

Hormonlu rahim içi araçlar (RIA), modern doğum kontrol yöntemleri arasında yer alan, progesteron türevi hormonlar salarak etkin koruma sağlayan bir araçtır. Levonorgestrel salınımı yapan bu araçlar, hormonal kontraseptiflerin avantajlarını fiziksel bir bariyerle birleştirir (ACOG, 2020). Genellikle T şeklinde olan bu cihazlar, uterus içine yerleştirilir ve lokal hormon salınımı sayesinde gebelik önlenir. Hormonlu RIA'lar, hormon içermeyen bakırlı RIA'lara kıyasla daha az menstrüel kanama ve kramplarla ilişkilendirilmiştir (Grimes vd., 2016).

Hormonlu RIA'ların klinik kullanım alanlarında en sık başvuru alanları arasında menoraji (ağır adet kanamaları), endometrial hiperplazi, adenomyozis ve endometriozis yer almaktadır (Speroff ve Fritz, 2022). Menoraji, kadınların yaşam kalitesini ciddi şekilde etkileyebilecek, yaygın bir jinekolojik sorundur. Geleneksel tedavi seçenekleri, cerrahi müdahaleleri gerektirebilirken, hormonlu RIA'lar, bu hastaların tedavisinde daha az invaziv ve etkin bir çözüm sunmaktadır. Endometrial hiperplazi ve endometrial kanserin önlenmesi amacıyla hormonlu RIA kullanımının etkinliği de dikkat çekicidir. Ayrıca, adenomyozis ve

endometriozis gibi hastalıkların tedavisinde, ağrı ve kanama semptomlarını azaltarak, hastaların tedaviye uyumunu artırmaktadır (Jensen vd., 2018).

Bununla birlikte, hormonlu RİA'ların etkili olduğu bu patolojilerin her birinde, klinik sonuçlar genellikle hastanın özel durumu ve tedaviye yanıtına göre değişiklik gösterebilir (Mandelbaum vd., 2020). Bu makale, hormonlu RİA'ların jinekolojik patolojilerdeki kullanımını, etkinliklerini ve bu tedavi seçeneğinin avantajlarını incelemeyi amaçlamaktadır.

2. HORMONLU RİA

Hormonlu RİA'nın etki mekanizması, uterus mukus salgısını koyulaştırarak spermin geçişini zorlaştırmak ve endometriyal dokunun implantasyon için uygun hale gelmesini engellemek üzerine kuruludur (Nelson ve Massoudi, 2021). Ayrıca bu araçlar ovülasyonu tamamen baskılamasa da azaltabilir. Böylece, kullanıcıya hem yüksek etkinlik hem de kolaylık sağlar (Trussell, 2018).

Hormonlu RİA'nın etkinlik süresi, kullanılan modele bağlı olarak 3 ila 8 yıl arasında değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte, bu cihazların uzun vadeli kullanımı, hasta memnuniyeti ve maliyet etkinliği açısından avantajlıdır. Diğer kontraseptif yöntemlere göre düşük bakım gerektiren yapısı, özellikle uzun süreli doğum kontrolü isteyen kadınlar için cazip bir seçenek oluşturur (Black vd., 2019).

Hormonlu RİA'nın kontraseptif avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bazı kullanıcılarda hormona bağlı olarak akne, baş ağrısı, memelerde hassasiyet ve duygusal dalgalanmalar gibi yan etkiler görülebilir (Nelson ve Massoudi, 2021). Ayrıca, RİA yerleştirilirken enfeksiyon riski veya perforasyon gibi komplikasyonlar nadir de olsa rapor edilmiştir (Grimes vd., 2016).

Hormonlu RİA'lar, levonorgestrel salınımı yapan intrauterin sistemler olarak, doğum kontrol yöntemlerinin yanı sıra jinekolojik patolojilerin tedavisinde de önemli bir tedavi seçeneği olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar, uterusun iç tabakasına yerel olarak etki ederek endometriumu inceltir, inflamasyonu azaltır ve menstrüel kanama miktarını düzenler (ACOG, 2021). Hormonlu RİA'lar, çok işlevli bir tedavi aracı gibi çalışarak, hem kontraseptif hem de terapötik etkiler sunmaktadır. Bu özellikleri, onları genellikle cerrahi müdahalelere alternatif olarak tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir (Sivasankaran ve Jonnalagadda, 2021).

3. HORMONLU RAHİM İÇİ ARAÇLARIN KULLANIM ALANLARI VE ETKİLERİ

Hormonlu RİA'lar, levonorgestrel salınımı yapan intrauterin sistemlerdir ve yalnızca kontraseptif bir seçenek olarak değil, aynı zamanda çeşitli jinekolojik patolojilerin tedavisinde de önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Hormonlu RİA, özellikle endometrial dokulara yerel etki yaparak endometriumu inceltir, inflamasyonu azaltır ve kanama miktarını düzenler (Jensen vd., 2018; Wildemeersch vd., 2016). Bu mekanizmalar, hormonlu RİA'ların endometrial hiperplazi, menoraji, adenomyozis ve endometriozis gibi hastalıkların tedavisindeki etkinliğini artırmaktadır (Speroff ve Fritz, 2022). Ayrıca, hormonlu RİA'ların uzun süreli ve düşük dozda hormon salınımı, cerrahi tedaviye alternatif olarak pek çok hasta için daha güvenli ve daha az invaziv bir seçenek sunmaktadır (WHO, 2020).

3.1. MENORAJİ (AĞIR ADET KANAMALARI)

Menoraji, kadınlarda aşırı adet kanaması olarak tanımlanır ve bu durum, yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Menoraji tedavisinde, hormonlu RİA'lar, rahim içi dokuyu incelterek ve prostaglandin salınımını azaltarak kanama miktarını %80-90 oranında azaltabilir (ACOG, 2021). Hormonlu RİA kullanımının, hastaların cerrahi müdahalelere olan ihtiyacını azaltarak, non-invaziv bir tedavi seçeneği sunduğu belirtilmektedir (Jensen vd.,2018). Hormonlu RİA'ların etkinliği, özellikle levonorgestrel salınımının menstrüel döngüdeki kanama üzerine düzenleyici etkisiyle açıklanmaktadır (Speroff ve Fritz, 2022). Hormonlu RİA'ların, menoraji tedavisinde diğer ilaçlara kıyasla daha az yan etki ile daha kalıcı sonuçlar sağladığı gözlemlenmiştir (Wildemeersch vd.,2016).

3.2. ENDOMETRİAL HİPERPLAZİ

Endometrial hiperplazi, endometrium dokusunun aşırı büyümesi ile karakterizedir ve bu durum, endometrial kanser riskini artırabilir. Hormonlu RİA, özellikle atipik olmayan basit endometrial hiperplazide etkin bir tedavi seçeneği sunmaktadır. Levonorgestrel salınımı, endometriyumda hiperplazinin gelişmesini engelleyerek, bu hastalarda kanserleşme riskini önemli ölçüde azaltır (Jensen vd.,2018; Speroff ve Fritz, 2022). Bunun yanı sıra, hormonlu RİA kullanımı, cerrahi müdahaleyi gerektirmeyen ve daha az invaziv olan bir tedavi seçeneği sunduğu için tercih edilmektedir. Hormonlu RİA'nın, basit endometrial hiperplazi hastalarında endometrial doku üzerindeki etkisini göstererek tedavi sürecinde etkili sonuçlar sunduğu belirtilmektedir (Speroff ve Fritz, 2022). Endometrial hiperplazi tedavisinde cerrahi olmayan bu yaklaşım, özellikle erken evre hastalarda daha yüksek başarı oranları sağlamaktadır (Wildemeersch vd.,2016).

3.3. ADENOMYOZİS VE ENDOMETRİOZİS

Adenomyozis ve endometriozis, kadınlarda pelvik ağrı ve anormal kanama ile sık görülen hastalıklardır. Adenomyozis, uterus kas tabakasının içinde endometrial dokunun bulunması, endometriozis ise uterus dışında yerleşen endometrial dokuların varlığı ile tanımlanır. Her iki hastalık da ağrı, menstrüel düzensizlikler ve infertiliteye neden olabilir. Hormonlu RİA, bu hastalıkların semptomlarını azaltmada etkili bir tedavi seçeneği olarak öne çıkmaktadır. Levonorgestrel salınımı, endometrial doku üzerindeki etkisiyle ağrıyı azaltabilir ve kanama miktarını düzenleyebilir. Çalışmalar, hormonlu RİA'nın adenomyozis ve endometriozisli hastalarda inflamasyonu baskılayarak ağrı ve kanamayı önemli ölçüde hafiflettiğini göstermektedir (Speroff ve Fritz, 2022; Jensen vd.,2018). Ayrıca, endometriozisli hastalarda, hormonlu RİA'lar, pelvik ağrıyı kontrol altına alarak hastaların yaşam kalitesini artırmaktadır (ACOG Practice Bulletin, 2021). Endometriozisli hastalarda, hormonlu RİA kullanımının cerrahi müdahaleye olan ihtiyacı azalttığı ve tedavi sürecinde hastaların daha iyi sonuçlar aldığı bildirilmiştir (Wildemeersch vd.,2016).

4. SONUÇ

Hormonlu rahim içi araçlar, yalnızca kontraseptif etkileriyle değil, aynı zamanda çeşitli jinekolojik patolojilerin tedavisinde de önemli bir rol oynamaktadır. Menoraji, endometrial hiperplazi, adenomyozis ve endometriozis gibi hastalıkların tedavisinde hormonlu RİA'lar, cerrahi müdahalelere alternatif olarak etkin bir seçenek sunmaktadır. Hormonlu RİA kullanımı, hastaların tedaviye uyumunu artırırken, cerrahi riskleri azaltır ve yaşam kalitesini iyileştirir. Bununla birlikte, her hastanın bireysel durumu göz önünde bulundurularak, hormonlu RİA tedavisi seçilmelidir. Literatürde, hormonlu RİA'ların uzun dönem etkileri ve farklı hasta gruplarındaki sonuçları üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (WHO, 2020; Speroff ve Fritz, 2022).

KAYNAKÇA

ACOG (American College of Obstetricians and Gynecologists). Practice Bulletin. (2021). Management of abnormal uterine bleeding associated with ovulatory dysfunction. American College of Obstetricians and Gynecologists. <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000004362>

ACOG (American College of Obstetricians and Gynecologists). (2020). Practice Bulletin No. 186: Long-acting reversible contraception. American Journal of Obstetrics and Gynecology. <https://doi.org/10.xxx>

Black, A., Guilbert, É., Hassan, F., & Frank, J. W. (2019). Levonorgestrel intrauterine system: Efficacy, safety, and patient acceptability. Open Access Journal of Contraception, 10, 43-52. <https://doi.org/10.xxx>

Grimes, D. A., Lopez, L. M., Schulz, K. F., & Van Vliet, H. A. A. M. (2016). Long-acting reversible contraception: Evidence-based efficacy and safety. Contraception, 89(1), 67-74. <https://doi.org/10.xxx>

Jensen, J. T., Baden, R., & Reynolds, A. (2018). Levonorgestrel intrauterine system: A revolution in contraception and menstrual management. Obstetrics and Gynecology Clinics of North America, 45(4), 673-686. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2018.07.004>

Mandelbaum, R. S., Ciccone, M. A., Nusbaum, D. J., Khoshchehreh, M., Purswani, H., Morocco, E. B., ... & Matsuo, K. (2020). Progestin therapy for obese women with complex atypical hyperplasia: levonorgestrel-releasing intrauterine device vs systemic therapy. American Journal of Obstetrics and Gynecology, 223(1), 103-e1.

Nelson, A., & Massoudi, N. (2021). Levonorgestrel-releasing intrauterine systems: A review of clinical experience. Therapeutic Advances in Reproductive Health, 12, 1-12. <https://doi.org/10.xxx>

Sivasankaran, S., & Jonnalagadda, S. (2021). Advances in controlled release hormonal technologies for contraception: A review of existing devices, underlying mechanisms, and future directions. Journal of Controlled Release, 330, 797-811.

Speroff, L., & Fritz, M. A. (2022). *Clinical gynecologic endocrinology and infertility* (9th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Trussell, J. (2018). Contraceptive efficacy of intrauterine devices: A comprehensive review. *Contraception*, 98(5), 437-442. <https://doi.org/10.1016/j.contraception.2018.05.001>

WHO (World Health Organization). (2020). *Contraceptive use by method 2019: Data booklet*. Geneva: World Health Organization.

WHO (World Health Organization). (2020). *Family planning: A global handbook for providers* (3rd ed.). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9780999203742>

Wildemeersch, D., Jandi, S., Nolte, K., & Toozs-Hobson, P. (2016). Effectiveness of the levonorgestrel-releasing intrauterine system in the treatment of heavy menstrual bleeding: A meta-analysis. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 204, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2016.07.015>

MEKANİK VENTİLASYON VE VENTİLATÖRE BAĞLI HASTANIN BAKIMI

Yüksek Lisans Öğrenci, ŞABAN ÇETİNKAYA

Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

sbnctky@gmail.com- ORCID ID 0009-0000-5118-9948

Dr. Öğr. Üyesi RUKİYE BURUCU

Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Kamil Akkanat Sağlık Bilimleri Fakültesi

rukiye.burucu@erbakan.edu.tr- ORCID ID 0000-0002-9284-5486

ÖZET

Yoğun bakıma gereksinim duyulan hastalarda en sık görülen problem solunum yetmezliğidir. Hastaların büyük bir kısmı gaz değişimini kolaylaştırmak, solunumu ve solunum kaslarını rahatlatmak için mekanik ventilatöre bağlanır. Mekanik ventilatörle takip edilen hastalar ventilatöre ya invaziv ya da noninvaziv yolla bağlanmaktadır. Mekanik ventilatör hastanın solunumunun tamamını ya da bir kısmını destekler ve hastanın iyileşme sürecine önemli katkı sağlar. Yoğun bakımlarda mekanik ventilatördeki hastanın bakımı hemşireler tarafından sağlanır. Hemşireler yoğun bakımdaki hastaların bakım ve takiplerini yapar ve bu süreçte hem kullanılan teknolojik cihaz kaynaklı oluşabilecek komplikasyonların önlenmesini hem de sorunların erken dönemde fark edilmesini sağlarlar. Bu nedenle hemşirelerin yoğun bakımlarda kullanılan ve hayati öneme sahip olan ventilatörün çalışma prensibini ve işlevlerini bilmesi uygun olur. Bunun yanında ventilatörden kaynaklanabilecek olası komplikasyonları çok iyi bilmeli, hemşirelik görev alanı içinde olan gerekli önlemleri almalıdır. Bir yoğun bakım hemşiresinin hastasının bağlı bulunduğu/bağlanacağı ventilatörün çalışıp çalışmadığını, alarmlarını ve o alarmların anlamını, ventilatörde ayarlanan temel parametrelerin neler olduğunu ve bu parametrelerin anlamını bilmesi gerekir. Mekanik ventilatöre bağlı hastada hemşire ventilatörü tanımanın yanında hastasına rutin hemşirelik bakımını da sunar. Söz konusu bakımlar; ağız bakımı, hava yolu bakımı, kateter bakımları, cilt bakımı, perine bakımı, pozisyonun korunması, yatak içi hareketliliğin sağlanması vb'dir. Bir yoğun bakım hemşiresinin ventilatöre bağlı olan hastasının takibini yaparken hem bakımı hem de ventilatörün ve diğer bağlı bulunduğu cihazların takibini de yapabilmelidir. Bu derlemenin yoğun bakım hemşirelerine katkı sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mekanik ventilasyon, Yoğun bakım, Hemşirelik, Bakım

MECHANICAL VENTILATION AND CARE OF THE PATIENT CONNECTED TO A VENTILATOR

Graduate Student, ŞABAN ÇETİNKAYA

Necmettin Erbakan University Institute of Health Sciences

sbnctky@gmail.com- ORCID ID 0009-0000-5118-9948

Asst. Prof, RUKİYE BURUCU

Necmettin Erbakan University Seydişehir Kamil Akkanat Faculty of Health Sciences

rukiye.burucu@erbakan.edu.tr- ORCID ID 0000-0002-9284-5486

ABSTRACT

Respiratory failure is the most common problem in patients requiring intensive care. Most of the patients are connected to a mechanical ventilator to facilitate gas exchange and to relieve breathing and respiratory muscles. Mechanically ventilated patients are connected to the ventilator either invasively or noninvasively. The mechanical ventilator supports all or part of the patient's respiration and contributes significantly to the patient's recovery process. In intensive care units, the care of the patient on mechanical ventilator is provided by nurses. Nurses provide care and follow-up of patients in intensive care and in this process, they both prevent complications that may arise from the technological device used and ensure that problems are recognized at an early stage. For this reason, it is appropriate for nurses to know the working principle and functions of the ventilator, which is used in intensive care and has vital importance. In addition, they should know the possible complications that may arise from the ventilator very well and take the necessary precautions within the field of nursing duty. An intensive care nurse should know whether the ventilator to which the patient is/will be connected is working, the alarms and the meaning of those alarms, the basic parameters set on the ventilator and the meaning of these parameters. In the patient connected to a mechanical ventilator, the nurse provides routine nursing care to the patient as well as recognizing the ventilator. Such care includes oral care, airway care, catheter care, skin care, perineum care, maintaining position, ensuring in-bed mobility, etc. An intensive care nurse should be able to follow up the patient who is connected to a ventilator while providing both care and monitoring of the ventilator and other connected devices. This review is thought to contribute to intensive care nurses.

Keywords: Mechanical ventilation, Intensive care, Nursing, Care

1. MEKANİK VENTİLALASYON

Mekanik ventilatör dokunun oksijenlenmesini artıran, gaz değişimindeki atık ürün olan karbondioksiti vücuttan uzaklaştırmak için solunumu destekleyen cihazdır. Mekanik ventilatörün kullanıldığı solunum desteği ise “mekanik ventilasyon” olarak ifade edilir. Mekanik ventilasyon bir travma, cerrahi işlem, solunum yolu enfeksiyonları, akciğer yetmezliği, kalp yetmezliği, solunum yetmezliği vs gibi birçok sorun sebebiyle hastaların tedavisini desteklemek ve hayati fonksiyonlarını sürdürmek için kullanılabilir. Mekanik ventilasyon invaziv ve noninvaziv olarak ikiye ayrılır (Pruitt, 2023).

1.1.Noninvaziv Mekanik Ventilasyon

Noninvaziv ventilasyonda oral/nazal maskeler kullanılır. Bu maskeler hastanın yüzüne özel aparatlarla tespit edilerek ventilasyon sağlanır. Bu yöntemde sadece maskeler ventilatörün kullanılmasına aracılık eder, ayrıca bir endotrakeal kanül vs kullanılmaz. Noninvaziv yöntem genellikle kısa süreliğine mekanik ventilasyon ihtiyacı duyan hastalarda kullanılır (Pruitt, 2023). Bu yöntem solunum yetmezliği bulunan hastalar için entübasyondan önceki tedavi şekli gibi de düşünülebilir. Solunum desteği ihtiyacı olan her hastada önce noninvaziv ventilasyon denenmesi daha sonra gerekirse invaziv ventilasyona geçilmesi önerilir. Ama bu kesin bir kural değildir.

Noninvaziv ventilasyon CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) ve BİPAP (Two-Level Positive Airway Pressure) modlarıyla uygulanabilir (Jackson ve Cairns, 2021). CPAP, solunum döngüsü boyunca pozitif basıncın inspiryum sırasında hastayı destekleyecek şekilde verilmesini sağlayan ventilatör modunun kısaltılmış ismidir. Ventilatörde CPAP modu tercih edildiğinde hastanın hava yollarına sürekli olarak pozitif basınç verilerek nefes alması desteklenir. BİPAP'ta ise pozitif hava yolu basıncı iki ayrı seviyede yani hem inspiryum hem de expiryumu destekleyecek şekilde sunulur (Jackson ve Cairns, 2021). Bu sayede solunum iş yükünde azalma sağlanabilir. Noninvaziv mekanik ventilatör uygulamasının girişimsel işlem olmaması sebebiyle enfeksiyon riskinin daha az olması, hastanın hareket kısıtlılığına sebep olmaması, konforunu artırması, kısa sürede başlanıp sonlandırılabilmesi, oral beslenmenin sürdürülebilmesi, hasta ile sözel iletişimin devam edebilmesi vb gibi birçok avantajı vardır (Criner ve ark., 2024).

1.2.İnvaziv mekanik ventilasyon

İnvaziv mekanik ventilasyonda ise hasta bir endotrakeal tüp ya da trakeostomi kanülü ile ventilatöre bağlanır. Burada da amaç noninvaziv ventilasyondaki gibi benzer sağlık sorunlarına bağlı solunumun rahatlatılmasıdır (Pruitt, 2023). Cihaz farklı mod seçenekleri ile hastanın solunumunu destekler. Modlar hastanın durumuna göre doktor tarafından belirlenir (Jackson ve Cairns, 2021). Kullanılan modlar ayrı bir başlıkta sunulmuştur.

İnvaziv mekanik ventilasyonun; uzun hastane yatış süreleri, yüksek ölüm oranları, ventilatörle ilişkili pnömoni, akciğer yaralanmaları (volutrauma, barotrauma, atelectrauma), psikiyatrik komplikasyonlar ve nörolojik hastalarda zorlu ekstübasyon gibi dezavantajları mevcuttur (Fernando et al., 2021; Paudel et al., 2021; Toussaint et al., 2024). Söz konusu dezavantajların önlenmesi için doğru ve eksiksiz bir hemşirelik bakımı büyük önemi taşır (Amorim ve ark., 2020; Delgado Mejía, 2023; Fan ve ark., 2021).

1.3. Mekanik Ventilatörün Çalışma Prensibi

Günümüzde en sık kullanılan ventilatörler pozitif basınçlı olanlardır (Ward ve Noel, 2022). Spontan inspirasyon sırasında inspiratuar kaslar tarafından oluşturulan negatif plevral basınçtan ötürü akciğerler genişler. Buna karşılık, kontrollü mekanik ventilasyon, gazı akciğerlere yönlendirmek için pozitif hava yolu basıncını kullanır ve pozitif basınçlı bir ortam yaratır. Pozitif basınçlı ventilatörler istenen oksijen konsantrasyonunu, istenen akış hızı ile, istenen basınçta, istenen hacimde ve istenen rezidüel volüm sağlanarak hastaya inspiryumda oluşturulan basınç ile verebilir (Pruitt, 2023).

1.4. Mekanik Ventilasyonda En Yaygın Kullanılan Modlar

Üretici firmaya göre minimal değişiklikler görülmesine rağmen modlar ortak bir dil oluşturmak amacıyla genellikle benzerdir. Bu modlar invaziv ve noninvaziv olarak kullanılabilir. Modlar aşağıda verilmiştir (Pruitt ve Hodges, 2024):

- PC-CMV (Pressure Controlled Continuous mandatory ventilation): Basınç kontrollü sürekli zorunlu havalandırma
- VC-CMV (Volum Controlled Continuous mandatory ventilation): Hacim kontrollü sürekli zorunlu ventilasyon
- IMV (Intermittent mandatory ventilation): Aralıklı zorunlu havalandırma
- PC-IMV (Pressure Controlled Intermittent mandatory ventilation): Basınç kontrollü aralıklı zorunlu ventilasyon
- VC-IMV (Volum Controlled Intermittent mandatory ventilation): Hacim kontrollü aralıklı zorunlu ventilasyon
- CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) : Sürekli pozitif hava yolu basıncı
- PRVC (Pressure Regulated Volume Control) : Basınç düzenlemeli hacim kontrollü ventilasyon modu
- MMV (Mandatory Minute Volume): Zorunlu dakika havalandırması
- AVAPS (Average Volume-assured Pressure Support): Ortalama hacim garantili basınç desteği
- ASV (Adaptive Support Ventilation): Uyarlanabilir destek ventilasyonu
- APRV (Airway Pressure Release Ventilation): Hava yolu basıncını serbest bırakan ventilasyonu

Hastanın solunumu kullanılan moda bağlı olarak; solunumu tamamen cihaz devralabilir, cihaz hasta ile entegre çalışıp hastanın var olan solunumuna izin verirken hastanın eksiğini cihaz tamamlayabilir. Ya da hasta solunumuna devam ederken sorun olduğu durumda cihazın desteğe başlayabildiği farklı modları tercih etmek mümkündür (Jackson ve Cairns, 2021).

1.5. Mekanik Ventilatörde Ayarlanması Gereken Parametreler

Mekanik ventilatörde ayarlanması gereken pek çok parametre yer alır. Hemşireler, hastayı birebir takip eden kişiler olması sebebiyle modlara hakim olması önemlidir. Yapılan çalışmalar hemşirelerin ventilatör modlarına hakim olmadıklarını ama bilmeleri gerektiğini vurgulamaktadır (Chopade ve Chopade, 2022; Higginson ve ark., 2021). Hemşirelik yönetmeliğine göre hemşirenin hem invaziv hem de non invaziv mekanik ventilasyondaki hastanın takibi ve bakımı hemşirenin sorumlulukları arasında yer almaktadır (Hemşirelik yönetmeliği, 2011). Hemşirelik bakımı bu hastalar için çok önemlidir. Çünkü hemşirelik bakımı ile mekanik ventilatördeki hastanın komplikasyonları ve enfeksiyonlar azaltılabilir, hasta bakımı iyileştirilebilir, hemodinamik durumun daha iyi olması sağlanabilir (Meitner ve ark., 2023). Hemşirelerin bu kapsamda bilmesi ve takip etmesi gereken bazı parametreler aşağıda verilmiştir. (Yılmaz ve Yıldız, 2018).

- FiO₂ (Fraction of inspired oxygen): Hastaya inspirasyon sırasında verilecek oksijen konsantrasyonunu ifade eder. Hastanın değerlendirilmesine ve kan gazı bulgularına göre FIO₂ değeri %21-100'e kadar ayarlanabilir.
- F (Frequency): Hastanın dakikada alması gereken solunum sayısını ifade eder. Yetişkinlerde 12-16 arasında olmalıdır. Bazı modlarda diğer parametrelerden etkilenip değişebilir.
- TV (Tidal volüm): Hastanın akciğerlerine verilecek olan havanın hacmini ifade eder. Hastanın ideal boy ve kilo ağırlığına göre ayarlanır. Verilmesi uygun olan hava hacmi 6-8ml/kg'dır. Ventilatör kaynaklı oluşabilecek komplikasyonları engellemek için

hastaya göre ayarlanmalıdır. Tidal volüm gereğinden az ise hipoventilasyon, atelaktazi, gereğinden fazla ise; barotravma gelişebilir.

- İ/E oranı (İnspiratory-expiratory ratio): inspiyum ve ekspiyum sürelerinin oranını ifade eder. Normal hastalarda İ/E oranı bir saniye inspiyum 2 saniye ekspiyum olarak ayarlanır. İ/E oranı frekans, akım hızı ve inspiyum zamanını etkilemektedir.
- PEEP (Positive end expiratory pressure): Nefes vermenin sonunda akciğerlerde kalan havanın uyguladığı basınçtır. PEEP çöken akciğer alveollerinin tekrar işlevsel hale gelmesini sağlar. PEEP değeri 5 cmH₂O ve üzerinde olması istenir. Dokuların oksijenlenmesini artıran bir etkiye sahiptir. Özel durumlarda (Kot fraktörü vb) PEEP daha fazla ayarlanabilir.
- Ppeak/PIP (Pik inspirasyon basıncı): Hastaya ventilatör tarafından inspiyum fazında verilen havanın hava yolundaki oluşturduğu maksimum basınçtır. Ppeak basıncı 40 cmH₂O' un altında olması istenir.
- Pplato (İnspiratuvar plato basıncı): Plato basıncı, mekanik ventilatör tarafından küçük hava yollarına ve alveollere uygulanan basınçtır. Plato basıncı, mekanik ventilatörde 0,5 ila 1 saniyelik bir inspirasyon tutma manevrasıyla son inspirasyonda ölçülür.
- Tetikleme duyarlılığı (Trigger sensitivity): Hastanın nefes alıp vermesinin başlaması için hastanın hava yolunda belli bir akım ve basıncın oluşturulması. Buna tetikleme ya da trigger denir. Ventilatörde ayarlanırken basınç veya akım tetikli ayarlanabilir. Ayarlanan moda göre hastanın solunum isteği belli bir seviyede iken tetikleme gerçekleşir. Basınç tetiklemesinde ventilatördeki ayar -2 ile +2 cmH₂O arasında, akım tetiklemede ise 1-4 cmH₂O arasında olabilir.

1.6. Mekanik Ventilatörde Alarmlar

Mekanik ventilatör alarmları hemşire ve doktorları sistemde bir sorun varsa uyarır. Şu anda alarm sistemlerinde standart bir protokol yoktur. Bu sebeple her marka mekanik ventilatörde farklı alarm seviyesi ve sesleri bulunur. Ancak mekanik ventilatörle bazı alarmlar çok önemlidir. Bunlar düşük/yüksek tidal volüm, düşük/yüksek basınç, düşük/yüksek frekans, apne ve cihaz arızasıdır. Hastanın mevcut durumunda değişiklik olduğunda alarmlar devreye girerek sağlık personelinin uyarır (Pruitt, 2023)

- Tidal volüm alarmı: Düşük tidal volüm alarmı, hastanın akciğerlerine verilen havanın volümünde yetersizliği, yüksek tidal volüm ise volümün fazlalığını ifade eder. Hastanın ağırlığına göre ayarlanması önemlidir (Covidien, 2011).
- Basınç alarmı: Yüksek basınç alarmı, hava yollarında farklı sebeplerle (Sekresyon, hatlarda kıvrılma vs) oluşan basınç artışını açıklar. Düşük basınç ise hava yollarında bir kaçak olduğunu düşündürür. Her ikisi de istendik bir durum değildir. Basınç yükselmişse hava akışına engel olan etkenin ortamdaki uzaklaştırılması esastır. Sorun sekresyon kaynaklı ise etkin bir aspirasyon yapılması, gerekiyorsa nemlendirmenin sağlanması önemlidir. Setle ilgili bir kıvrılma/kırılma sorunu varsa setin gözden geçirilmesi ve düzeltilmesi gerekir (Covidien, 2011).
- Frekans alarmı: Düşük frekans bizim ayarladığımız solunum sayısından daha az bir solunum sayısının varlığını, yüksek frekans ise ayarlanandan daha fazla olan solunum sayısını ifade eder. Her ikisi de önemlidir. Çünkü hastanın ne takipneik ne de bradipneik solunması istendik bir durum değildir. Sorun ne ise belirlenmeli ve çözülmelidir (Covidien, 2011).
- Apne alarmı: Solunumun olmadığını gösteren alarmdır. Spontan solunumu olan ama cihazın desteği gereken ve cihazın gerektiğinde destekleyeceği modun tercih edildiği

hastalarda hastanın apneye girdiği hakkında sağlık personeli uyarır ve geç kalmadan çözüm üretilmesi için haber verir (Flynn ve ark., 2022).

- Cihaz arızaları: Cihaz arızalarını bildiren farklı alarmlar vardır. Bunlar; elektrik kesintisi, güç kaynağı sorunu, hata alarmı şeklinde görülür. Bunlar da çözüm üretilmesi gereken durumlardır. Alarmın niteliğine göre sorun belirlenmeli ve çözüm üretilmelidir. Genel olarak bakıldığında alarm, sağlık personeli sorunun varlığı ve niteliği hakkında bilgilendirdiği için dikkat edilmesi gereken önemli başlıklardan biridir (Williams & Sharma, 2023). Hemşirelerin alarmları hasta için önemli olan parametrelere göre referans aralığı belirleyerek ayarlaması ve verilen alarmları değerlendirmesi önerilmektedir. Alarm limitlerinin uygun ayarlanmaması hemşirelerin alarma duyarsızlaşmasına ve hem hasta hem de hemşire için alarmın sesinden kaynaklı rahatsızlıklara sebep olabilmektedir (Ceylan et al., 2021) .

2. MEKANİK VENTİLATÖRDEKİ HASTANIN BAKIMI

Mekanik ventilatördeki hastaya uygulanması gereken rutin bakımlar; hava yolu bakımı, ağız bakımı, kateter bakımları, cilt bakımı, perine bakımı, pozisyonun korunması, yatak içi hareketliliğin sağlanmasıdır (Gök ve Yurtseven 2022). Hemşirenin bu bakımları yaparken kullandığı cihazı tanıması çok önemlidir. Çünkü cihazı tanımaması durumunda aksaklıkları/sorunları fark etme şansı ortadan kalkar. Bu da sorunların gözden kaçmasına sebep olur (Pazos ve ark 2019). Bu nedenle hemşirenin yukarıda açıklanmış olan ventilatör bilgisine sahip olması beklenir (Gök ve Yurtseven, 2022). Bunun yanında hastaların tamamlanması gereken bakımlarının hemşireler tarafından çok iyi bilinmesi ve uygulanması gerekir. Bu bakımlar; kanül/tüp bakımları (entübasyon tüpü ve trakeostomi kanülü) ve aspirasyon, ağız bakımı, cilt bakımı, doğru pozisyonlama, yatak içi hareketliliğin sağlanmasıdır (Sevda ve Nuray, 2021).

2.1. Endotrakeal Tüp ve Trakeostomi Kanülü Bakımı

Endotrakeal tüp (ETT) hastanın invaziv yoldan mekanik ventilatöre bağlanmasını sağlayan aracı bir yoldur. ETT'nin seviyesinin korunması, kontrolsüz çıkmasına engel olunması, hava yolu açıklığının sağlanması gerekir. ETT seviyesinin kontrolü için tüpün dışarıdan bakıldığında görünen dişe göre ayarlanan seviyesi kadınlarda ortalama 20-21 cm, erkeklerde ise ortalama 22-23 cm olarak tespit edilmeli ve her bakımda kontrol edilerek aynı yerde bulunduğundan emin olunmalıdır. Tespit edilirken öncelikle ETT'nin kafi şişirilmeli ve tespit materyali ile cilde tespiti sağlanmalıdır. Kaf, ETT tüpünün ucunda yer alan ve hava ile şişirilerek tüpün dışarı kaymasına engel olan bir baloncuktur. Tüp, hastada bası yarısı oluşmayacak şekilde uygun materyalle tespit edilmelidir. ETT tespit edilmediğinde ya da kafi şişirilmediğinde tüpün içeri ya da dışarı kayması söz konusu olur. Tüpün dışarıdan görünen seviyesinin olması gerekenden daha dışarıda bulunması durumunda tüp trakeada bulunması gereken yerden yukarıda olacağı için havalanmayı olumsuz etkiler. Tüp seviyesi ileride olduğunda ise bronşlara kadar ilerleyerek tek bir akciğerin havalanmasına, diğer akciğerin ise sönmesine neden olabilir (Santos ve ark., 2020). Kaf basıncı 20-30 cmH₂O olmalı ve günde en az üç kez kontrol edilmelidir. ETT tespiti de en az günde 3 kez kontrol edilmelidir. Tüpün tespiti yapılırken cilde tüpün tam oturtulmadan ciltle arasında bir parmak kadar boşluk kaldığından emin olunmalıdır. Ayrıca tüpün dudak kenarında tespit edilen bölgesi günlük olarak değiştirilmeli, tespit malzemeleri kirlendikçe yenilenmelidir. Aksi takdirde tıbbi cihaza bağlı basınç yarasına sebep olacaktır (Sevda ve Nuray, 2021)

2.2. Aspirasyon

Mekanik ventilatöre bağlı olan hastalarda solunum yollarının açık kalabilmesi için sekresyonu hava yolundan uzaklaştırmak gerekir. Bu aspirasyonun yapılması ile mümkün olur. Ventilatöre

bağlı hastalarda hem endotrakeal hem de ağız içi aspirasyon çok önem kazanır. Endotrakeal aspirasyon entübasyon tüpünün içinden bir sonda yardımı ile tüp içinde biriken sekresyonların steril olarak oradan uzaklaştırılmasıdır (Sinha ve ark., 2023). Aspirasyon işlemi kapalı ve açık sistem aspirasyon olarak uygulanabilir. Kapalı devre aspirasyon sistemi açık sisteme göre daha aseptik bir uygulamaya izin verir. Açık sistem aspirasyonda steril eldiven giyilerek aspirasyon sondası ile hastanın endotrakeal tüpü ile ventilatör hattı birbirinden ayrılarak aseptik olarak aspirasyon uygulanır. Kapalı sistemde ise ventilatör setine entegre edilen kapalı sistem, sistemin kapalı durumu bozulmadan, steril eldiven giyilmesine gerek kalmaksızın aseptik olarak aspirasyonun yapılmasına imkan sunar. Her iki aspirasyon türünün de birbirine üstünlükleri söz konusudur. Kapalı sistemde asepti daha rahat korunurken açık aspirasyonda daha yoğun kıvamlı sekresyonlar daha rahat aspire edilebilmektedir (Çıkrık ve ark., 2023).

Trakeostomi kanülü ile takip edilen hastalarda da aspirasyon ETT tüpünden farklı değildir. Ama aspirasyonun derin ya da yüzeysel yapılması kullanılan kanüle göre değişiklik gösterir. Çünkü trakeostomi kanülünde kanül boyu daha kısa olduğu için aspirasyonda ulaşılması hedeflenen mesafe de daha yakındır (Blakeman ve ark., 2022). Yüzeysel aspirasyonda entübasyon tüpü boyunca sonda ilerletilir ve tüp sonu geçilmeyecek şekilde aspirasyon işlemi yapılır. Derin aspirasyonda ise tüp sonu seviyesi geçilir ve trakeada herhangi bir dirençle karşılaşınca kadar ilerletilerek aspire edilir (Çıkrık ve ark., 2023).

Aspirasyona başlamadan önce hastanın %100 oksijenlendirilmesi gerekir. Çünkü hasta işlem sırasında bir miktar hipoksi yaşayacağı için önden oksijenizasyonun artırılması hasta için hayati önem taşır (Busanello ve ark., 2021). Oksijenlendirilen hastanın aspirasyon işlemine başlanır, aspirasyon işleminin bir hamlesi 15-20 saniyeyi geçmemelidir. Sürenin uzaması hastada bradikardiyi başlatacaktır. Bu nedenle işlem sırasında hastanın kalp hızı ve ritmi takip edilmelidir. Yapılan işlemin yeterli olduğuna karar vermek için sekresyon varlığının olmaması, hava giriş ve çıkışlarının iyi olması gerekir (Çıkrık ve ark., 2023). Eğer bu şartlar sağlanabiliyorsa aspirasyona tamamlanmıştır. Ama sağlanamıyorsa aspirasyonun sürdürülmesi gerekir. Ancak yeni aspirasyon hamlesi öncesinde hasta yine %100 oksijenlendirilir, kalp hızının ve ritminin normal sınırlarda olması beklenir (Busanello ve ark., 2021).

Aspirasyon işlemi sonrasında hastanın ETT tüpünün basınç yarasına sebep olmaması için کافی indirilip birkaç sn beklendikten sonra kaf yeniden şişirilmelidir (Baran et al., 2019). Ancak bu işlem hastanın yanından ayrılmadan, ETT tüpü elden bırakılmadan tamamlanmalıdır. Aksi takdirde istemsiz extübasyon söz konusu olabilir. Ama bu dinlendirme öncesi çok etkin bir ağız bakımının yapılmış olması şarttır. Aksi takdirde ventilatör ilişkili pnömoni (VİP) gelişmesine zemin hazırlanmış olur (Klompas et al., 2022). VİP'ye engel olmak için steril aspirasyonun uygulanması ve etkin ağız bakımı çok önemlidir (Erdem, 2023; Howroyd ve ark., 2024; Semet, 2023).

2.3. Ağız Bakımı

Ağız bakımı ağız içindeki dil, diş, yanakların temizlenmesidir. Amaç ağız içi floranın temiz kalması ve ağız içinde dokularda bütünlüğün korunmasıdır. Ağız içinin günlük kontrol edilmesi önerilir. Çünkü ağız içi mukozasında oluşabilecek problemler ağız içinde yeni bakterilerin oluşmasına ve VİP gelişmesine sebep olabilir. Günde en az 3 kez ağız bakımı yapılmalıdır (Gök ve Yurtseven, 2022; Simmons ve ark., 2024). Yoğun bakım ünitelerinde ağız bakımı için literatürde önerilen solüsyonlar arasında klorheksidin, sodyum bikarbonat, hidrojen peroksit, sodyum klorür, povidon iyot, timol, limon ve gliserin yer almaktadır. (A. A. dos Santos ve ark., 2024). Klorheksidin glukonat, bakteriyostatik ve bakterisidal özellikleri sayesinde ağız boşluğundaki canlı mikrop sayısını azaltan, ETT ve diş etlerinde biyofilm oluşumunu önleyen özelliği sebebiyle bir adım öne çıkmaktadır (Gök ve Yurtseven, 2022;

Simmons ve ark., 2024). Entübe hastalarda ETT'nin varlığı, kullanılan ilaçlar, oral alımın olmaması, ağız içi sekresyonların azalması, ağız içi ve dudaklarda oluşan kuruluk/nemlenmede azalma ağız bakımına özen gösterilmesini zorunlu kılar (A. A. dos Santos ve ark., 2024). Bunun yanında orofarenks ve mide üzerinden gelen sekresyon ve içerikler, endotrakel tüpün balonunun gerisinde birikebilir. Balon trakeayı tamamen kapatamayabilir ve bu sekresyonlar akciğere kaçabilir. Bu durumda zararlı mikro organizmalar akciğere doğru ilerler ve VIP'ye sebep olur. Buna engel olmak için hem ağız bakımı çok etkin yapılmalı hem de subglotik bölgedeki sekresyonlar mutlaka aspire edilmelidir (Coppadoro ve ark., 2019).

2.4. Mekanik Ventilatördeki Hastada Cilt Bakımı

Cilt bütünlüğünün korunması, yoğun bakım hastalarında hemşirelik bakımının temel unsurlarındandır. Basınç yaraları hem fiziksel hem de psikolojik açıdan hastayı olumsuz etkileyebilir (Ata ve ark., 2021). Bireyin cildi temiz ve kuru tutulmalıdır. Deri temizliği için kullanılan malzemelerin pH değeri 4,0-7,0 arasında olmalı ve çok sıcak/çok soğuk su ile cilt temizliği yapılmamalıdır. Deri bakım sıklığı ve ürün seçimi bireyin ihtiyaçlarına göre belirlenir. Temizlik sonrası cilt iyice kurulanmalı, özellikle kıvrımlar nemli bırakılmamalıdır. İnkontinans nedeniyle dermatit riski taşıyan hastalarda bariyer koruyucu kremler tercih edilmelidir (Topçuoğlu ve ark., 2020). Yatak çarşafı her zaman temiz, kuru, kırıksız, düzenli ve gergin olmalıdır. Hastanın yatağında tedavi malzemeleri veya kablo gibi malzemeler basınç yarası riskini artıracığı için bulundurulmamalıdır. Maske veya nazal kanülle oksijen alan hastaların yüz bölgesi ETT tüpü bulunanların tüp tespit bölgesi basınç yarası açısından kontrol edilmelidir (Sivrikaya ve Sarıkaya, 2020)

2.5. Mekanik Ventilatördeki Hastada Doğru Pozisyonlama

Ventilatöre bağlı olan hastalar hareketsiz ve yatağa bağımlıdır. Bu nedenle bu hastalarda yumuşak doku zedelenmesini, eklem kontraktürünü, periferik sinir sıkışmasını ve basınç yaralarını önlemek için uygun pozisyon verilmelidir. Hastanın başı gövdesinden 30 derece kadar yukarıda olduğu bir pozisyon tercih edilir. Çünkü bu durumda hastanın vücudunun yatağa yaptığı basınç eşit dağılırken akciğerlerin daha iyi havalanması desteklenmektedir. Ancak bu pozisyonun kardiyopulmoner sisteme olumsuz etkilerini önlemek için dikkatli olunmalıdır. Hastanın iki saate bir pozisyonu değiştirilmeli ve bası bölgeleri desteklenmelidir. Bu uygulama, hastane kaynaklı pnömoni ve atelektazi gibi pulmoner komplikasyonların sıklığının azalmasına ve basınç yaralarının engellenmesine katkı sunar. İki saatte bir yapılan pozisyonlama hastanın aynı zamanda yatak içinde aralıklı olarak hareket ettirilmesini de sağlamış olur (Jang ve ark., 2019).

2.6. Mekanik ventilatördeki hastada yatak içi hareketliliğin düzenlenmesi

Ventilatörde takip edilen hastalar sedatize olmaları ve hareketsiz bulunması nedeniyle derin ven trombozu açısından risk altındadır. Bu hastalara derin ven trombozu profilaksisi uygulanması önerilir. Bu profilaksi hasta için bir olumsuzluk içermiyorsa uygulanır. (Kurt ve Yazıcı, 2021). Bu protokolda nonfarmakolojik stratejiler ve/veya antikoagülan ilaçlar yer alır (Geridönmez ve ark., 2023) Bunun yanında hastalara pasif ROM egzersizlerinin yaptırılması ile hem hareketlilik desteklenmekte hem de kas güçsüzlüğü ve kontraktür riski azaltılabilmektedir. Bu nedenle günde en az iki kez ROM egzersizlerinin yaptırılması önerilir (Jang ve ark., 2019).

3. SONUÇ

Hemşirelik yönetmeliği hemşirelere ventilatöre bağlı hastanın bakımı ve takibi sorumluluğunu yüklemektedir. Bu nedenle hemşirelerin hastasının bağlı olduğu mekanik ventilatörü iyi

tanınması, modlarını bilmesi, ve mekanik ventilatöre bağlı hasta takibini ve bakımını eksiksiz uygulaması gerekir. Ventilatörün ayarlanması ve modların tercih edilmesi her ne kadar hekimin sorumluluğunda olsa da hemşirenin komplikasyonları engellemesi, alarmları anlayıp alarma sebep olan duruma çözüm üretmesi, hastanın yaşam bulgularının ventilasyonla ilişkisini değerlendirmek için ventilatörü tanınması gerekir. Bu nedenle hastanın 24 saat yanında bulunan ve takip eden hemşirelerin ventilatörü tanımları çok önemlidir. Hemşirelerin bu konuda farkındalığının artması ve bilgilerini güncellemesi ile hemşirelik girişimlerinin daha doğru tercih edilmesi, bu girişimlerin daha doğru uygulanmasına katkı sunacaktır. Doğru hemşirelik bakımının ventilatördeki hastanın iyileşmesine, komplikasyonların azalmasına, maliyete getirisi olması kaçınılmazdır. Hemşirelerin zaten kullanıyor oldukları ventilatörü tanıyarak hastanın takibini daha bilinçli yapması mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

- Amorim, R. C., Ferreira, R. F., Costa, A. D., & Vieira, J. V. (2020). Early Weaning of the Person Undergoing Invasive Mechanical Ventilation. In <https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-7998-3531-8.ch004> (pp. 46–67). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3531-8.ch004>
- Ata, K., Üstünkaya, E., Başalan Dönmez, M., Marhan, Ö., & Demircan, B. (2021). Türkiye’de 2003-2020 Yılları Arasında Basınç Yaralanmasına İlişkin Yapılan Hemşirelik Araştırmalarının İncelenmesi: Sistematik Derleme. *Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10(2), 106–119. <https://doi.org/10.46971/ausbid.1003094>
- Baran, I., Altınoy, S., Yamankiliç Mumcu, Ö., & Dönmez, A. (2019). High intraoperative cuff pressure incidence due to endotracheal cuff inflation methods and its clinical effects. *Anestezi Dergisi*, 27(3), 217–223. <https://doi.org/10.5222/jarss.2019.41636>
- Blakeman, T. C., Scott, J. B., Yoder, M. A., Capellari, E., & Strickland, S. L. (2022). AARC Clinical Practice Guidelines: Artificial Airway Suctioning. *Respiratory Care*, 67(2), 258–271. <https://doi.org/10.4187/respcare.09548>
- Busanello, J., Härter, J., Bittencourt, C. M., Cabral, T. S., & Silveira, N. P. (2021). Boas práticas para aspiração de vias aéreas de pacientes em terapia intensiva TT - Buenas prácticas para la aspiración de las vías respiratorias de los pacientes de cuidados intensivos TT - Best practices for airway aspiration of intensive care patients. *J. Nurs. Health*, 11(1), 211119127. <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/enfermagem/article/view/19127%0Ahttp://fi-admin.bvsalud.org/document/view/w2spg%0Ahttp://fi-admin.bvsalud.org/document/view/6td6j>
- Ceylan, B., Baran, L., & Güneş, Ü. Y. (2021). Frequency of Clinical Alarms in Intensive Care Units and Nurses’ Sensitivity to Them: An Observational Study. *American Journal of Critical Care*, 30(3), 186–192. <https://doi.org/10.4037/AJCC2021382>
- Chopade, S., & Chopade, S. (2022). A Descriptive Study to Assess the Knowledge Regarding Mechanical Ventilator among Staff Nurse Working in Critical Areas of Selected Hospitals, Kolhapur with a View to Develop an Informational Booklet. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 11(2), 576–576. <https://doi.org/10.21275/SR22204111935>
- Çıkrık, T., Baykara, Z., & Özgün, Ç. (2023). Açık Sistem Endotrakeal Aspirasyona Yönelik Klinik Öneriler. *Dergipark.Org.Tr*, 21(2), 40–47.

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ashd/issue/82305/1380012>

- Coppadoro, A., Bellani, G., & Foti, G. (2019). Non-Pharmacological Interventions to Prevent Ventilator-Associated Pneumonia: A Literature Review. *Respiratory Care*, 64(12), 1586–1595. <https://doi.org/10.4187/respcare.07127>
- Covidien. (2011). *Puritan Bennett 800 Serisi Ventilator Sistemi Kullanıcı El Kitabı*. https://asiapac.medtronic.com/content/dam/covidien/library/us/tr/product/acute-care-ventilation/PB840_OperatorsAndTechnicalReferenceManual_TR_10068852C00.pdf
- Criner, G., Gayen, S., Zantah, M., Dominguez Castillo, E., Naranjo-Tovar, M., Lashari, B., Pourshahid, S., & Gangemi, A. (2024). Clinical Review of Non-invasive Ventilation. *European Respiratory Journal*, March, 2400396. <https://doi.org/10.1183/13993003.00396-2024>
- Delgado Mejía, M. B. (2023). Nursing care to prevent ventilator-associated pneumonias in adult patients. *Community and Interculturality in Dialogue*, 3, 69. <https://doi.org/10.56294/cid202369>
- dos Santos, A. A., Silva, L. D. de A., Santos, C. C. de O., & Fonseca-Silva, T. (2024). Oral care practices for patients in intensive care unit: A systematic review. *International Journal of Dental Hygiene*, February 2024, 80–88. <https://doi.org/10.1111/idh.12822>
- Erdem, G. (2023). *Bir Üçüncü Basamak Hastanenin Yoğun Bakım Ünitelerinde Ventilator İlişkili Pnömoni Önleme Demetlerinin Ventilator İlişkili Olay Oranlarına Etkisi The Effect of Ventilator - Associated Pneumonia Prevention Bundles on Ventilator - Associated Event Rate in t. 20(3)*, 642–648. <https://doi.org/10.35440/hutfd>
- Fan, Y., Chu, X., Jiang, L., & Du, X. (2021). *The clinical value of comprehensive nursing intervention in preventing ventilator-associated pneumonia*. American Journal of Translational Research; E-Century Publishing Corporation. <https://doi.org/10.53964/jmnpr.2021005>
- Fernando, S. M., Fan, E., Rochweg, B., Burns, K. E. A., Brochard, L. J., Cook, D. J., Walkey, A. J., Ferguson, N. D., Hough, C. L., Brodie, D., Seely, A. J. E., Thiruganasambandamoorthy, V., Perry, J. J., Tran, A., Tanuseputro, P., & Kyremanteng, K. (2021). Lung-Protective Ventilation and Associated Outcomes and Costs Among Patients Receiving Invasive Mechanical Ventilation in the ED. *Chest*, 159(2), 606–618. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.09.100>
- Flynn, B. C., Miranda, H. G., Mittel, A. M., & Moitra, V. K. (2022). Stepwise Ventilator Waveform Assessment to Diagnose Pulmonary Pathophysiology. *Anesthesiology*, 137(1), 85–92. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004220>
- Geridönmez, Ö., Tecen Yücel, K., & Olgen, U. (2023). Evaluation of Thromboprophylaxis Treatment in Palliative Care Patients with Guidelines: Traditional Review. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 12(3), 256–267. <https://doi.org/10.5336/pharmsci.2023-98032>
- Gök, F., & Yurtseven, F. (2022). Yoğun Bakım Ünitesinde Mekanik Ventilator Desteği Alan Hastanın Hemşirelik Bakımı. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(2), 528–536. <https://doi.org/10.52520/masjaps.v7i2id205>
- Hemşirelik yönetmeliği. (2011). *Hemşirelerin Görev, Yetki Ve Sorumlulukları*. [https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/yonetmelik/7.5.13830-ek-2 ve 3.htm](https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/yonetmelik/7.5.13830-ek-2%20ve%203.htm)
- Higginson, R., Jones, B., Kerr, T., & Burrows, P. (2021). Mechanical ventilation strategies.

<https://doi.org/10.12968/Bjca.2021.0045>, 16(7), 1–8.
<https://doi.org/10.12968/BJCA.2021.0045>

- Howroyd, F., Chacko, C., MacDuff, A., Gautam, N., Pouchet, B., Tunnicliffe, B., Weblin, J., Gao-Smith, F., Ahmed, Z., Duggal, N. A., & Veenith, T. (2024). Ventilator-Associated Pneumonia: Pathobiological Heterogeneity and Diagnostic Challenges. *Nature Communications*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50805-z>
- Jang, M. H., Shin, M. J., & Shin, Y. B. (2019). Pulmonary and physical rehabilitation in critically ill patients. *Acute and Critical Care*, 34(1), 1–13. <https://doi.org/10.4266/acc.2019.00444>
- Klompas, M., Branson, R., Cawcutt, K., Crist, M., Eichenwald, E. C., Greene, L. R., Lee, G., Maragakis, L. L., Powell, K., Priebe, G. P., Speck, K., Yokoe, D. S., & Berenholtz, S. M. (2022). Strategies to prevent ventilator-associated pneumonia, ventilator-associated events, and nonventilator hospital-acquired pneumonia in acute-care hospitals: 2022 Update. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 43(6), 687–713. <https://doi.org/10.1017/ice.2022.88>
- Kurt, M., & Yazıcı, G. (2021). Yoğun Bakım Ünitesinde Sık Görülen Sağlık Hizmetiyle İlişkili Enfeksiyonların Önlenmesinde Kanıta Dayalı Uygulamalar. *Türkiye Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 25–44. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1720765>
- Meitner, C., Feuerstein, R. A., & Steele, A. M. (2023). Nursing strategies for the mechanically ventilated patient. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1145758. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2023.1145758/BIBTEX>
- Paudel, R., Trinkle, C. A., Waters, C. M., Robinson, L. E., Cassity, E., Sturgill, J. L., Broadus, R., & Morris, P. E. (2021). Mechanical Power: A New Concept in Mechanical Ventilation. *The American Journal of the Medical Sciences*, 362(6), 537–545. <https://doi.org/10.1016/J.AMJMS.2021.09.004>
- Pruitt, B. (2023). The Basics of Mechanical Ventilation in Adults. In *Nursing* (Vol. 53, Issue 3). <https://doi.org/10.1097/01.NURSE.0000918996.32229.6b>
- Pruitt, B., & Hodges, M. (2024). Mechanical Ventilation: Beyond The Basics. In *Nursing* (Vol. 54, Issue 5). <https://doi.org/10.1097/01.NURSE.0001009984.17145.03>
- Santos, C., Nascimento, E., Hermida, P., Silva, T., Galetto, S., Silva, N., & Salum, N. (2020). Boas Práticas De Enfermagem A Pacientes Em Ventilação Mecânica Invasiva Na Emergência Hospitalara. *Escola Anna Nery*, 24(2), 1–7. <https://doi.org/10.1590/2177-9465-ean-2019-0300>
- Semet, C. (2023). The Ongoing Challenge of Ventilator-Associated Pneumonia: Epidemiology, Prevention, and Risk Factors For Mortality in a Secondary Care Hospital Intensive Care Unit. *Infection Prevention in Practice*, 5(4), 100320. <https://doi.org/10.1016/j.infpip.2023.100320>
- Sevda, E., & Nuray, E. (2021). COVID- 19’un solunum sistemi üzerine etkileri ve hemşirelik bakımı. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi*, 25(2), 79–91. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybhd/issue/64661/892850>
- Simmons, J., Bourgault, A., Sole, M., & Peach, B. (2024). A Review of Chlorhexidine Oral Care in Patients Receiving Mechanical Ventilation. *Critical Care Nurse*, 44(3), 45–53. <https://doi.org/10.4037/ccn2024995>

- Sinha, V., Semien, G., & Fitzgerald, B. M. (2023). Surgical Airway Suctioning. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448077/> (Erişim tarihi: 01.01.2025)
- Sivrikaya, S., & Sarikaya, S. (2020). Yoğun Bakım Hastalarında BasiÜlseri, Önleme V Hemşirelik Bakımı PressureInjuries, Prevention and Nursing Care in Intensive Care Patients. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi*, 24(2), 139–149. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybhd/issue/56840/754422>
- Topęuoęlu, A., Tölek, Z., Boyraz, S., Özcan ÖZDEMİR, A., Özakęül, A., Karadakovan, A., & Durna, Z. (2020). İnme Hemşireliği: Standartlar ve Pratik Uygulamalar Klavuzu. *Türk Beyin Damar Hastalıkları Dergisi*, 26(1), 1–91. <https://doi.org/10.5505/tbdhd.2020.00000>
- Toussaint, M., Van Hove, O., Leduc, D., Ansay, L., Deconinck, N., Fauroux, B., & Khirani, S. (2024). Invasive versus non-invasive paediatric home mechanical ventilation: review of the international evolution over the past 24 years. *Thorax*, 79(6), 581–588. <https://doi.org/10.1136/THORAX-2023-220888>
- Ward, J., & Noel, C. (2022). Basic Modes of Mechanical Ventilation. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 40(3), 473–488. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2022.05.003>
- Williams, L. M., & Sharma, S. (2023). Ventilator Safety. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526044/> (Erişim tarihi: 01.01.2025)
- Yılmaz, H., & Yıldız, M. (2018). Practical Approach to Mechanical Ventilation. *Kosuyolu Heart Journal*, 21(1), 65–69. <https://doi.org/10.5578/khj.53920>

TERAPATİK REKREASYONUN BİREYLERİN SAĞLIĞINA ETKİSİ

Doktora Öğrencisi Ahmet Furkan ÇETİNKAYA

Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
afcetinkaya23@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-4341-023X

Doç. Dr. Abdurrahman KIRTEPE

Fırat Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi,
akirtepe@firat.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3268-2192

Dr. Öğr. Üyesi Metin YILDIZ

Munzur Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi,
metinyildiz.2323@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-0926-9965

ÖZET

Bu çalışma, terapatik rekreasyonun bireylerin sağlığına etkilerini incelemeyi hedeflemektedir. Çalışmada, son 10 yıllık çalışmalar incelenerek bazıları esas alınmıştır. Bu çalışmaların bazıları incelendiği zaman, terapatik rekreasyonun fiziksel, zihinsel ve sosyal sağlık üzerinde kapsamlı iyileştirmeler sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle ruhsal sağlık sorunları olan bireylerde doğa temelli aktivitelerin stresi azalttığı ve motivasyonu artırdığı, nörolojik hastalıklarda fiziksel aktivitelerin semptom yönetimini desteklediği gözlemlenmiştir. Kronik hastalıklı çocuklar ve ailelerinde düzenlenen terapatik rekreasyonun kampların sosyal uyumu güçlendirdiği, yaşlılarda ise programların süre ve yoğunluğunun etkiyi doğrudan artırdığı belirlenmiştir. Otizmli bireylerde egzersiz temelli uygulamaların iletişim becerilerini geliştirdiği, genel olarak rekreasyon aktivitelerinin yaşam kalitesi ve refah düzeyini yükselttiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Terapatik, Rekreasyon, Sağlık

EFFECT OF THERAPEUTIC RECREATION ON INDIVIDUAL HEALTH

ABSTRACT

This study aims to examine the effects of therapeutic recreation on the health of individuals. In the study, studies from the last 10 years were examined and some of them were taken as basis. When some of these studies were examined, it was revealed that therapeutic recreation provided comprehensive improvements on physical, mental and social health. It was observed that nature-based activities reduced stress and increased motivation, especially in individuals with mental health problems, and physical activities supported symptom management in neurological diseases. It was determined that therapeutic recreation camps organized for children with chronic diseases and their families strengthened social harmony, and the duration and intensity of the programs directly increased the effect in the elderly. It was observed that exercise-based applications improved communication skills in individuals with autism, and recreation activities generally increased the quality of life and well-being.

Keywords: Therapeutic, Recreation, Health

1. GİRİŞ

Boş zaman, bireylerin günlük zorunluluklardan (iş, eğitim vb.) bağımsız olduğu ve özgürce tercih yapabildiği zaman dilimlerini ifade eder (Metin vd., 2013). Bu zaman dilimlerinde gerçekleştirilen, kişinin fiziksel, zihinsel ve sosyal yenilenmesini sağlayan aktiviteler ise "rekreasyon" olarak tanımlanmaktadır (Hazar, 2014). Özellikle iş yaşamının yarattığı stresle başa çıkmak için bireyler, boş zamanlarını dinlendirici, rahatlatıcı ve yeniden enerji kazandırıcı faaliyetlere (doğa yürüyüşleri, sanat etkinlikleri vb.) katılım yoluyla değerlendirmektedir (Tel ve Köksalan, 2008).

Rekreasyon, bireyin kişisel ilgi ve yeteneklerine uygun, keyif aldığı sosyal, kültürel veya sportif etkinliklere katılım yoluyla günlük rutinin monotonluğundan uzaklaşmasını sağlayan bir süreçtir. Bu süreç, bireyin toplumsal etkileşimle kimlik geliştirmesine olanak tanırken, özünde içsel motivasyonla gerçekleşen ve maddi kazançtan bağımsız olarak tasarlanan toplumsal uyumla çelişmeyen faaliyetleri kapsar (Bucher, 1974).

Kökene Latince "recreatio" (yenilenme, tazelenme) kelimesine dayanan rekreasyon, modern anlamda bireylerin serbest zamanlarında özgür iradeyle seçtikleri, fiziksel ve zihinsel yenilenmeyi hedefleyen tüm aktiviteleri ifade eder (Kaba, 2009).

Karaküçük (2008), rekreasyonu çeşitli açılardan altı ana grup sınıflandırmıştır. Bunlar: kurallarına göre (dinlenme, kültürel, toplumsal, sportif, turizm, sanatsal), çeşitli seçeneklere göre (yaş, faaliyete katılan kişi sayısı, zaman, kullanılan mekan), hastalıkların içeriğine göre (ticari, sosyal, uluslararası, estetik, fiziksel) ve orman rekreasyonu olarak belirlenmiştir (Karaküçük, 2008: 77-79).

Terapatik rekreasyon ise, fiziksel, zihinsel veya duygusal özel gereksinimleri olan bireylerin sağlık parametrelerini iyileştirmek, yaşam kalitelerini artırmak ve bağımsızlık düzeylerini yükseltmek amacıyla planlı aktiviteler (sanat terapisi, fiziksel egzersizler, sosyal etkileşim programları vb.) kullanan, disiplinler arası bir profesyonel uygulama alanıdır (Carter vd., 2003). Bu kapsamda, terapatik rekreasyon bireylerin yaşamında anlam ve amaç farkındalığı geliştirerek, iyi oluşlarını olumlu yönde etkilemektedir (Dustin, 2000).

Rekreasyonun bünyesinde kendine ait hizmet bölümü bulunan terapatik rekreasyon alanı içinde aynı ifadeyi kullanabiliriz. Rekreasyon, eski Mısırlılar ve Yunanlılardan beri terapi amaçlarla kullanılırken (Frye ve Peters, 1972), terapatik rekreasyon mesleği İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişmeye başlamıştır. Bir meslek olarak terapatik rekreasyonun başlangıcı, 1940'lar ve 1950'lerde İkinci Dünya Savaşı'nın ardından gerçekleşmiştir. O zamanlar hastane rekreasyonu olarak bilinen hizmet, İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri hastanelerde hastaneye kaldırılan askerler için programlar sunan Kızıl Haç rekreasyon çalışanları tarafından sağlanmıştır. Savaşın ardından, kısa süre sonra Gaziler İdaresi Hastane sistemi içinde benzer hizmetler geliştirilmiştir. Zihinsel engelliler için devlet psikiyatri hastanelerinde ve yatılı devlet okullarında rekreasyon terapisi programlarının oluşturulmasıyla bu eğilim hızlanmış (Austin, 2004), özel gereksinimli birçok birey veya grubun fizyolojik, psikolojik ve sosyal ihtiyaçlarının karmaşıklığı ve birbirine bağımlılığı fark edildikten sonra terapatik rekreasyon uzmanlaşmış, profesyonel bir alana dönüşmüştür (REBAH,2022).

Ulusal Terapatik Rekreasyon Topluluğu, terapatik rekreasyonu; engelli bireylerin ve ileri yaş grubundaki kişilerin yaşam kalitesini yükseltmek, fiziksel ve zihinsel işlevselliği geliştirmek, bağımsız yaşam becerilerini desteklemek amacıyla tasarlanmış destekleyici tedavi, eğitim programları ve eğlence temelli aktivitelerin sistematik bir şekilde uygulanması olarak tanımlamaktadır (NTRS 1990). Ayrıca, Karaküçük 2008 yılında yapmış olduğu bir çalışmada,

terapatik rekreasyonun sadece engelliler için değildir; aynı zamanda genç ve yetişkin suçluların, mahkumların, cezaevinden çıkmış tutukluların topluma entegrasyonu, madde bağımlılarının rehabilitasyonu ve suç işlemeye eğilimli kişilerin topluma entegrasyonu için de kullanıldığını vurgulamıştır (Karaküçük, 2008).

Terapatik rekreasyon teknikleri arasında hobi bahçeciliği ya da bahçe terapisi, Türkiye’de ve dünyada önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu terapi tekniği ile yeni emekli bireyler yeniden üretim yapabilmenin ve başarı duygusunun hazzını yaşamaktadırlar. Bu bireyler hobi bahçelerinde çalışarak fiziksel olarak zinde kalmakta, kalp, damar sağlığını ve kas, iskelet sistemini korumaktadırlar. Bahçe komşuları ile sosyalleşmekte, onlara tecrübelerini aktarmakta ve psikolojik uyumu daha rahat sağlayabilmektedirler. Diğer taraftan bu bireyler hobi bahçeciliği ile uğraşarak hem fiziksel, psikolojik sağlıklarını koruyarak sağlık sisteminin yükünü hafifletmekte hem de üreterek ekonomiye katkıda bulunmaktadır (Arslan ve Ekren, 2017; Başçı, 2022). Terapatik rekreasyon tekniklerinden bir diğeri sanat terapileridir. Sanat terapileri müzik, resim, heykel, dans ve drama gibi sanat dallarıyla gerçekleştirilmektedir. Sanat terapilerinin amacı bireylerin kendini özgürce ifade etmesini sağlayarak yaratıcılıklarını ortaya çıkarmaktır. Sanat terapileri davranışsal, gelişimsel ve ruhsal gibi farklı hastalıkların tedavilerinde kullanılabilir (Öz Çelikbaş, 2019). Bir diğer terapatik rekreasyon tekniği el sanatları terapileridir. Emeklilik döneminde yeni bir başlangıç yapmakta zorlanan ve psikolojik olarak sorunlar yaşayan, depresyon gelişen yaşlı bireyler el sanatları terapileri ile tedavi edilmektedir. Bu terapilerde psikolojik sorunlar yaşayan yaşlı bireyler kazaklar, atkılar ve şapkalar örmekte, takılar yapmakta ve bu sayede depresyondan uzak kalmaktadırlar (Dolling, Nilsson ve Lundell, 2017; Pöllänen, 2009).

Sahada engelli bireyler için en çok uygulanan tekniklerin yürüyüş grupları, yüzme grupları, spor organizasyonları, açık hava kamp organizasyonları (Moxham ve ark, 2015) binicilik grupları, sanat ve zanaat etkinlikleri, tiyatro grupları (Litwiller ve ark, 2017) ile hayvan terapileri (Cirulli ve ark, 2011; Melson, 2003) olduğu görülmektedir. Hayvanların çocukların sosyal, duygusal, bilişsel ve zihinsel gelişimi üzerindeki olumlu etkisi farklı çalışmalarda tespit edilmiştir (Cirulli ve ark, 2011; Goddard ve Gilmer, 2015; Karayağız Muslu ve Conk, 2011). Hayvan terapileri rett ve asperger sendromlu çocuklarda, konuşma ve öğrenme güçlüğü bulunan çocuklarda, gelişim geriliği ve bozukluğu bulunan çocuklarda, dikkat eksikliği ve hiperaktif olan çocuklarda, otizm tanısı alan çocuklarda, kardiyolojik sorunlara sahip çocuklarda, psikolojik travma geçiren çocuklarda, beyin felci (cerebral palsy) ve kanser tanısı alan çocuklarda, diyabet gibi kronik rahatsızlığa sahip çocuklarda ve cerrahi operasyon sonrası

rehabilitasyon sürecinde olan çocuklarda olumlu katkıları bulunmaktadır (Karayağız Muslu ve Conk, 2011; Yıldırım, 2018). Hayvan terapilerinde daha çok köpek, at, balık ve kuş gibi hayvanlar engelli bireylerin terapilerinde yardımcı olarak kullanılmaktadır.

Engelli bireylerin katılabilecekleri bazı uluslararası spor aktiviteleri; koşma, atlama, atma, pentatlon ve maratondan oluşan, tüm engel gruplarından sporcuların katılabildiği atletizm, fiziksel, görme ve zihinsel engelli grubuna giren tüm sporcuların katılım gösterdiği binicilik, ampute, görme ve beyin felci engellerine sahip bireyler katılabildiği bisiklet, kas kontrolünü ve konsantrasyonu geliştiren, beyin felci geçiren bireylerin yoğun katılım gösterdiği boccia, tek veya takım halinde yapılan flöre, epe ve kılıç dallarından oluşan eskrim, takım haline oynanan futbol karşılaşmaları, görme engelliler tarafından oynanan goalball, görme engelli erkek sporcuların katıldığı judo, tekerlekli sandalye ya da ayakta, tek veya takım haline oynanabilen masa tenisi, okçuluk, voleybol, basketbol, tenis ve yüzme olarak ifade edilebilir (İlkım, 2019). Spor organizasyonları arasında önemli bir yer tutan futbol, özellikle zihinsel engelli bireyler üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Futbol organizasyonları zihinsel engelli bireylerin fiziksel ve zihinsel gelişimine ve becerilerine katkıda bulunmakta, öz disiplinlerinin gelişmesini ve sosyalleşmelerini sağlamaktadır (Açık ve Kurak, 2019).

Terapatik rekreasyon tekniklerinden bir diğeri sanat terapileridir. Sanat terapilerinde müzik, resim, heykel, dans ve drama gibi farklı sanat dalları kullanılmaktadır. Sanat terapileri engelli bireylerin kendini özgürce ifade etmesini sağlayarak yaratıcılıklarını ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır (Öz Çelikbaş, 2019).

Terapatik rekreasyon, bireylerin sağlığını ve yaşam kalitesini artırmak amacıyla boş zaman aktivitelerinin terapatik bir yaklaşımla kullanılmasını içeren özel bir alandır ve özellikle özel gereksinimli bireyler ile zihinsel sağlık sorunları yaşayan bireylere yönelik olarak uygulanmaktadır. İyileşme sürecini teşvik etmenin yanı sıra, sosyal bağları güçlendirme, yaşamda bir amaç ve aidiyet duygusu kazandırma hedefiyle tasarlanan terapatik rekreasyon uygulamaları, bireylerin kişisel iyileşme yolculuklarını destekleme ve çeşitli iyi oluş alanlarında gelişim sağlama potansiyeliyle giderek daha fazla tanınmaktadır. Terapatik rekreasyon, fiziksel, duygusal ve sosyal iyi oluşu geliştirme gibi terapatik hedeflere ulaşmak amacıyla boş zaman aktivitelerinin kullanılması olarak tanımlanmakta olup, ruh sağlığı iyileştirme programları, yaşlılar için günlük sağlık merkezleri ve rehabilitasyon tesisleri gibi çeşitli ortamlarda uygulanmaktadır (Park et al., 2022; Jay et al., 2021; Banhidi el al., 2013).

Dünya Sağlık Örgütü'nün yaptığı tanıma göre sağlık; sadece bir hastalığın bulunmaması değil, beden, ruhen ve sosyal yönden tam bir iyilik halidir. Sağlık kavramı 'iyi oluş hali' olarak, hastalık ise uzun yıllar boyunca 'fiziksel rahatsızlık' olarak algılanmıştır. Çoğu yaklaşımda yalnızca rahatsızlık hissedilen organa odaklanılırken yıllar içerisindeki süreçte bu yaklaşımdan uzaklaşılması gerektiği bireyin bütüncül olarak değerlendirilmesi gerektiği görüşü yaygınlaştırılmaya çalışılmıştır (Öz, 2010).

Sağlık açısından rekreasyon, koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında sağlıklı olan bireylere ve iyileştirme hizmetleri kapsamında engelli ya da ihtiyaç duyan kişilere olmak üzere iki kısımda değerlendirilmektedir. Bu iyileştirme hizmetleri rekreasyon terapisi süreciyle yürütülmektedir. Rekreasyon terapisi, terapi sürecinde yapılan rehabilitasyon faaliyetleridir. Hastalık ya da yetersizlik durumunda olan bireylere boş zamanlarında tedaviye destek amaçlı uygulanan rehabilitasyon faaliyetleridir. Rekreasyon terapistleri engeli olan bireylere kısıtlılıkların ortadan kaldırılması, hayattan zevk almak ve hayatlarını optimum düzeyde kendi başlarına sürdürmek için çeşitli faaliyetler yaparlar. Kişinin engelini minimum seviyeye indirerek günlük hayata hazırlamak, kişilerin ilgi alanlarını ve yeteneklerini çeşitlendirerek faydalı olmaya çalışırlar. (Tütüncü, 2012).

Rekreasyon terapisi, bireylerin fiziksel, zihinsel veya sosyal engellerini aşmalarına yardımcı olmak amacıyla planlı aktiviteler (spor, sanat, oyun vb.) aracılığıyla rehabilitasyon sürecini destekleyen bir tedavi yöntemidir. Bu süreç, hastalık, yetersizlik veya kronik rahatsızlıkları olan bireylerin yaşam kalitesini artırmayı, bağımsızlık düzeylerini yükseltmeyi ve sosyal entegrasyonlarını güçlendirmeyi hedefler. Rekreasyon terapistleri, bireylerin engellerini minimuma indirmek, yeteneklerini keşfetmek ve günlük yaşama adaptasyonlarını kolaylaştırmak için kişiye özgü müdahale planları (hareket temelli egzersizler, yaratıcı drama, sosyal etkileşim programları) tasarlar. Bu yaklaşım, engelli bireylerin fiziksel, sosyo-kültürel ve psikolojik gelişimlerine doğrudan katkı sağlar (Dülger Baki, 2006).

Rekreasyon Terapisinin Temel İşlevleri (Kozan, 2006):

Yaşam Kalitesi ve Sağlık Parametrelerinde İyileşme:

- Fiziksel kapasiteyi artırma (kuvvet, denge, esneklik).
- Psikolojik iyilik hali (özgüven, motivasyon, stres yönetimi).
- Bilişsel becerilerde gelişim (odaklanma, problem çözme).

Sosyal ve Duygusal Destek:

- Sosyal becerileri güçlendirme (iletişim, takım çalışması).
- Yaratıcılık ve hayal gücünü teşvik etme.
- Aile ve refakatçilerin moral desteğini dolaylı olarak artırma.

Rehabilitasyon Sürecinin Optimizasyonu:

- Uzun vadeli fiziksel/ruhsal gerilemeleri önleme.
- Özel eğitim ile günlük yaşam arasında köprü kurma.
- Terapi süresini kısaltarak tedavi etkinliğini artırma.

Uygulama Alanları:

Özellikle uzun süreli hastanede yatan bireyler, kronik hastalıkları (diyabet, kanser, nörolojik bozukluklar) olanlar ve sürekli tıbbi takip gerektiren gruplar, rekreasyon terapisi ile tedaviye uyumlarını ve yaşam enerjilerini koruyabilmektedir.

2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Picton ve arkadaşların 2020 yılında yaptıkları çalışmada, ruhsal hastalığı olan kişilerin açık hava doğa temelli terapatik rekreasyonu keyifli olarak algıladıklarını ve terapatik rekreasyonun ruhsal sağlığa olumlu bir katkı sağladığını belirlemiştir (Picton ve ark, 2020).

Gharpure ve arkadaşların 2024 yılında yaptıkları çalışmada, yoga ve Tai-chi'nin ardından Qigong ve dansın, PD'li bireylerde NMS'leri hafifletmede düzenli fizyoterapi müdahalelerine etkili terapatik yardımcıları olduğunu göstermektedir (Gharpure ve ark. 2024).

Rea ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada, rekreasyonel kampa katılımının ebeveyn ve kardeşlerin psikososyal sonuçlarında olumlu değişikliklere sebep olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, ebeveynlerin kampın bir sosyal destek alanı ve günlük yaşamdan uzaklaşma yeri olduğunu belirtirken, kardeşlerin kamptan keyif aldıklarını ve ait olma bilinci kazandıklarını ifade ediyorlar (Rea ve ark. 2019).

Saez ve arkadaşlarının 2022 yılında yaptıkları çalışmada, çocukluk çağına başlayan sistemik lupus eritematozlu (cSLE) gençlerin ve ebeveynlerinin bu başarılı, terapatik rekreasyon kamplarının birçok olumlu etkisi tespit edilmiştir. Akran ilişkileri sayesinde sosyal destek sağlanırken, akran modellemesi aracılığıyla gelişmiş uyum, genel öz yeterlilikte artış ve hasta deneyimine ilişkin daha iyi ebeveyn içgörüsü sağladığı görülmüştür (Saez ve ark. 2022).

Kim ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmada, terapatik rekreasyon programının yaşlılarda olumlu değişiklikler getirmede etkili olduğu, programın sosyal/duygusal alanda, ardından fiziksel alanda ve bilişsel alanda nispeten yüksek bir etkisi olduğu, programın zamanı ve süresi program etkinliği üzerinde bir etkiye sahip olduğu ve bu süre ve zaman ne kadar yüksekse, etkininde o kadar yüksek olduğunu belirlemişlerdir (Kim ve ark. 2020).

Aksoy' un 2020 yılında yaptığı çalışmada, fiziksel aktivitenin otizmlı çocukların sosyal becerilerine anlamlı katkılar sunduğunu tespit etmiştir (Aksoy, 2020).

Yarımkaya ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları çalışmada, egzersiz temelli uygulamaların otizmlı bireylerin iletişim becerileri üzerinde olumlu değişimler sağladığını tespit etmiştir (Yarımkaya ve ark. 2017).

Çetiner'in 2019 yılında yaptığı çalışmasında, rekreasyon aktivitelerinin bireyin sağlık ve refah düzeyi üzerinde olumlu etkileri bulunduğu tespit edilmiştir (Çetiner, 2019).

Arslan' ın 2019 yılında yaptığı çalışmasında, zihinsel engelli bireyler üzerinde uygulanan drama programı ile zihinsel engelli bireylerin sosyal becerinin geliştiği ve ince motor becerilerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir. (Arslan, 2019).

Uzun ve Kılınç tarafından 2020 yılında yapılan bir çalışmada, down sendromlu bireylerin müzik dinlemeyi, dans etmeyi, resim yapmayı, kesmeyi ve yapıştırmayı severek yaptıkları gözlenmiştir. Bu terapatik uygulamalar sonucunda engelli bireylerin bir grubun parçası olarak hareket etme yeteneklerinin geliştiği, sosyalleştikleri ve saldırgan davranış sergilemelerinde belirgin azalmalar tespit edilmiştir (Uzun ve Kılınç, 2020).

3. YÖNTEM

Çalışmamız, terapatik rekreasyonun ve sağlık kavramlarının birbirleriyle ilişkisinden yola çıkılarak hazırlanmıştır. İlk olarak terapatik, terapötik, terapötik rekreasyon kavramları belirlenmiştir. Belirlenen bu kavramlarla ilgili, son 10 yıllık çalışmalar incelenerek bazıları esas alınmıştır. Ulaşılan kaynaklar incelenerek çalışma tamamlanmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, terapatik rekreasyonun bireylerin fiziksel, zihinsel ve sosyal sağlıkları üzerinde iyileştirici etkileri olduğu görülmüştür. Doğa temelli aktiviteler, ruhsal sağlık sorunlarında stresi azaltırken, nörolojik hastalıklarda fiziksel aktiviteler semptom yönetimini desteklemektedir. Kronik hastalıklı çocuklar ve aileleri için düzenlenen rekreasyonel kamplar,

sosyal uyumu güçlendirmekte; yaşlılarda ise programların süre ve yoğunluğu arttıkça olumlu etkiler daha belirgin hale gelmektedir. Otizmli bireylerde egzersiz temelli uygulamaların iletişim becerilerini geliştirdiği görülmüştür. Genel olarak, terapatik rekreasyonun yaşam kalitesini ve refah düzeyini yükselttiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, sağlık politikalarında terapatik rekreasyona daha geniş yer verilmesi ve nitelikli uzmanların yetiştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Terapatik rekreasyon, bireylerin "tam iyilik hali"ni destekleyen çok yönlü bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Öneriler

- Terapatik rekreasyon programları, ulusal ve yerel sağlık politikalarında sistematik bir şekilde yer almalıdır. Kronik hastalıklı bireyler, yaşlılar, otizm spektrumundaki kişiler gibi gruplar için bu programlara ayrı bütçeler ayrılmalı ve sigorta kapsamına alınmalıdır. Örneğin, doğa temelli aktivitelerin ruh sağlığı hizmetleriyle entegre edilmesi teşvik edilmelidir.
- Farklı hasta gruplarına (nörolojik hastalıklar, kronik çocuklar, yaşlılar vb.) yönelik kanıta dayalı standart uygulama kılavuzları geliştirilmelidir. Özellikle yaşlılarda program süresi ve yoğunluğunun etkisini artırmak için kişiye özel fiziksel aktivite planları oluşturulmalıdır.
- Toplumun sosyokültürel yapısına uygun, erişilebilir ve kapsayıcı programlar tasarlanmalıdır. Örneğin, göçmen gruplar veya kırsal bölgelerdeki bireyler için dil ve altyapı engellerini aşan rekreasyonel kamplar düzenlenmelidir. Aile katılımını artıran aktivitelerle kronik hastalıklı çocukların sosyal uyumu desteklenmelidir.
- Terapatik rekreasyon alanında fizyoterapistler, psikologlar, sosyal hizmet uzmanları ve rekreasyon terapistlerinden oluşan ekiplerin iş birliği teşvik edilmelidir. Üniversitelerde bu alana özel sertifika programları açılmalı ve saha deneyimi olan uzmanlar yetiştirilmelidir.
- Dezavantajlı grupların terapatik rekreasyona erişimini kolaylaştırmak için ücretsiz kamplar, şehir parklarında rehberli aktiviteler ve dijital platformlarda sanal programlar (online yoga, egzersiz rehberleri vb.) yaygınlaştırılmalıdır. Otizmli bireylerde iletişim becerilerini geliştiren egzersiz temelli uygulamaların okul ve aile merkezlerinde tanıtımı yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Metin, T. C., Kesici M. ve Kodaş D. (2013). Rekreasyon Olgusuna Akademisyenlerin Yaklaşımları, Journal of Yaşar University, 30 (8): 5021-5048
- [2] Karaküçük, S. (2008). Rekreasyon: Boş Zamanları Değerlendirme. (Altıncı Baskı) Ankara: Gazi Kitabevi.
- [3] Pöllänen, S. (2009). Craft as context in therapeutic change. The Indian Journal of Occupational Therapy, 41(2), 43–47.
- [4] Hazar, A. (2014). Rekreasyon ve Animasyon, Ankara: Detay Yayıncılık.
- [5] Tel, M. ve Köksalan, B. (2008). Öğretim Üyelerinin Spor Etkinliklerinin Sosyolojik Olarak İncelenmesi: Doğu Anadolu Örneği, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 18 (1), 261-278.
- [6] Bucher, A., Richard, C., Bucher, D., (1974), Recreation for Today-s Society, New Jersey, Prentice-Hall, Inc, s:4,5,6.
- [7] Cordes, K., Ibrahim, H., (1996), Applications in Recreation and Leisure, Mosby Publishing, ss.8-48
- [8] Rebah, (2022). A History of Recreation Therapy in the VA <https://www.rehab.va.gov/prosthetics/rectherapy/history.asp> Erişim tarihi: 21.11.2022
Rekreasyon Çalışmaları ve Araştırmaları Derneği (2022). Tüzük. <https://www.rekcad.org/tuzuk/> Erişim Tarihi: 25.11.2022
- [9] Dolling, A., Nilsson, H. ve Lundell, Y. (2017). Stress recovery in forest or handicraft environments—An intervention study. Urban forestry & urban greening, 27, 162–172.
- [10] Öz Çelikbaş, E. (2019). Dışavurumcu Sanat Terapisi. Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi, 2(1), 20–37. Pöllänen, S. (2009). Craft as context in therapeutic change. The Indian Journal of Occupational Therapy, 41(2), 43–47.
- [11] Arslan, M. ve Ekren, E. (2017). Yaşlı kişilerin sağlığı ve etkinlikleri için terapi bahçeleri. Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3(2), 361–373.
- [12] Başçı, A. (2022). Rekreasyon Alanı Olarak Hobi Bahçeleri, Sorunlar ve Öneriler. E. Karaçar ve E. Erol (Ed.), Turizm ve Rekreasyon Çalışmaları içinde (ss. 55–61). İstanbul: Çizgi Kitabevi. <https://www.cizgikitabevi.com/kitap/1496-turizm-ve-rekreasyon-calismalari> adresinden erişildi.
- [13] Moxham, L., Liersch-Sumskis, S., Taylor, E., Patterson, C. ve Brighton, R. (2015). Preliminary Outcomes of a Pilot Therapeutic Recreation Camp for People with a Mental Illness. Therapeutic Recreation Journal, 49(1), 61-75.
- [14] Litwiller, F., White, C., Gallant, K. A., Gilbert, R., Hutchinson, S., Hamilton-Hinch, B. ve Lauckner, H. (2017). The benefits of recreation for the recovery and social

- inclusion of individuals with mental illness: An integrative review. *Leisure Sciences*, 39(1), 1–19.
- [15] Cirulli, F., Borgi, M., Berry, A., Francia, N. ve Alleva, E. (2011). Animal-assisted interventions as innovative tools for mental health. *Annali dell'Istituto superiore di sanità*, 47, 341–348.
- [16] Melson, G. F. (2003). Child development and the human-companion animal bond. *American behavioral scientist*, 47(1), 31–39.
- [17] Goddard, A. T. ve Gilmer, M. J. (2015). The role and impact of animals with pediatric patients. *Pediatric nursing*, 41(2), 65.
- [18] Karayağız Muslu, G. ve Conk, Z. (2011). Hayvan destekli uygulamalar ve çocuklarda kullanımı.
- [19] Yıldırım, C. (2018). Pet Terapinin Tip 1 Diyabetli Çocuklarda İnsülin Uygulaması Sırasında Oluşan Ağrıya Etkisi. İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi.
- [20] İlkın, M. (2019). Toplumsal Alanda Engelli Bireyler Ve Katıldıkları Spor Aktiviteleri. M. İlkın ve Ö. Karataş (Ed.), *Spor Bilimlerinde Güncel Çalışmalar içinde* (ss. 21–42). Ankara: Akademisyen Kitabevi.
- [21] Aşak, M. ve Kurak, K. (2019). Zihinsel Engellilerde Futbol. M. İlkın ve Ö. Karataş (Ed.), *Spor Bilimlerinde Güncel Çalışmalar içinde* (ss. 147–175). Ankara: Akademisyen Kitabevi.
- [22] Terapatik rekreasyonun temel amacı, kişinin hastalık veya kısıtlılığını ortadan kaldırmaktır. Ancak bireyin iyileşmesi, uyum sağlaması ve eski sağlığına kavuşması terapatik rekreasyonun amaçları arasındadır (Tütüncü, 2008).
- [23] Uzun, F. ve Kılınç, Z. (2020). Rekreasyon Faaliyetlerinin Engellilerde Yeri ve Önemi (Down sendromu Üzerine Nitel Çalışma). *Ulusal Spor Bilimleri Dergisi*, 4(2), 149–160. doi:10.30769/usbd.773709
- [24] Öz Çelikbaş, E. (2019). Dışavurumcu Sanat Terapisi. *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 20–37. Pöllänen, S. (2009). Craft as context in therapeutic change. *The Indian Journal of Occupational Therapy*, 41(2), 43–47.
- [25] Arslan, A. (2019). Zihinsel engelli bireylerde rekreatif etkinliklerden dramının sosyal ve motor beceri gelişimine etkisi. Konya: Necmettin Erbakan University (Turkey).
- [26] Carter M. J., Van Andel, G.E., Robb, G.M. (2003). *Therapeutic Recreation: a Practical Approach*, (3rd ed.) Prospect Heights, Ill.: Waveland Press, Inc.
- [27] Dustin J. C. (2000). “Therapeutic recreation treats depression in the elderly, *Home Health Care Services Quarterly*, 18, 2, 79-90.

- [28] Park, K., Rebecca Genoe, M., Nelson, S., Boser, D., Ostryzniuk, L., & Cripps, D. G. (2022). Advocating for therapeutic recreation: Is it just a matter of speaking up? *World Leisure Journal*, 64(4), 508–529. <https://doi.org/10.1080/16078055.2022.2099452>
- [29] Jay, E. K., Moxham, L., & Patterson, C. F. (2021). Using an arts-based approach to explore the building of social capital at a therapeutic recreation camp. *International Journal of Mental Health Nursing*, 30(1), 202-213. <https://doi.org/10.1111/inm.12856>
- [30] Banhidi, M., Daly, F. S., De Paula Azzine, E., Dieser, R. B., Hebblethwaite, S., Jones, D., Kimura, F., McKenzie, S. E., Meyer, C., & Young, M. E. M. (2013). A global therapeutic recreation discussion: An overview from Rimini, Italy. *American Journal of Recreation Therapy*, 12(4), 7-14. <https://doi.org/10.5055/ajrt.2013.0053>
- [31] Öz, F.(2010). Sağlık alanında temel kavramlar. Mattek Matbaacılık. Ankara.
- [32] Tütüncü, Ö. Rekreasyon ve Rekreasyon Terapisinin Yaşam Kalitesindeki Rolü.(2012). *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*. 23(2); 248-252.
- [33] Dülgerbaki, T. (2006). Rekreasyon Uzmanlarının Rehabilitasyon Merkezlerindeki Görevleri. , *Internet Erişim Tarihi*; 28.01.2008
- [34] Kozan, M. (2006). Rehabilitasyon Merkezlerinde Verilen Özel Eğitime Rekreasyonun Etkisi ve Gözlem Sonuçları. , *Erişim Tarihi*; 28.01.2008.
- [35] Picton, C., Fernandez, R., Moxham, L., & Patterson, C. F. (2020). Experiences of outdoor nature-based therapeutic recreation programs for persons with a mental illness: a qualitative systematic review. *JBİ evidence synthesis*, 18(9), 1820-1869. DOI: 10.11124/JBISIR-D-19-00263
- [36] Gharpure, V., Parab, S., Ryain, A., & Ghosh, A. (2024). Therapeutic Potential of Recreation on Non-Motor Symptoms in Parkinson's Disease: A Literature Review. *Advances in mind-body medicine*, 28(2), 28-32.
- [37] Rea, K. E., Quast, L. F., Stolz, M. G., & Blount, R. L. (2019). A systematic review of therapeutic recreation camp impact on families of children with chronic health conditions. *Journal of pediatric psychology*, 44(5), 542-556. DOI: 10.1093/jpepsy/jsz003
- [38] Saez, C., Nassi, L., Wright, T., Makris, U. E., Kramer, J., Bermas, B. L., ... & Bitencourt, N. (2022). Therapeutic recreation camps for youth with childhood-onset systemic lupus erythematosus: perceived psychosocial benefits. *Pediatric Rheumatology*, 20(1), 39. PMID: 35672791 PMCID: PMC9171737 DOI: 10.1186/s12969-022-00702-w
- [39] Kim, E. J., Kang, H. W., & Park, S. M. (2020). A meta-analysis on the effects of therapeutic recreation programs for the elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7367. PMID: 33050206 PMCID: PMC7600323 DOI: 10.3390/ijerph17207367

- [40] Aksoy, Y. (2020). Rekreatyonel faaliyet olarak fiziksel aktivitelerin otizmli çocuklarda sosyal incelenmesi: İletişime yönelik etkileri. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1-9.
- [41] Yarımkaya, E., İlhan, E. L., & Karasu, N. (2017). Akran aracılı uyarlanmış fiziksel aktivitelere katılan otizm spektrum bozukluğu olan bir bireyin iletişim becerilerindeki değişimlerin incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi*, 18(2), 225-252.
- [42] Çetiner, H. (2019). Sağlık Rekreatyonu Kapsamında Terapatik Rekreatyon Uygulamaları. *Journal of Recreation and Tourism Research*, 6(4), 405-411. DOI: 10.31771/jrtr.2019.42
- [43] National Therapeutic Recreation Society. (1990). Guidelines for the administration of therapeutic recreation services. Arlington, VA: The Association.

EXPLORING THE EVOLUTION OF FOOD SECURITY RESEARCH: A BIBLIOMETRIC APPROACH

Doç. Dr. MEHMET EMİN AYDEMİR

Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Şanlıurfa,
Türkiye aydemiremin23@harran.edu.tr, 05385793841

ORCID NO: 0000-0002-5849-1741

Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN

Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Şanlıurfa,
Türkiye skilicaltun@harran.edu.tr, 05468352506

ORCID NO: 0000-0002-4203-2508

ABSTRACT

Food security is a critical topic with implications for global health, socio-economic stability and environmental sustainability. This study uses bibliometric methods to analyse the academic literature on food security in order to identify key trends, influential publications and emerging areas of research in the field. By analysing a comprehensive dataset of scholarly articles from the Web of Science database, the study identifies the most cited papers, leading authors and prominent institutions contributing to food security research. Using the Web of Science database, we identified all original articles on food security between 2015 and 2024. After collecting bibliographic and citation data, keywords, citation networks and co-citations related to food security, the analysis was performed using VOSviewer software. A total of 9,677 articles were retrieved from the Web of Science database. The articles were cited a total of 75,221 times (68,655 times excluding self-citations). The year with the most citations was 2024 (35,859). The Hirsch index was 125. The leading country in terms of the number of articles published was the USA ($n = 3,655$). The most active field of research was 'Public Environmental Occupational Health' ($n = 1,789$). The most prolific publisher was Elsevier ($n = 1,846$). The journal with the most articles published was Food Security ($n: 280$). In conclusion, this bibliometric analysis not only provides a historical overview of the development of the field, but also offers valuable insights into future research directions and policy implications for achieving global food security.

Keywords: Bibliometrics, Food Security, Food Insecurity

1. INTRODUCTION

Food security continues to be one of the most pressing global challenges, with implications for public health, economic stability and the sustainability of the environment (1). Food security is defined by the United Nations as the ability of all people to have access to sufficient, safe and nutritious food at all times (2). It is influenced by factors such as agricultural productivity, socio-economic disparities, climate change and political stability (3, 4). Over the past decades, research on food security has developed as a response to an increasingly complex and interdependent world, covering topics from food production systems and access to the social and political dimensions of food distribution and consumption (5, 6, 7, 8).

Food security is becoming increasingly urgent due to population growth, urbanisation and climate-related disruptions (9). However, despite the volume of studies, developing research themes, identifying key focus areas and recognising influential contributions in the field remain underexplored. Bibliometric analysis offers valuable insights into the evolution of food security research, as it is a powerful tool for examining scientific literature through quantitative measures (10). Bibliometrics provides a comprehensive understanding of how food security research has evolved and highlights emerging areas of interest that could shape future research agendas by analysing trends, themes and influential studies.

The aim of this study is a bibliometric analysis of food security research, a systematic examination of the academic literature from a global perspective. Through this analysis, we seek to identify key areas of research, highlight trends and shifts in focus, and identify key contributors to the field. Ultimately, this article provides insights that can inform policy decisions, academic pursuits, and practical applications in global food systems, and offers a clearer roadmap for future food security research.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Research Design and Search Methodology

A bibliographic review, which is a retrospective study, was performed using the bibliometric analysis method (11). The Web of Science Core Collection (WoSCC) electronic database, which provides a comprehensive and consistent collection of exportable data and is widely used by scientists, was used to construct the literature dataset. As the WoSCC has a long history as a trusted source for biomedical research and provides a strong and reliable basis for research, it was chosen as the main data source for the study. Its ability to provide thorough citation data was highlighted.

2.2. Data Collection.

The search terms for data retrieval were “food security” OR “food insecurity” (title). To eliminate bias and to account for the frequent updates of the WoSCC database, the literature search was conducted in a single day (11 February 2025). The search was conducted from 2015 to 11 February 2025.

2.2.1 Standards for Study Selection

A total of 13,729 articles were identified by a thorough search of the WoSCC using the terms food security OR food insecurity (title). The search was then refined by excluding review articles, case reports, editorials, notes, conference summaries, proceedings, letters, book chapters, and proofs from the document type tab, yielding 9,787 records. The year 2025 was then removed from the analysis due to a lack of comprehensive data, resulting in a total of 9,677 results. The titles and abstracts were then checked, giving a total of 9,677 results.

2.2.2. Data collection

Record titles, years of publication, names of journals in which the research was published, names of authors, keywords, names of institutions with which the authors were affiliated and countries of origin were considered essential and extracted in plain text format. The total number of articles and the total number of citations retrieved from the WoSCC database were taken into account in the analysis. The WoS publications were saved as a .txt file and then exported into Microsoft Office Excel 2019 (Los Angeles, CA, USA) for further analysis.

2.3. Network analytics

This bibliometric study used VOSviewer (version 1.6.10, Leiden University, The Netherlands) to import data and identify trends, collaborations and notable findings. The software was also used to collect and review data on authorship, links, keywords, citations and thematic words. The programme assisted in the analysis of keywords, co-occurrences, citations, co-authorship and co-citations.

3.RESULTS

During the study period from 2015 to 2024, publications were produced in four languages. The most common language used was English (Table 1).

Table 1. The languages in which articles were published.

Languages	Record Count	% of 9.677
English	9.427	97.417%
Spanish	107	1.106%
Portuguese	72	0.744%
Russian	31	0.320%
French	21	0.217%
German	3	0.031%
Italian	3	0.031%
Indonesian	2	0.021%
Malay	2	0.021%
Turkish	2	0.021%
Ukrainian	2	0.021%
Danish	1	0.010%
Japanese	1	0.010%
Norwegian	1	0.010%
Slovak	1	0.010%
Welsh	1	0.010%

A total of 183 countries/regions have been published in the period from 2015 to 2024. The ten countries with the most publications are shown in Figure 1.

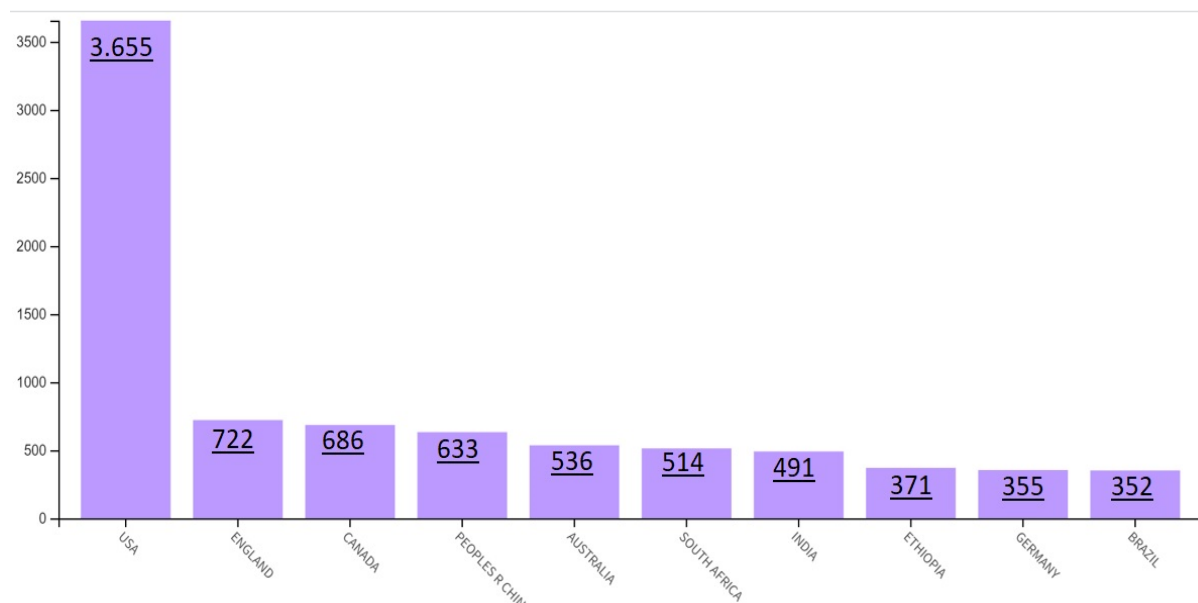


Figure 1. Most productive countries

Over the course of the study, which ranged from 2015 to 2024, 129 independent research areas were discovered. Table 2 shows the most intensively explored areas.

Tablo 2. Most active research areas

Research Areas	Record Count	% of 9.677
Public Environmental Occupational Health	1.789	18.487%
Environmental Sciences Ecology	1.531	15.821%
Nutrition Dietetics	1.349	13.940%
Agriculture	1.29	13.331%
Food Science Technology	1.112	11.491%
Science Technology Other Topics	967	9.993%
Business Economics	960	9.920%
Development Studies	383	3.958%
Social Sciences Other Topics	271	2.800%
General Internal Medicine	225	2.325%

Showing first 10 out entries

In the years between 2015 and 2024, a total of 7.763 affiliations have been published. Figure 2 presents the affiliations of the ten journals with the highest number of publications.



Figure 2. Most prolific affiliations

Between 2015 and 2024, ten entries were detected, representing 664 different publishers. Table 3 lists the most prolific publishers.

Tablo 3. Most prolific publishers

Publishers	Record Count	% of 9.677
Elsevier	1.846	19.076%
Springer Nature	1.387	14.333%
Taylor & Francis	954	9.858%
Mdpi	884	9.135%
Wiley	701	7.244%
Sage	328	3.389%
Cambridge Univ Press	326	3.369%
Frontiers Media Sa	270	2.790%
Emerald Group Publishing	190	1.963%
Oxford Univ Press	165	1.705%

Showing first 10 out entries

A total of 2.643 articles have been published on the topic. Table 4 includes the 10 journals with the most publications.

Tablo 4. Journals publishing the most articles

Journals	Record Count	% of 9.677
Food Security	280	2.893%
Sustainability	261	2.697%
Nutrients	206	2.129%
Public Health Nutrition	203	2.098%
Journal of Hunger Environmental Nutrition	158	1.633%
Plos One	154	1.591%
Frontiers in Sustainable Food Systems	132	1.364%
International Journal of Environmental Research and Public Health	127	1.312%
Bmc Public Health	123	1.271%
Global Food Security Agriculture Policy Economic and Environment	113	1.168%

Showing 10 out of entries

The evaluated articles generated a total of 75,221 citations (of which 68,655 were self-citations), giving an average h-index of 125. Highest number of citations (35,859) and publications (1,460) was found in 2024 (Figure 3).

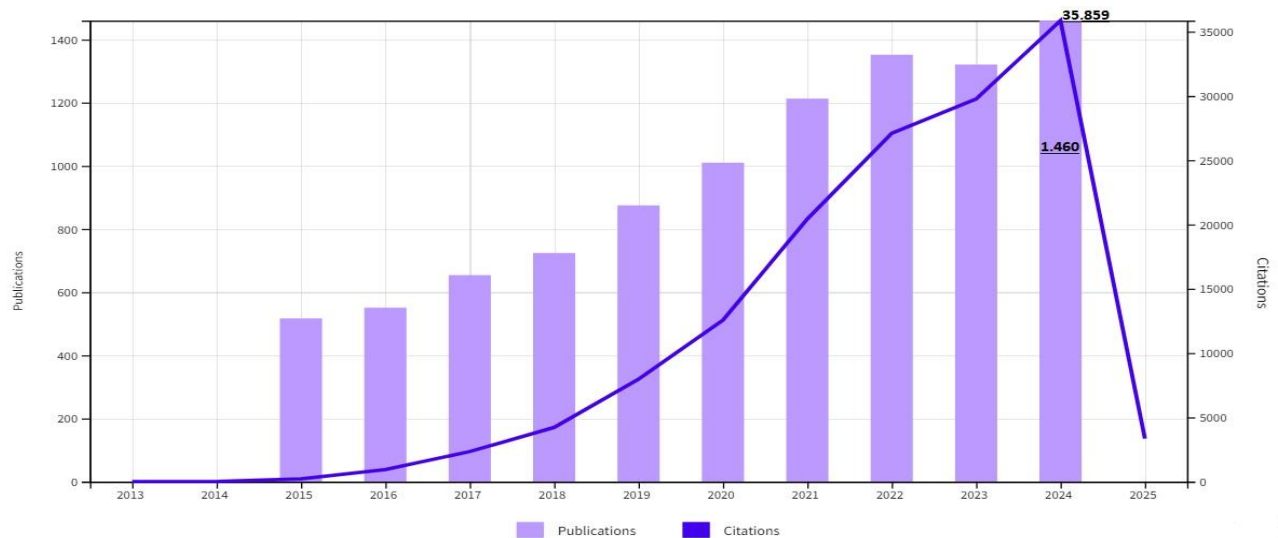


Figure 3. Publication and citation frequency

As shown in Figure 4, our bibliometric study has revealed the most frequently used keywords. It was found that the font size of the keywords was closely proportional to the frequency with which they were repeated in the articles.

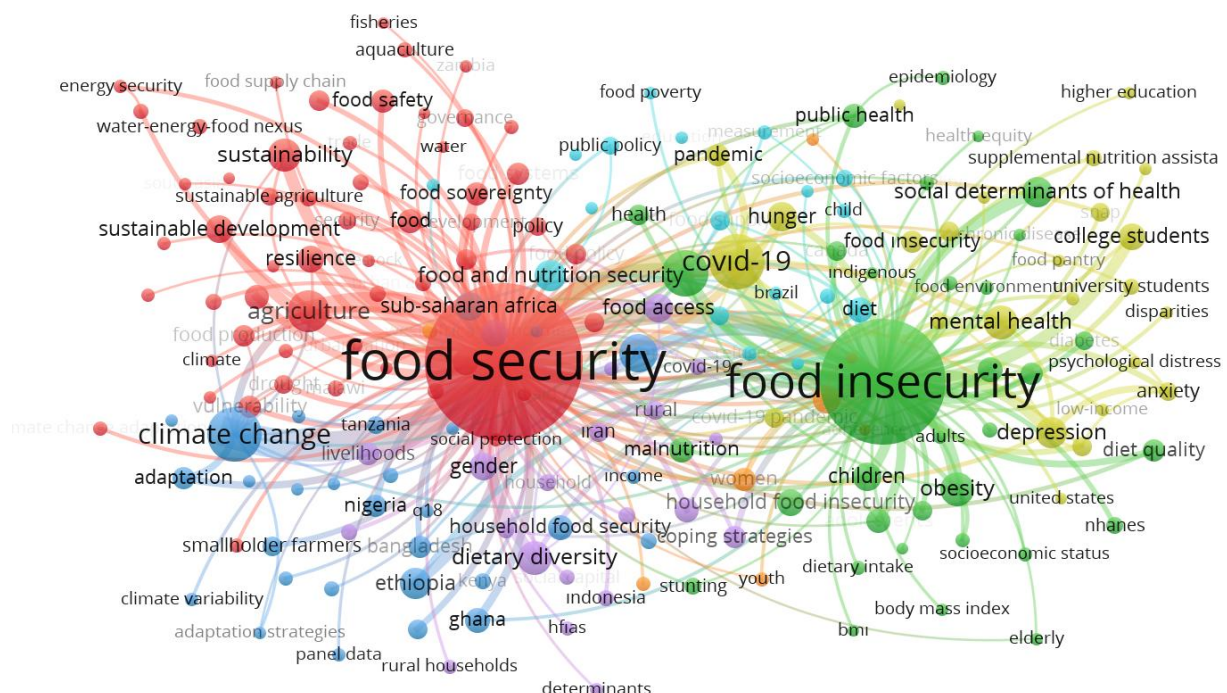


Figure 4. Keyword visualization map of articles

The size of the bubbles was proportional to the amount of research done in each country in the network representation of bibliographic coupling between nations. The width of the lines connecting the countries indicates the degree to which they are linked, while the colours of the lines indicate the cluster to which each country is assigned. For this study, we have included at least one document and one citation from each country (Figure 5).

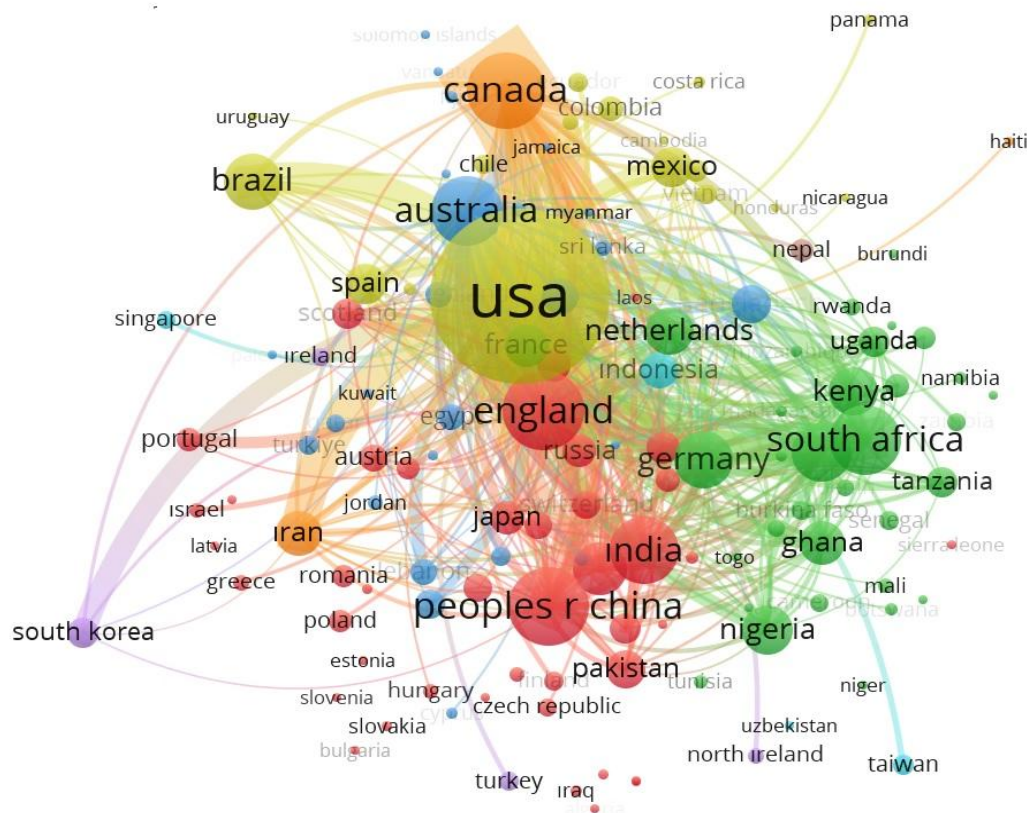


Figure 5. Network visualisation of bibliographic coupling between countries

The relationship between authors with at least five publications and at least five citations is shown in Figure 6.



Figure 6. The relationships between authors

4. DISCUSSION

This bibliometric analysis examines the changing landscape of food security research over the period 2015-2024. There has been a significant increase in the volume of publications and citations, with 2024 being a particularly notable year, suggesting an increase in global attention to food security, possibly in response to the challenges of climate change, population growth and the COVID-19 pandemic as seen in the literature (12, 13). In line with its prominent role in global food policy and research institutions, the United States led the field in terms of publication output. However, a growing global recognition of food security issues, particularly in regions with high levels of food insecurity, is indicated by the high number of citations from countries such as China and India (14, 15). China and India, both developing nations with large populations and economies, have their limitations (16).

The most active research areas identified were public environmental and occupational health, environmental sciences and ecology, with a strong focus on nutrition and food systems. This suggests that food security is increasingly being studied in a multidisciplinary context, encompassing not only agricultural production but also environmental sustainability, health and socio-economic development. The prominent role of journals such as Food Security and Sustainability highlights the importance of publishing in specialised journals to reach a wider audience of stakeholders, from academics to policy makers and international organisations.

Furthermore, the use of VOSviewer to analyse keywords and citation networks revealed the key themes shaping food security research, such as adaptation to climate change, resilience of food systems and the integration of food security into sustainable development goals. The evolution of the research shows a clear shift from the traditional focus on food production and access to food to a more holistic approach that includes the environmental and social dimensions of food security. This is in line with a wider shift in the academic and policy landscape, where food security is no longer seen as an exclusively agricultural challenge, but as a complex, interrelated issue that requires collaborative, interdisciplinary solutions.

Finally, this bibliometric analysis highlights the need for continued global collaboration. Countries with strong research outputs, such as the US and those in Europe, need to foster partnerships with emerging research centres in Asia, Africa and Latin America to create a more comprehensive, globally coordinated effort. The findings of this study are critical in guiding future research, helping researchers identify emerging trends, and focusing attention on key policy and sustainability challenges in food security. As the research field evolves, it will be important to address gaps, particularly in the areas of socio-economic inequalities, access to nutritious food, and the impact of climate change on food systems.

5. CONCLUSION

This bibliometric analysis provides valuable insights into the evolving field of food security research from 2015 to 2024. Influenced by factors such as climate change, socio-economic disparities and political instability, the significant increase in publications and citations reflects the growing global attention to food security issues. The study highlights key research areas such as environmental health, food system resilience and how food security intersects with sustainable development, suggesting a shift towards more interdisciplinary approaches. Going forward, fostering global collaboration and focusing on emerging challenges will be essential to address the complex and interconnected nature of food security and ensure a sustainable and equitable food system for the future.

Limitations

A limitation of this study is its reliance on the Web of Science database, which may have excluded some relevant articles from other databases or grey literature, and thus may have omitted important perspectives on food security research. The exclusion of review articles, case reports and other document types may have resulted in the under-representation of certain

research trends or reviews that could complement primary research findings. In addition, the study only includes publications in English and a few other languages, which may exclude important contributions from non-English speaking regions. The use of citation counts and h-indexes as key metrics may not fully capture the qualitative impact of research. These metrics tend to favour older, widely cited studies over newer, innovative work. Finally, the analysis period of 2015 to 2024 limits the study's ability to provide a comprehensive view of the long-term development of the field, as it may not fully account for historical shifts in food security research.

6. REFERENCES

1. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818.
2. Pérez-Escamilla, R. (2017). Food security and the 2015–2030 sustainable development goals: From human to planetary health. *Current developments in nutrition*, 1(7), e000513.
3. Grote, U. (2014). Can we improve global food security? A socio-economic and political perspective. *Food Security*, 6, 187-200.
4. Fonta, W., Edame, G., Anam, B. E., & Duru, E. J. C. (2011). Climate change, food security and agricultural productivity in Africa: Issues and policy directions.
5. Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19703-19708.
6. Ahmed, M., Asim, M., Ahmad, S., & Aslam, M. (2023). Climate change, agricultural productivity, and food security. In *Global agricultural production: Resilience to climate change* (pp. 31-72). Cham: Springer International Publishing.
7. Clapp, J., Moseley, W. G., Burlingame, B., & Termine, P. (2022). The case for a six-dimensional food security framework. *Food Policy*, 106, 102164.
8. Giroux, S., Blekking, J., Waldman, K., Resnick, D., & Fobi, D. (2021). Informal vendors and food systems planning in an emerging African city. *Food Policy*, 103, 101997.
9. Farooq, M. S., Uzair, M., Raza, A., Habib, M., Xu, Y., Yousuf, M., ... & Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the research gaps to alleviate the negative impacts of climate change on food security: a review. *Frontiers in plant science*, 13, 927535.

10. Xie, H., Wen, Y., Choi, Y., & Zhang, X. (2021). Global trends on food security research: A bibliometric analysis. *Land*, 10(2), 119.
11. Zhang, J. Z., Srivastava, P. R., Sharma, D., & Eachempati, P. (2021). Big data analytics and machine learning: A retrospective overview and bibliometric analysis. *Expert Systems with Applications*, 184, 115561.
12. Louie, S., Shi, Y., & Allman-Farinelli, M. (2022). The effects of the COVID-19 pandemic on food security in Australia: a scoping review. *Nutrition & Dietetics*, 79(1), 28-47.
13. Éliás, B. A., & Jambor, A. (2021). Food security and COVID-19: a systematic review of the first-year experience. *Sustainability*, 13(9), 5294.
14. Lee, C. C., Zeng, M., & Luo, K. (2024). How does climate change affect food security? Evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review*, 104, 107324.
15. Jaacks, L. M., Veluguri, D., Serupally, R., Roy, A., Prabhakaran, P., & Ramanjaneyulu, G. V. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on agricultural production, livelihoods, and food security in India: baseline results of a phone survey. *Food security*, 13(5), 1323-1339.

BIBLIOMETRIC INSIGHTS INTO MILK CONSUMPTION: TRENDS, KEY RESEARCH AREAS, AND EMERGING THEMES

Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN

Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Şanlıurfa,
Türkiye skilicaltun@harran.edu.tr, 05468352506

ORCID NO: 0000-0002-4203-2508

Doç. Dr. MEHMET EMİN AYDEMİR

Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Şanlıurfa,
Türkiye aydemiremin23@harran.edu.tr, 05385793841

ORCID NO: 0000-0002-5849-1741

Abstract

Milk consumption is a complex and widely studied topic with significant implications for global health, nutrition and the dairy industry. This bibliometric analysis examines the extensive literature on milk consumption to map the evolution of research trends, identify key themes and spotlight influential studies. Using the Web of Science database, we identified all original articles on milk consumption between 2015 and 2024. After collecting bibliographic and citation data, keywords, citation networks and co-citations related to milk consumption, the analysis was performed using VOSviewer software. A total of 552 articles were retrieved from the Web of Science database. The articles were cited a total of 6,459 times (6,305 times excluding self-citations). The year with the most citations was 2024 (1.354). The Hirsch index was 41. The leading country in terms of number of articles published was the USA (n = 100). The most active field of research was "nutrition and dietetics" (n = 162). The most prolific publisher was Elsevier (n = 110). The journal with the most articles published was "nutrients" (n: 29). In conclusion, this bibliometric study provides a comprehensive overview of the research landscape on milk consumption, providing valuable insights into current trends and spotlighting areas for future research.

Keywords: Milk consumption, bibliometric analysis, dietary patterns, dairy production

1. INTRODUCTION

Milk, a cornerstone of the global food supply, is recognised for its rich nutritional profile and its importance in the diets of populations worldwide. As a source of essential nutrients such as calcium, protein and vitamins, milk plays a crucial role in promoting health and well-being, particularly in developing regions where it serves as a primary source of food (1). Beyond its nutritional value, however, milk consumption is linked to a wide range of economic, cultural and environmental factors that vary across regions and societies (2).

In recent decades, significant shifts in milk consumption patterns have emerged, influenced by various factors including dietary preferences, health perceptions, sustainability concerns and emerging alternatives such as plant-based milk (3). Understanding these changes has led to a growing body of research that focuses on the implications of milk consumption from a variety of perspectives-public health, consumer behaviour, agricultural practices and environmental sustainability (4). Despite the expansive nature of this field, a comprehensive overview of the research landscape, particularly through a bibliometric lens, remains scarce.

Bibliometrics, the quantitative analysis of scientific publications, provides a powerful tool for mapping trends, identifying key areas of research and uncovering emerging themes within a given field (5). By analysing the scientific output related to milk consumption, this study aims to provide a comprehensive insight into the evolving scientific discourse on this topic. Through a bibliometric analysis, we are able to identify the most influential papers, the leading authors, the dominant research themes and the geographical trends in the research on milk consumption.

This article aims to highlight the following trends in milk consumption research. It highlights key developments and provides a framework for understanding future directions in this critical area. The findings aim to contribute to both academic knowledge and practical applications, offering valuable insights to researchers, policymakers, and industry stakeholders involved in the food science and dairy sectors.

2. MATERIALS AND METHODS

2. 1. Research Design and Search Methodology

The bibliometric analysis method was used to conduct a bibliographic review, which is a retrospective study (5). The Web of Science Core Collection (WoSCC) electronic database, which provides a comprehensive and consistent collection of exportable data and is widely

used by scientists, was used to construct the literature dataset. As the WoSCC has a long history as a trusted source for biomedical research and provides a strong and reliable basis for research, it was chosen as the main data source for the study. Its ability to provide thorough citation data was highlighted.

2. 2. Data Collection.

Milk consumption OR Raw milk consumption OR Cow milk consumption OR Heated milk consumption (Title) were used as search terms to retrieve data. To eliminate bias and to account for the frequent updates of the WoSCC database, the literature search was conducted in a single day (11 February 2025). The search was conducted between 2015 and 11 February 2025.

2.2.1 Standards for Study Selection

A thorough search of WoSCC using the terms milk consumption OR raw milk consumption OR cow's milk consumption OR heated milk consumption (title) yielded a total of 744 items. The search was then narrowed by excluding review articles, case reports, editorial material, notes, meeting abstracts, proceedings, letters, book chapters and corrections from the document type tab, resulting in 554 hits. The year 2025 was then excluded from the analysis due to a lack of comprehensive data, resulting in a total of 552 results. The titles and abstracts were then reviewed, giving a total of 552 results, as shown in Table 1.

Table 1. Search Algorithm

Search Criteria	Result Count
Initial search	744
After selecting the document type	554
After excluding articles published in 2024	552

2.2.2. Data collection.

The data described as essential and extracted in plain text format included record titles, publication years, names of journals in which the research was published, author names, keywords, names of institutions with which the authors were affiliated and countries of origin.

The total number of articles and citations retrieved from the WoSCC database was included in the analysis. The WoS publications were saved as TXT files and then exported to Microsoft Office Excel 2019 (Los Angeles, CA, USA) for further analysis.

2.3. Network analytics.

In this bibliometric study, VOSviewer (version 1.6.10, Leiden University, The Netherlands) was used to import data and identify future trends, collaborative networks and notable findings. The software was also used to collect and review data on authorship, links, keywords, citations and thematic words. The programme assisted in the analysis of keywords, co-occurrences, citations, co-authorship and co-citations.

3. RESULTS

Publications in four languages were created during the study period, which lasted from 2015 to 2024. The most commonly used language was English (Table 2).

Table 2. The languages of articles

Languages	Record Count	% of 552
English	517	93.659%
Spanish	14	2.536%
German	10	1.812%
French	4	0.725%
Portuguese	2	0.362%
Turkish	2	0.362%
Italian	1	0.181%
Polish	1	0.181%
Ukrainian	1	0.181%

A total of 88 countries/regions were published between 2015 and 2024. Figure 2 shows the ten countries with the most publications.

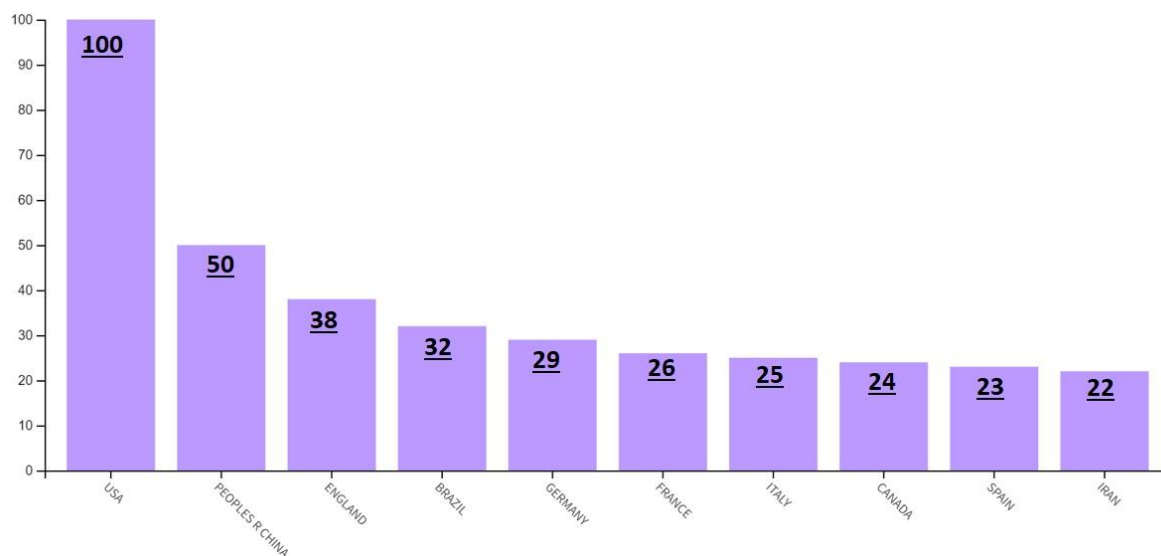


Figure 1. Most productive countries

Over the course of the study, which ranged from 2015 to 2024, 49 independent research areas were discovered. Table 3 shows the most intensively explored areas.

Tablo 3. Most active research areas

Research Areas	Record Count	% of 552
Nutrition Dietetics	162	29.348%
Food Science Technology	114	20.652%
Agriculture	77	13.949%
Public Environmental Occupational Health	52	9.420%
Environmental Sciences Ecology	29	5.254%
Pediatrics	29	5.254%
Science Technology Other Topics	29	5.254%
Business Economics	18	3.261%
Infectious Diseases	16	2.899%
Microbiology	16	2.899%

Showing first 10 out entries

In the years between 2015 and 2024, a total of 1.171 affiliations have been published. Figure 2 presents the affiliations of the ten journals with the highest number of publications.



Figure 2. Most prolific affiliations

Between 2015 and 2024, ten entries were detected, representing 144 different publishers. Figure 3 lists the most prolific publishers.

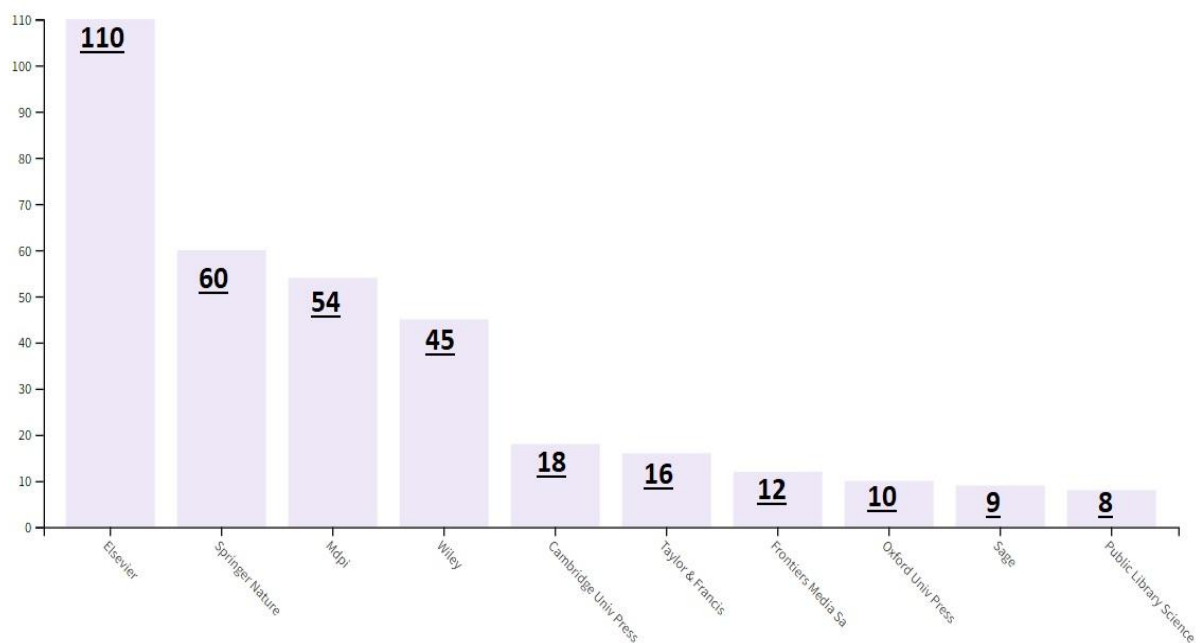


Figure 3. Most prolific publishers

A total of 314 articles have been published on the topic. Table 4 includes the 10 journals with the most publications.

Tablo 4. Top ten journals

Journals	Record Count	% of 552
Nutrients	29	5.254%
Journal of Dairy Science	14	2.536%
Sustainability	9	1.630%
European Journal of Nutrition	8	1.449%
Food Control	8	1.449%
Plos One	8	1.449%
British Journal of Nutrition	7	1.268%
Ernahrungs Umschau	7	1.268%
Journal of Nutrition	7	1.268%
American Journal of Clinical Nutrition	6	1.087%

Showing 10 out of entries

The articles evaluated yielded a total of 6,465 citations (6.311 of which were self-citations), for an average h-index of 41. It is notable that 2019 and 2024 had the greatest number of publications (68), while the biggest number of citations were made in 2024 (1.356). (Figure 4).

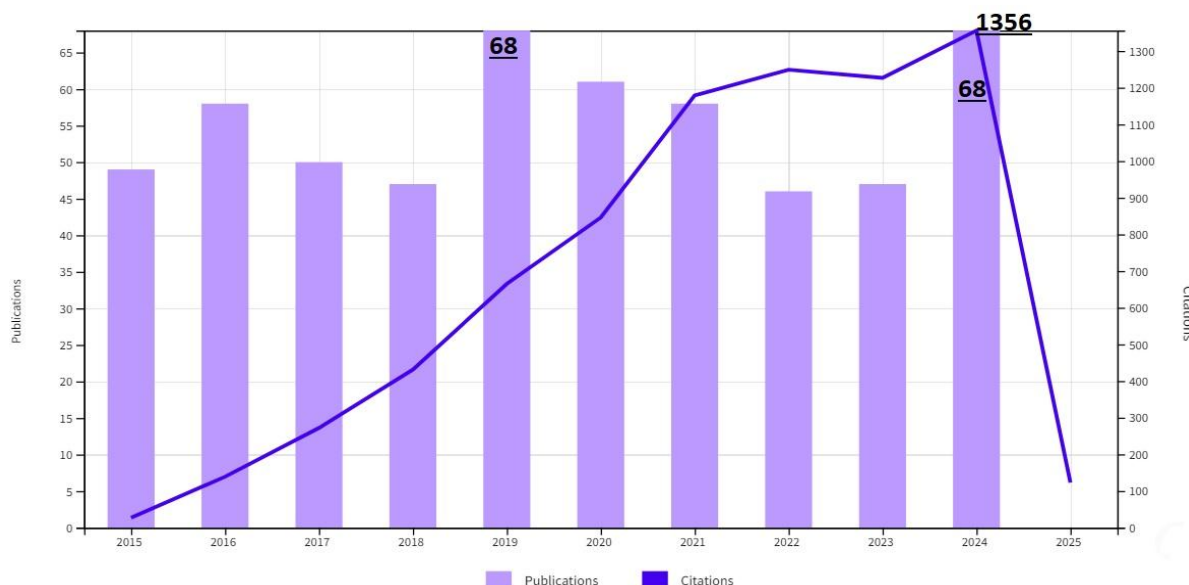


Figure 4. Publication and citation frequency

Our bibliometric study revealed the most frequently used keywords, as shown in Figure 5. The font size of the keywords was found to be closely proportional to their frequency of occurrence in the articles.



Figure 5. Keyword visualization

In the network representation of bibliographic coupling between nations, the size of the bubbles was proportional to the volume of research conducted in each country. The width of the lines connecting countries indicates the degree of their coupling, while the colours of the lines

indicate the cluster to which each country was assigned. For this study, we included at least one document and one citation from each country (Figure 6).

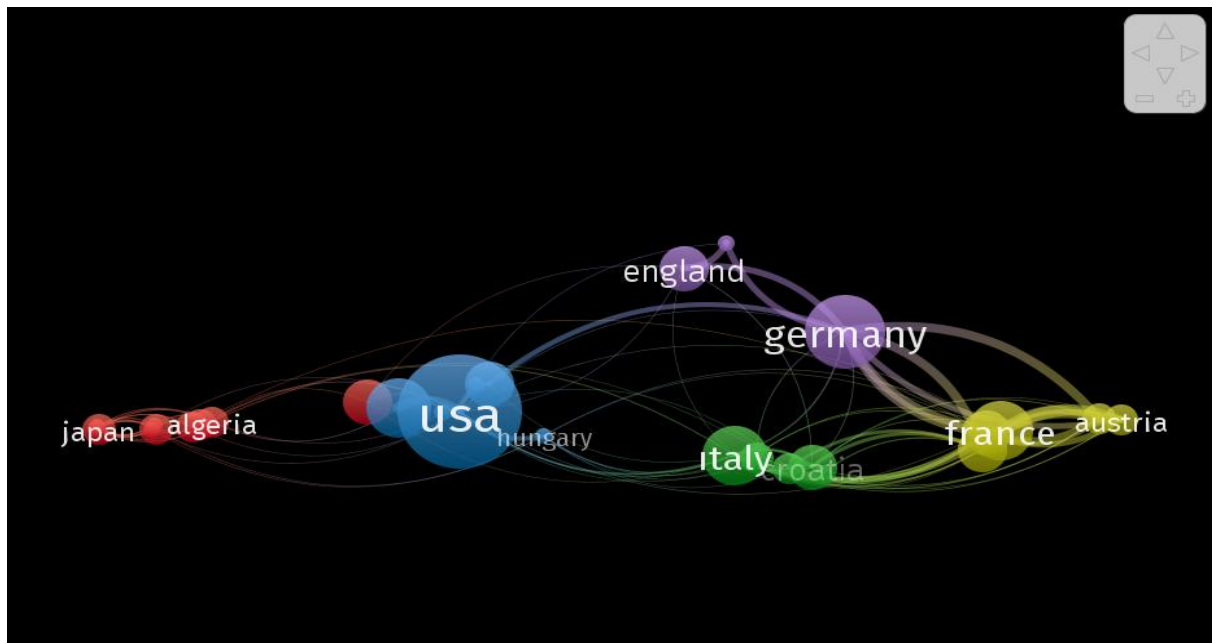


Figure 6. Network visualisation of countries

The associations between authors with at least three citations are shown in Figure 7.

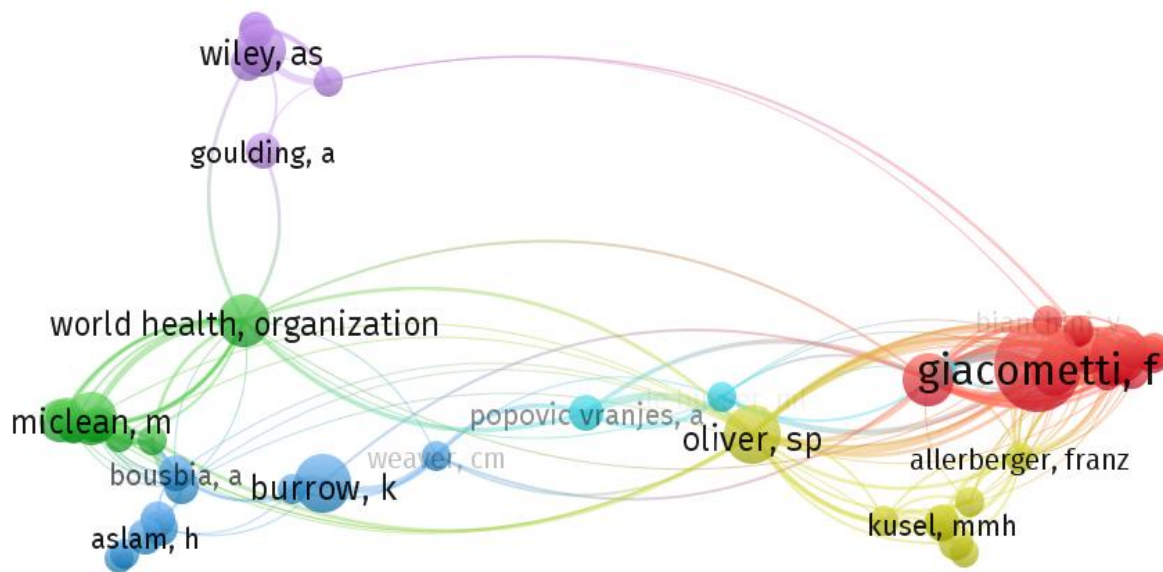


Figure 7. Visualisation of author relationships

4. DISCUSSION

This bibliometric analysis provides a detailed overview of the research landscape on dairy consumption over the past decade (2015–2024), highlighting key trends, influential articles, and emerging themes. The steady increase in the number of publications, particularly in 2019 and 2024 following the pandemic, suggests an increased focus on dairy consumption, likely driven by increasing global health concerns and the rise of alternative diets. The year 2024 saw the highest number of citations (1,354), highlighting the importance of contemporary research in shaping the future directions of dairy consumption studies. This increase in citations may reflect increasing attention to topics such as the sustainability of dairy farming, the health benefits of milk, and the shift in consumer preferences toward plant-based options.

The United States emerged as the leading country in terms of research output, publishing 100 articles; this trend can be attributed to its robust academic infrastructure and the importance of dairy-related research in the agricultural and public health sectors (6). However, other countries with significant dairy industries, such as the Netherlands, Australia, and New Zealand, have also contributed significantly to the body of research. The global nature of milk consumption research, covering 88 countries, highlights the universal importance of the topic, given the diversity of dietary habits and economies.

The most productive area of research was nutrition and dietetics (29.3%), indicating a significant focus on the health aspects of milk consumption. In this area, studies have largely focused on the role of milk in bone health, weight management and the nutrient profile, particularly in terms of calcium, protein and vitamins (7, 8, 9, 10, 11). This is in line with ongoing public health discussions about the importance of dairy products in achieving optimum nutrition, particularly in developing countries (12, 13).

In contrast, environmental and sustainability concerns of milk production, while present, accounted for a smaller proportion of the research such as Singh et al., 2024 (14). However, this is likely to increase in the coming years as more attention is paid to the environmental impact of milk production. As sustainability becomes a critical factor in global food systems, future studies may increasingly examine the carbon footprint of milk, the environmental impact of dairy farming practices, and the adoption of plant-based milk alternatives as environmentally friendly substitutes (15).

The interdisciplinary nature of milk consumption research is reflected in the large number of articles published in journals such as *Nutrients*, *Journal of Dairy Science*, and *Sustainability*. These journals cover areas ranging from nutritional science to environmental sustainability, and demonstrate the broad interest in milk consumption across academic disciplines. Elsevier, the most prolific publisher in the dataset, plays a significant role in disseminating research in food science and nutrition, highlighting its influence in shaping academic work on milk.

The specific focus on nutrition and dietetics highlights the central role of nutrients in public health debates, particularly in relation to dietary guidelines and disease prevention strategies. The prominence of this journal alongside other journals focusing on food science, health, and sustainability demonstrates the interdisciplinary approach to studying milk consumption.

Visualization of cross-country bibliographic links revealed a global network of researchers actively involved in milk consumption research. Strong links were found between countries such as the United States, the United Kingdom, and several European countries, emphasizing international collaboration in milk-related studies. This interdisciplinary studies suggest that milk consumption research is not only influenced by local concerns, but also shapes cross-border academic collaboration, particularly in addressing global challenges such as food security, sustainability, and public health.

Interestingly, while countries such as the United States and the United Kingdom lead in terms of the number of publications, emerging economies, particularly in Asia and Latin America, contribute an increasing number of studies. This trend may reflect the growing middle class countries and changing diets in these regions where milk consumption is increasing, as well as the increasing awareness of the health and environmental aspects of milk production.

5. CONCLUSION

The results of this study highlight the importance of continued interdisciplinary research to address the complex challenges posed by changing dietary patterns, consumer preferences and environmental concerns. Future research should focus on the sustainability of dairy production, the health benefits and harms of traditional versus plant-derived milk, and the socio-cultural factors that influence milk consumption in different regions. By providing a clearer picture of global research trends, this bibliometric analysis serves as a valuable tool for researchers, policy makers and industry stakeholders to guide future studies and strategic decisions in the dairy and food sciences.

Limitations

This study is limited by relying on the Web of Science Core Collection, which potentially excludes relevant research that exists in other databases, such as Scopus or Google Scholar. The focus on English-language publications may overlook important studies published in other languages, leading to language bias. In addition, the exclusion of non-original articles, such as reviews and editorials, may have missed important findings that synthesise the research landscape. Finally, the study period (2015-2024) excluded the most recent work from 2025, limiting the analysis of the latest emerging trends.

6. REFERENCES

1. Nagpal, R., Behare, P. V., Kumar, M., Mohania, D., Yadav, M., Jain, S., ... & Yadav, H. (2012). Milk, milk products, and disease free health: an updated overview. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(4), 321-333.
2. Wiley, A. S. (2014). *Cultures of milk: The biology and meaning of dairy products in the United States and India*. Harvard University Press.
3. Sharma, N., Yeasmen, N., Dube, L., & Orsat, V. (2024). Rise of Plant-Based Beverages: A Consumer-Driven Perspective. *Food Reviews International*, 1-27.

4. Sridhar, K., Bouhallab, S., Croguennec, T., Renard, D., & Lechevalier, V. (2023). Recent trends in design of healthier plant-based alternatives: Nutritional profile, gastrointestinal digestion, and consumer perception. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(30), 10483-10498.
5. Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.
6. Alston, J. M., & Pardey, P. G. (2014). Agriculture in the global economy. *Journal of Economic Perspectives*, 28(1), 121-146.
7. Pereira, P. C. (2014). Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition*, 30(6), 619-627.
8. Scholz-Ahrens, K. E., Ahrens, F., & Barth, C. A. (2020). Nutritional and health attributes of milk and milk imitations. *European journal of nutrition*, 59, 19-34.
9. Huth, P. J., DiRienzo, D. B., & Miller, G. D. (2006). Major scientific advances with dairy foods in nutrition and health. *Journal of dairy science*, 89(4), 1207-1221.
10. Zemel, M. B. (2004). Role of calcium and dairy products in energy partitioning and weight management. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 907S-912S.
11. Yackobovitch-Gavan, M., Phillip, M., & Gat-Yablonski, G. (2017). How milk and its proteins affect growth, bone health, and weight. *Hormone research in paediatrics*, 88(1), 63-69.
12. Sharma, M., & Shelly, M. (2024). Significance of Protein Metabolism and Other Factors in Milk Production in Dairy Animals. In *th Souvenir for 4 National Conference 2024* (Vol. 2050, p. 81).
13. Malik, M., Jan, Y., Kaur, J., Bashir, O., & Panda, B. P. (2024). Milk as a Functional Food. In *Functional Foods and Nutraceuticals: Chemistry, Health Benefits and the Way Forward* (pp. 287-304). Cham: Springer International Publishing.
14. Singh, A. B., Bhakar, V., Gaurav, G., Khandelwal, C., Sarkar, P., Singh, H., & Dangayach, G. S. (2024). Environmental sustainability of milk production: a comparative environmental impact analysis and sustainability evaluation. *Frontiers in Sustainability*, 5, 1352572.

15. Khanpit, V., Viswanathan, S., & Hinrichsen, O. (2024). Environmental impact of animal milk vs plant-based milks: Critical review. *Journal of Cleaner Production*, 141703.

SEEDLING QUALITY IN Mediterranean Cypress (*Cupressus sempervirens* L.)

Prof. Dr. Nebi BİLİR

Isparta University of Applied Sciences,

nebibilir@isparta.edu.tr 0000-0001-9911-4304

ABSTRACT

Seedling height (SH) and root-collar diameter (RCD) were examined in 2+0 container seedlings grown in Antalya Forest Nursery in Mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens* L.). Seedling morphology and quality classes of Turkish Standard Institute (TSI), and sturdiness index ($SI=SH/RCD$) were examined in this study to contribute nursery, afforestation and other forestry practices for the species.

Averages of seedling height and root-collar diameter were 101.4 cm and 14.7 mm, respectively, while seedlings showed large differences for the characteristics. Seedling height was between 79 cm and 126 cm, and root-collar diameter ranged from 9 mm to 21 mm.

All seedlings were in high quality for both seedling height ($40\text{cm} \leq SH$) and root-collar diameter ($RCD \geq 2\text{ mm}$) according to quality classes of TSI. 94.7% of the seedlings were in cull ($SI > 60$) and 5.3% in second class ($50 < SI < 60$) according to sturdiness index. Positive and significant ($p \leq 0.05$) relation was estimated between seedling height and root-collar diameter based on results of correlation analysis.

Keywords: Diameter, height, morphology, nursery.

1. INTRODUCTION

Mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens* L.) which is native tree species in Türkiye. Mediterranean cypress has two varieties (*C. sempervirens* L. var. *horizontalis* (Mill.) Gord.) and (*C. sempervirens* L. var. *pyramidalis* Nym.) [1]. Mediterranean cypress occupies at Taurus mountains and western part of Turkey up to 1800 m. (Figure 1) [1,2,3]. It grows up to 43 m height, more than 2 m diameter at breast height and 1030 years [4]. While many advantages and different utilizations of the species [1,2,5], limited studies were carried out on seedling characteristics and nursery practices of the species [6,7,8,9]. Height, root-collar diameter and sturdiness index on 2+0 container seedlings of Mediterranean cypress grown at Antalya Forest Nursery were examined based on seedling morphology and quality of the species to contribute seed technology, nursery and afforestation practices.

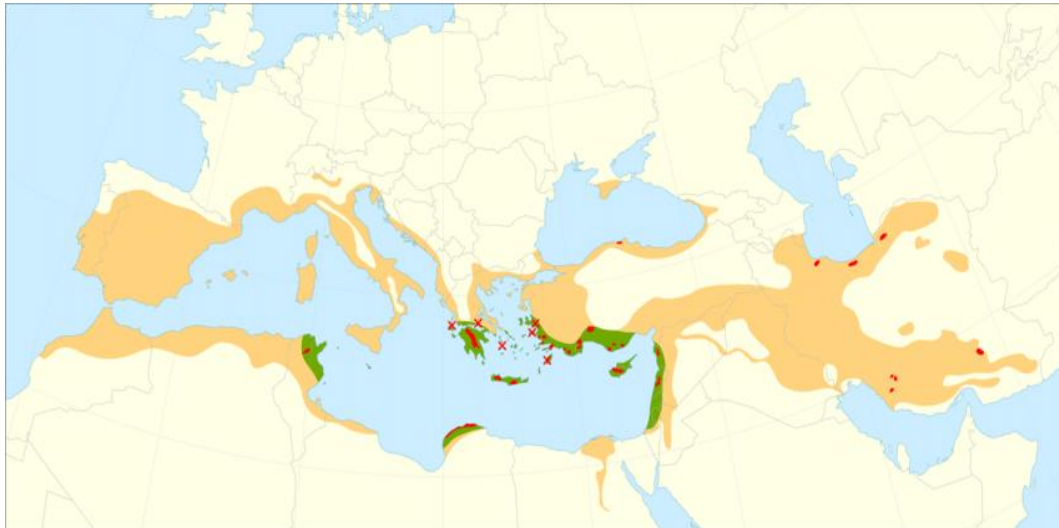


Figure 1. Natural distributions of Mediterranean cypresses

2. MATERIAL AND METHOD

Seedling height (**SH**) and root-collar diameter (**RCD**) were studied on 150 individuals chosen randomly from each 2+0 container seedlings (Figure 2) grown at Antalya Forest Nursery.



Figure 2. Sampled seedlings in the study

Sampled seedlings were classified according to the quality classes of Turkish Standard Institute (TSI) [10] (Table 1).

Table 1. Seedling quality classes of Turkish Standard Institute for the species

Quality classes	Seedling height (SH, cm)	Root collar diameter (RCD, mm)	SH+RCD
First class	40≤	2≤	40≤ FB + 2≤KBÇ
Second class	40> FB ≥30	2> KBÇ ≥2	40> FB ≥30+ 2> KBÇ
Cull	30>	2>	30>FB + 2> KBÇ

The seedlings were also classified for sturdiness index (**SI**) [11] as: Sturdiness index (**SI**) = [SH (mm) / RCD (mm)]. They were first class (**SI**<50), second class (50<**SI**<60) and cull (**SI**>60) [11].

Phenotypic correlation (r_p) between the seedling height and root-collar diameter was estimated at SPSS package [12] as [13]:

$$r_p = \frac{COV_{f(x,y)}}{\sqrt{\sigma^2_{f(x)}} \sqrt{\sigma^2_{f(y)}}} \quad (1)$$

Where $COV_{f(xy)}$ is the phenotypic covariance between characteristics x and y, $\sigma^2_{f(x)}$ and $\sigma^2_{f(y)}$ are the phenotypic variances for characteristics x and y, respectively.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Seedling Morphology

Averages of seedling height and root-collar diameter were 101.4 cm and 14.7 mm, respectively, while seedlings showed large differences for the characteristics (Figures 3 and 4).

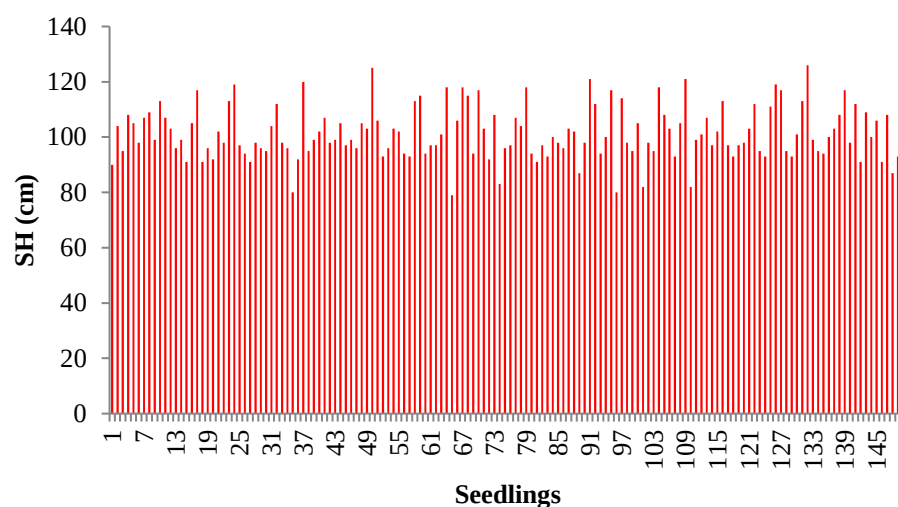


Figure 3. Height variations among the seedlings

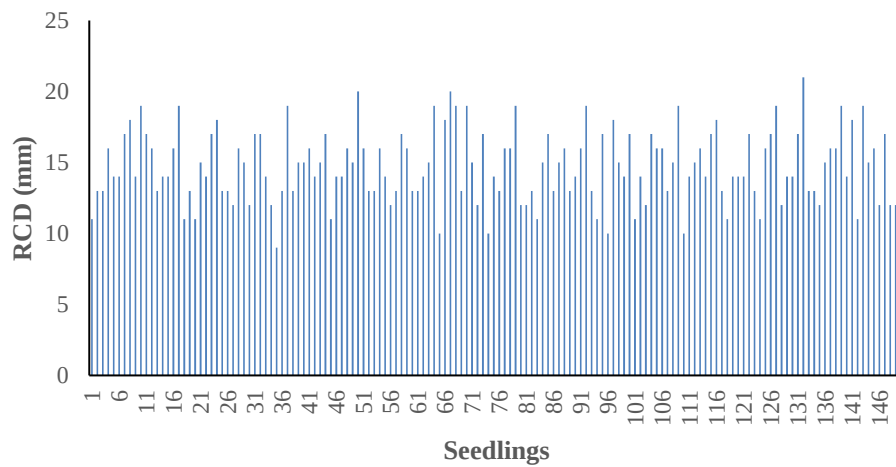


Figure 4. Root-collar diameter variations among the seedlings

Seedling height was between 79 cm and 126 cm, and root-collar diameter ranged from 9 mm to 21 mm. Similar variations were also reported for the characteristics of Mediterranean cypress [7,9]. The variations indicated importance of individual selection in seed harvesting for seedling production in nursery practices.

Results of correlation analysis indicated positive and significant ($p \leq 0.05$) relation between seedling height and root-collar diameter in the species (Figure 5). Similar relations were also reported in cypress [6,7,9].

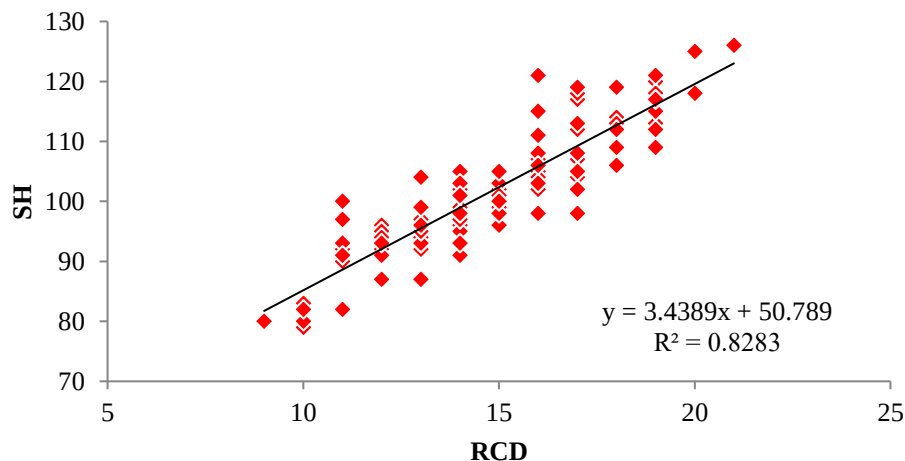


Figure 5. Relations between the characteristics for the seedlings

3.2. Seedling Quality

All seedlings were in high quality for both seedling height ($40\text{cm} \leq \text{SH}$) and root-collar diameter ($\text{RCD} \geq 2 \text{ mm}$) according to quality classes of TSI. 94.7% of the seedlings were in cull ($\text{SI} > 60$) and 5.3% in second class ($50 < \text{SI} < 60$) according to sturdiness index. Similar results were also

found in cypress [6,7,9], indicated importance of morphological characteristics and classification type in seedling quality.

4. CONCLUSIONS

Quality classes and criterions should be combined by field performance at different areas in the species. New studies should be carried out in different characteristics and forest nurseries in the species.

REFERENCES

1. Anşın, R., Özkan, Z.C., *Spermatophyta*, Karadeniz Technical University press Trabzon, 2006.
2. Kayacık, H., Investigation on Natural Distribution of Mediterranean Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in Turkey. Journal of the Faculty of Forestry University of İstanbul, 16, 39-65, 1966.
3. Özalp, G., A New Range of *Cupressus sempervirens* L. in Reşadiye Peninsula, Journal of the Faculty of Forestry University of İstanbul, 41, 98-107, 1991.
4. Özçelik, R., Monumental Mediterranean Cypresses in Mersin-Aydıncık County (*Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis* (Mill.) Gord.), The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Suleyman Demirel University, 10, 197-201, 2006.
5. Allemand, P., Espèces Exotiques Utilisables pour la Reconstitution du Couvert Végétal en Région Méditerranéenne. Seminario AGRIMED, 23-24 novembre Firenze (Italy), 1989.
6. Civek, E., *Comparison of the Quality Characteristics of Some Needle Leaved Tree Species in Samsun-Gelemen Forest Nursery Ecological Conditions*, Graduate School of Natural and Applied Science, Kastamonu University, MSc. Thesis, Kastamonu, 2019.
7. Uslu, M., Bilir, N., Morphological Seedling Characteristics in Mediterranean and Pyramidal Cypresses, The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University, 11(1), 12-21, 2020.
8. Ayan, S., Civek, E., Yer, E.N., Gülseven, O., Özel, H.B., Eshabi, J.A.H., Yılmaz, Ş.S., Morphological Quality Characteristics of Different Ages Containerised Seedlings of Stone pine (*Pinus pinea* L.), Journal of Bartın Faculty of Forestry, 22(2), 633-641, 2020.
9. Öye, A., Bilir, N., Seedling Morphology and Quality in Arizona Cypress and Mediterranean Cypress. 6th Latin American Scientific Research Congress, Şubat 1-1, Havana, 148-153, 2024.
10. Anonymous., *Seedling Quality Classification of Coniferous*, Turkish Standard Institute Press, Ankara, 1988.
11. Aphalo, P., Rikala, R., Field Performance of Silver Birch Planting Stock Grown at Different Spacing and in Containers of Different Volume, New Forests, 25, 93-108, 2003.
12. SPSS. (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0., NY: IBM Corp.
13. Falconer, D.S., *Introduction to Quantitative Genetics*, 3rd Edition, Longman Scientific and Technical, New York, 1989.

ACORN CHARACTERISTICS IN KERMES OAK (*QUERCUS COCCIFERA* L.)

Prof. Dr. Nebi BİLİR

Isparta University of Applied Sciences,

nebibilir@isparta.edu.tr 0000-0001-9911-4304

ABSTRACT

Kermes oak (*Quercus coccifera* L.) has large natural distribution as shrub or small tree at especially in maquis in Turkish forestry. However, the species has non-wood forest production such as its acorn as food for animals or commercial industries.

Length and diameter of 210 acorns sampled from 7 individual plants of the species were examined in this study. Averages of acorn diameter and length were 12.7 mm and 27.4 mm, respectively. They ranged from 11.9 mm and 13.8 mm for acorn diameter, and varied between 25.1 mm and 30.6 mm for acorn diameter. The variation was also found among acorns within individual plant. Significant ($0.05 > p$) differences among families for length and diameter of acorns were found according to results of analysis of variance. There was positive and significant ($0.05 > p$) relation between length and diameter based on results of correlation analysis

Keywords: Morphology, nursery, seed, variation.

1. INTRODUCTION

Oak (*Quercus* sp.) is the largest taxa in Turkish forestry by 6.8 million ha natural distribution of 18 species [1,2,3] (Figure 1). Oaks have wood and non-wood forest products such as animal food and different industries [1,2,4,5,6].

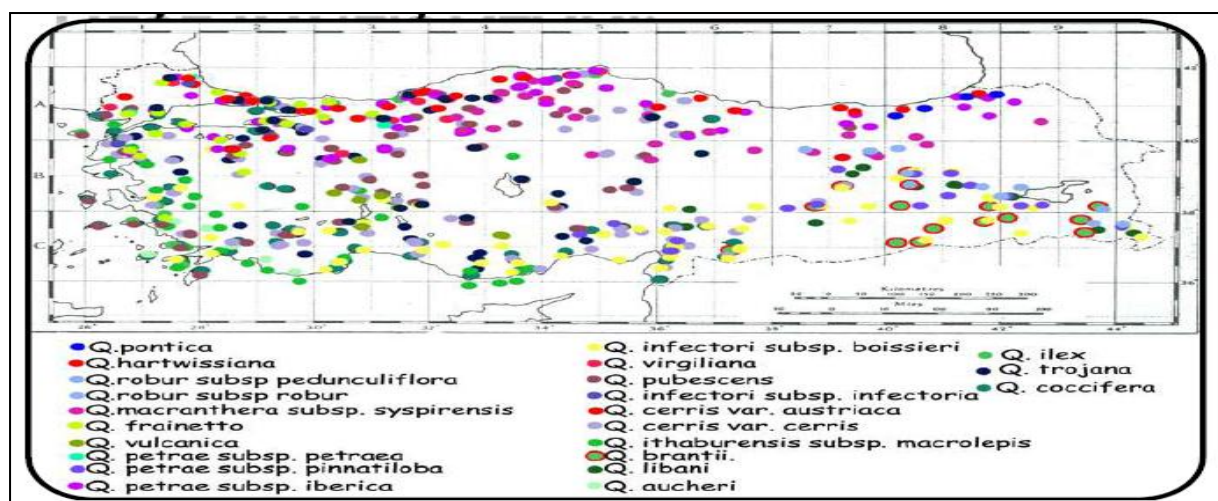


Figure 1. Natural distributions of Oaks in Türkiye

Kermes oak (*Quercus coccifera* L.) is one of the main taxa of Oaks in Turkey. It has large natural distribution as shrub or small tree at especially in maquis in Turkish forestry (Figure 2) [7].

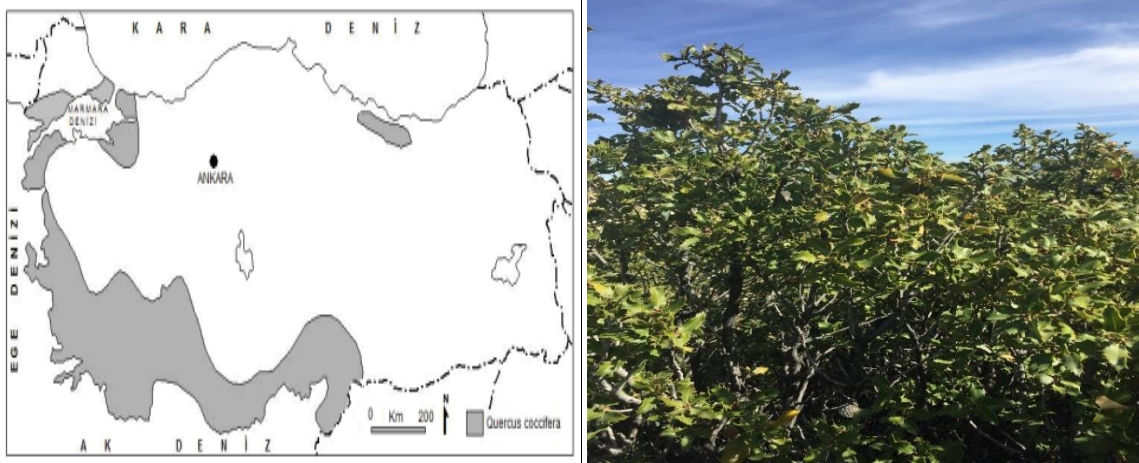


Figure 2. Natural distribution of Kermes oak and an individual of the species

In this paper, length and diameter of acorns sampled from 7 open pollinated families were studied to contribute seed science and technology, and other forestry practices of the species.

2. MATERIAL AND METHOD

Thirty seeds were sampled from each 7 open pollinated families or also called individual plant ranged from 1020 m to 1080 m altitude of the species to examine length of acorn (AL) and diameter of acorn (AD) of the species (Figure3).



Figure 3. A sampled plants and acorns

Collected data was performed at SPSS package [8]. Seed characteristics was analyzed by following linear model of analysis of variance to compare the family at SPSS [8].

$$Y_{ij} = \mu + P_j + e_{ij} \quad (1)$$

Where Y_{ij} is the observation from the j^{th} acorn of the i^{th} plant, μ is overall mean, P_i is the random effect of the i^{th} plant, and e_{ij} is random error.

Phenotypic correlations (r_p) between the characteristics were estimated as [9]:

$$r_p = \frac{COV_{f(x,y)}}{\sqrt{\sigma^2_{f(x)}} \sqrt{\sigma^2_{f(y)}}} \quad (2)$$

Where $COV_{f(xy)}$ is the phenotypic covariance between characteristics x and y, $\sigma^2_{f(x)}$ and $\sigma^2_{f(y)}$ are the phenotypic variances for characteristics x and y, respectively.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Averages of acorn diameter and length were 12.7 mm and 27.4 mm, respectively. They ranged from 11.9 mm and 13.8 mm for acorn diameter, and varied between 25.1 mm and 30.6 mm for acorn length (Table 1). The variation was also found among acorns within individual plant. For instance, length of acorn varied between 10.1 mm and 13.4 mm, and acorn diameter ranged from 23.8 mm to 31.4 mm in second plant (Table 1, Figure 4). Averages of acorn length and diameter were reported 30.1 mm and 16.2 mm in an early study on the species together with large variations among populations and within population [10]. Because of limited studies on the species, results of the study could not be discussed well.

Table 1. Averages ($\bar{x}$), minimum, maximum and standard deviation for the characteristics and plants

Plants	AD (mm)			AL (mm)		
	$\bar{x}$	Min.-Max.	St. deviation	$\bar{x}$	Min.-Max.	St. deviation
1	12.5	11.4-13.6	.68	30.6	23.9-34.3	2.48
2	12.1	10.1-13.4	.80	27.2	21.2-32.1	2.46
3	12.3	10.7-13.7	.76	27.7	23.8-31.4	1.66
4	14.1	12.1-15.5	.76	25.1	20.5-30.7	2.63
5	11.9	10.5-13.6	.63	26.3	22.6-29.1	1.60
6	12.6	11.1-14.0	.86	25.5	21.5-30.3	2.54
7	13.8	12.6-14.9	.71	29.4	27.3-32.0	1.89
Total	12.7	10.1-15.5	1.07	27.4	20.5-34.3	2.88



Figure 4. Length and diameter variation among acorns within a plant

Significant ($0.05 > p$) differences among families for length and diameter of acorns were found according to results of analysis of variance (Table 2).

Table 2. Results of analysis of variance for the characteristics

Characteristics	Source of variation	df	Mean Square	F	P value
AD	Between Groups	6	21.032	37.800	.000
	Within Groups	203	.556		
	Total	209			
AL	Between Groups	6	122.364	24.940	.000
	Within Groups	203	4.906		
	Total	209			

There was positive and significant ($0.05 > p$) relation between length and diameter of acorns in all and pooled plants based on results of correlation analysis

4. CONCLUSIONS

Acorn was sampled from a local area of the species and limited number of plants of the species. Future studies should be carried out by large number of family and locations. Acorn characteristics should be tested in nursery and field stages.

REFERENCES

1. Yaltirik, F., *Guide for Turkish oaks*, Yenilik press, Istanbul, 1984.
2. Anşın, R., Özkan, Z.C., *Spermatophyta*, Karadeniz Technical University press Trabzon, 2006.
3. OGM., Forestry Statistics-2024. www.ogm.gov.tr. Turkiye, Ankara (Date of access: 15.01.2025).
4. Thirgood, J.V., The historical Significance of Oak. In Oak Symposium Proceedings. Morgantown, WV, Upper Darby. USDA Forest Service, North Central Forest Experimental Station, 1-18, 1971.
5. Hobby, G.H., Quave, C.L., Nelson, K., Compadre, C.M., Beenken, K.E., Smeltzer, M.S., *Quercus cerris* Extracts Limit Staphylococcus Aureus Biofilm Formation, Journal of Ethnopharmacology, 144(3), 812-815, 2012
6. Najib, R., Hour, T., Khairallah, Y., Khalil, M., *Quercus cerris* L.: An Overview, Forestry Studies, 74(1), 1-9, 2021.
7. Akman, Y., Forest Vegetation of Turkey, Science Faculty of Ankara University Press, Ankara, 1995.
8. SPSS. (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0., NY: IBM Corp.
9. Falconer, D.S., *Introduction to Quantitative Genetics*, 3rd Edition, Longman Scientific and Technical, New York, 1989.
10. Genç, M., Albayrak, Y., Bilir, N., Gülcü, S., Some Seed Characteristics of Kermes Oak (*Quercus coccifera* L.), Journal of South-west Forest Research Institute, 4, 71-84, 2002.

PLAZMA İLE AKTİFLEŞTİRİLMİŞ SU UYGULAMASININ ARPADA (*Hordeum vulgare* L.) KURAKLIK STRESİ TOLERANSINA FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Seda ŞAHİN

Düzce Üniversitesi,

sedasahin9797@gmail.com- <https://orcid.org/0000-0001-7123-7417>

Doç. Dr. Hülya TORUN

Düzce Üniversitesi,

hulyatorun@duzce.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0002-1118-5130>

ÖZET

Küresel ısınma dünya genelinde tarımsal üretimde düşüşe neden olurken, gıda güvenliğini de tehlikeye sokmaktadır. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri ve su kaynaklarının tükenmesi gibi küresel ısınma sorunları önemli abiyotik streslerden olan kuraklığa yol açmakta ve giderek yaygınlaşarak tarım sektöründe ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Aynı zamanda, artan nüfus ve azalan doğal kaynaklar, gıda üretimini sürdürülebilir kılmayı da zorlaştırmaktadır. Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Poaceae familyasına ait, tek yıllık, otsu ve soğuk iklim özelliklerine dayanıklı bir tahıl bitkisidir. Hem gıda hem de hayvancılıkta önemli bir yem kaynağı olmasının yanı sıra, endüstride de çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kurak ve yarı kurak alanlarda tarımı gerçekleştirilen arpa kuraklıkla sıkça karşı karşıya kalmaktadır. Koruyucu bir alternatif bir yöntem olarak son yıllarda kullanılmaya başlanılan plazma ile aktifleştirilmiş suyun (PAW) kurak koşullarda bitkilerin su kullanım verimliliğini artırarak büyüme ve stres toleransını arttıracakları öngörülmektedir. Bu çalışmada, sulama suyu olarak uygulanan PAW'ın, kuraklık stresi altında yetiştirilen arpa bitkileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Öncelikle, steril edilen tohumlar eşit orandaki torf-perlit karışımının olduğu ortamda 10 gün boyunca yetiştirilmiştir. Süre sonunda bitkiler saf su, %20 polietilen glikol (PEG), PAW ve PAW+PEG ile sulama yapılacak şekilde 4 gruba ayrılmıştır. Uygulama 2 hafta süre ile her üç günde bir olarak şekilde yapılmıştır. Uygulama sonrasında bitkiler önce fotoğraflanmış ve sonrasında cetvel yardımı ile sürgün uzunlukları ölçülmüştür. Ardından sürgün yaş ve kuru ağırlıkları, nisbi su içeriği, klorofil floresansı, elektrolit sızıntı ve fotosentetik pigment içerikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, PAW uygulamasının kuraklık stresi altında yetiştirilen arpa bitkilerinin fizyolojisinde değişime neden olarak kuraklık toleransını arttırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arpa, kuraklık, plazma ile aktifleştirilmiş su, stres fizyolojisi

PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF PLASMA ACTIVATED WATER APPLICATION ON DROUGHT STRESS TOLERANCE IN BARLEY (*Hordeum vulgare* L.)

Master Student Seda ŞAHİN

Düzce University,

sedasahin9797@gmail.com- [https://orcid.org/ 0000-0001-7123-7417](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

Global warming is causing a decline in agricultural production worldwide and jeopardizing food security. Global warming problems such as rising temperatures, erratic precipitation regimes and depletion of water resources lead to drought, one of the major abiotic stresses, which is becoming increasingly widespread and causing serious yield losses in the agricultural sector. At the same time, increasing population and diminishing natural resources make it difficult to sustain food production. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is an annual, herbaceous, cold-tolerant cereal plant belonging to the Poaceae family. In addition to being an important feed source in both food and livestock breeding, it is also used in various fields in industry. Barley, which is cultivated in arid and semi-arid areas, is frequently faced with drought. Plasma activated water (PAW), which has been used as a protective alternative method in recent years, is expected to increase growth and stress tolerance by increasing water use efficiency of plants under drought conditions. In this study, the effects of PAW applied as irrigation water on barley plants grown under drought stress were investigated. Firstly, sterilized seeds were grown for 10 days in equal proportions of peat-perlite mixture. At the end of the period, the plants were divided into 4 groups as dI-H₂O, 20% polyethylene glycol (PEG), PAW and PAW+PEG irrigation. The application was made every three days for 2 weeks. After the application, the plants were first photographed and then the shoot lengths were measured with the help of a ruler. Then shoot wet and dry weights, relative water content, chlorophyll fluorescence, electrolyte leakage and photosynthetic pigment contents were determined. In this study, it was determined that PAW application increased drought tolerance by causing changes in the physiology of barley plants grown under drought stress.

Keywords: Barley, drought, plasma activated water, stress physiology

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin beraberinde gelen iklimsel dalgalanmalardan ötürü etkisi artmakta olan kuraklık, bitkilerin morfolojik ve fizyolojik işlevlerini önemli ölçüde sınırlayan doğal bir afettir (Pokhrel ve ark., 2021). Stres, organizmaların fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz yönde etkileyen elverişsiz çevresel koşulların bütünüdür. Abiyotik stres faktörleri arasında yer alan kuraklık, bitki büyüme ve gelişmesini sınırlandıran unsurların başında gelir (Büyük ve ark., 2012). Stres faktörleri reaktif oksijen türlerinin oluşumu ile birikimine yol açarak önemli ölçüde metabolik işlev bozukluklarına neden olmaktadır. Bu durum, hücre içindeki aksaklıkların bir sonucu olarak DNA hasarına zemin hazırlamaktadır (Tounekti ve ark., 2013). Çeşitli stres faktörleriyle karşı karşıya kalan bitkiler, toprak nem seviyesinin kritik seviyelere düşmesiyle göz ardı edilemez bir su kaybı yaşarlar (Ramakrishna ve Ravishankar, 2011). Bitki, doğal şartlar altında karşılaştığı bir ya da birden fazla stres faktörüne karşı direncini arttırmak, yaşamını devam ettirmek ve metabolik faaliyetlerini sürdürmek için yapısında morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler meydana getirerek mevcut duruma karşı tepki vermektedir (Öztürk, 2015).

Bitkisel üretim, doğrudan veya dolaylı olarak insan beslenmesini büyük oranda sağlamanın yanında lif, enerji ve hammadde ihtiyaçlarını da karşılamaktadır. Gıdaya erişimini artırmak, verimliliği iyileştirmek ve üretim kayıplarını azaltmak amacıyla bu alandaki üretim süreçlerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Strange ve Scott, 2005). Son yüzyılda mahsul verimi üç kattan fazla artış göstermiş olsa da beraberinde pestisit ve mineral gübre uygulamalarının yoğunlaşmasından dolayı biyolojik çeşitliliği azalttığı, su ve toprak kirliliğine neden olduğu ortaya konulmuştur (Godfray ve ark., 2010; Tilman ve ark., 2011). 2050 yılında dünya nüfusunun yaklaşık 10 milyara ulaşması beklenmekte olup, bu durum, gıda kayıplarını en aza indirerek ve mevcut kaynakları verimli bir şekilde kullanarak artan ihtiyaçların karşılanmasını zorunlu kılmaktadır (FAO, 2019).

Plazma, iyonize gazlardan oluşan ve çeşitli alanlarda kullanılan maddenin dördüncü halidir (Dobrynin ve ark., 2009). Soğuk plazma ise radyo frekansı veya mikrodalga kaynaklarıyla üretilen ve tohumları uyarabilen oksijen radikalleri, yüklü parçacıklar, iyonlar ve UV içeren termal olmayan bir teknolojidir (Laroussi, 2003; Hertwig ve ark., 2015). Son dönemlerde tarımın olumsuz çevresel etkilerini azaltmak ve gıda güvenliğini iyileştirmek amacıyla, plazma ile aktive edilmiş su (PAW) kullanımına odaklanan yenilikçi bir yaklaşım söz konusudur (Bradu ve ark., 2020). Plazma aktivasyonu sonucu suda oluşan OH⁻ radikalleri, ozon, hidrojen peroksit, nitritler, nitratlar, peroksinitritler ve peroksinitratlar gibi reaktif bileşikler içeren su, plazma aktıveli su olarak adlandırılmaktadır. (Zhou ve ark., 2020). Diğer bir adı ile soğuk plazma olan PAW, düşük veya atmosferik basınçta hava, Ar, O₂, He veya N₂ gibi gazlara bir deşarj uygulayarak üretilmektedir (Guo ve ark., 2021). Biyokimyasal etkinliğinin geçici olması nedeniyle, birçok biyoteknoloji uygulaması için çevre dostu ve umut verici bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Mevcut koşullarda, tohum çimlendirme, yüzey dezenfeksiyonu ve gübre olarak kullanımı dahil olmak üzere çeşitli alan ve uygulamalarda kullanılmaktadır (Gapper ve Dolan, 2006; Ma ve ark., 2015; Judée ve ark., 2018). Ayrıca, tohum çimlenmesini,

kök ve sürgün gelişimini, fotosentez aktivitesini, besin maddelerinin varlığını ve verimi iyileştirdiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Fan ve ark., 2020; Škarpa ve ark., 2020; Guragain ve ark., 2021; Vichiansan ve ark., 2023; Priatama ve ark., 2023;). Bununla birlikte, reaktif türlerin bitkideki çeşitli sinyal mekanizmalarını düzenlenmesi, metabolik faaliyetleri iyileştirmesi, bitkinin gelişimine katkı sağlaması ve çeşitli stres yanıtlarını düzenlemesi de PAW'ın önemli etkilerindendir (Sarinont ve ark., 2017; Pérez-Piza ve ark., 2019; Lamichhane ve ark., 2021).

Arpa (*Hordeum vulgare* L.; Fam: Poaceae) tek yıllık otsu bir bitkidir (Seçmen ve ark., 2000). Elverişli gen merkezi Asya olan arpa, eski çağlardan günümüze kadar tarımı yapılan ilk kültür bitkisidir. Hayvan yemi olarak kullanımının yanı sıra malt endüstrisinde ve insan beslenmesinde de değerlendirilen arpa, tarım ve gıda sektöründe önemli bir yere sahiptir (Kayaçetin, 2006; Karabörk, 2019). Arpa, yüksek nişasta, protein, sindirilebilir lif ve β -glukan içeriğine sahiptir (Sipahi ve ark., 2010). Dünya genelinde arpa üretimi ve ekim sahaları bakımından Avrupa Birliği ülkeleri ilk sırada gelirken, Rusya, Avustralya, Kanada ve Türkiye sırayı takip etmektedir. Türkiye'de yıllık ortalama 3,2 milyon hektarlık bir alanda yetiştirilmekte olan arpanın toplam üretim miktarı yaklaşık 8,5 milyon tondur (USDA, 2023; TÜİK, 2023). Ekolojik sınırlarının çok esnek olması ile dünya genelinde ekonomik ve zirai anlamda oldukça önemlidir (Taşçı ve Bayramoğlu, 2020). Buğdayla kıyaslandığında daha erkenci olması, az yağış alan ve düzensiz iklim koşullarına sahip bölgeler için ideal bir bitki olması, aynı zamanda tuzlu ve alkali topraklara da dayanıklılığı ile üretim alanının korunması ve artırılması gereken bir bitkidir (İlker, 2006). İklim değişikliği ve küresel ısınma etkisiyle, yıllar geçtikçe kuraklıktan etkilenen topraklar artmaktadır ve arpanın kuraklık stresi ile kaybettiği verim miktarı %80'i aşmıştır (Elbasyoni ve ark., 2022; Elouattassi ve ark., 2023; Elouattassi ve ark., 2024).

Arpa bitkisi ile dıştan uygulanan maddelerin kuraklık stresinin etkilerini hafifletmesi adına literatürde çalışmalar mevcuttur. Kuraklık stresi altındaki arpada rizobakterilerin kullanımının verimi ve büyümeyi arttırdığı rapor edilmiştir (Ferioun ve ark., 2023). Melatoninin su eksikliğinden kaynaklanan arpanın, fotosentetik pigment içeriğini, fotosentezin fotokimyasal reaksiyonlarını, Calvin döngüsü enzim aktivitelerini, klorofil floresans sistemini ve membran stabilite indeksini düzenleyerek fotosentetik aygıtı koruyabildiği ortaya konulmuştur (Talaat, 2023). Literatürde PAW'ın dıştan uygulanması ile ilgili çalışmalar mevcut olsa da yeterli sayıda değildir. Guo ve ark. (2024), PAW uygulamasının, biber tohumlarının çimlenme potansiyeli önemli ölçüde iyileştirdiğini ve fide büyümesini arttırdığını ortaya koymuştur. Che ve ark. (2024)'nın yapmış olduğu bir çalışmada ise farklı deşarj süreleriyle PAW uygulamasının brokoli filizlerinde süperoksit dismutaz, peroksidaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz enzimlerinin aktivitesini arttırdıkları belirlenmiştir. Arpa ile yalnızca PAW uygulamasına ait olan bir yayında kontrol grubuna kıyasla büyüme, pigment miktarı, protein ve enzimatik aktivitede artış kaydedilmiştir (Seleiman ve ark., 2024).

Kuraklık stresinin özellikle tarım arazilerinde ciddi sorun yaratması, arpa bitkisinin önemi, yaygın yetiştirme alanlarının varlığı, yoğun kullanılan tarımsal ürünlerin kirlilik yaratması,

PAW teknolojisinin oldukça yeni bir yöntem olması ve stres koşullarında PAW'ın etkilerine yönelik az sayıda çalışma bulunmasından dolayı bu çalışmada kuraklık stresi altındaki arpa bitkilerinde PAW uygulamasının bitkinin fizyolojisinde nasıl bir değişime neden olduğunu belirlemek amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki Materyali ve Yetiştirme Koşulları

Bitkiler kontrollü bir şekilde yetiştirilmiştir (18/22°C, %60-70 nem). Ekim öncesinde arpa tohumları, %5'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 10 dakika süreyle dezenfekte edilmiş ve ardından saf su ile durulanmıştır. Dezenfeksiyon işleminin ardından tohumlar 1:1 oranında torf:perlif içeren ortama ekilmiş ve iki günde bir saf su ile sulanarak 10 gün süreyle yetiştirilmiştir. Süre sonunda bitkiler uygulama gruplarına ayrılmıştır: Kontrol (saf su ile sulama); PEG (%20 polietilen glikol ile sulama); PAW (doğrudan PAW ile sulama); PAW+PEG (PAW ve %20 PEG ile sulama). Çalışmada kullanılan PAW, PLASMAFOR Tarım Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Uygulama 14 gün süre ile yapılmış, süre sonunda bitkiler fotoğraflanmış, sürgün uzunlukları cetvelle ölçülmüştür. Ardından sürgün yaş ağırlıkları tartılarak bitkiler 70 °C'de 72 saat kurutularak kuru ağırlıkları elde edilmiştir.

2.2. Nisbi Su İçeriği

Nisbi su içeriği için farklı uygulama gruplarına ait yaprakların taze ağırlıkları tartılmış, ardından saf su içerisinde bekletilerek turgid ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra, yapraklar 70 °C'de 72 saat boyunca etüvde bekletilerek kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler yöntemde belirtilen formülde yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır (Smart ve Bingham, 1974).

2.3. Klorofil Floresansı

Fotosistem II'nin en yüksek kuantum verimliliğini belirleyen bu yöntem florometre kullanılarak belirlenmiştir. Arpa yaprakları karanlığa alıştırıldıktan sonra cihaz ile floresans değerleri kaydedilmiştir.

2.4. Elektrolit Sızıntı

Elektrolit sızıntı miktarının belirlenmesi için arpa yapraklarından alınan diskler saf suda bekletilmiş ve ilk elektriksel iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Sonrasında aynı yapraklar otoklavlanarak ikinci elektriksel iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler yöntemde belirtilen formülde yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır (Shi ve ark., 2006).

2.5. Fotosentetik Pigment İçeriğinin Belirlenmesi

Fotosentetik pigmentlerden klorofil a ve b değerlerini belirlemek için yapraklar %80 aseton ile homojenize edilmiş ve ardından süzölmüştür. Süzöntü 663, 645 ve 450 nm dalga boylarında spektrofotometre ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler yöntemde belirtilen formülde yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır (Arnon, 1949; Jaspars, 1965).

2.6. İstatistiksel Analizler

Her bir deneme $n=3$ tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Denemelerden elde edilen veriler, Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) ile değerlendirilmiş ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan Testi ile belirlenmiştir. Uygulamalar arasındaki $p<0,05$ seviyesinde anlamlılık ifade edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

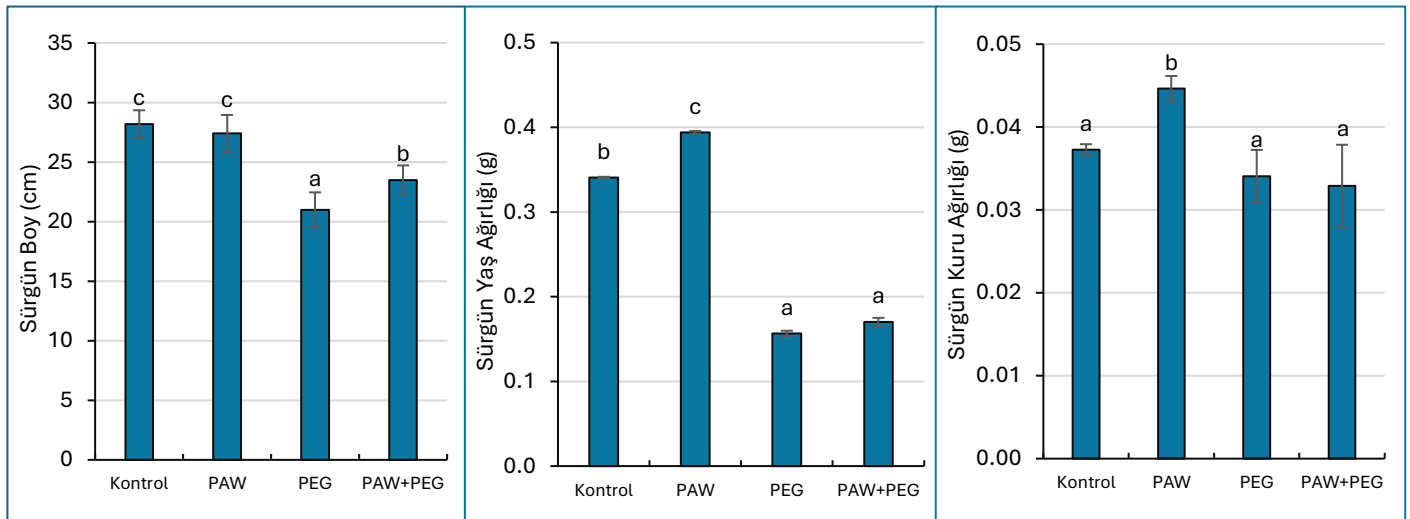
Son yıllarda soğuk plazma uygulamasının kullanım alanları artmış ve tarım alanlarında da önemli gelişmeler kaydedilmeye başlanmıştır. Bu teknolojinin tohum performansını, bitki büyümesini ve verimliliği artırmada hızlı, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir yöntem olduğu değerlendirilmektedir (Dhayal ve ark., 2006; Tong ve ark., 2014; Ling ve ark., 2014; Sera ve ark., 2008). Bu çalışmada, plazma ile aktifleştirilmiş su (PAW) uygulamasının kuraklık stresi altında yetiştirilen arpa bitkilerinin fizyolojik özelliklerinde meydana getirdiği değişimler ortaya konulmuştur. Morfolojik olarak kuraklık uygulaması arpada indirgemeye neden olurken PAW uygulandığında ise stresin etkisi hafıflemiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Bitkisine Dıştan Uygulanan Plazma ile Aktifleştirilmiş Su Uygulamasının Meydana Getirdiği Morfolojik Değişimler

Çalışmada değerlendirilen büyüme parametreleri; sürgün boyu, sürgün yaş ve kuru ağırlığı şeklindedir. Sürgün boy uzunluğu için, kontrol grubu bitkileri PAW grubu ile kıyaslandığında istatistiksel anlamda ($p<0,05$) önemli fark meydana gelmezken PEG uygulamasında sürgün uzunluğu %25,5 oranında azalmıştır. PAW uygulaması ise kuraklık stresi altında yetişen bitkilerin sürgün uzunluğunu %11,9 oranında arttırmıştır (Şekil 2). PAW kuraklık stresi altındaki bitkilerde sürgün uzunluğunu artırarak olumlu bir etki sağlamıştır.

Arpa bitkisinde PAW uygulaması sürgün yaş ağırlığını kontrol grubuna kıyasla %15,5, sürgün kuru ağırlığını ise %21,62 oranında arttırmıştır (Şekil 2). PEG ile sağlanan kuraklık stresi, sürgün yaş ağırlığında %54 oranında azalmaya neden olurken, kuru ağırlıkta istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) fark oluşturmamıştır. Diğer taraftan, kuraklık stresi altındaki arpa bitkisinin sürgün yaş ve kuru ağırlıkları PAW uygulaması ile istatistiksel olarak anlamlı fark göstermemiştir. Literatürde çalışmamızla benzer sonuçlar yer almaktadır. Meşe ve Tangolar (2019) asma ile yapmış oldukları çalışmada, uygulanan PEG dozuna bağlı olarak bitki boyu ve sürgün yaş ağırlığının azaldığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, arpa farklı dozlarda PEG uygulamasının (%0, %10, %20 ve %30) sürgün boyunda ve yaş ağırlığında önemli derece azalmaya neden olduğu ortaya konulmuştur (Khafagy ve ark., 2017). Ayrıca, arpa bitkisinde PEG uygulamasının kuru ağırlıkta değişim göstermediğine dair çalışmalar da mevcuttur (Meşe ve Tangolar, 2019; Geçene, 2020). Diğer taraftan, PAW uygulaması sürgün yaş ve kuru ağırlığında artışa neden olmaktadır (Seleiman ve ark., 2024).



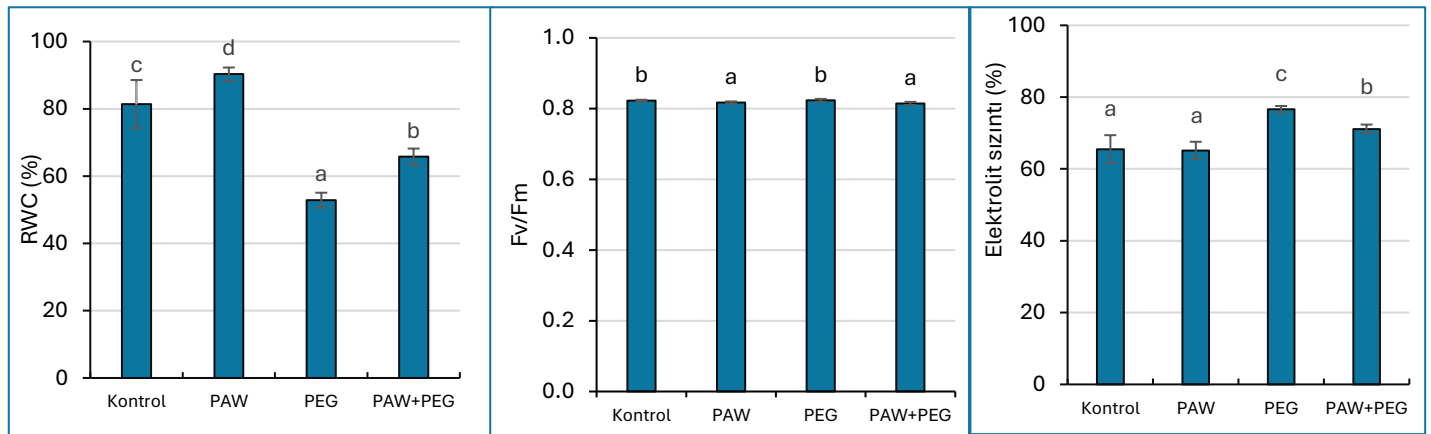
Şekil 2. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Bitkisine Dıştan Uygulanan Plazma ile Aktifleştirilmiş Su Uygulamasının Sürgün Boy, Yaş ve Kuru Ağırlığına Etkisi

Kuraklık stresi altındaki arpa bitkisine PAW uygulanmasının bitkideki içsel su durumu üzerine olan etkisini saptamak amacıyla yaprak nisbi su içeriği (RWC) ölçülmüştür (Şekil 3). PAW uygulaması nisbi su içeriğini %11 arttırmıştır. Bu durumun aksine PEG uygulaması arpa bitkisinin nisbi su içeriğini kontrol bitkilerine kıyasla %35 azaltmıştır. Kuraklık stresi altındaki bitkilerde ise PAW uygulaması ile RWC’de iyileştirme (%24,4 artış) sağlanmıştır. Literatürde

çalışmamıza benzer sonuçlar yer almaktadır. Shivakrishna ve ark. (2018)'nın *Arachis hypogaea* ile yapmış oldukları çalışmada uyguladıkları %20 PEG ile RWC'nin azaldığını ortaya koymuşlardır. Yine çalışmamızı destekler şekilde çeltikte, yoncada ve çilekte yapılan çalışmalarda da PEG uygulaması RWC miktarını azaltmıştır (Zhang ve ark., 2018; Shirazi ve ark., 2019; Yosefi ve ark., 2020). PEG stresi altında PAW uygulamasının RWC üzerindeki etkilerine dair literatürde doğrudan bir çalışma bulunmamakla birlikte çalışmamızda PAW uygulamasının stres altında bitkinin su durumunu koruduğu ve iyileştirici etkiler gösterdiği belirlenmiştir.

Fotosistem II'nin fotokimyasal etkinliğinin belirlenmesi amacıyla arpa bitkisinin klorofil floresans (Fv/Fm) değerleri belirlenmiştir (Şekil 3). Fv/Fm değeri, kuraklık stresi altında kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan önemli ($p<0,05$) değişiklik meydana gelmemiştir. Diğer taraftan, PAW uygulaması kuraklık stresi altındaki arpada az da olsa Fv/Fm oranında artışa neden olmuştur. Çalışmamızla benzer şekilde, PEG uygulaması ile kuraklık stresi altında *Lonicera japonica* ve *Pharbitis nil* bitkilerinde Fv/Fm oranının değişmediği ve fotosistem II verimliliğinin korunduğu belirlenmiştir (Xing ve Wu, 2012).

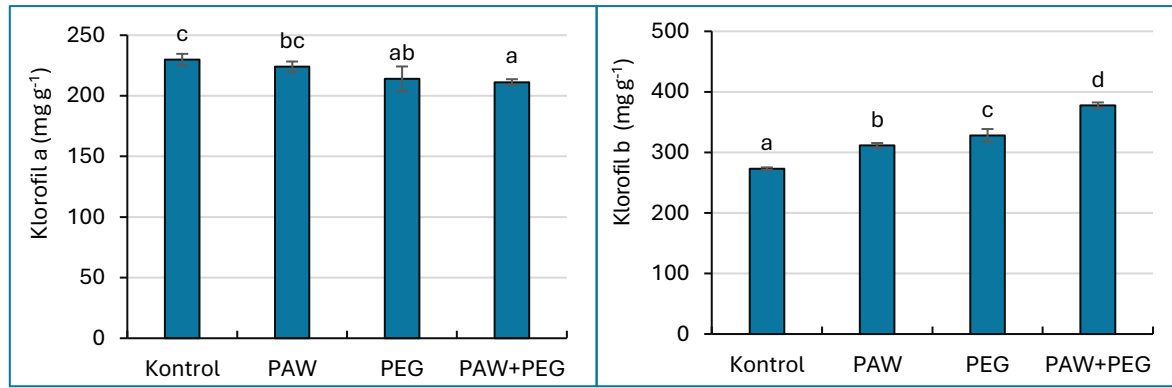
Hücre zarının bütünlüğü ve stres koşullarındaki zararı değerlendirebilmek amacıyla tüm uygulama gruplarında elektrolit sızıntı ölçülmüştür (Şekil 3). Kontrol bitkileri ile PAW uygulanan bitkiler kıyaslandığında istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı fark oluşmazken PEG ile elektrolit sızıntı %17 oranında artmıştır. PAW uygulaması kuraklık stresi altındaki arpa bitkisinde elektrolit sızıntıyı %7,2 azaltmıştır. Yapılan literatür taramasında kuraklık stresi altında PAW uygulaması ile ilgili çalışma olmasa da dıştan uygulanan maddelerin kuraklık stresinin etkilerini azalttığına dair çalışmalar mevcuttur (Houda ve ark., 2023).



Şekil 3. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Bitkisine Dıştan Uygulanan Plazma ile Aktifleştirilmiş Su Uygulamasının Yaprak Nisbi Su İçeriği (RWC) ve Klorofil Floresansı (Fv/Fm) ve Elektrolit Sızıntıya Etkisi

Fotosentetik pigment içeriği, bitkinin kuraklık stresine karşı gösterdiği toleransı değerlendirmek için kritik bir göstergedir. Bu bağlamda, bitkilerde klorofil a ve klorofil b miktarları ölçülmüştür (Şekil 4). Klorofil a miktarında PAW uygulaması ile değişim

gözlenmezken PEG uygulaması kontrol bitkilerine kıyasla klorofil a miktarını % 7 azaltmıştır. Stres koşullarında PAW uygulaması, bitkilerde klorofil a miktarını korumuştur. Klorofil b miktarları ise kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla PAW ve PEG uygulamaları ile %14,1 ve %20,1 artmıştır. Ayrıca, PAW uygulaması da stres altındaki bitkilerde pigment miktarında artışa neden olarak PEG uygulanmış bitkilere kıyasla klorofil b miktarını %15,2 arttırmıştır. Literatür incelendiğinde PAW etkinliğinde klorofil miktarlarının tespiti ile ilgili az sayıda çalışma mevcuttur. PAW uygulamasının toplam klorofil miktarını koruduğu veya arttırdığı arpa ve çoban çantası bitkilerinde rapor edilmiştir (Seleiman ve ark., 2024; Xiong ve ark., 2024). Suis ve ark. (2015) orkide melezi ile yapmış oldukları bir çalışmada PEG uygulamasının toplam klorofil etkinliğini azalttığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde *Vitis vinifera* (Bidabadi ve ark., 2023) ve *Vigna radiata* ile yapılan bir çalışmada da (Ajmal ve ark., 2023) klorofil veriminin PEG altında azaldığını belirlemiştir.



Şekil 4. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Bitkisine Dıştan Uygulanan Plazma ile Aktifleştirilmiş Su Uygulamasının Klorofil a ve b Miktarlarına Etkisi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), yüksek adaptasyon kapasitesi sayesinde kurak ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığı gibi çevresel streslere dayanıklılık gösteren önemli bir tahıldır. Kuraklık stresi, arpanın osmotik dengesini bozarak metabolik aktivitesini azaltırken, PEG uygulamaları bu stresin kontrollü olarak modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Buradan yola çıkarak, giderek artan kuraklık stresine karşın yenilikçi bir bakış açısı sunan plazma ile aktifleştirilmiş su (PAW) uygulamasının kurak koşullarda bitkilerin su kullanım verimliliğini artırarak büyüme ve stres toleransını destekleyebileceği öngörülerek, kurak koşullarda yetişen arpa bitkisinde meydana getirdiği fizyolojik değişimlere etkisi ortaya konularak alternatif bir çalışma sunmak amaçlanmıştır. Kuraklık stresi altında arpada sürgün uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı ve nisbi su içeriğinde azalma meydana gelirken elektrolit sızıntıda artış kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra, bitki kuraklık altında klorofil floresansını değiştirmeyerek var olan stres koşullarında fotosistem II mekanizmasını koruyarak tolerans göstermiştir. Diğer taraftan, arpa bitkisinde PAW uygulaması, sürgün yaş ve kuru ağırlığını, nisbi su içeriğini, klorofil b miktarını belirgin şekilde artırırken, sürgün boyunu ve klorofil a miktarını korumuştur. Kuraklık stresi altında PAW uygulaması arpa bitkisinde sürgün uzunluğu ve nisbi su içeriğinde

önemli artış meydana getirirken elektrolit sızıntıda da azalmaya neden olarak iyileştirici etki göstermiştir. Ayrıca klorofil b miktarında da ciddi bir artış sağlanmıştır. Literatürde çalışmamızla benzer çalışmalar mevcut olsa da PAW uygulaması ile ilgili çalışma az sayıdadır. Dünya genelinde önemli bir tarım ürünü olan arpa, gün geçtikçe kuraklık nedeniyle artan verim kayıplarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu çalışma, verim kayıplarını engellemek ve gıda güvenliğini sağlamak amacıyla iyileştirici bir bakış açısı sunmaktadır. PAW uygulaması biyokimyasal etkinliğinin geçici olması ve çevre dostu oluşu ile de umut vadeden bir çözüm yolu olarak değerlendirildiğinden PAW uygulamaların artırılması ve farklı stres tiplerinde de çalışılarak sonuçları değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Ajmal, M., Ullah, R., Muhammad, Z., Khan, M. N., Kakar, H. A., Kaplan, A., ... & Abdul Razak, S. (2023). Kinetin capped zinc oxide nanoparticles improve plant growth and ameliorate resistivity to polyethylene glycol (PEG)-induced drought stress in *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (mung bean). *Molecules*, 28(13), 5059.
- Bidabadi, S. S., Sabbatini, P., & VanderWeide, J. (2023). Iron oxide (Fe₂O₃) nanoparticles alleviate PEG-simulated drought stress in grape (*Vitis vinifera* L.) plants by regulating leaf antioxidants. *Scientia Horticulturae*, 312, 111847.
- Bradu, C., Kutasi, K., Magureanu, M., Puac, N., & Zivkovic, Z. (2020). Reactive nitrogen species in plasma-activated water: generation, chemistry and application in agriculture. *J. Phys. D*, 53, 223001.
- Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., & Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish bulletin of hygiene and experimental biology. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 69 (2).
- Che, G., Jiang, T., Li, X., Xiao, J., Liu, L., Wei, J., & Guo, L. (2024). Effect of plasma activated water immersion on broccoli seed germination and nutritional quality of sprouts. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-10.
- Dhayal, M., Lee, S. Y., & Park, S. U. (2006). Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification. *Vacuum*, 80(5), 499-506.
- Dobrynin, D., Fridman, G., Friedman, G., & Fridman, A. (2009). Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue. *New Journal of Physics*, 11(11), 115020.
- Elbasyoni, I.S., Eltaher, S., Morsy, S., Mashaheet, A.M., Abdallah, A.M., Ali, H. G., & Frels, K. (2022). Novel single-nucleotide variants for morpho-physiological traits involved in enhancing drought stress tolerance in barley. *Plants*, 11(22), 3072.
- Elouattassi, Y., Ferioun, M., El Ghachtouli, N., Derraz, K., & Rachidi, F. (2023). Agroecological concepts and alternatives to the problems of contemporary agriculture: Monoculture and chemical fertilization in the context of climate change. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 117(2), 41-98.
- Elouattassi, Y., Ferioun, M., El Ghachtouli, N., Derraz, K., & Rachidi, F. (2024). Enhancing onion growth and yield through agroecological practices: Organic fertilization and intercropping. *Ecological Frontiers*, 44(3), 547-557.

Fan, L., Liu, X., Ma, Y., & Xiang, Q. (2020) Effects of plasma-activated water treatment on seed germination and growth of mung bean sprouts. *J Taibah Univ Sci*, 14(1), 823–830.

FAO, 2019. The State of Food and Agriculture, <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.01.2024).

Feroun, M., Bouhraoua, S., Srhiaouar, N., Tirry, N., Belahcen, D., Siang, T.C., Louahlia, S., & El Ghachtouli, N. (2023). Optimized drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 50.

Gapper, C., & Dolan, L. (2006). Control of plant development by reactive oxygen species. *Plant physiology*, 141(2), 341-345.

Geçene, İ. (2020). Kokulu Üzümün (*Vitis labrusca* L.) Kuraklık Stresine Toleransının Peg Uygulamasıyla In Vitro Koşullarda Belirlenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.

Guo, D., Liu, H., Zhou, L., Xie, J., & He, C. (2021). Plasma-activated water production and its application in agriculture. *J Sci Food Agric*, 101(12), 4891–4899.

Guo, D.M., Liu, H.X., Zhang, X.N., & Xiong, C.L. (2024). Plasma activated-water stimulates aged pepper seeds and promotes seedling growth. *Plasma Processes and Polymer*, 21,5.

Guragain, R.P., Baniya, H.B., Pradhan, S.P., Pandey, B.P., & Subedi, D.P. (2021). Influence of plasma-activated water (PAW) on the germination of radish, fenugreek, and pea seeds. *AIP Advances*, 11(12).

Hertwig, C., Reineke, K., Ehlbeck, J., Knorr, D., & Schlüter, O. (2015). Decontamination of whole black pepper using different cold atmospheric pressure plasma applications. *Food Control*, 55, 221-229.

Houda, H., Nadia, Y., Bouldjedj, R., & Belbekri, N. (2023). Mitigation of peg-induces drought stress in wheat (*Triticum durum*) by exogenous application of proline. *Romanian Agricultural Research*, (40).

Igu, N. I., & Duluora, J. O. (2019). Land Cover Change in a Freshwater Swamp Forest Landscape: Implications for Biodiversity Conservation. *Journal of Environmental Protection*, 10(12), 1578-1590.

İlker, E. (2006). Arpa melezlerinde verim ve verim özellikleri arasındaki ilişkiler. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(3), 1-11.

Judée, F., Simon, S., Bailly, C., & Dufour, T. (2018). Plasma-activation of tap water using DBD for agronomy applications: Identification and quantification of long lifetime chemical species and production/consumption mechanisms. *Water Research*, 133, 47-59.

Karabörk, D., (2019). Kahramanmaraş koşullarında arpa / fiğ karışık ekimi ve gıda uygulamasının arpada verim ve verim unsurları üzerine etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

Kayaçetin, F., (2006). Ankara koşullarında farklı ekim makineleri ile değişik bitki sıklıklarında ekilen ve merdane uygulanan arpada verim ve verim öğeleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.

Khafagy, M. A., Mohamed, Z. A., Farouk, S., and Amrajaa, H. K. (2017). Effect of Pretreatment of Barley Grain on Germination and Seedling Growth Under Drought Stress. *Advances in Applied Sciences*, 2(3), 33-42.

Lamichhane, P., Veerana, M., Lim, J.S., Mumtaz, S., Shrestha, B., Kaushik, N.K., Park, G., & Choi, E.H. (2021). Low-temperature plasma-assisted nitrogen fixation for corn plant growth and development. *International journal of molecular sciences*. 22,10.

Laroussi, M. (2003). Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: review, analysis, and prospects. *IEEE Transactions on plasma science*, 30(4), 1409-1415.

Ling, L., Jiafeng, J., Jiangang, L., Minchong, S., Xin, H., Hanliang, S., & Yuanhua, D. (2014). Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Scientific reports*, 4(1), 5859.

Ma, R., Wang, G., Tian, Y., Wang, K., Zhang, J., & Fang, J. (2015). Non-thermal plasma activated water inactivation of foodborne pathogen in fresh produce. *J. Hazard. Mater*, 300, 643–651.

Meşe, N. & Tangolar, S. (2019). Bazı Amerikan Asma Anaçlarının Kurağa Dayanımının In vitro’da Polietilen Glikol Kullanılarak Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(3), 466-475.

Öztürk, N.Z. (2015). Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science And Technology*, 3(5), 307-315.

Pérez-Pizá, M.C., Prevosto, L., Grijalba, P.E., Zilli, C.G., Cejas, E., Mancinelli, B., & Balestrasse, K.B. (2019). Improvement of growth and yield of soybean plants through the application of non-thermal plasmas to seeds with different health status. *Heliyon*, 5(4).

Pokhrel, Y., Felfelani, F., Satoh, Y., Boulange, J., Burek, P., Gädeke, A., Gerten, D., Gosling, S.N., Grillakis, M., Gudmundsson, L., & Hanasaki, N. (2021). Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. *Nat. Clim. Chang*, 11(3), 226-233.

Priatama, R.A., Beak, H.K., Song, I., Park, S.J., & Lee, Y.K. (2023). Long-term plasma-activated-water irrigation improves fruit yield in tomato. *Scientific reports*, 1.

Ramakrishna, A., & Ravishankar, G.A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal. Behav*, 6, 1720-1731.

Sarinont, T., Katayama, R., Wada, Y., Koga, K., & Shiratani, M. (2017). Plant growth enhancement of seeds immersed in plasma activated water, *MRS Advances*, 2(18), 995–1000.

Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., & Leblebici, E. (2000). Tohumlu bitkiler sistemetiği. *Ege Üniv. Fen Fakültesi Kitaplar Serisi*, 317-319.

Seleiman, M. F., Ali, N., Nungula, E. Z., Gitari, H. I., Alhammad, B. A., & Battaglia, M. L. (2024). Enhancing germination and seedling growth of barley using plasma-activated water (PAW) with neutralized pH. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2390162.

Sera, B., Stranák, V., Serý, M., Tichý, M., & Spatenka, P. (2008). Germination of *Chenopodium album* in response to microwave plasma treatment. *Plasma Science and Technology*, 10(4), 506.

- Shirazi, M., Khan, M., & Arif, M. (2019). Effects of peg induced water stress on growth and physiological responses of rice genotypes at seedling stage. *Pak. J. Bot*, 51(6), 2013-2021.
- Shivakrishna, P., Reddy, K. A., & Rao, D. M. (2018). Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi journal of biological sciences*, 25(2), 285-289.
- Sipahi, H., Sayım, İ., Ergun, N. C. G., ve Cetin, G. (2010). Maltlık kalitesi yüksek arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinin geliştirilmesi (Biyoteknoloji iş paketi: İkiye katlanmış haploid bitkilerin üretilmesi). Tubitak Projeler.
- Škarpa, P., Klofáč, D., Krčma, F., Šimečková, J., & Kozáková, Z. (2020). Effect of plasma activated water foliar application on selected growth parameters of maize (*Zea mays* L.). *Water*, 12(12), 3545.
- Strange, R.N. & Scott, P.R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Ann. Rev. Phytopath*, 43, 83–116.
- Suis, M. A. F., Ping, K. S., Keong, C. C., & Subramaniam, S. (2015). Biochemical and physiological responses to polyethylene glycol (PEG) treatment in protocorm-like bodies (PLBs) of Aranda Broga Blue Bell. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(10), 776.
- Talaat, N.B. (2023). Drought stress alleviator melatonin reconfigures water-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) plants' photosynthetic efficiency, antioxidant capacity, and endogenous phytohormone profile. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16228.
- Taşçı, R., & Bayramoğlu, Z. (2020). Arpa üretim işleme ve pazarlama yapısının değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2988-2998.
- Tong, J., He, R., Zhang, X., Zhan, R., Chen, W., & Yang, S. (2014). Effects of atmospheric pressure air plasma pretreatment on the seed germination and early growth of *Andrographis paniculata*. *Plasma Science and Technology*, 16(3), 260.
- Tounekti, T., Hernández, I., & Munné-Bosch, S. (2013). Salicylic acid biosynthesis and role in modulating terpenoid and flavonoid metabolism in plant responses to abiotic stress. *Salicylic acid*. Springer, 141-162.
- TÜİK, (2022). Bitkisel Üretim 2. Tahmini. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-2.Tahmini-2022-45503>. (Erişim Tarihi: 20.01.2024)
- USDA, (2023). The united states department of agriculture, Foreign Agriculture Service, <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. (Erişim Tarihi: 24.11.2024).
- Vichiansan, N., Chatmaniwat, K., Sungkorn, M., Leksakul, K., Chaopaisarn, P., & Boonyawan, D. (2023). Effect of plasma-activated water generated using plasma jet on tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme) seedling growth. *J Plant Growth Regul*, 42(2), 935–945.
- Xing, D., & Wu, Y. (2012). Photosynthetic response of three climber plant species to osmotic stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 1659-1668.
- Xiong, L., Feng, L., Nie, M., Li, D., Zhang, Z., Liu, C., ... & Xu, Y. (2024). Effect of Plasma-Activated Water (PAW) on the Postharvest Quality of Shepherd's Purse (*Capsella bursa-pastoris*). *Foods*, 13(5), 703.

Yosefi, A., Mozafari, A. A., & Javadi, T. (2020). Jasmonic acid improved in vitro strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) resistance to PEG-induced water stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 142, 549-558.

Zhang, C., Shi, S., Wang, B., & Zhao, J. (2018). Physiological and biochemical changes in different drought-tolerant alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties under PEG-induced drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-15.

Zhou, R., Zhou, R., Wang, P., Xian, Y., Mai-Prochnow, A., Lu, X., Cullen, P.J., Ostrikov, K.K., & Bazaka, K. (2020). Plasma-Activated Water: Generation, origin of reactive species and biological applications. *J. Phys. Appl. Phys*, 53, 303001.

SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES OF METALLIC BIOMATERIALS: A REVIEW

Ayush Saxena

Research Scholar IFTM University Moradabad 244001 India

ayushsaxena.me@gmail.com–0009-0004-8690-1324

Dr. Vaibhav Trivedi

Professor, IFTM University Moradabad 244001 India

vaibhavtrivedi@iftmuniversity.ac.in–0000-0002-0064-133X

Dr. Ankur Goel

Orthopedic & Joint replacement surgeon Sri sai super speciality Hospital, Moradabad
244001 India

drankurgoel@yahoo.com–0009-0008-2225-370X

ABSTRACT

The increasing demand for biomedical implants has spurred extensive research into metallic biomaterials that offer superior mechanical and chemical properties for medical applications. These implants are commonly used in orthopedics, dentistry, and cardiovascular treatments. While metallic biomaterials like stainless steel, titanium (Ti) and its alloys, magnesium (Mg) and its alloys, high entropy alloys and cobalt-chromium (Co-Cr) alloys provide high strength and durability, challenges remain with corrosion, wear, and biocompatibility. This review explores several techniques of surface modification and coating materials to enhance the desirable properties and performance of metallic biomaterials, such as physical, chemical, and thermal methods. Surface treatments like sandblasting, physical vapor deposition, and laser surface modification have shown promise in improving properties like corrosion resistance, osseointegration, and mechanical strength. The study underscores the critical role of surface engineering in the development of durable, biocompatible implants, offering a pathway to improved clinical outcomes and reduced implant failure rates.

Keywords: metallic biomaterial, surface modification, coatings

1. Introduction

The demand for biomedical implants in the biomedical field is increasing day by day. Some major uses of biomedical implants are to replace damaged bones and joints of the human body and help in proper movement of organs. Biomedical implants range from orthopaedic replacements like hip replacements to cardiovascular devices such as pacemakers and stents. Many biomaterials that can be used to create medical implants have been the subject matter of extensive research over the past ten years. Both synthetic and naturally occurring polymers are among the most promising biomedical materials that have been used extensively for organ regeneration. Nonetheless, an important drawback of polymers in biomedical applications is the inflammation that occurs in vivo during the degradation process [1]. As

alternative metallic biomedical implants are used widely. Due to their outstanding mechanical properties (such as high strength, toughness and fatigue resistance) and chemical properties, metal-based biomaterials have been successfully used as artificial implants in the field of biomedical [2]. Metallic implants are used in various applications of medical science, some applications are hip replacement, dentistry, orthopaedic compulsions, and cardiovascular stents [3]. Metallic implants are extensively utilized in orthopaedics because in comparison with ceramic biomaterials and polymers, metallic biomaterials possess high load bearing strength and superior mechanical properties. Over two-thirds of biomedical implants are composed of metallic biomaterials [4]. Among metallic biomaterials most widely used biomaterials are 316L stainless steel, magnesium (Mg) and its alloys, Titanium (Ti) based alloys such as Ti6Al4V and cobalt-chromium alloys (Co-Cr). Various metallic biomaterials and their applications are given in Table 1. When appropriately processed, these metallic biomaterials offer high strength and fracture resistance, leading to long-term implant performance in heavy load applications [5]. Along with the desirable mechanical properties, biomaterial must have excellent corrosion resistance, excellent biocompatibility, high wear resistance, non-toxic surface and good osseointegration. Osseointegration is the structural and functional connection of living organism with the implant. Although metallic biomaterials fulfil many biomedical needs and requirements, the interfacial bonding between the surrounding tissue or bone and the metallic surface of implant is often poor. This poor bonding at the interface of metallic bioimplant and tissue leads to the malfunctioning or failure of implant. A nonadherent layer is formed at the surface of implant because of this poor bonding and formation of nonadherent layer leads to undesirable movement at the implant- tissue interface [6]. A major problem faced by metallic biomaterial is existence various kind of corrosive substances in body fluid and blood. These corrosive substances include water, plasma, amino acids, various kind of ions and dissolved oxygen [7]. A low corrosion resistance biomaterial can release metal ions inside the body in the presence of these corrosive substances, potentially leading to toxic reactions [8]. Implant's Surface and biocompatibility behaviour is affected by the corrosion and wear. It can trigger tissue reactions that release byproducts (produced during corrosion) from the surface of the implant and ultimately cause premature and early failure of implant [9]. Thus, there are issues related with the metallic biomaterials due to the corrosion and wear, poor biocompatibility and poor osseointegration. These issues are primarily associated with the metallic implant's surface. In light of this, the surface characteristics of the bioimplant plays a crucial role in the biological environment, as reactions occurs directly on the implant surface after fixation. Therefore, it is essential to modify and enhance the surface of the bioimplant with specific properties and these specific surface properties are differ from those of the bulk material [10]. These techniques to modify and enhance the strength, wear resistance, osseointegration, hemocompatibility, corrosion resistance and biocompatibility of surface of bioimplant are known as surface modification techniques. By using the proper surface modification technique, it is possible to enhance and optimize biocompatibility, cell interaction and adhesion [11]. The methods of surface modifications of biomedical implants are being extensively studied using various bioactive materials to prevent negative outcomes such as poor biocompatibility, post-surgical infections, reduced long term durability and risk associated with implant surface corrosion [12]. This review discusses the primary techniques and methods of surface

modification used to improve and modify the functionality of metallic biomaterials, including physical, chemical, and biological modifications, and their applications in medical implants.

Table 1. Applications and properties of widely used metallic biomaterials

Metallic biomaterial	Applications	Advantages	Disadvantages	References
316L SS	Cardiovascular stents, hip and knee joints, orthopaedic implants	Good mechanical properties, corrosion resistance and good machinability	High level of chromium and nickel can cause inflammation	[13]
Titanium and its alloys	Prostheses, orthopaedic implants, dentistry, joint replacement, cardiovascular treatment	High mechanical strength, good corrosion resistance, good biocompatibility	Release of metal ions can cause toxicity, biologically inert surface	[14]
Magnesium and magnesium alloys	Vascular and orthopaedic implants, biodegradable implants	Biodegradable, non-toxic, good biocompatibility and mechanical strength	Fast degradation, low ductility	[15]
Cobalt and its alloys	Dentistry, cardiovascular stents, orthopaedic implants	Good corrosion resistance and mechanical strength, antimicrobial properties are excellent	Cobalt is toxic and can cause inflammation	[16]
Zinc and its alloys	Cardiovascular stents, orthopaedic devices	Good biocompatibility, moderate rate of corrosion, adjustable mechanical properties	Mechanical strength is desirable	[17]

2. Need of Surface Modification Techniques

A biomedical implant in human body should be necessarily biocompatible. If biocompatibility of implant is poor then a layer of fibrous tissues starts to build up at implant-tissue interface. This layer of tissues is called scar tissues. Due to the development of scar tissues implant failure occur because of poor osseointegration between implant and host bone. The key requirement for a successful implant is achieving excellent integration between bioimplant and body tissues [18]. To enhance biocompatibility and osteoconductivity, surface modifications on biometallic

materials have been suggested to obtain the necessary properties and improve the success rate of implant. When the surface of the implant is modified effectively then the bulk properties and functionality of the implant remain unaffected for a long period of time, thus the life of the implant increases [19]. Wear is another cause of implant failure. The main wear mechanism affecting orthopedic biomaterial is oxidation wear. The oxidation wear occurs when the native oxide layer on the surface of the implant is removed by a contacting asperity [20]. A layer of oxide forms on the metal's surface, which hinders the transfer of ions between the underlying metal and the surrounding environment, thereby preventing corrosion [21]. However, wear can damage this protective layer. When the layer is compromised, the corrosion resistance is reduced, leaving the exposed metal vulnerable to corrosion. In physiological environments, however, the repassivation rate is too slow to stop significant corrosion, leading to implant failure [22]. Corrosion is another major reason of implant failure. Approximately 42% of orthopedic implant failures are caused by corrosion, making it the leading reason for patients requiring revision surgeries [23]. When the oxide layer is damaged (as mentioned earlier), the underlying metal becomes exposed to a highly corrosive environment. Body fluids contain corrosive elements like water, sodium, chlorine, and proteins [21]. Corrosion and wear of metal implants result in two primary negative effects: weakening the implant's structural integrity and releasing metallic debris, which frequently triggers chronic inflammation, allergic reactions, and the formation of granulomas (early wound tissue) [24]. The biological reaction to corrosion byproducts is another common reason why patients need revision surgeries for hip and knee replacements. For these reasons, it is essential that biomaterial implants are resistant to both corrosion and wear. In the modern biomedical implant industry, surface modification of metallic implants with suitable coating materials is employed to improve biocompatibility, corrosion resistance, antimicrobial properties, and mechanical performance.

3. Surface Modification Techniques

In recent years, researchers have aimed to improve implant bio-integration by modifying the surface in contact with the body. Surface modification seeks to change the behavior of the metal's surface without altering its bulk properties. These modifications can be used to optimize the host response, like osseointegration, and enhance properties such as corrosion and wear resistance. There are many surface modification methods available. On the basis of working principle, surface modification methods can be classified as physical methods, chemical methods and thermal methods. Surface modification techniques are classified into two broad categories- surface treatment techniques and surface coatings techniques. Selection of a surface modification technique depends upon the material of biomedical implant and application. For example, ensuring soft-tissue compatibility is essential for dental prosthetics to prevent bacteria from infiltrating the gap between the dental implant surface and the gingival epithelial membrane. In the case of cardiac stent materials, they need to be designed to inhibit cell proliferation and restenosis [26]. For cardiovascular devices, blood compatibility or thermogenicity is required.

3.1 Surface Treatment Techniques

3.1.1 Sand Blasting or Grit Blasting

Sand Blasting uses the abrasive particles to develop roughness on the implant surface, creating a microscale topography that promotes osseointegration. The primary objective of this method is to enhance the surface roughness, leading to effective osseointegration. Many *in vivo* studies have investigated surface modified biomaterials. Michael et al. conducted a study of 56 screw type implants made of titanium. These implants were modified by sand blasting technique and acid etching. The result showed successful osseointegration over a six-month period, achieving a 100% success rate [28]. Using a combination of two techniques-grit blasting technique and acid etching method sped up the osteogenesis process during various implantation procedures [29]. Abe et al. in their work assessed the mechanical as well as histological differences of bioimplants in dogs modified by grit blasting, showing that process of grit blasting supported the use of uncoated bioimplants [30]. Alumina (Al_2O_3) powder and Titanium di oxide (TiO_2) powder is used as abrasive particles in sand blasting or grit blasting. Size and number of abrasive particles, pressure, speed of rotation of spindle on which implant is fixed, these factors decide the effectiveness of sand blasting process. The blasting process can leave some residual particles of abrasive and substrate on the implant's surface after the process which may alter the healing process of the bone. Certain resorbable blast media such as calcium phosphate in the forms of hydroxyapatite and beta- tricalcium phosphate, can also be used [31]. The roughness of the implant surface depends upon the particle shape, size and the speed of particles [32]. For titanium sand blasting with alumina particles of size 25-75 μm generates an isotropic surface of average roughness near 1.1 to 1.5 μm [33]. One of the disadvantages of blasting method is that the resulting rough surface can also encourage bacterial attachment.

3.1.2 Physical Vapor Deposition (PVD)

Physical vapor deposition (PVD) is another effective technique for improving the bio functionality of biomedical implants by modifying the interface of metallic implant. In PVD a protective thin layer is applied on the surface of biomedical implant. This protective layer protects the implant from corrosive environment. PVD is a type of vacuum deposition technique that involves vaporizing materials and coating them onto implant surface. In this process, coating materials are converted from condensed state into a vapor state and ultimately deposited onto the surface of implant in a condensed form. The primary use of PVD in biomedical is to enhance properties like biocompatibility, fatigue strength, corrosion resistance and surface hardness of the material. Sputtering deposition is one of the types of PVD techniques most commonly employed technique in dental implants and orthopedic implants due to its ability to produce high quality coating of uniform thickness. In the sputtering process, the material to be deposited is ejected by the bombardment of energy particles, typically ions. These high energy ions remove local substrate ion from the surface, creating space for the coating [34]. Zykova et al. noted that hydroxyapatite (HA) coatings on titanium alloys, combined with magnetron-sputtered alumina bond coats, demonstrated increased corrosion resistance and improved biocompatibility [35]. Ben and Khlifi developed a uniform and biocompatible titanium nitride (TiN) coating film on titanium alloys using cathodic arc evaporation vacuum deposition [36]. Li et al. studied the corrosion resistance behaviour and

biocompatibility of MgCa alloy. For the improvement in the corrosion resistance property and biocompatibility they applied a coating of MgF_2 on the alloy surface by using the vacuum evaporation deposition method [37]. Kim et al. altered the morphologies of hydroxyapatite (HA) coatings on Ti – Ta – Zr alloys, achieving enhanced wettability through radio-frequency magnetron sputtering and cyclic voltammetry [38]. PVD can employ various inorganic materials as well as certain organic materials. Additionally, a key characteristic of this technique is the excellent adhesion between the coatings and the surface. Shevtsov et al. conducted a study on the porous implants by applying a PVD silver coating. An *in vitro* study demonstrated that implants with silver coating on the surface offered significant protection against bacterial growth and showed increased angiogenesis compared to the control group [39].

3.1.3 Friction Stir Process

Friction stir process (FSP) comes under the category of solid-state processing technique to improve and modify the mechanical properties of metal surface. In FSP change in mechanical properties occur because of change in microstructure of the surface [40]. Friction Stir Processing (FSP) involves a tool with a circular cross-section and a probe at the bottom, which may have a threaded shape or other complex designs to stir the heat-affected zone. The point where the probe connects to the cylindrical section is called the shoulder. Initially, the probe penetrates the workpiece due to the applied load or pressure. The shoulder then continuously rubs against the top surface of the workpiece through rotational and translational motion, generating heat primarily through friction. The material softens because of heat generated by the friction developed between the workpiece and the tool. The intense plastic deformation occurring during the tool's stirring process leads to grain refinement and surface modification, primarily due to the dynamic recrystallization of grains [41]. The important parameters in FSP are tool rotating speed, tool pin diameter, tool pin profile, groove width and depth, traverse speed, load and tool shoulder diameter. FSP technology has been widely researched to improve the mechanical properties of titanium and its alloys, copper alloys, aluminium alloys, and steel. Satish Kumar, T., and Titus Thankachan conducted a surface modification process of AZ31 magnesium alloy by friction stir process. In their work friction stir processing was used to create AZ31-ZrC surface composites, where varying amounts of zirconium carbide (ZrC) particles (5, 10 and 15 volume percent) were dispersed onto the surface of AZ31. Examination of the microstructure in the resulting magnesium surface composites showed a uniform distribution of zirconium carbide (ZrC) particles. This uniform coating of ZrC particles along with the processing method, contributed to improved mechanical properties. The research indicated that hardness and tensile strength increased with the addition of reinforcement particles, and results also showed that strengthening mechanisms were correlated with the microstructure of the fabricated composites. Study of the Wear behaviour revealed that the primary wear mechanisms on the surface were abrasive and delamination wear, with a significant downfall in wear observed as particle dispersion increased [42]. Ghahramanzadeh et al. studied the biocompatibility, tribological properties and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy that is processed by FSP. It was found that

Friction Stir Processing (FSP) significantly improved the tensile properties of the alloy but reduced its elongation. The base material displayed a ductile fracture surface in the specimens, while the FSP showed a mix of ductile and brittle fractures. Within the FSP zone, hardness increased by 17% compared to the base metal. Additionally, the alloy's wear performance improved in both ambient air as well as in Simulated Body Fluid (SBF) solution, with better wear properties observed in the SBF due to reduced adhesive bonding between the friction surfaces. This conclusion was further supported by SEM images of the wear path and the surfaces of the counter bodies [43]. Bhojak, Vishal, et al. used friction stir process and cladding process for the surface modification of aluminium alloy. They examined the effect of these modification processes by erosion wear analysis. They found that erosion wear reduced by 68.01 % by friction stir process [44]. Charandabi, Fatemeh Kaffash, et al. used FSP to improve the surface structure and surface properties of an automotive grade Al-Si grade alloy [45]. Fattah-Alhosseini et al. studied the commercially pure titanium. They investigated the impact of multi-pass Friction Stir Processing (FSP) on the corrosion behavior of commercially pure titanium (Cp-Ti) in a phosphate buffer solution. They observed a significant decrease in corrosion density [46].

3.1.4 Electrical Discharge Machining

Electrical discharge machining (EDM) is used to remove material those are difficult to remove by conventional machining methods. It is highly precise material removing technique and it also provide a superior surface finish. The EDM process is useful for developing biomaterials for medical implants and it can also enhance the morphology to support cell in growth. In the EDM process material is removed by repetition of controlled electric spark between electrode and workpiece. The main components of a basic EDM setup include the power supply unit, tool or electrode, workpiece (implant surface), controller, servo motor, and dielectric fluid supply system [47].

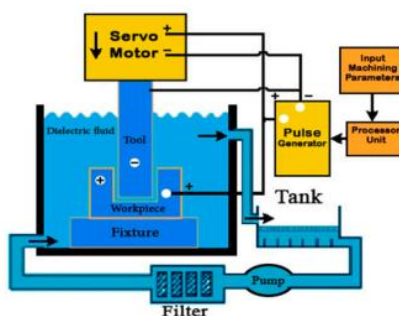


Figure 1. EDM setup [47]

The electrode and workpiece are immersed in dielectric fluid, and a series of high-voltage sparks initiates the ionization of this medium. This creates plasma channels with fluctuating resistance between the workpiece and electrode. When the resistance drops, electrical discharges occur at high frequencies, causing localized temperatures to rise to 8000–12000 °C. This intense heat melts both the workpiece and electrode, forming small craters. Once the voltage is switched off, the temperature decreases, and debris generated during the process is flushed into the dielectric fluid. This process is suitable only for electrically conductive

material. A major advantage of EDM process is that it is a non-contact process, so no mechanical deformation occurs during the process and no residual stress generated in workpiece which can improve fatigue resistance [48]. On titanium alloy surfaces, the high temperatures lead to the formation of titanium oxide, which increases the thickness of the oxide layer and enhances corrosion resistance [47]. Mahajan et al. used EDM process on Cobalt-Chromium alloy. They treated the surface of a Co – Cr alloy to study the performance of surface and biological responses. They found that the samples treated by EDM showed enhanced blood interaction biocompatibility as well as improved hemocompatibility [49]. Wang, Yan-Hsiung, et al. presented an eco-friendly approach for manufacturing titanium (Ti) implants by integrating machining and surface treatment processes. Specifically, electrical discharge machining (EDM) was utilized in a water-based dielectric medium. The purpose of using water-based dielectric medium was to downsize environmental impact on the process and improve operational health compared to traditional methods. The effectiveness of this green EDM technique was analyzed by assessing the bioactivity and cytocompatibility of the EDM-treated Ti implants. For comparison, commercially available Ti implants treated with micro-arc oxidation (MAO) were used as a control group. The results indicate that the eco-friendly EDM process not only mitigates environmental concerns but also produces Ti implants with desirable bioactive and cytocompatible properties. This innovative approach holds promise for sustainable manufacturing practices in the production of medical implants [50]. Farooq, Muhammad Umar, et al. examined the potential of an integrated approach for the modification of implant's surface and machining through a procedure called 'powder-mixed electric discharge machining (PMEDM)'. Focusing on Ti6Al4V ELI, a commonly used titanium alloy for medical implants, the research explores machining under two distinct additive conditions: silicon (Si) and silicon carbide (SiC). A full factorial design of experiments was employed to systematically analyze the outcomes of these additive conditions on several critical surface properties. The study investigated the use of electrical discharge machining (EDM) to modify and enhance the surfaces of Ti6Al4V alloy and AISI 316L steel by forming coatings of hydroxyapatite, aiming to enhance osseointegration of implants. The hydroxyapatite coatings of uniform thickness on the surface of substrate were developed during EDM at currents of 30 A and 40 A, incorporating calcium phosphate additions. The results indicated successful development of apatite coatings on all processed surfaces, with coating thickness and hardness measuring approximately 120 μm and 700 HV for the Ti alloy, and 12 μm and 300 HV for the stainless steel, respectively. Notably, both substrates exhibited a significant increase in surface roughness post-EDM [52].

3.1.5 Thermal Oxidation

Thermal oxidation involves the heating of the material in the oxygen rich environment, leading to growing an oxide layer on the surface of the substrate. It has been observed that the thicker the oxide layer, the lower the likelihood of it being compromised and exposing the underlying metal, thereby enhancing corrosion resistance [53]. The process of thermal oxidation operates at relatively low temperature range and requires no additional materials, which lowers the processing cost of thermal oxidation process compared to other available

thermalsurfacetreatmentmethods. The range of heating temperature depend on the material and desired oxide characteristics [54].The process of thermal oxidationcan be outlined in five steps: first oxygen absorption, second step is oxygen dissolution, third step is formation of a thin film of oxide, fourth step if growth of oxide layer, and the last step is development of a thick oxide layer [55].Wang, Guifang, et al used thermal oxidation to modify the micro-structured titanium surface to enhance the in vitro as well as in vivo bioactivity. In this process the keep ambient temperature at 450°C for varied time duration[55].Maestro et al. in their workevaluated the roughness, microhardness, and corrosion resistance of a Ti6Al4V alloy following cyclic and conventional isothermal heat treatments. The heat treatments were conducted over 24 hours, reaching a peak temperature of650°C, with cyclic conditions applied between the temperature200°C and 400°C for total 48 cycles and each cycle lasting 0.5 hours. All treatment methods led to increases in microhardness,surface roughness as well as corrosion resistance at500 mV above the open-circuit potential during polarization tests, compared to untreated material. These findings are attributed to the formation of rutile, as evidenced by XRD analysis [56].

3.1.6 Laser Surface Modification

Laser surface modification techniques are advanced processes used to alter the surface properties with high precision and control.These techniques can be divided into five primary categories. The differences among these techniques are determined by the interactions between the laser beam and the material. These techniques rely on focused laser beams to induce localized heating, melting, or ablation on the surface of a material, allowing for changes in surface chemistry, texture, and microstructure on the surface of the specimen.

3.1.6.1 Laser Surface Melting (LSM)

Laser surface modification (LSM) is an advantageous technique for processing biomaterialsthat enhances the properties of metallic materials, such as wear resistance, corrosion resistance, and hardness. It involves using a high-energy laser beam to melt the surface layer of a material. The rapid heating and cooling result in a refined microstructure and potentially improved surface characteristics. The laser beam is focused onto the material's surface, causing it to rapidly heat and melt a thin layerusually few microns to millimeters deep. Laser movement is controlled across the surface to ensure the consistent coverage.Once the laser moves past a point, the melted layer cools quickly, solidifying into a refined microstructure. The rapid cooling often give rise to the formation of fine grains, which can improve hardness of the surface and wear resistance.Depending on the material and cooling rate, the surface may undergo a transformation, such as martensitic transformation in steels, which enhances the surface properties [57]. A schematic diagram of LSM shown in the Fig. 2.

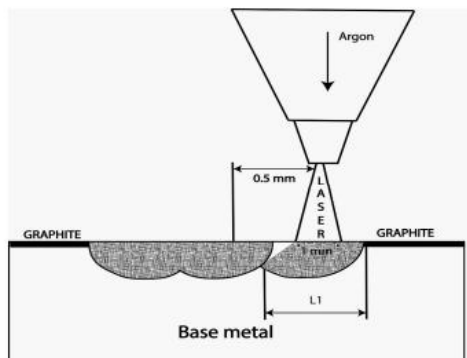


Figure 2. Laser Surface Melting Setup [58]

Using LSM, hard, uniform, and ultrafine structures are formed on the surface and there is no altering the chemical composition of the specimen material. Consequently, enhancements in the surface layer characteristics of the bulk material, including resistance to erosion, wear, and corrosion, can be observed. A reduction of up to 42% in the wear volume of laser-melted AM50 Mg alloy surfaces, as well as an increase of 15–25 HV in microhardness, has been documented. Balla et al. used LSM for surface modification of 316L stainless steel. Their work showed that Laser Surface Melting (LSM) is an effectual approach for modifying the surface crystallographic texture of 316L stainless steel biomedical devices. To melt the surface of 316L SS that is used in medical applications, the team utilized a continuous wave laser. It was discovered that samples treated by LSM samples demonstrated improved surface wettability, corrosion resistance, and enriched viability and in vitro cell-material interactions. These LSM treated samples had increased planar lattice spacing. Along with it these LSM treated samples also had a high concentration of low-energy grain boundaries [60]. Ghate, Nakul D used LSM for surface modification of Ti6Al4V. surface modification is carried out using a broad range of parameters involved in the process. After the modification process the treated samples are then analysed, with measurements taken from microhardness, surface roughness and wettability. Along with this a new heat input parameter is introduced to account for various LSM process parameters [61]. Yao, Xiyu, et al. used selective laser melting technique to modify and enhanced the surface characteristics of Mg-alloy implant and to enhance the microhardness and corrosive resistance properties. It was found that microhardness increased and corrosion rate decreased after the process [62].

3.1.6.2 Laser Surface Cladding (LSC)

LSC is another laser-based technique of surface modification to enhance the surface properties of a metallic biomaterial by applying a clad layer. This layer is typically made from a metal or ceramic powder. This layer of powder is melted onto the surface of a substrate by using a focused laser beam. The laser's energy melts the powder on the surface and a thin layer of substrate, creating a metallurgical bond between them as it solidifies. The molten material rapidly cools and after solidification a clad layer formed on the surface with improved properties [63]. Cladding causes minimal dilution of the base materials due to the very little

time available for interaction of laser with material, allowing the original material to maintain its strength [64]. Steps of the LSC are shown in Fig 3.

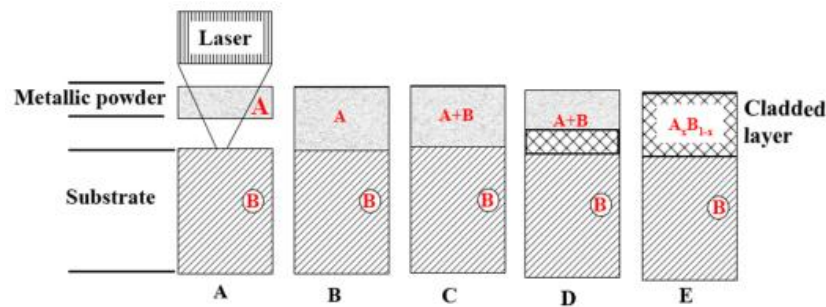


Figure 3. Steps of Laser Surface Cladding

The coating layer's quality depends on three important parameters: first is laser beam's diameter, second parameter is the laser's power, and the third parameter is laser's scanning speed. Each of the mentioned factors must remain consistent to ensure a coating of uniform thickness. It has been noticed that the laser cladding process enhances wear and corrosion resistance of the surface through fine-grain strengthening. However, the choice of powder is restricted in laser cladding because it must have a melting point, thermal expansion coefficient and elastic modulus similar to the metal substrate being coated. Discrepancies in melting points can result in weak metallic bonds between the coating material and surface material, while mismatched thermal expansion coefficients and elastic moduli can lead to development of residual stresses that cause cracking. Beyond the challenge of maintaining optimal parameters, two additional issues limit the effectiveness of laser cladding process: first one is pore formation caused by trapped gases in the molten powder and second is formation of cracks due to the high residual stresses from the heating and cooling cycle [65]. Nie et al. investigated the laser cladding (LC) of 17 – 4 PH stainless steel onto an E355DD substrate, which is a low-alloy structural steel. The goal of study was enhancing wear, corrosion along with cavitation corrosion resistance. The powder used ranged in size from 15 μm to 75 μm [66]. Liu et al. utilized a multi-track coaxial laser cladding (LC) system to deposit Ni – Cr – Mo – W – xSi onto 20G steel, a type of carbon structural steel. They studied how varying the silicon (Si) content from 0 wt. % to 5 wt. % influenced phase composition, microstructure evolution, and resistance to sulphur corrosion at high temperatures. Their findings revealed that the clad layer contained Mo-rich and Cr-rich solid solutions [67]. Almeida et al. applied nickel and cobalt-based alloys onto steel pipes. During the laser cladding process, they observed the formation of a hard heat-affected zone (HAZ) in the substrate. Both the coating and the HAZ demonstrated increased hardness, with the laser-cladded Stellite-6 and Inconel 625 coatings showing twice the hardness of the substrate [68].

3.1.6.3 Laser Surface Alloying Technique (LSA)

Laser surface alloying technique of surface modification is similar to the Laser surface cladding technique. The main difference between these two techniques is the thickness of the treated surface layer. A high-energy beam of laser is directed onto the material's surface, rapidly heating and melting a thin layer of the surface. Alloying elements, in powder or wire form, are

fed into the molten pool, where they mix with the substrate material. As the layer moves on, the melted area cools quickly, leading to the formation of a new alloyed surface layer with refined microstructure [69]. In LSA alloying element can be added to the substrate by using various methods like pre-placed powder method, powder injection method in which alloying powders are continuously fed into using a powder feeder, gaseous alloying in which alloying elements in gaseous form are introduced into laser interaction zone and in situ alloy formation in which substrate itself contains alloying elements that can react under laser to form new alloyed phases [70]. Temperature gradient is an important parameter of the LSA, along with it shear stress is also have an important role in the mixing of alloying elements on the surface of the bulk material [71]. In recent studies, a Ti-5Ag alloy with nearly 100% antibacterial efficacy was successfully synthesized using laser powder bed fusion method (LPBF). The alloy's microstructure revealed the presence of Ti_2Ag , contributing significantly to its antibacterial properties. In situ laser alloying ensured homogeneous element distribution, which enhanced the alloy's mechanical properties and corrosion resistance. This approach highlights LPBF's potential for fabricating bioactive alloys with superior performance characteristics [72]. Orthopedic device-related infections (ODRIs) are a serious risk for titanium-based implants, necessitating antibacterial surface modifications that maintain the implant's mechanical integrity. Sedaghat, Sotoudeh, et al introduced a two-step approach combining silver nanoparticle (AgNP) coating with selective laser-assisted surface alloying on Ti_6Al_4V implants. This method produced a TiAg alloy surface with enhanced antibacterial efficacy and prolonged superhydrophilicity, demonstrating effectiveness against common pathogens and significantly improving bone mineralization. Notably, Rockwell hardness tests indicated minimal impact on the alloy's bulk mechanical properties, showcasing the approach's potential for durable, bioactive implant surfaces [73].

3.1.6.4 Laser Surface Peening Technique (LSP)

LSP technique is suitable for metallic biomaterials only. In this technique mechanical properties of materials are enhanced by inducing the residual stresses on the surface. A high-energy, short-duration laser pulse is directed at the surface of the material, typically through a transparent overlay (such as water or a sacrificial tape) that helps to contain the plasma created by the laser. The intense energy from the laser pulse generates a plasma on the material's surface, creating a high-pressure shock wave. This shock wave propagates into the material, causing plastic deformation in the subsurface layers and leading to compressive residual stresses once the shock wave subsides [74]. Critical parameters of LSP are pulse wavelength, pulse width, laser energy and overlap rate [75]. Bakhtiari, Meisam, et al. investigated the effects of Laser Surface Peening (LSP) on Ti_6Al_4V samples using various power densities and protective coatings. Higher laser power density resulted in maximum compressive residual stresses and increased hydrophobicity and surface roughness. Samples without a protective layer exhibited the highest roughness and enhanced fatigue life, with black-color coated samples achieving up to three times the fatigue life of untreated samples. Microstructural analysis and fatigue fracture characterization were conducted using FE-SEM. Additionally, hydroxyapatite coating on optimally LSP-treated samples demonstrated improved cell viability and adhesion, suggesting

enhanced osseointegration potential for implants [76]. Vishnu, Jithin, et al. in their work examined the effects of varying laser-peening fluences on the surface characteristics and biocompatibility of a low-modulus Ti-22Nb alloy. Higher fluences (6 and 9 GW/cm²) produced nano-porous surfaces with negative skewness along with mixed oxide layers rich in Ti⁴⁺ and Nb⁵⁺. These surfaces exhibited enhanced hydrophilicity, with contact angles reduced to 47.1° and 43.2°, respectively. The presence of Nb⁵⁺ ions improved fretting wear resistance by reducing oxide defects. Cell studies revealed increased genetic marker expression (Ki67), suggesting enhanced osseointegration potential. These findings indicate that laser-peened surfaces at higher fluences improve both wear resistance property and biocompatibility of Ti-22Nb alloys [77]. Praveenkumar, K., et al. studies the effect of laser shock peening without coating on the surface characteristics of Ti₆Al₄V material [78]. This study evaluated the mechanical and biological properties of Ti – 6Al – 7Nb alloy subjected to Laser Shock Peening (LSP) at various energy levels and overlap ratios. LSP-treated surfaces exhibited increased compressive residual stresses, hardness (from 320HV0.05 to 405HV0.05), and refined sub-grain sizes, enhancing wear resistance. Initial cell viability on LSP-treated surfaces was lower but significantly improved over 72 hours, as shown by MTT assays with MG63 osteoblast-like cells. The findings suggest that LSP can enhance the cytocompatibility of orthopedic implants, potentially reducing implant-related pain and improving integration with bone tissue [79].

3.1.7 Thermal Spraying

Thermal spraying comes under the category of surface coating processes that is used to improve the wear, corrosion, and heat resistance of a substrate by depositing a thin film of coating material. It involves heating a feedstock material (such as metal, ceramic, or polymer either in wire or powder form) to a molten or semi-molten state and then propelling it onto the surface of a substrate. This forms a coating with enhanced surface properties while maintaining the substrate's bulk characteristics. The melted material is accelerated using compressed gas or high-velocity plasma and sprayed onto the target surface. Upon impact, the molten particles flatten and rapidly cool, forming a dense coating that adheres to the substrate [80]. Similar to laser cladding technique, the selection of material to be sprayed onto the surface of metallic substrate is restricted by the requirement for compatible properties and the formation of intermetallic bonds at the material interface [81].

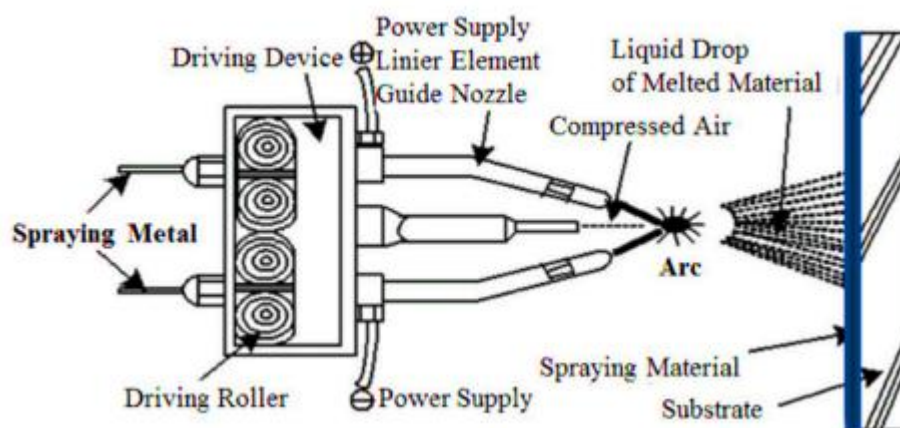


Figure 4. Thermal Spraying [83]

Baltatu, Madalina Simona, et al investigated a novel alloy system, Ti15MoSi, coated with zirconia (ZrO_2) to enhance biocompatibility and corrosion resistance. By applying ZrO_2 through atmospheric plasma spraying, the coating achieves a uniform appearance with minimal cracking. Key findings indicate that ZrO_2 remains stable in simulated body fluids, posing no adverse effects on bone healing. Analysis through X-ray diffraction and SEM-EDS confirmed the presence of β -Ti and ZrO_2 phases with a tetragonal crystalline structure. Notably, the coatings exhibit low Young's modulus values, aligning closely with human bone and potentially reducing implant stress shielding [82]. Shankar, Deep, et al. studied the effectiveness of three thermal spray processes—(i) Atmospheric Plasma Spray (APS), (ii) Flame Spray (FS), and (iii) High-Velocity Oxy-Fuel Spray (HVOF)—which operate at varying temperatures. The research examines how each process influences the surface properties of coatings, impacting both blood compatibility and implant strength [84].

3.2 Coatings

The coatings serve as efficient barriers, preventing unwanted interactions between the surface of metallic biomaterial and biomolecules. Adjusting the surface characteristics of coatings—such as crystal structure, morphology, roughness, wettability, elemental composition, and surface charges—can enhance corrosion resistance, mechanical properties, stability, and also reduce protein adsorption and hematopoietic activation [85]. Researchers have made significant strides in developing a range of coatings with specific functions for different metallic biomaterials. Coatings on cardiovascular stents, in particular, must meet stringent biocompatibility and non-toxicity standards due to their direct contact with human tissue fluids, blood, and cells.

3.2.1 Carbon based Coatings

Carbon-based coatings include graphite, diamond-like carbon (DLC) and graphene. These are widely used to enhance the properties of metallic biomaterials. These coatings improve wear resistance, reduce friction, and increase biocompatibility, making them worthy for several kinds of biomedical applications, such as orthopaedic implants, cardiovascular stents, and dental implants. Graphene is regarded as a foundational building block for carbon-based materials of

various dimensions [86].Lascano, Sheila, et al. obtained porous Ti-Nb-Ta-xMn alloy by using powder metallurgy. A single layer of graphene coating was transferred onto the substrate by chemical vapour deposition method. Biocompatibility tests and cytotoxicity test results confirmed that proliferation and cell adhesion both were successful for single layer graphene coated porous substrate[87].Corado, Hazel Paloma Reis, et al.analysed properties commercially pure titanium coated with graphene oxide, niobium pentoxide and a mixture of both by electrochemical deposition technique.In electrochemical corrosion test it wasnoticed that graphene coating increases the corrosion resistance [88].Diamond-like carbon coatings (DLCs) are a class of amorphous carbon that exhibit many of the desirable properties of diamond like such as high hardness, low coefficient of friction, wear resistance, enhanced hemocompatibility and chemical inertness. These coatings can be produced inexpensively, even at room temperature. DLC coatings have been applied in cardiovascular stents and devices,prosthetic heart valves, dental implants, joint prostheses and surgical devices.DLC coating on aluminum metal can significantly improve the material's performance. When aluminum and its alloys are coated with DLCs, they become suitable for biomedical applications.The primary mainstream methods for producing DLCs are plasma-enhanced physical vapor deposition (PVD) method and chemical vapor deposition (CVD)method[89].Stents coated withDLC exhibit excellent safety due to enhanced hemocompatibility and desirable biocompatibility within the human body.Hassan, Sadia, et al. used graphite coating on stainless steel substrate to enhance hemocompatibility, anti-leaching and antithrombosis properties. Physical vapour deposition technique was used for graphite coating [90].

3.2.2 Polymer Coating

Polymer coatings are widely used on metallic biomaterials to enhance their biocompatibility, prevent corrosion, and improve their overall performance in medical applications.Oriňáková, Renáta, et al. investigated the collective impact of minor Fe additions and poly-ethylene-glycol (PEG) coatings on Zn-based materials, focusing on surface morphology, degradation, cytotoxicity, and mechanical properties. While prior research has explored the development of zinc (Zn) alloys, the influence of polymer coatings on their properties remains unexplored. The findings reveal that minor addition of Fe and PEG coating positively affect deterioration rates and mechanical properties of the surface. However, these modifications are associated with a decrease in biocompatibility.Anil et al.studied the effects of polymer coatings on magnesium surface. Twodifferent kind of polymer coatings, one made from polycaprolactone (PCL) and second coating made frompoly – ω – pentavalerolactone (PPDL) developed on a magnesium surface. These coatings were designed to prevent magnesium from quickly degrading in vivo, thus improving its viability for use as a cardiovascular stent [92].Del Olmo, Jon Andrade, et al focused on the development of chitosan-based hydrogel coatings for titanium alloy (Ti6Al4V) surfaces using genipin (Ti – CHGP) and polyethylene glycol (Ti – CHGP) as crosslinking agents. These coatings not only showed excellent in vivo biocompatibility but also significantly enhanced cell proliferation and differentiation [93].Polypyrrole (Ppy) comes under the category of conductive polymers. It is known for its ease of synthesis. It also exhibits high electrical conductivity as well as strong biocompatibility.

Along with it also demonstrates excellent environmental stability and promotes cell adhesion during several cell growth processes. Effect of Ppy coatings on titanium surface is studied by Rikhari et al. They successfully created Ppy coatings (hydrophilic coating) on titanium substrates using cyclic voltammetry (CV). They examined the electrochemical corrosion behaviour of these coatings in simulated body fluids (SBFs) [94].

3.2.3 Titanium dioxide (TiO₂)

TiO₂ coatings are used in drug delivery systems, as well as in orthopaedic and various dental applications. They also exhibit high catalytic activity along with antibacterial properties, and long-term stability against both photo type and chemical corrosion [95]. D'Agostino, Agnese, et al. presented a novel approach by doping TiO₂ with silver and gallium ions to reduce bacterial adhesion on CoCrMo surfaces. The resulting coatings exhibit hydrophobic behavior and a uniform anatase phase, with thicknesses ranging from 50 to 200 nm. These attributes enhance the potential for biomedical applications by minimizing bacterial colonization on implant surfaces [96]. The aTiO₂ nano-coating, applied through magnetron sputtering, represents an innovative effort to enhance osteogenesis, modulate the inflammatory response, and decrease bacterial colonization on stainless steel (SS) substrates. The study assessed the nanocoated surfaces (SS-a TiO₂) in terms of topography, roughness, wettability, and chemical composition. For comparison, uncoated SS and sandblasted/acid-etched titanium (Ti) substrates were also examined [97].

3.2.4 Heparin Coating

Heparin coatings are commonly used in medical devices to enhance their biocompatibility, particularly in blood-contacting devices like stents, catheters, and vascular grafts. Heparin, a naturally occurring anticoagulant, helps to reduce blood clot formation by inhibiting thrombin and other clotting factors. When applied as a coating, heparin creates a surface that is more compatible with blood, reducing the risk of thrombosis (clot formation) and minimizing adverse reactions in the body [98]. Maitz, Manfred F., et al. explored the use of hydrogels made from four – armed poly (ethylene glycol) (starPEG) and heparin, both with and without coagulation-responsive heparin release, as coatings for neurovascular devices. The objective was to reduce formation of blood clots. The usefulness and effectiveness of these coatings were assessed through in vitro Chandler-Loop assays and implantation tests in the supra-aortic arteries of rabbits. Li, Xiaoying, et al. employed atomic layer deposition technology to create a stable heparin coating, which was then used to develop a heparin-coated venous stent. The experiment verified the in vivo safety of the heparin-coated stent [100].

3.2.5 Chitosan Coatings

Chitosan coatings are commonly used in biomedical applications due to chitosan's biocompatibility, biodegradability, and antimicrobial properties. Chitosan is derived from chitin, a natural polysaccharide found in the exoskeletons of crustaceans, and it is particularly valued for its ability to promote cell adhesion and tissue integration [101]. Chitosan coatings are frequently applied to biodegradable stents to slow down their degradation inside the

body. Kozina et al. worked on magnesium-based biomaterial. In their work they employed a technique, called spin-coating method, to create chitosan composite coating of uniform thickness on the surface of Mg20Zn alloy. Results showed that chitosan composite coating significantly enhanced the alloy's corrosion resistance in Hank's solution at 37°C. Due to the coating on the surface of alloy the corrosion potential shifted positively, as well as the corrosion current was reduced, and the corrosion rate declined by 62.5% [102]. D'Almeida et al. created chitosan coatings on the surface of titanium substrates through covalent bonding and noted their remarkable antimicrobial effectiveness by counting the colony-forming units of the two bacteria *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. It was found that the chitosan coating greatly enhanced the safety and life-time of titanium implants and has the potential to be a commercially viable solution [103].

Conclusion

Metallic biomaterials play a vital role in the field of biomedical implants and the reason behind it is their superior mechanical properties and versatility. However, issues related to corrosion, wear, and biocompatibility present significant challenges, especially in long-term applications. This review highlights that effective methods and techniques of surface modification of metallic biomedical implants can significantly enhance and modify the performance, properties and life of metallic implants by improving their interaction with biological tissues, increasing corrosion resistance, and reducing wear. Techniques such as laser surface modification, thermal spraying, and the application of biocompatible coatings have demonstrated substantial improvements in implant longevity and patient outcomes. Future research work in this field should focus on optimizing these surface treatment and coating techniques to tailor specific properties for large number of biomedical applications, ultimately advancing the development of safer and more effective implants.

References

1. Sumayli, A. "Recent trends on bioimplant materials: A review." *Materials Today: Proceedings* 46 (2021): 2726-2731.
2. Xiao, M., et al. "Bio-functionalization of biomedical metals." *Materials Science and Engineering: C* 70 (2017): 1057-1070.
3. Cerruti, Marta, and Nita Sahai. "Silicate biomaterials for orthopaedic and dental implants." *Reviews in mineralogy and geochemistry* 64.1 (2006): 283-313.
4. Abd-elrhman, Yasser, et al. "Compatibility assessment of new V-free low-cost Ti–4.7 Mo–4.5 Fe alloy for some biomedical applications." *Materials & Design* 97 (2016): 445-453.
5. Ashby, Michael F., Hugh Shercliff, and David Cebon. *Materials: engineering, science, processing and design*. Butterworth-Heinemann, 2018.
6. Goharian, Amirhossein. *Osseointegration of Orthopaedic Implants*. Academic Press, 2019.
7. Okazaki, Yoshimitsu, and Emiko Gotoh. "Metal release from stainless steel, Co–Cr–Mo–Ni–Fe and Ni–Ti alloys in vascular implants." *Corrosion science* 50.12 (2008): 3429-3438.

8. Hallab, Nadim James, et al. "Lymphocyte responses in patients with total hip arthroplasty." *Journal of Orthopaedic Research* 23.2 (2005): 384-391.
9. Eliaz, Noam. "Corrosion of metallic biomaterials: a review." *Materials* 12.3 (2019): 407.
10. Liu, Wei, Shifeng Liu, and Liqiang Wang. "Surface modification of biomedical titanium alloy: micromorphology, microstructure evolution and biomedical applications." *Coatings* 9.4 (2019): 249.
11. Chandel, Arvind K. Singh, et al. "Advancement of biomaterial-based postoperative adhesion barriers." *Macromolecular bioscience* 21.3 (2021): 2000395.
12. Aherwar, Amit, Amit K. Singh, and Amar Patnaik. "Current and future biocompatibility aspects of biomaterials for hip prosthesis." *AIMS Bioengineering* 3.1 (2015).
13. Mohandesnezhad, Sadaf, et al. "Enhanced bioactivity of 316L stainless steel with deposition of polypyrrole/hydroxyapatite layered hybrid coating: Orthopedic applications." *Surfaces and Interfaces* 28 (2022): 101604.
14. G. Sergey, S. Catherine, V. Alexey, U. Vladimir, C. Nikolai, Modifying coatings for medical implants made of titanium alloys, *Metals* 13 (2023) 718, <https://doi.org/10.3390/met13040718>
15. He, Heng, et al. "Structure design, preparation and performance of a novel composite coating on medical magnesium-zinc alloy." *Surface and Coatings Technology* 443 (2022): 128643.
16. Garcia-Mendez, María Cristina, et al. "In vitro biocompatibility evaluation of a new Co-Cr-B alloy with potential biomedical application." *Metals* 11.8 (2021): 1267.
17. Yin, Yu-Xia, et al. "Hemocompatibility of biodegradable Zn-0.8 wt%(Cu, Mn, Li) alloys." *Materials Science and Engineering: C* 104 (2019): 109896.
18. Prakasam, Mythili, et al. "Biodegradable materials and metallic implants—a review." *Journal of functional biomaterials* 8.4 (2017): 44.
19. Lam, Mylan, Véronique Migonney, and Céline Falentin-Daudre. "Review of silicone surface modification techniques and coatings for antibacterial/antimicrobial applications to improve breast implant surfaces." *Acta Biomaterialia* 121 (2021): 68-88.
20. Alojali, H. M., and K. Y. Benyounis. "Advances in tool wear in turning process." (2016).
21. Kaur, Manmeet, and K. Singh. "Review on titanium and titaniumbased alloys as biomaterials for orthopaedic applications." *Materials Science and Engineering: C* 102 (2019): 844-862.
22. Eliaz, Noam. "Corrosion of metallic biomaterials: a review." *Materials* 12.3 (2019): 407.
23. Aksakal, B., Ö. S. Yildirim, and H. Gul. "Metallurgical failure analysis of various implant materials used in orthopedic applications." *Journal of Failure Analysis and Prevention* 4 (2004): 17-23.
24. Muruve, Noah, et al. "A peptide-based biological coating for enhanced corrosion resistance of titanium alloy biomaterials in chloride-containing fluids." *Journal of Biomaterials Applications* 31.8 (2017): 1225-1234.
25. Sikder, Prabaha, Yufu Ren, and Sarit B. Bhaduri. "Synthesis and evaluation of protective poly (lactic acid) and fluorine-doped hydroxyapatite-based composite coatings on AZ31 magnesium alloy." *Journal of Materials Research* 34.22 (2019): 3766-3776.
26. Amin Al-Ahmad, M. D., et al., eds. *Pacemakers and implantable cardioverter defibrillators: An expert's manual*. Cardiotext Publishing, 2010.
27. Gupta, Varun, et al. "A review on surface engineering modifications obtained using inconel-625." *Int. J. Mech. Eng. Technol* 8.7 (2017).

28. Bornstein, Michael M., et al. "Early loading of nonsubmerged titanium implants with a chemically modified sand-blasted and acid-etched surface: 6-month results of a prospective case series study in the posterior mandible focusing on peri-implant crestal bone changes and implant stability quotient (ISQ) values." *Clinical implant dentistry and related research* 11.4 (2009): 338-347.
29. Herrero-Climent, Mariano, et al. "Influence of acid-etching after grit-blasted on osseointegration of titanium dental implants: in vitro and in vivo studies." *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 24 (2013): 2047-2055.
30. Abe, Leona, Ikuya Nishimura, and Yasuharu Izumisawa. "Mechanical and histological evaluation of improved grit-blast implant in dogs: pilot study." *Journal of Veterinary Medical Science* 70.11 (2008): 1191-1198.
31. El-Banna, Ahmed, et al. "Surface modification techniques of dental implants." *Dental Implants*. Woodhead Publishing, 2020. 49-68.
32. Fouziya, Begum, et al. "Surface modifications of titanium implants—The new, the old, and the never heard of options." *Journal of Advanced Clinical and Research Insights* 3.6 (2016): 215-219.
33. Garg, Hemlata, Gaurav Bedi, and Aravind Garg. "Implant surface modifications: a review." *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 6.2 (2012): 319-324.
34. Feddes, B., et al. "Initial deposition of calcium phosphate ceramic on polyethylene and polydimethylsiloxane by rf magnetron sputtering deposition: the interface chemistry." *Biomaterials* 25.4 (2004): 633-639.
35. Zykova, Anna, et al. "Suppl 1-M16: Formation of Solution-derived Hydroxyapatite Coatings on Titanium Alloy in the Presence of Magnetron-sputtered Alumina Bond Coats." *The Open Biomedical Engineering Journal* 9 (2015): 75.
36. Aissa, Chokri Ben, and Kaouther Khlifi. "CAE-PVD synthesis and characterization of titanium-based biocompatible coatings deposited on titanium alloy for biomedical application." *Materials Today: Proceedings* 42 (2021): A10-A17.
37. Li, Nola, et al. "Corrosion resistance and cytotoxicity of a MgF₂ coating on biomedical Mg–1Ca alloy via vacuum evaporation deposition method." *Surface and Interface Analysis* 45.8 (2013): 1217-1222.
38. Kim, Hyun-Ju, et al. "Hydroxyapatite formation on biomedical Ti–Ta–Zr alloys by magnetron sputtering and electrochemical deposition." *Thin Solid Films* 572 (2014): 119-125.
39. Shevtsov, Maxim A., et al. "Evaluation of the temporary effect of physical vapor deposition silver coating on resistance to infection in transdermal skin and bone integrated pylon with deep porosity." *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 107.1 (2019): 169-177.
40. Patel, Vivek, et al. "Enhancing grain refinement and corrosion behavior in AZ31B magnesium alloy via stationary shoulder friction stir processing." *journal of materials research and technology* 17 (2022): 3150-3156.
41. Mishra, Rajiv S., and Z. Y. Ma. "Friction stir welding and processing." *Materials science and engineering: R: reports* 50.1-2 (2005): 1-78.
42. Satish Kumar, T., and Titus Thankachan. "Friction stir processing based surface modification of AZ31 magnesium alloy." *Materials and Manufacturing Processes* 38.11 (2023): 1426-1435.

43. Ghahramanzadeh Asl, Hojjat, et al. "The effect of friction stir process on the mechanical, tribological, and biocompatibility properties of AZ31B magnesium alloy as a biomaterial: A pilot study." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* 236.12 (2022): 1720-1731.
44. Bhojak, Vishal, et al. "Friction stir process: a comprehensive review on material and methodology." *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences (IJEMS)* 30.1 (2023): 45-64.
45. Charandabi, Fatemeh Kaffash, et al. "Modification of microstructure, hardness, and wear characteristics of an automotive-grade Al-Si alloy after friction stir processing." *Journal of Adhesion Science and Technology* 35.23 (2021): 2696-2709.
46. Fattah-alhosseini, Arash, et al. "Passive and electrochemical response of friction stir processed pure titanium." *Journal of Alloys and Compounds* 704 (2017): 499-508.
47. Abu Qudeiri, Jaber E., et al. "Electric discharge machining of titanium and its alloys." *The international journal of advanced manufacturing technology* 96 (2018): 1319-1339.
48. Prakash, Chander, et al. "Electric discharge machining—A potential choice for surface modification of metallic implants for orthopedic applications: A review." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 230.2 (2016): 331-353.
49. Mahajan, Amit, and Sarabjeet Singh Sidhu. "Enhancing biocompatibility of Co-Cr alloy implants via electrical discharge process." *Materials Technology* 33.8 (2018): 524-531.
50. Wang, Yan-Hsiung, et al. "The feasibility of eco-friendly electrical discharge machining for surface modification of Ti: a comparison study in surface properties, bioactivity, and cytocompatibility." *Materials Science and Engineering: C* 108 (2020): 110192.
51. Farooq, Muhammad Umar, et al. "Surface generation on titanium alloy through powder-mixed electric discharge machining with the focus on bioimplant applications." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 122.3 (2022): 1395-1411.
52. Freitas Filho, Aderci, et al. "Evaluation of the effect of surface modification of Ti64 and 316 L by addition of calcium phosphate through electrical discharge machining process." *Tribology International* 180 (2023): 108245.
53. Jamesh, M., TSN Sankara Narayanan, and Paul K. Chu. "Thermal oxidation of titanium: Evaluation of corrosion resistance as a function of cooling rate." *Materials Chemistry and Physics* 138.2-3 (2013): 565-572.
54. Wang, Guifang, et al. "Surface thermal oxidation on titanium implants to enhance osteogenic activity and in vivo osseointegration." *Scientific reports* 6.1 (2016): 31769.
55. Lin, Naiming, et al. "Surface damage mitigation of titanium and its alloys via thermal oxidation: A brief review." *Reviews on Advanced Materials Science* 58.1 (2019): 132-146.
56. Maestro, Carolina Aurélia Ribeiro, Alysson Helton Santos Bueno, and Artur Mariano de Sousa Malafaia. "Cyclic thermal oxidation evaluation to improve Ti6Al4V surface in applications as biomaterial." *Journal of Materials Engineering and Performance* 28 (2019): 4991-4997.
57. Jeyaprakash, Natarajan, Che-Hua Yang, and Durairaj Raj Kumar. "Laser surface modification of materials." *Practical Applications of Laser Ablation* (2020): 61-81.
58. Conde, A., et al. "Corrosion behaviour of steels after laser surface melting." *Materials & Design* 21.5 (2000): 441-445.
59. Zhang, Yongkang, et al. "Effect of laser surface melting on friction and wear behavior of AM50 magnesium alloy." *Surface and Coatings Technology* 202.14 (2008): 3175-3179.

60. Balla, Vamsi Krishna, et al. "Laser surface modification of 316L stainless steel." *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 106.2 (2018): 569-577.
61. Ghate, Nakul D., and Amber Shrivastava. "Laser processing of multiple surface characteristics for Ti6Al4V biomedical implants." *Materials and Manufacturing Processes* 36.3 (2021): 308-315.
62. Yao, Xiyu, et al. "Surface modification of biomedical Mg-Ca and Mg-Zn-Ca alloys using selective laser melting: Corrosion behaviour, microhardness and biocompatibility." *Journal of Magnesium and Alloys* 9.6 (2021): 2155-2168.
63. Zhong, Minlin, and Wenjin Liu. "Laser surface cladding: the state of the art and challenges." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 224.5 (2010): 1041-1060.
64. Kathuria, YP1855710. "Some aspects of laser surface cladding in the turbine industry." *Surface and Coatings Technology* 132.2-3 (2000): 262-269.
65. Weng, Fei, Chuanzhong Chen, and Huijun Yu. "Research status of laser cladding on titanium and its alloys: A review." *Materials & Design* 58 (2014): 412-425.
66. Nie, M. H., et al. "Effect of laser power on microstructure and interfacial bonding strength of laser cladding 17-4PH stainless steel coatings." *Materials Chemistry and Physics* 275 (2022): 125236.
67. Liu, Congcong, et al. "Investigation on the corrosion behavior of Ni-Cr-Mo-W-xSi laser cladding coating in H₂S corrosion environment." *Applied Surface Science* 578 (2022): 152061.
68. Almeida, Natália Chaves, et al. "Laser cladding and thermal spray coatings on steel pipe serving the oil and gas industry." (2016).
69. Chi, Yiming, et al. "Laser surface alloying on aluminum and its alloys: A review." *Optics and Lasers in Engineering* 100 (2018): 23-37.
70. Draper, C. W., and J. M. Poate. "Laser surface alloying." *International metals reviews* 30.1 (1985): 85-108.
71. Didenko, T., J. Kusinski, and G. Kusinski. "Multiphase model of heat and mass transport during laser alloying of iron with electrodeposited chromium layer." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 973. No. 1. American Institute of Physics, 2008.
72. Song, Changhui, et al. "In situ alloying Ti-Ag antibacterial biomaterials via laser powder bed fusion: Microstructure, mechanical properties and bioperformance." *Materials Today Advances* 20 (2023): 100445.
73. Sedaghat, Sotoudeh, et al. "Laser-assisted surface alloying of titanium with silver to enhance antibacterial and bone-cell mineralization properties of orthopedic implants." *Journal of Materials Chemistry B* 12.18 (2024): 4489-4501.
74. Ding, Kan, and Lin Ye. *Laser shock peening: performance and process simulation*. Woodhead Publishing, 2006.
75. Gupta, Ram Kishor, et al. "Laser shock peening and its applications: a review." *Lasers in Manufacturing and Materials Processing* 6.4 (2019): 424-463.
76. Bakhtiari, Meisam, et al. "Ti6Al4V bone implants: effect of laser shock peening on physical, mechanical, and biological properties." *Journal of Materials Engineering and Performance* (2023): 1-16.
77. Vishnu, Jithin, et al. "Insights into the surface and biocompatibility aspects of laser shock peened Ti-22Nb alloy for orthopedic implant applications." *Applied Surface Science* 586 (2022): 152816.

78. Praveenkumar, K., et al. "In-vitro fretting tribocorrosion and biocompatibility aspects of laser shock peened Ti-6Al-4V surfaces." *Applied Surface Science* 665 (2024): 160334.
79. Shen, Xiaojun, et al. "Residual stresses induced by laser shock peening in orthopaedic Ti-6Al-7Nb alloy." *Optics & Laser Technology* 131 (2020): 106446.
80. Pierlot, Christel, et al. "Design of experiments in thermal spraying: A review." *Surface and Coatings technology* 202.18 (2008): 4483-4490.
81. Heimann, Robert B. "Thermal spraying of biomaterials." *Surface and Coatings Technology* 201.5 (2006): 2012-2019.
82. Baltatu, Madalina Simona, et al. "Microstructural analysis and tribological behavior of Ti-based alloys with a ceramic layer using the thermal spray method." *Coatings* 10.12 (2020): 1216.
83. Choe, Hong-Bok, Han-Seung Lee, and Jun-Ho Shin. "Experimental study on the electrochemical anti-corrosion properties of steel structures applying the arc thermal metal spraying method." *Materials* 7.12 (2014): 7722-7736.
84. Shankar, Deep, et al. "Thermal spray processes influencing surface chemistry and in-vitro hemocompatibility of hydroxyapatite-based orthopedic implants." *Biomaterials Advances* 158 (2024): 213791.
85. Zhang, Jing, et al. "Fabrication and hemocompatibility evaluation of a robust honeycomb nanostructure on medical pure titanium surface." *ACS Applied Materials & Interfaces* 14.7 (2022): 9807-9823.
86. Nakano, Hideyuki, et al. "Chemical modification of group IV graphene analogs." *Science and Technology of advanced MaTerialS* 19.1 (2018): 76-100.
87. Lascano, Sheila, et al. "Graphene-coated Ti-Nb-Ta-Mn foams: A promising approach towards a suitable biomaterial for bone replacement." *Surface and Coatings Technology* 401 (2020): 126250.
88. Corado, Hazel Paloma Reis, et al. "Titanium coated with graphene and niobium pentoxide for biomaterial applications." *International Journal of Biomaterials* 2022.1 (2022): 2786101.
89. Peng, Yinglong, et al. "Diamond-like carbon coatings in the biomedical field: properties, applications and future development." *Coatings* 12.8 (2022): 1088.
90. Hassan, Sadia, et al. "Graphite coatings for biomedical implants: A focus on anti-thrombosis and corrosion resistance properties." *Materials Chemistry and Physics* 290 (2022): 126562.
91. Oriňaková, Renáta, et al. "Biodegradable zinc-based materials with a polymer coating designed for biomedical applications." *Journal of Applied Polymer Science* 141.2 (2024): e54773.
92. Mahapatro, Anil, Kayla Jensen, and Shang-You Yang. "Effect of polymer coating characteristics on the biodegradation and biocompatibility behavior of magnesium alloy." *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59.3 (2020): 301-310.
93. Del Olmo, Jon Andrade, et al. "Multifunctional antibacterial chitosan-based hydrogel coatings on Ti6Al4V biomaterial for biomedical implant applications." *International Journal of Biological Macromolecules* 231 (2023): 123328.
94. Rikhari, Bhavana, S. Pugal Mani, and N. Rajendran. "Investigation of corrosion behavior of polypyrrole-coated Ti using dynamic electrochemical impedance spectroscopy (DEIS)." *RSC Advances* 6.83 (2016): 80275-80285.

95. Cao, Yan-Qiang, et al. "Enhanced visible light photocatalytic activity of Fe₂O₃ modified TiO₂ prepared by atomic layer deposition." *Scientific Reports* 10.1 (2020): 13437.
96. D'Agostino, Agnese, et al. "Antibacterial titanium dioxide coatings for CoCrMo orthopaedic implants." *Applied Surface Science* 609 (2023): 155300.
97. Garcia-Perez, Victor I., et al. "Amorphous TiO₂ nano-coating on stainless steel to improve its biological response." *Biomedical Materials* 19.5 (2024): 055037.
98. Oduah, Eziafa I., Robert J. Linhardt, and Susan T. Sharfstein. "Heparin: past, present, and future." *Pharmaceuticals* 9.3 (2016): 38.
99. Maitz, Manfred F., et al. "Enhancing thromboresistance of neurovascular nickel-titanium devices with responsive heparin hydrogel coatings." *Journal of NeuroInterventional Surgery* (2024).
100. Li, Xiaoying, et al. "Experimental study of a heparin-coated venous stent fabricated by atomic layer deposition." *Journal of Biomaterials Applications* 37.6 (2023): 1124-1134.
101. Duong, Hau Van, et al. "Biocompatible chitosan-functionalized upconverting nanocomposites." *ACS omega* 3.1 (2018): 86-95.
102. Kozina, Iryna, et al. "Corrosion resistance of MgZn alloy covered by chitosan-based coatings." *International Journal of Molecular Sciences* 22.15 (2021): 8301.
103. D'Almeida, Mélanie, et al. "Chitosan coating as an antibacterial surface for biomedical applications." *PLoS One* 12.12 (2017): e0189537.

A BRIEF DISCUSSION OVER BIOCOMPATIBILITY AND CORROSION BEHAVIOUR OF METALS BIOMATERIALS

Bhavana Singh,

Research Scholar, IFTM University Moradabad 244001 India

bhavnasingh15619@gmail.com–0000-0003-0917-4157

Dr. Vaibhav Trivedi-

Professor, IFTM University Moradabad 244001 India

vaibhavtrivedi@iftmuniversity.ac.in–0000-0002-0064-133X

Dr. Ankur Goel

Orthopedic & Joint replacement surgeon Sri sai super speciality Hospital, Moradabad
244001 India

drankurgoel@yahoo.com–0009-0008-2225-370X

ABSTRACT

This article reviews the various advancements in metallic biomaterials for medical applications. Due to their versatility in various mechanical and physical properties, these materials are most suitable for implanting in dental surgeries, bone joints and cardiovascular operations. However, the in-vivo environment, which includes body fluids, is highly corrosive to metal surfaces. This corrosion can lead to the release of harmful by-products, potentially causing localized pain, infections, swelling, and even implant failure. Therefore, biocompatibility is a key consideration when selecting materials for implants. While options such as ceramics, bio-glasses, and polymers exist, metals and alloys are often preferred for their mechanical strength and adaptability. Despite these advantages, their vulnerability to corrosion remains a significant concern. To address this, commonly used corrosion-resistant metals include SS-316, Magnesium and its alloys, and Cobalt-Chromium alloys. The formation of a protective passive film on these materials is crucial in minimizing corrosion and ensuring the longevity of metallic implants.

Keywords: Metal-metallic Biomaterials; Biocompatibility; Corrosion resistance; Bone transplants

1. Introduction

Biomaterials, nowadays find a significant application across various medical implants including bone transplants, dental implants, tissue replacements, biosensors and many more [1]. Various properties such as its biocompatibility, mechanical properties, chemical stability, degradation and many more collaborative properties make it a suitable alternative for the treatments mentioned earlier [2]. As we know, the structure of the human body is very complex. It comprises of various cells, tissues, organs, blood, lymph, bones and many more [3]. All these are collectively important for the proper functioning of the body. Here in the present study, bone transplant is kept as the center of attraction as these provide structural integrity and psychological functions within the body. It comprises of structural proteins, fats, bone

morphogenetic proteins, minerals, type I collagen, and water [4]. Also, data of Science Direct as seen from figure 1, clearly represents the increased number of papers since 2017 to 2023 and these numbers will kept on increasing. Few authors reported significant improvement in mechanical properties of composite bricks and zinc aluminium matrix by incorporating natural fiber and ZrB_2 [5, 6].

From a biological perspective, bone is a highly complex tissue that undergoes continuous dynamic remodeling. This process is driven by two key types of cells: osteoclasts, which break down and resorb mature bone tissue, and osteoblasts, which generate new bone. Together, these cells maintain bone homeostasis, ensuring the bone remains healthy and capable of adapting to stress [7]. This natural regenerative process allows bones to heal themselves and repair damage under normal conditions. However, when bone damage exceeds a critical size (generally greater than 1 cm^3), the natural regeneration process is insufficient, and the bone cannot fully heal without external assistance [8]. To address such large defects, intervention is necessary to support the bone's self-healing mechanisms and facilitate proper reconstruction of the tissue. This ensures that the bone regains its structural integrity and functionality [9]. While researchers have made significant progress in understanding and developing treatments for critical bone defects, many challenges remain. These challenges are due to the complex interplay of factors that affect bone healing, such as [10, 11]:

- a) Location and size of the defect: Larger or more complex areas are harder to repair.
- b) State of the surrounding soft tissue: A healthy soft tissue capsule is essential for healing.
- c) Mechanical stress and movement: Continuous movement or mechanical load on the damaged bone can impede healing.
- d) Patient factors: Age, metabolic diseases (e.g., diabetes), and overall health can impact the success of treatments.

One of the most effective interventions for critical bone defects is the use of autografts, where bone is harvested from the patient's own body and transplanted to the defect site. Autografts minimize the risk of immune rejection since the body recognizes the tissue as its own [12]. However, the availability of auto graft material is limited in both size and quality, and the procedure carries risks, including donor site morbidity (damage or complications at the site where the bone was taken), prolonged surgery times, and additional trauma to the body [13]. An alternative to autografts is the use of allogeneic bone, which comes from donor sources. While this approach can provide larger amounts of bone tissue, it carries risks of immune rejection, disease transmission, and cross-infection. Moreover, healing with allogeneic bone tends to be slower, and there is a greater risk of complications [14]. In response to these limitations, researchers have increasingly turned to artificial bone implants made from biomaterials. These biomaterials aim to mimic the structure and properties of natural bone, offering an innovative solution for reconstructing bone defects [15]. Biomaterial implants hold several potential advantages, including the ability to customize implants to the patient's specific needs, reduced risk of disease transmission, and fewer concerns about immune rejection. However, the success of these implants still depends on factors like biocompatibility, mechanical properties, and the body's ability to integrate the artificial material into the natural bone structure [16]. To do so, various materials are considered for transplants for better utility in medical applications. These

materials and their alloys includes stainless steel, titanium alloys, chromium cobalt alloys, iron alloys, zinc alloys, polymers, ceramics and magnesium which are deliberately considered for various orthopaedic transplants. These materials and their alloys have comparable mechanical properties to human bones, bio-inertness, non-toxic and these materials are highly corrosion-resistant, making them ideal choice for transplants [17].

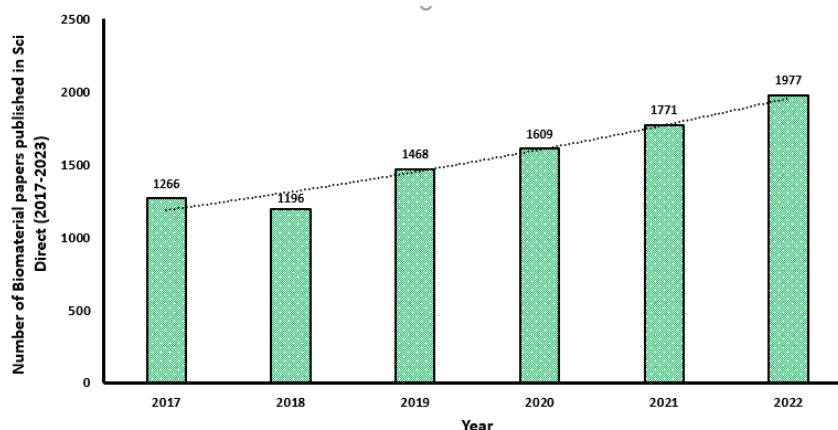


Figure 1. Number of Research article and Review article published from year 2017-2023 (data from science direct)

2. Mechanical Properties of Metal Metallic Biomaterials

All the implants and medical devices used in medical applications are expected to be physically and mechanically stable. The materials should have excellent mechanical properties such as rigidity, elasticity, strength, and toughness and should be fracture-resistant. The global shifts from the utilization of biopolymers towards the metallic biomaterials can be observed in past few decades due to their exceptional properties that include ductility, yield strength and high modulus. For better understanding, the properties commonly used for biomaterials are tabulated in Table 1 for clear insights [18 – 20] and similar has been portrayed in figure 2 for better understanding.

Table 1: Summary of Mechanical Properties of various Metallic Biomaterials [18 – 20]

Metallic Biomaterials	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	E Modulus (GPa)
Cortical Bone (CB)	70-150	30-70	15-30
Stainless-Steel (SS)	586-1351	221-1213	190
Titanium (Ti)	760	485	110
Magnesium (Mg)	170-270	-	41-45
Cobalt (Co)	1012	485	243
Cobalt-Chromium alloy (Co-Cr)	940	-	-

Excellent mechanical properties help to withstand deformation due to load which can severely affect the biomaterials due to cracks around the implanted surface. Moreover, failure of the transplanted biomaterial can result in premature failure and removal of prostheses before time. It can lead to substantial issues and may results in another operation which can be costly and painful. Hence, mechanical properties are utmost important before selection of optimal material. Also, based on the previous literature it has been observed that load distribution was greatly influenced by mechanical properties [21]. The major function of biomaterials is to act like bone and provide sufficient strength to bear load. Various forces are experienced by the transplanted materials during the operating period. These forces include tensile, compressive, shear and many more. According to a study it was observed that dental implants are less damaged compared to bone transplants due to smaller in size [22]. The reliability of the working transplants is determined by withstanding all the mechanical aspects for better durability. However, sometimes the properties of the materials are altered by additions of various alloys and providing necessary heat treatment for required properties [23]. As mentioned earlier the bone material can alter its structure to cope with similar by providing a sufficient amount of alloys in the pure material making it more usable.

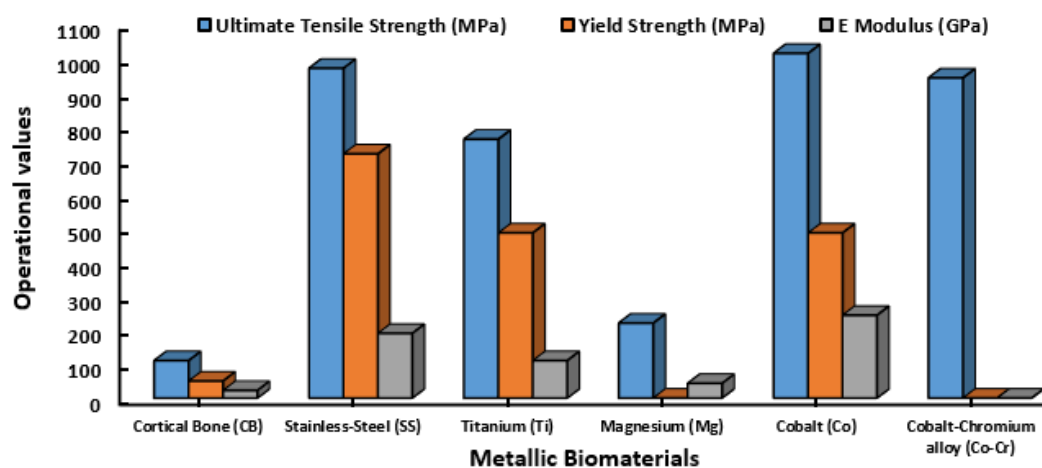


Figure 2. Mechanical Properties of respected materials as reported earlier [18-20]

3. Biocompatibility

Several factors influence the biocompatibility of the metallic materials with the body. These cases include the size of the implant, composition of the material, wettability of the surface, and many more. The biomaterials should not react with the body causing irritation or reactions due to changes in plasma proteins. Also, it should not damage the sensitive elements of the blood cells as it may lead to harmful impacts on the human body [24].

The corrosion of metallic implants can influence surrounding tissues in three primary ways: (i) electrical currents generated during corrosion which may impact cellular behavior, (ii) the chemical environment around the implant may be altered, and (iii) metal ions released through corrosion can interfere with cellular metabolism. One significant concern from the release of corrosion products into the body is the potential for systemic and distant effects [25]. Even

mild corrosion can cause symptoms such as localized tenderness at the implant site, acute pain, redness, and swelling in the affected area. Systemic reactions to metallic implants are primarily due to the influx of metal ions released during corrosion [26]. Organ-specific accumulation of these ions, coupled with varying excretion rates, may lead to elevated levels of specific alloying elements, potentially disrupting the body's tolerance to toxic substances [27]. In both animal studies and patients with stainless steel or cobalt-based orthopaedic total joint replacement (TJR) components, corrosion and wear have been shown to cause long-term changes in blood metal content [28]. These changes include increased metal concentrations in both local and distant tissues (such as the liver and kidneys) and elevated levels of metal ions in the blood and urine. While histological evidence directly linking metal ion release to corrosion is lacking, tissue discolouration and foreign body reactions (FBRs) strongly suggest that implant corrosion is the source of these metal ions [29]. The corrosion resistance is tabulated in Table 2, which depicts various ASTM standards for testing corrosion resistance of various biomaterials [30, 31].

Table 2: ASTM standards for testing of Corrosion resistance of various biomaterials [30, 31]

Standards	Specification
ASTM G71	Test guide for measuring galvanic corrosion
ATSM G61	Test procedure of measuring localized corrosion
ASTM G48	Test procedure of stainless-steel based devices for measuring fretting due to corrosion
ASTM 1089	Test procedure of surgical instruments for measuring fretting due to corrosion
ASTM 897	Test procedure of plates and screws for measuring fretting due to corrosion
ASTM 746	Test procedure of surgical implants for measuring pitting due to corrosion

4. Corrosion effect on various Biomaterials

4.1 Stainless-Steel (SS)

Stainless steel 316L (SS-316L) is commonly used as a biomaterial in various medical implants due to its excellent corrosion resistance, machinability, affordability, and availability. The key alloying elements in surgical-grade SS-316L include chromium (17-20%), molybdenum (2-3%), nickel (12-15%), along with small amounts of other elements [31]. However, when SS-316L corrodes inside the body, the release of these metal ions can act as potent carcinogens and allergens. Stainless steel is particularly prone to pitting and crevice corrosion, with studies indicating that these forms account for about 90% of implant failures [32]. It is especially vulnerable to localized corrosion caused by halogens (notably chloride ions) and reduced sulfur compounds. The presence of living microorganisms in the body can further exacerbate localized damage [33].

Chromium is the key element responsible for forming a stable passive layer that provides corrosion resistance in stainless steel [34]. An increase in chromium content, along with a moderate increase in molybdenum, enhances the material's resistance to the breakdown of the passive layer. However, a high amount of carbon enhances the chances of intergranular corrosion. Therefore, mainly low carbon content is required for biomedical purposes. Usually. Notably, it was evident that, the presence of Nickel (Ni) that consequently releases Ni ions leads to produce some harmful effects for the body [35]. But this can be mitigated by the addition of nitrogen in the SS that provides significant endurance to corrosion attack and film stability. However, high concentrations of nitrogen should be restricted as it may lead to alter mechanical properties that must be avoided. Usually, nitrogen is kept under 0.9% of total mass for medical applications as reported in the recently published literature [36].

4.2 Magnesium (Mn)

To assess the suitability of Mg-based alloys, comprehensive medical studies and thorough investigations of their degradation processes are essential. According to the literature [37, 38], Mg-Cd alloy facilitates the formation of a hard callus in the fracture area during healing. Witee et al. [39] fabricated four distinct Mg alloy rods, noting that the degradation rates were within acceptable limits, positively affecting the surrounding bone mass. Furthermore, studies [40] have shown that Mg implants completely degrade within 18 weeks. Zheng et al. [41] evaluated a biomedical binary Mg-xCa (x=1-3 wt.%) alloy, where cytotoxicity tests using L-929 cells demonstrated excellent compatibility of the Mg-Ca alloy, with a cell survival rate exceeding that of the control group in the extract culture medium. Additionally, in vitro and in vivo corrosion studies revealed that a mixture of Mg(OH)₂ and hydroxyapatite (HA) formed on the surface of the Mg-1Ca alloy. These results highlight the high biocompatibility of Mg-Ca alloys, showing great potential for use as biodegradable implant materials. Due to their non-toxicity and biocompatibility, Mg and its alloys hold promise for bone healing applications in orthopedics. However, the current corrosion rate of magnesium-based alloys is too rapid to align with the natural bone healing process, which typically takes at least 12 weeks. Further research is needed to slow down the corrosion rate of magnesium and its alloys [42-44].

4.3 Cobalt (Co)

Corrosion resistance properties of Co alloys have been studied by several researchers for their better utility in biomedical applications. Additionally, chromium (Cr) is doped for further improving the corrosion resistance properties of the alloy [45]. Co-Cr has better mechanical properties compared to bare Co. Also, doping Cr has better corrosion resistance properties compared to other [46]. However, low ductility restricts its full potential. Therefore, a few more materials are incorporated to increase the mechanical and corrosion resistance properties. Cr-Co-Mn [47], Co-Cr-Ni-Fe [48], Co-Cr-W-Ni [49] are usually used as medical implants as dental roots and orthopaedic wires. For, further utilization as some cardiovascular surgeries Co-Cr-Ni-W-Fe [50] is frequently being used as stents due to its reliability and longer working duration.

5. Discussions and Future Scope

The role of biomaterials in medical field is gaining a significant world-wide attention due to their versatility, compatibility with the human body and durability. However, corrosion of the

metallic biomaterials is important aspect to check the feasibility of the materials. Most of the used materials has a great endurance to resist corrosion. But few materials are incorporated as a doping material to enhance their mechanical and physical behavior. To do so various researchers has performed an experimentation to find the best optimal choice for medical implants. Also, it has been observed that only limited literature was reported for the compatibility of magnesium and its alloys for long durability. Therefore, much experimental work should be carried to check the overall feasibility of the materials for better reliability over the time. Based on the literatures, few keypoints must be considered for the betterment of the biomaterials in future:

1. Incorporation of nanoparticles and their coating can significantly improve the overall well-being of the biocompatible material for longer time.
2. Various optimization techniques such as Taguchi, RSM can be considered for better ideal conditions and solutions with limited trails in experiments.
3. Artificial Neural Network (ANN) can be helpful to predict the outcome and hence save time and cost.
4. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) can help obtain the best-suited material for the particular application based on weight criteria.

6. Conclusions

1. The biocompatibility of the various metallic materials for biomedical applications are successfully studied.
2. Stainless-Steel, Cobalt, Chromium and Magnesium are frequently being used as biomaterials.
3. The grain size plays a vital role in its compatibility, and corrosion resistance properties.
4. The heat treatment techniques must be considered for the betterment of the biomaterials.
5. Treatment of exceptional materials such as vanadium, molybdenum, iron, and many more effect the corrosion behavior of the material.
6. Concentration of nitrogen is kept under 0.9% of total mass of stainless-steel for medical applications

REFERENCES

1. Abraham, A. M., & Venkatesan, S. (2023). A review on application of biomaterials for medical and dental implants. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 237(2), 249-273.
2. Liu, Q., Jiang, L., Shi, R., & Zhang, L. (2012). Synthesis, preparation, in vitro degradation, and application of novel degradable bio elastomers—A review. *Progress in polymer science*, 37(5), 715-765.
3. Mehraj, U., Nisar, S., Bhat, B. A., Sheikh, B. A., Hamdani, S. S., Qayoom, H., & Mir, M. A. Organs of the immune system. *Basics and fundamentals of immunology*, 53.

4. Olszta, M. J., Cheng, X., Jee, S. S., Kumar, R., Kim, Y. Y., Kaufman, M. J., ... & Gower, L. B. (2007). Bone structure and formation: A new perspective. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 58(3-5), 77-116.
5. Ranakoti, L., Negi, A., Negi, A., Gangil, B., Bhandari, P., Singh, R., ... & Abbas, M. (2024). Physicomechanical, microstructural morphological, and thermal characterizations of jute and coconut husk-based natural fibers reinforced hempcrete hurd composites for building and construction applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12.
6. Kumar, V., Ranakoti, L., Gautam, G., Negi, A., & Singh, T. (2024). Erosive wear and topographical study of zinc-aluminum based composite reinforced with in-situ formed ZrB₂ particles. *Results in Engineering*, 102346.
7. Arvidson, K., Abdallah, B. M., Applegate, L. A., Baldini, N., Cenni, E., Gomez-Barrena, E., ... & Finne-Wistrand, A. (2011). Bone regeneration and stem cells. *Journal of cellular and molecular medicine*, 15(4), 718-746.
8. Hing, K. A. (2004). Bone repair in the twenty-first century: biology, chemistry or engineering. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 362(1825), 2821-2850.
9. Li, L., Lu, H., Zhao, Y., Luo, J., Yang, L., Liu, W., & He, Q. (2019). Functionalized cell-free scaffolds for bone defect repair inspired by self-healing of bone fractures: A review and new perspectives. *Materials Science and Engineering: C*, 98, 1241-1251.
10. Li, L., Lu, H., Zhao, Y., Luo, J., Yang, L., Liu, W., & He, Q. (2019). Functionalized cell-free scaffolds for bone defect repair inspired by self-healing of bone fractures: A review and new perspectives. *Materials Science and Engineering: C*, 98, 1241-1251.
11. Cantu, R., & Steffe, J. A. (2013). Soft tissue healing considerations after surgery. *Rehabilitation for the postsurgical orthopaedic patient*. Saunders-Elsevier, St. Louis, 15-25.
12. Klimczak, A., & Siemionow, M. (2007, November). Immune responses in transplantation: application to composite tissue allograft. In *Seminars in plastic surgery* (Vol. 21, No. 04, pp. 226-233).
13. Migliorini, F., La Padula, G., Torsiello, E., Spiezia, F., Oliva, F., & Maffulli, N. (2021). Strategies for large bone defect reconstruction after trauma, infections or tumour excision: a comprehensive review of the literature. *European journal of medical research*, 26, 1-10.
14. Sheikh, Z., Sima, C., & Glogauer, M. (2015). Bone replacement materials and techniques used for achieving vertical alveolar bone augmentation. *Materials*, 8(6), 2953-2993.
15. Alvarez Echazu, M. I., Perna, O., Olivetti, C. E., Antezana, P. E., Municoy, S., Tuttolomondo, M. V., ... & Desimone, M. F. (2022). Recent advances in synthetic and natural biomaterials-based therapy for bone defects. *Macromolecular Bioscience*, 22(4), 2100383.
16. Zwawi, M. (2022). Recent advances in bio-medical implants; mechanical properties, surface modifications and applications. *Engineering Research Express*, 4(3), 032003.
17. Anavadya, K. K., & Vijayalakshmi, U. (2023). A comprehensive review of fabrication techniques and their impact on mechanical behaviour and osteoregenerative applications of bioactive inorganic substituents. *Materials Research Letters*, 11(10), 821-855.

18. Tilton, M., Lewis, G. S., & Manogharan, G. P. (2018). Additive manufacturing of orthopedic implants. *Orthopedic biomaterials: progress in biology, manufacturing, and industry perspectives*, 21-55.
19. Alijani, S., & Anvari, A. (2018). Characterization of implantation's biomaterials based on the patient and doctor expectations. *Res. Med. Eng. Sci*, 4, 315-316.
20. Tontowi, A. E., Dewi, N. A., Wijastuti, I., Prataksya, D., & Baroroh, D. K. (2018). Effect of Link Design of Thin Cardiovascular Stent to Its Flexibility. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 11(4).
21. Wang, L., Wang, C., Wu, S., Fan, Y., & Li, X. (2020). Influence of the mechanical properties of biomaterials on degradability, cell behaviors and signaling pathways: current progress and challenges. *Biomaterials science*, 8(10), 2714-2733.
22. Heinemann, F., Hasan, I., Bourauel, C., Biffar, R., & Mundt, T. (2015). Bone stability around dental implants: Treatment related factors. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 199, 3-8.
23. Spierings, A. B., Dawson, K., Kern, K., Palm, F., & Wegener, K. (2017). SLM-processed Sc-and Zr-modified Al-Mg alloy: Mechanical properties and microstructural effects of heat treatment. *Materials Science and Engineering: A*, 701, 264-273.
24. Tu, Z., Zhong, Y., Hu, H., Shao, D., Haag, R., Schirner, M., ... & Leong, K. W. (2022). Design of therapeutic biomaterials to control inflammation. *Nature Reviews Materials*, 7(7), 557-574.
25. Kruger, J. (1979). Fundamental aspects of the corrosion of metallic implants. In *Corrosion and degradation of implant materials*. ASTM International.
26. Cadosch, D., Chan, E., Gautschi, O. P., & Filgueira, L. (2009). Metal is not inert: role of metal ions released by biocorrosion in aseptic loosening—current concepts. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 91(4), 1252-1262.
27. Wu, X., Cobbina, S. J., Mao, G., Xu, H., Zhang, Z., & Yang, L. (2016). A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metals in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 8244-8259.
28. Gibon, E., Amanatullah, D. F., Loi, F., Pajarinen, J., Nabeshima, A., Yao, Z., ... & Goodman, S. B. (2017). The biological response to orthopaedic implants for joint replacement: Part I: Metals. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 105(7), 2162-2173.
29. Eliaz, N. (2019). Corrosion of metallic biomaterials: a review. *Materials*, 12(3), 407.
30. Fontana, M.G., *Corrosion engineering*. 2005: Tata McGraw-Hill Education.
31. Sharma, M. (2020). Corrosion of bio-materials. *Int. J. Mater. Sci. Eng*, 10, 21-28.
32. Farooqui, M. S. (2017). An electrochemical and tribocorrosion study on austenitic high nitrogen steel in orthopedic applications (Doctoral dissertation, University of Illinois at Chicago).
33. Liu, Y., Zhou, Y., Wang, W., Tian, L., Zhao, J., & Sun, J. (2024). Synergistic damage mechanisms of high-temperature metal corrosion in marine environments: A review. *Progress in Organic Coatings*, 197, 108765.
34. Betts, A. J., & Boulton, L. H. (1993). Crevice corrosion: review of mechanisms, modelling, and mitigation. *British corrosion journal*, 28(4), 279-296.

35. Matusiewicz, H. (2014). Potential release of in vivo trace metals from metallic medical implants in the human body: from ions to nanoparticles—a systematic analytical review. *Acta biomaterialia*, 10(6), 2379-2403.
36. Buhagiar, J. (2008). Plasma surface engineering and characterisation of biomedical stainless steels (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
37. Bergmann, Christian, Markus Lindner, Wen Zhang, Karolina Koczur, Armin Kirsten, Rainer Telle, and Horst Fischer. "3D printing of bone substitute implants using calcium phosphate and bioactive glasses." *Journal of the European Ceramic Society* 30, no. 12 (2010): 2563-2567.
38. Bose, Susmita, Sahar Vahabzadeh, and Amit Bandyopadhyay. "Bone tissue engineering using 3D printing." *Materials today* 16, no. 12 (2013): 496-504.
39. Witte, Frank, Volker Kaese, H. Haferkamp, E. Switzer, A. Meyer-Lindenberg, Carl J. Wirth, and H. Windhagen. "In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response." *Biomaterials* 26, no. 17 (2005): 3557-3563.
40. Suchanek, Wojciech, and Masahiro Yoshimura. "Processing and properties of hydroxyapatite-based biomaterials for use as hard tissue replacement implants." *Journal of materials research* 13, no. 1 (1998): 94-117.
41. Li, Zijian, Xunan Gu, Siquan Lou, and Yufeng Zheng. "The development of binary Mg–Ca alloys for use as biodegradable materials within bone." *Biomaterials* 29, no. 10 (2008): 1329-1344.
42. Zhao, Dewei, Shibo Huang, Faqiang Lu, Benjie Wang, Lei Yang, Ling Qin, Ke Yang et al. "Vascularized bone grafting fixed by biodegradable magnesium screw for treating osteonecrosis of the femoral head." *Biomaterials* 81 (2016): 84-92.
43. Lee, Jee-Wook, Hyung-Seop Han, Kyeong-Jin Han, Jimin Park, Hojeong Jeon, Myoung-Ryul Ok, Hyun-Kwang Seok et al. "Long-term clinical study and multiscale analysis of in vivo biodegradation mechanism of Mg alloy." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, no. 3 (2016): 716-721.
44. Windhagen, Henning, Kerstin Radtke, Andreas Weizbauer, Julia Diekmann, Yvonne Noll, Ulrike Kreimeyer, Robert Schavan, Christina Stukenborg-Colsman, and Hazibullah Waizy. "Biodegradable magnesium-based screw clinically equivalent to titanium screw in hallux valgus surgery: short term results of the first prospective, randomized, controlled clinical pilot study." *Biomedical engineering online* 12 (2013): 1-10.
45. Li, S., & Fu, J. (2013). Improvement in corrosion protection properties of TiO₂ coatings by chromium doping. *Corrosion Science*, 68, 101-110.
46. Ramirez-Ledesma, A. L., Lopez, H. F., & Juarez-Islas, J. A. (2016). Evaluation of chill cast Co-Cr alloys for biomedical applications. *Metals*, 6(8), 188.
47. Kuzovchikov, S., Bajenova, I., Khvan, A., & Cheverikin, V. (2023). Investigation of the hardness and enthalpy of formation of the Sigma phase and the phase equilibria in the Cr-Co-Mn system. *Journal of Alloys and Compounds*, 964, 171263.
48. Tyrlik-Held, J., Kajzer, W., Walke, W., Szade, J., & Winiarski, A. (2008). Physicochemical properties investigations of metallic urological stent after implantation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 27(2), 135-138.
49. Ueki, K., Yanagihara, S., Ueda, K., Nakai, M., Nakano, T., & Narushima, T. (2021). Improvement of mechanical properties by microstructural evolution of biomedical

Co–Cr–W–Ni alloys with the addition of Mn and Si. *Materials Transactions*, 62(2), 229-238.

50. Hanawa, T. (2020). Metal–Polymer Composite Biomaterials. In *Polymeric biomaterials* (pp. 361-394). CRC Press.

PREPARATION STUDY OF FIRE SYSTEM CONFORMITY CERTIFICATE IN A CHEMICAL PLANT

Dr. ZEHRA GÜLTEN YALÇIN

Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Türkiye
zaltin@karatekin.edu.tr, Orcid: 0000-0001-5460-289X

Dr. MUSTAFA DAĞ

Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Türkiye
mudag@karatekin.edu.tr, Orcid: 0000-0001-9540-3475

Dr. ERCAN AYDOĞMUŞ

Firat University, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Türkiye,
ercanaydogmus@firat.edu.tr, Ocid: 0000-0002-1643-2487

ABSTRACT

According to the Occupational Health and Safety Law No. 6331, which entered into force in Turkey on 30.06.2012, an occupational accident is defined as "an incident that occurs in the workplace or during the work, causes death or impairs physical or mental integrity". To protect against occupational accidents, a risk management and assessment study appropriate to the work area should be implemented. There are four headings within the scope of risk assessment studies. These processes are given below. Determining possible hazards in the work environment, conducting risk assessments, implementing control measures (prevention and protection measures), and monitoring and reviewing the entire process. The basic contribution of risk management is to determine and eliminate possible events or situations that may cause harm in advance. Regardless of the hazard situation, each facility must conduct a risk assessment study at certain periods. The most important of these is the precautions to be taken against the potential for fire in chemical facilities. Several regulations are applied to ensure compliance with the relevant regulations and standards. Tests and inspections are included in the study.

Keywords: Fire system, Risk assessment, Hazard situation, Precaution

INTRODUCTION

According to the Occupational Health and Safety Law No. 6331, which entered into force in Turkey on 30.06.2012, an occupational accident is defined as "an incident that occurs in the workplace or during work, causes death or impairs physical or mental integrity". To be protected from occupational accidents, risk management, and assessment studies appropriate to the work area should be implemented. There are four headings within the scope of risk assessment studies. These processes are stated below [1,2].

It is necessary to determine the potential hazards in the work environment, conduct a risk assessment, implement control measures (prevention and protection measures), and finally monitor and review the entire process. The main contribution of risk management is to identify and eliminate possible events or situations that may cause harm. Regardless of the hazard, each facility must conduct a risk assessment study at certain intervals. Law No. 6331 requires that risk assessment, emergency plan, and compliance checks be conducted within the scope of relevant regulations and standards in hazardous workplaces. The most important of these is the precautions to be taken against the potential for fire in chemical facilities. The following regulations should be applied to ensure compliance with relevant regulations and standards [3,4].

The most important risk factor in industrial production facilities is the studies conducted on the potential for fire. Fire is a fact that cannot be fully resolved in facilities. Today, many fires and explosions occur in industrial facilities. Fires and explosions occur due to the use of various flammable and explosive chemical substances as raw materials, intermediate materials, and final products in chemical industry facilities. In chemical substance fires, fire intervention is also taken, but the lack of knowledge or incorrect application of precautions and the lack of training of personnel make the extent of the damage dangerous. It is understood from the studies conducted in the literature that fires occurring in industrial facilities vary depending on the specific production and conditions of the facility. The precautions taken considering the possibility of fire are aimed at minimizing the risk. However, as a result of fires that are not intervened in time, loss of life and great material damage occur [5,6].

Solvents, other raw materials, and fuel used in a chemical facility cause explosive environments. If necessary precautions are not taken in such explosive environments, a fire or explosion can occur, making the workplace dangerous. If flammable solids are in powder form, there is a risk of dust explosion. For a dust explosion to occur, the dust must be suspended in the air and cause an explosion when it comes into contact with an ignition source. Dust accumulating on existing machinery, equipment, and pipes in the facility causes an explosion. Precautions to be taken to prevent this are regular cleaning and a fan system [7,8]. Training employees and constantly reviewing emergency plans within the scope of fire safety measures in industrial facilities are of vital importance in minimizing the effects of fires and ensuring human safety. The methods to be taken for fire safety are given in Figure 1 below.



Figure 1. Fire life safety methods [9]

MATERIALS AND METHODS

When fire safety is examined, buildings are classified as use class, residential, accommodation, office, commercial, and industrial buildings. In the building hazard class, the layout plans and environmental conditions of the facilities included in the industrial hazard class, the materials to be used, the escape routes in the buildings, escape stairs, escape ramps, and escape route doors are defined, and the instructions to be followed in case of fire are specified. Fire safety in the facility requires taking rescue measures. It is important to take various precautions to minimize the risk of fire and to keep the damage to a minimum in the event of a possible fire. For this reason, the basic precautions to be taken for fire safety are given below [10].

1. Fire Fighting Equipments

Fire Extinguishers: In every home and workplace, fire extinguishers should be easily accessible. Fire extinguishers should be checked and maintained regularly.

Fire Blankets: Fire blankets can be an effective solution for small fires. They are especially useful to have in kitchens.

Fire Cabinets: Fire cabinets should be used for fire hoses and other fire extinguishing equipment [10].

2. Fire Detection and Alarm Systems

Smoke Detectors: Smoke detectors are critical for detecting fires early. They should be tested regularly and their batteries should be checked.

Heat Detectors: Heat detectors are recommended, especially in areas where there is a high probability of fire (such as kitchens and boiler rooms).

Fire Alarm Systems: They are important for quickly alerting building occupants in the event of a fire. These systems can save lives in both workplaces and homes [11].

3. Emergency Exits and Routes

Emergency Exit Doors: Emergency exit doors should be used to evacuate quickly and safely in the event of a fire. These doors should not be locked and should be easy to use with a handle that opens from the inside out.

Evacuation Routes: Evacuation routes should always be clear and unobstructed. Marking and lighting these routes ensures safe evacuation in the event of an emergency [12].

4. Fire Training and Drills

Fire Training: Fire safety training should be provided to employees and residents. They should be taught what to do in the event of a fire, how to use fire extinguishers, and how to find emergency exits.

Fire Drills: These should be held regularly and everyone should be made aware of the emergency plan.

5. Electrical Safety

Electrical Installation Control: Regularly checking and maintaining electrical installations reduces the risk of fire. It is important to replace old and worn cables.

Using Multiple Sockets: Using multiple sockets can increase the risk of fire. Therefore, as few devices as possible should be connected at the same time [13].

6. Storage of Flammable Materials

Flammables: Flammables must be stored safely. These materials must be kept away from heat sources that could cause a fire.

Hazardous Chemicals: Chemicals used in workplaces in particular must be labeled and stored correctly.

7. Smoking Areas

Smoking Areas: Smoking areas must be designated and smoking should not be allowed outside these areas. Cigarette butts must be completely extinguished and disposed of properly.

8. Hazardous Substances in the Regulation

Article 101 - (1) In cases where there is no provision in this regulation regarding the storage, filling, use, production, and sale of hazardous substances, the relevant legislation and standards shall be complied with.

Classification of hazardous substances

Article 102- (1) Classes of hazardous substances are listed below:

- a) Explosives,
- b) Flammable and explosive gases,
- c) Flammable liquids,
- ç) Flammable solids,
- d) Oxidizing substances,
- e) Poisonous and disgusting substances,
- f) Radioactive substances,
- g) Caustic substances,
- ğ) Other hazardous substances.

General characteristics of storage volumes:

Article 103- (1) (10/8/2009-2009/15316) In places where hazardous materials are stored and produced, it is mandatory to comply with the following:

- a) Works carried out in public areas and under or adjacent to residences related to hazardous materials must comply with the conditions specified in the relevant standards.
- b) In single-story buildings where flammable and explosive materials are produced, processed, or stored, the walls must be fireproof or resistant to fire for 120 min. In multi-story buildings, production, processing, or storage of these materials is permitted to the extent stipulated in the relevant statutes and regulations, provided that it is on the top floor of the building.
- c) In buildings where hazardous materials are kept for any purpose, environmental safety is ensured depending on the amount of hazardous materials and their hazard class.
- ç) Access roads to the building must be kept open at all times and parking must not be done on these roads.

d) Depending on the nature of the production and hazardous material, the floors of the buildings must be made conductive to static electricity and the doors must be grounded against static electricity.

e) The entrance and exit doors, windows, shutters, and ventilation duct covers in the buildings must be made in a way that opens outwards against pressure and allows the occupants of the building to easily escape or evacuate in case of danger.

f) There cannot be bars or cages on the windows of the building. In workplace buildings with more than one section, each section must have at least 2 doors, one of which opens directly to the outside and the other to the main corridor. The interior partitions must be resistant to the highest possible pressure, have a flat surface without cracks, be made of fireproof material, be painted or whitewashed in a light color, and be easily washable. The floors made with a slight slope are connected to a tank or a stilling well with a drainage system. Wastewater treatment facilities suitable for hazardous substances can also be used for this purpose.

g) The ceilings and floors of the buildings must be made of fireproof, leak-proof, non-sparking, and easily cleanable material, slightly sloped, and the windows must be made of wired glass or unbreakable glass that will not break into large pieces and will not cause damage.

Explosives

Article 104- (1) According to this Regulation, explosive substances are substances that react rapidly under the effect of friction, impact, and heat without the need for the addition of another substance and that harm the environment.

(2) There cannot be public places such as hotels, entertainment venues, and coffee houses under, on, and next to the storage and sales areas of easily flammable, combustible, and explosive substances and similar substances.

(3) Businesses selling hunting equipment must be independent and preferably in a single-story building and must not have a door or connecting window with another business or residence.

(4) (10/8/2009-2009/15316) To sell hunting equipment in multi-story buildings or passages used for different purposes; the sales place must be on the ground floor, have a direct entrance from the street, not be connected to other parts of the building and the walls must be fire resistant for at least 180 minutes.

(5) The inside of the places selling hunting gunpowder and materials shall be made fire-resistant with a suitable material. Special safes and steel cabinets shall be made in a car system in such a way that a person can easily change their place and in case of fire, they can be removed from the environment and carried to a safe place. It is essential that the entrance and exit doors, windows, shutters, and ventilation duct covers in the buildings open outwards against pressure and be constructed in a way that allows the occupants of the building to escape easily in case of danger.

Flammable and Explosive Gases

Article 105- (1) According to this Regulation, substances in the vapor phase under normal temperature and pressure are considered gases. Gases with a critical temperature below 10 °C are called pressurized gases, and gases with a critical temperature above 10 °C and absolute vapor pressures exceeding 300 kPa at 50 °C are called liquefied gases. If both types of gases are dissolved in a solvent, they are included in the class of gases dissolved under pressure.

(2) All cylinders containing pressurized gas in gaseous or liquid form or liquefied gas must be manufactured by the characteristics of the pressurized gas contained therein, the principles required by the technique, and the relevant legislation and standards.

(3) The bottom of each cylinder must be surrounded by a hoop at a certain height so that it does not touch the ground, and there must be a protective cap with ventilation holes to prevent gas accumulation in the valves and safety valves of other cylinders, except for LPG cylinders.

(4) Cylinders can never be filled with a pressure greater than the permitted pressure and with pressurized gas above the weight specified on the cylinder. Before filling, attention is paid to whether the cylinders are suitable for refilling by the relevant legislation, and cylinders containing gases whose critical temperatures are generally higher than the ambient temperature are not filled to prevent dangerous pressures. Cylinders filled with pressurized gases are filled by the principles specified in the relevant legislation and are subject to weight control before and after filling.

(5) It is mandatory to comply with the following conditions in the storage of pressurized gas cylinders:

a) The relevant standard provisions are complied with in terms of protecting filled cylinders against temperature changes, sunlight, radiation heat, and humidity.

b) Filled cylinders are stored in quantities that will not create danger in workplaces. Cylinders are kept in separate buildings or compartments resistant to fire for at least 120 minutes, away from radiators and similar heat sources, and necessary measures are taken to prevent the cylinders from tipping over or rolling.

c) Cylinders are classified and stored according to the characteristics of the gas they contain, and empty cylinders are collected in a separate place.

ç) The places where the cylinders are stored must have appropriate ventilation equipment and sufficient doors.

d) In places where cylinders containing flammable pressurized gas are stored, the use of fire and flammable substances is prohibited.

e) Warning signs are placed in the places where the cylinders are stored [14].

Fire Safety Responsibility

Article 124 - (1) The highest officer in public and private institutions and organizations, and the owner or manager in other buildings, facilities, and businesses are responsible for fire safety in structures, buildings, facilities, and businesses.

Determination of Fire Safety Officer

Article 125- (1) A fire safety officer must be selected from among the employees during working hours. The officer is responsible for checking and ensuring that fire protection measures are taken in the department he/she is responsible for from the moment the working hours begin until the end. In buildings subject to condominium ownership, the building manager assumes this responsibility.

(5) The emergency teams' duties and lists of names and addresses are posted in easily visible places within the building.

b) The rescue team first rescues the living beings. Then, with the help of those present at the scene and under the supervision of the office managers, if possible, they put the documents, files, and other items to be saved first in the fire into sacks and bags and make them ready to be evacuated. If the building authorities deem it necessary, the sacks and bags are moved to the parts of the building that are not yet in danger of burning. The general evacuation of the burning building is started with the order of the fire chief or the highest civil servant who arrives at the scene.

c) The protection team keeps the evacuated items and documents in a place indicated by the security forces or building authorities and delivers them to the relevant persons of that building after the fire is extinguished.

ç) The first aid team provides first aid service for those injured or ill in the fire.

(5) The building owner, manager, supervisor, and emergency teams who are informed about the fire must come to duty as quickly as possible and carry out the extinguishing, rescue, protection, and first aid works [14].

General Education

Article 129- (1) The personnel of the emergency teams are trained under the responsibility of the building owner, manager, or supervisor on fire protection, fire extinguishing, saving lives and property, first aid activities, cooperation with the fire department and organization by utilizing local fire departments and civil defense organizations, and their knowledge and skills are increased through drills. The team personnel and other personnel in the building are given practical training on how to use fire extinguishing tools and materials and how to reach the fire department as soon as possible. Extinguishing and evacuation drills are held in the building at least once a year.

Private Education

Article 130- (1) For the managerial staff of municipal fire departments that do not have a fire department training unit, basic training on civil defense is provided by the Prime Ministry Disaster and Emergency Management Presidency, and basic first aid training is provided by

the Ministry of Health. All training expenses of these personnel are covered by their budgets. Technical training of the managerial staff of the municipal fire department and basic and technical training of other personnel are provided by their organizations.

(2) Training of fire department personnel in local administrations, public institutions and organizations, private organizations, and other structures, buildings, and businesses that have fire departments is provided by their organizations with their means, if necessary by utilizing local fire departments and provincial disaster and emergency directorates that have fire department training units. These organizations can receive training services from private schools, courses, and private teaching institutions that provide fire department training by the relevant legislation [14].

CONCLUSIONS

Fire safety is a subject that cannot be neglected and requires constant attention. The precautions mentioned above are of critical importance in reducing the risk of fire and minimizing the loss of life and property in the event of a fire. Taking these precautions in both homes and workplaces provides a safe living and working environment. Before industrial facilities are established, information should be provided to employees and selected and assigned persons regarding the use and storage of flammable and combustible chemicals. Risk assessment studies should be carried out in units with fire risks by occupational safety experts in the facilities.

Fire detection and fire extinguishing systems should be subjected to routine checks during use and their operational status should be ensured. Another precaution to be taken within the scope of Occupational Health and Safety Law No. 6331 is that emergency drills should be conducted and information and training should be provided within the facility. Emergency plans should be prepared, precautions to be taken against possible dangers should be taken and tasks should be distributed among employees, and organized work should be ensured. Creating fire awareness among all employees, gathering points, and fire exit routes should be determined in a way that can be seen in the event of a possible fire in the workplace, and suitable areas should be determined within the workplace by creating a sketch.

REFERENCES

- [1] Korkmaz, A., & Avsallı, H. (2012). Çalışma hayatında yeni bir dönem: 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği yasası. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2012(26), 153-167.
- [2] Bayram, M. (2021). Çalışanların Güvenlik Yetkinliği, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Uygulamalarından Memnuniyeti ve Bireysel Çıktıları Arasındaki İlişkiler. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 24 (1), 15-27.
- [3] Altın, Z.G., Dağ, M., Aydoğmuş, E. (2018). Risk Analysis by FMEA Method in Hotel, Journal of Physical Chemistry and Functional Materials, 1 (1), 59-65.

- [4] Altin, Z.G., Dağ, M., Aydoğmuş, E. (2018). Risk Analysis by Fine Kinney Method in Laboratory, *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, 1 (1), 54-58.
- [5] Sazonova, S., Zvyagintseva, A., Nikolenko, S., Epifanov, E., Asminin, V., Druzhinina, E., & Akamsina, N. (2023, March). Forecasting of the fire situation at an industrial facility. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2700, No. 1). AIP Publishing.
- [6] Siraj, M. T., Debnath, B., Payel, S. B., Bari, A. M., & Islam, A. R. M. T. (2023). Analysis of the fire risks and mitigation approaches in the apparel manufacturing industry: Implications toward operational safety and sustainability. *Heliyon*, 9(9).
- [7] Popa, C. M., Paun, F. A., Jurca, A. M., Paralan, M., & Vatavu, N. (2021). Considerations for the explosion risk assessment of technical installations operating in atmospheres with combustible dust,". *Annals of the University of Petrosani Electrical Engineering*", ISSN, 1454-8518.
- [8] Eckhoff, R. K., & Li, G. (2021). Industrial dust explosions. A brief review. *Applied Sciences*, 11(4), 1669.
- [9] Fire life safety methods (<https://adaguven.com/blog/9/yangin-guvenligi-icin-alinmasi-gereken-onlemler>).
- [10] Wang, K., Yuan, Y., Chen, M., Lou, Z., Zhu, Z., & Li, R. (2022). A study of fire drone extinguishing system in high-rise buildings. *Fire*, 5(3), 75.
- [11] Gupta, S., Kanwar, S., & Kashyap, M. (2022). Performance characteristics and assessment of fire alarm system. *Materials Today: Proceedings*, 57, 2036-2040.
- [12] Guan, W., Hou, S., Yu, G., Gong, H., Guan, S., & Zhao, J. (2023). Dynamic Evacuation Path Planning for Multi-Exit Building Fire: Bi-Objective Model and Algorithm. *Fire Technology*, 59(5), 2853-2876.
- [13] Ehrenwerth, J. (2021). Electrical and fire safety. In *Anesthesia Equipment* (pp. 526-558). WB Saunders.
- [14] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/12/20071219-2.htm>, Erişim tarihi: 12.02.2025. Sayı: 26735

RISK ANALYSIS OF FIRE HAZARD IN A BUILDING PROVIDING CHEMICAL ENGINEERING EDUCATION

Dr. ZEHRA GÜLTEN YALÇIN

Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Türkiye

zaltin@karatekin.edu.tr - 0000-0001-5460-289X

Dr. MUSTAFA DAĞ

Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Türkiye

mudag@karatekin.edu.tr- 0000-0001-9540-3475

Dr. ERCAN AYDOĞMUŞ

Fırat University, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Türkiye,

ercanaydogmus@firat.edu.tr- 0000-0002-1643-2487

ABSTRACT

This study covers fire prevention activities to be carried out to prepare for a possible fire in the Department of Chemical Engineering for educational purposes. The necessary fire regulations were examined and whether the preparations were sufficient. The L-type matrix method was used to determine the damage that would occur due to the fire in the offices and classrooms. The risk value was determined to be between 15 and 25, which constituted a high risk. In places where the risk was high, first of all, the risk due to electric shock in the tea house where the tea boiler was located was determined due to the electrical installation. In addition, there was a fall risk determination in the on-site assembly due to the use of the projector in the classrooms. The risk value was reduced to between 4-5 with protective and preventive activities to eliminate the existing dangers. While the risk study was carried out, the precautions to be taken against the fire in both the department and the Faculty of Engineering building were determined and an effort was made to keep the damage to a minimum.

Keywords: Fire hazard, Educational buildings, L-type matrix, Fire standards

INTRODUCTION

Some factors should be considered in the initial construction phase of the fire risk assessment study in buildings. According to the purpose of use, building types, area, fire degree, fire compartment area, and safe exit stairs are the headings that should be worked on in advance in case of fire. The equipment required for fire varies according to the purpose of use of each building. Therefore, the connections of mechanical smoke exhaust systems, hydraulic pressures of fire hydrant systems, fire emergency lighting, and the integrity and interactions of emergency alarm systems will be greatly affected. All these stages should be carefully examined while conducting a fire risk assessment and old hardware and equipment should be reviewed. If necessary, these systems should be renewed.

In the literature review, it is seen that studies on the theory and application of fire risk assessment are carried out, especially in England and the USA, and as a result, regulations for application have been revised. In England, the Fire Safety Engineering Practice Guide (BS DD240), BS999, BS7974-7, and PAS79 have entered into force and have started to be used in practice. The relevant risk assessment methods and methods are determined in the regulation. In America, the Society of Fire Protection Engineers (SFPE) and the National Fire Manual (BS DD240), BS999, BS7974-7, and PAS79 have been put into effect and are used in practice. Later, the American Standards Association (ASA) published NFPA551, which sets out the principles and methods of fire risk assessment. NFPA551 has established the general objectives and acceptance standards of risk assessment [1,2].

Japan, Australia, New Zealand, Brazil, and Northern Europe have also started research on fire risk assessment. Among these, the Japanese government, Comprehensive Fire Protection Design of Buildings; the Australian government, Australia-1996 (BCA96); and universities such as Saint Paul in Brazil have conducted research on fire risk assessment and helped the government to produce Fire Protection Design. In Turkey, there is a Regulation on the Protection of Buildings from Fire, which was put into effect with the Occupational Health and Safety Law No. 6331 and published in the Official Gazette No. 26735 dated 19.12.2007. It is seen that various simulation programs and data analysis methods are used in fire risk assessment studies [3,4].

According to the Occupational Health and Safety Law No. 6331, workplaces in buildings where training is provided, namely classrooms and offices, are classified as less dangerous.

Here, the relevant managers must ensure that employees work in a healthy and safe environment. The institution establishes its own Occupational Health and Safety team and carries out studies on the subject [5].

Some definitions are expressed below by the law:

Hazard: This refers to potential harm or damage caused by external sources that are present in the workplace or may affect employees or the workplace. Factors that pose a threat of injury, disability, or death, such as moving machine parts, elevated machines, slippery floors, electrical hazards, excessive noise, toxic or flammable substances, and heavy lifting [6].

Risk: The possibility of loss, injury, or negative consequences resulting from identified hazards. It can also be expressed numerically according to the probability of danger in a specific area [6].

Acceptable risk level: It is the risk level that complies with legal obligations and the workplace's prevention policy and guarantees that it will not cause damage or loss.

Prevention: All planned and implemented measures aimed at eliminating or reducing occupational health and safety risks throughout the workplace working period [7].

Risk assessment methods

The risk assessment study required to be conducted in working life by Law No. 6331 is mandatory. There are two basic approaches in risk analysis in risk assessment study. The first is the reactive approach based on the principle of identifying the causes of accidents and seeking solutions so that they do not happen again after the accident occurs as a result of the risks, and the second is the proactive approach based on the principle of identifying the risks of the system in advance before the accident occurs and reducing them or, if possible, eliminating them [8].

Risk assessment is the process of estimating the magnitude of the risks arising from hazards in any system and deciding whether these risks are acceptable or not by taking into account the adequacy of existing controls. There are many risk assessment techniques available today. Risk assessment techniques can be grouped into two main groups in terms of estimating risks, the probability of occurrence of risks, and their possible effects. These are qualitative and quantitative methods [9].

In qualitative methods, risk assessment is performed with verbal logic instead of mathematical risk assessment, and the expert performing the application evaluates the risks and risk priority values based on his/her own experiences and intuition. When calculating the estimated risk, descriptive expressions such as high, and very high are used instead of numerical values. This estimate is based entirely on subjective assessments and often does not show a systematic feature. In such methods, the intuition and reasoning ability of the expert performing the assessment is important in terms of the reliability of the method. Therefore, it is not correct to conduct risk assessment only with qualitative methods in critical systems. Quantitative risk assessment methods use numerical methods when calculating risk [10].

These numerical methods use probability and reliability definitions and can be in complex techniques such as simulation models. In quantitative risk analysis, numerical values are given to values such as the probability of a hazardous event occurring and the effect of the hazard, and these values are processed with mathematical and logical methods to find the risk value. The main purpose of risk assessment is to answer the questions ‘Are the risks acceptable?’ and ‘What precautions should be taken for unacceptable risks?’ Calculating only the probability and severity of risks in a facility does not eliminate the possibility and risk of an accident in that facility. What is important is to be able to take appropriate control measures for the identified risks. As a result of correctly implemented risk assessment studies in workplaces, precautions regarding possible hazards and necessary budgets should be planned, and these studies should bring about improvements in working conditions in the workplace and reduce the frequency and severity of work accidents and occupational diseases [10]. The main risk assessment methods are stated below [10]:

-  Preliminary Hazard Analysis,
-  Primary Risk Analysis,
-  Safety Function Analysis,
-  Risk Map,
-  Occupational Safety Audit,
-  Occupational Safety Analysis,
-  Process/System Checklists,
-  Process Review Technique,
-  Relative Ranking-Dow and Mond Indices Analysis,

- ✚ Risk Analysis,
- ✚ What Happens If It Happens? Analysis,
- ✚ Hazard and Operability Analysis,
- ✚ Failure Modes, Effects and Criticality Analysis,
- ✚ Fault Tree Analysis,
- ✚ Event Tree Analysis,
- ✚ Cause - Effect Analysis,
- ✚ Human Error Analysis,
- ✚ Human Error Identification,
- ✚ Human Reliability Assessment,
- ✚ Human Error Rate Estimation Technique,
- ✚ Hierarchical Task Analysis,
- ✚ Management View and Risk Tree Analysis,
- ✚ Energy Analysis,
- ✚ Safety Barrier Diagrams,
- ✚ Kinney Model,
- ✚ Zurich Hazard Analysis,
- ✚ Machine Risk Assessment,
- ✚ Hazard Early Warning Model,
- ✚ Deviation from Averages Technique,
- ✚ Deviation from the Weighted Averages Technique,
- ✚ Risk Assessment Table:
 - a) L Type Matrix
 - b) X Type Matrix

The most important difference between these methods is the unique methods they use to find the risk value.

MATERIALS AND METHODS

The L-type matrix risk analysis method, also known as matrix risk analysis, is one of the systematic methodologies widely used in occupational health and safety risk assessment. It involves the evaluation of two factors to obtain a risk measurement value: the probability of a risk occurring and the severity of its possible consequences [6].

In mathematics, a matrix is formally defined as a structured arrangement of numerical elements arranged in a rectangular array. However, its conceptual breadth extends beyond purely numerical configurations to encompass abstract quantities amenable to algebraic operations such as addition and multiplication. While various matrix typologies abound in mathematical discourse, the L-type matrix is particularly emerging as a fundamental tool in the field of risk analysis methodology [6].

Navigating Matrix Risk Analysis

Matrix risk analysis is widely used as a risk assessment method in our country due to its systematic simplicity. This approach, which is widely preferred for low to medium-risk initiatives, works according to the principle of categorizing the probability and consequences of possible events. The effectiveness of matrix risk assessment depends significantly on the ability of the individual or team conducting the assessment to distinguish. Therefore, its application to complex systems may yield erroneous results. Similarly, its results in simple systems or processes may vary depending on the expertise and knowledge of the assessor. As a result, its optimum use is reserved for simple systems involved in low to medium-risk initiatives. Before starting matrix risk analysis, the advanced examination can be achieved through preliminary assessment using the checklist risk assessment method.

Within the matrix methodology, risk rating requires the multiplication of numerical values representing the probability and impact of identified risks. In essence, risk is interpreted as the product of probability and impact values as represented by the following Eq. 1:

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Impact} \quad (1)$$

To facilitate risk quantification and classification, preliminary development of probability tables, impact tables, and risk rating tables is necessary. While a common framework adopts a 5-point rating scale for both probability and impact assessments, the choice of an appropriate rating system – whether 4, 6, or 10 points – depends on the specific needs and preferences of the assessor or the managing agency. Such flexibility highlights the tailored nature of risk analysis efforts [7].

CONCLUSIONS

In the current study, the highest risk score recorded was 20.25, and this score was found to be high due to the incorrect positioning of the fire extinguisher, the fire system not being active, the hanging level of the fire extinguishers being too high off the ground, the necessary materials in the first aid cabinet not being visible, the fire detection button not working, the smoke detection detector not working, the fire drills not being periodically carried out, the necessary maintenance in the boiler room not being carried out on time, and the materials that prevent access being placed in front of the electrical panels. Later, upon determining the high-risk levels, the necessary precautionary measures were implemented and these risks were reduced. The risk level was reduced to the range of 2-5 by correctly positioning the portable fire extinguishers, activating the fire system, making the fire detection button functional, hanging the materials that should be used in case of need in the first aid cabinet, the emergency plan and the necessary telephone numbers in a visible place, the smoke detection detector working, fire drills being carried out periodically, the ventilation fan being operated in the boiler room, and the front of the electrical panels being cleared.

REFERENCES

- [1] Rukavina, M. J., Carevic, M., & Pecur, I. B. (2017). Fire protection of facades. The Guidelines for Designers, Architects, Engineers and Fire Experts, 12-15.
- [2] Kodur, V., Kumar, P., & Rafi, M. M. (2020). Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. PSU research review, 4(1), 1-23.
- [3] Milke, J., Kodur, V., & Marrion, C. (2002). An overview of fire protection in buildings. Federal Emergency Management Agency, USA.
- [4] Rodrigues, E. E., Rodrigues, J. P., & da Silva Filho, L. C. (2017). Comparative study of building fire safety regulations in different Brazilian states. Journal of Building Engineering, 10, 102-108.
- [5] Alpagut, G. (2014). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun Genel Esasları. Journal of Istanbul University Law Faculty, 72(2), 31-45.
- [6] Yalçın, Z.G., Dağ, M., Aydoğmuş, E., (2024). Risk analysis study utilizing L-Type matrix method in offices of a rock salt refining company. Karadeniz 15th International Conference on Applied Sciences – March 8 - 10, 2024 Rize. ISBN NO. 978-625-6830-92-9

- [7] Yalçın, Z.G., Dağ, M., Aydoğmuş, E., (2024). Risk analysis study utilizing L-Type matrix for safety measures in power tools and electrical Works. Karadeniz 15th International Conference on Applied Sciences – March 8 - 10, 2024 Rize. ISBN NO. 978-625-6830-92-9
- [8] Felekoğlu, B., & Taşan, S. Ö. (2017). İş ile ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına yönelik ergonomik risk değerlendirme: Reaktif/proaktif bütünleşik bir sistematik yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3).
- [9] Kacır, E., & Taçgın, E. (2017). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Kapsamında Proaktif Yaklaşım Üzerine Risk Değerlendirme ve bazı öneriler. Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi, (12), 1-16.
- [10] Çeliktaş, B., & Nafiz, Ü.N.L.Ü. (2024). Risk değerlendirme karar matrisi yöntemi kullanarak örnek bir risk değerlendirme raporunun oluşturulması. The Journal of Academic Social Science Studies, 1(65), 483-504.

STRUCTURAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ZnO: Mn NANOROD THIN FILMS

Dr. Öğr. Üye. Gülsen ŞAHİN

Adıyaman University,

gsahin@adiyaman.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-4891-041X>

Prof. Dr. Abdullah GÖKTAŞ

Harran University,

agoktas@harran.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-8837-8646>

ABSTRACT

ZnO nanorod thin films exhibit unique functionalities due to their excellent properties, including a relatively high surface-to-volume ratio, enhanced charge carrier mobility, and a high absorption coefficient. Their functional properties can be further tailored by incorporating transition metal dopants such as Co, Mn, Fe, and Cr. In this study, the effects of low Mn doping concentrations (0%, 1%, and 2%) on the structural and electrical properties of ZnO nanorod thin films were investigated. These films were synthesized via the sol-gel approach and deposited on Pyrex glass substrates. To analyze their structural and electrical characteristics, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy, and Hall measurements were employed. XRD analysis confirmed the formation of a typical polycrystalline wurtzite phase with hexagonal crystal symmetry. SEM observations indicated that the surface morphology of the samples consists of nearly spherical granular structures. EDX analysis verified the presence of Zn, Mn, and O atoms in varying concentrations. Hall measurements demonstrated n-type conductivity in all samples. Additionally, as the Mn doping concentration increased from 0% to 2%, the resistivity of the films increased, while both conductivity and carrier mobility decreased. These findings underscore the potential of Mn-doped ZnO nanorod thin films for next-generation optoelectronic applications.

Keywords: ZnO, ZnO: Mn, Thin films, Crystalline quality, n-type conductivity.

1. INTRODUCTION

Zinc oxide (ZnO) is a semiconductor material that has garnered significant interest due to its wide bandgap (~3.37 eV) and high exciton binding energy (~60 meV), making it suitable for electronic, optoelectronic, and sensor applications [1]. ZnO has a hexagonal wurtzite crystal structure and is known for its high chemical stability, excellent thermal conductivity, and good piezoelectric properties [2]. These properties make ZnO widely applicable in ultraviolet lasers, photodetectors, gas sensors, solar cells, and biomedical applications [3].

The structural and electrical properties of ZnO can be modified by doping with different transition metals. In this context, manganese (Mn)-doped ZnO thin-film nanorods have attracted significant attention due to their magnetic properties. Mn doping can introduce room-temperature ferromagnetism in ZnO, making it suitable for spintronic applications [4]. Additionally, Mn doping affects the optical properties of ZnO, leading to a redshift in the photoluminescence spectrum [5].

Various methods are used to produce Mn-doped ZnO thin-film nanorods, including chemical vapor deposition (CVD), the hydrothermal method, the sol-gel method, and spray pyrolysis [6]. The hydrothermal method is particularly attractive due to its low-temperature growth process and eco-friendly nature [7]. The sol-gel method is also suitable for large-area thin-film coatings and offers a simple, cost-effective production process [8-10].

In conclusion, Mn-doped ZnO thin-film nanorods represent a highly promising material group due to their unique magnetic and optoelectronic properties. Research on their synthesis and characteristics will contribute to the development of advanced spintronic devices and optoelectronic components in the future.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1. Synthesis of Mn-doped ZnO Nanorod Thin Films

To synthesize Mn-doped ZnO nanorods, zinc chloride (ZnCl_2) and manganese(II) chloride tetrahydrate ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) were used as Zn^{2+} and Mn^{2+} sources, respectively. Ethylene glycol monomethyl ether ($\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) served as the solvent, while ethanolamine ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) acted as a stabilizer.

First, 12 mmol of ZnCl_2 and varying amounts of $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0, 1, and 2 at. %) were dissolved separately in 15 mL of ethylene glycol monomethyl ether. The solutions were stirred at room temperature for 30 minutes until clear and homogeneous. They were then combined in a single flask under continuous stirring, maintaining the correct Zn/Mn ratio. Ethanolamine was gradually added to adjust the pH to ~10, promoting better crystallization. The mixture was aged for 24 hours before deposition.

For film deposition, glass substrates were coated using a computer-controlled dip-coating system equipped with a vertical furnace. The films were deposited at 400°C and subsequently annealed at 550°C for 1 hour in air using a horizontal furnace.

2.2. Characterization Techniques

The structural, morphological, and electrical properties of the prepared thin films were characterized using the following techniques:

X-ray Diffraction (XRD): The crystal structure and phase composition of the films were analyzed using an X-ray diffractometer with Cu-K α radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$).

Scanning Electron Microscopy (SEM): The surface morphology and film thickness were examined using a field-emission scanning electron microscope.

Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX): Elemental and chemical composition of Mn-doped ZnO nanorod thin films were accordingly carried.

Hall measurements: Hall-effect measurements were carried out in the van der Pauw configuration (Ecopia HMS-3000) at room temperature.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. XRD Analysis

The XRD patterns of Mn-doped ZnO thin films, with various doping ratios of 0, 1, and 2 % Mn were given in Figure 1. XRD result exhibited that the Mn-doped ZnO thin films crystallized in the (200) oriented hexagonal ZnO crystal structure [11]. Doping ZnO with Mn leads to significant changes in key structural properties, such as the full width at half maximum (FWHM) of peaks, peak position (2θ), average crystallite size (D_{002}), lattice constant (c), dislocation density (δ), and micro strain (ϵ). The data shows that initially, the lattice constant (c) slightly increases with the addition of 1% Mn but then decreases as the Mn content rises to 10%. The crystallite size follows a similar trend. However, dislocation density and micro strain behave differently, showing specific changes when the Mn concentration reaches 2%. The small increase in the lattice constant with 1% Mn suggests that Mn ions, with a larger ionic radius ($0.80 \text{ \AA}$), substitute Zn ($0.74 \text{ \AA}$) without altering the wurtzite structure.

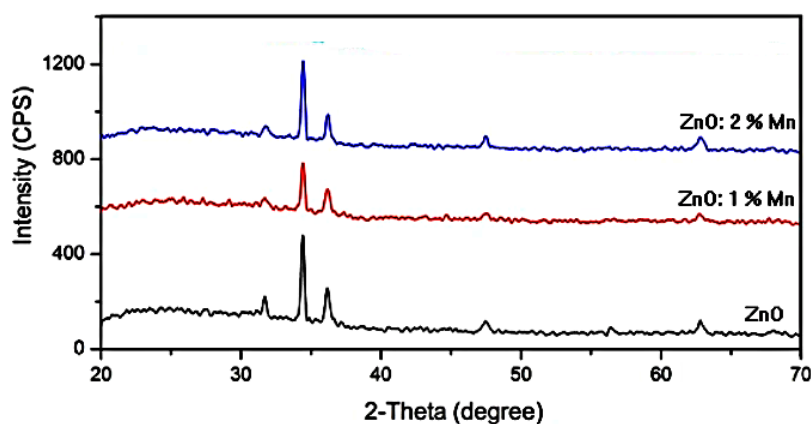


Fig.1 XRD spectra of ZnO nanorods with different Mn doping levels (0, 1, and 2 at. %).

The increase in crystallite size can be attributed to lattice expansion due to distortions around the dopant atoms, which causes a mismatch in ionic radii and leads to an overall increase in

crystallite size. The average crystal sizes calculated according to the Tauc equation are approximately 16, 22 and 27 nm for the 0, 1, 2 at. 2 % Mn doping levels.

3.2. SEM and EDX Analysis

The observed variations in crystallite sizes align with the SEM findings, which are presented in Figs. 2a-c for films with a nanorod structure. As depicted in the figure, the surface morphology of the samples validates the formation of a granular structure composed of nanorods. It is evident that the crystallite sizes increase after the initial doping at 1% (Fig. 2b), reach their maximum at 2% doping (Fig. 2c), and subsequently decrease with higher doping concentrations, consistent with the XRD results. The root mean square (RMS) roughness of the sample surfaces has been estimated to range between 50 and 100 nm.

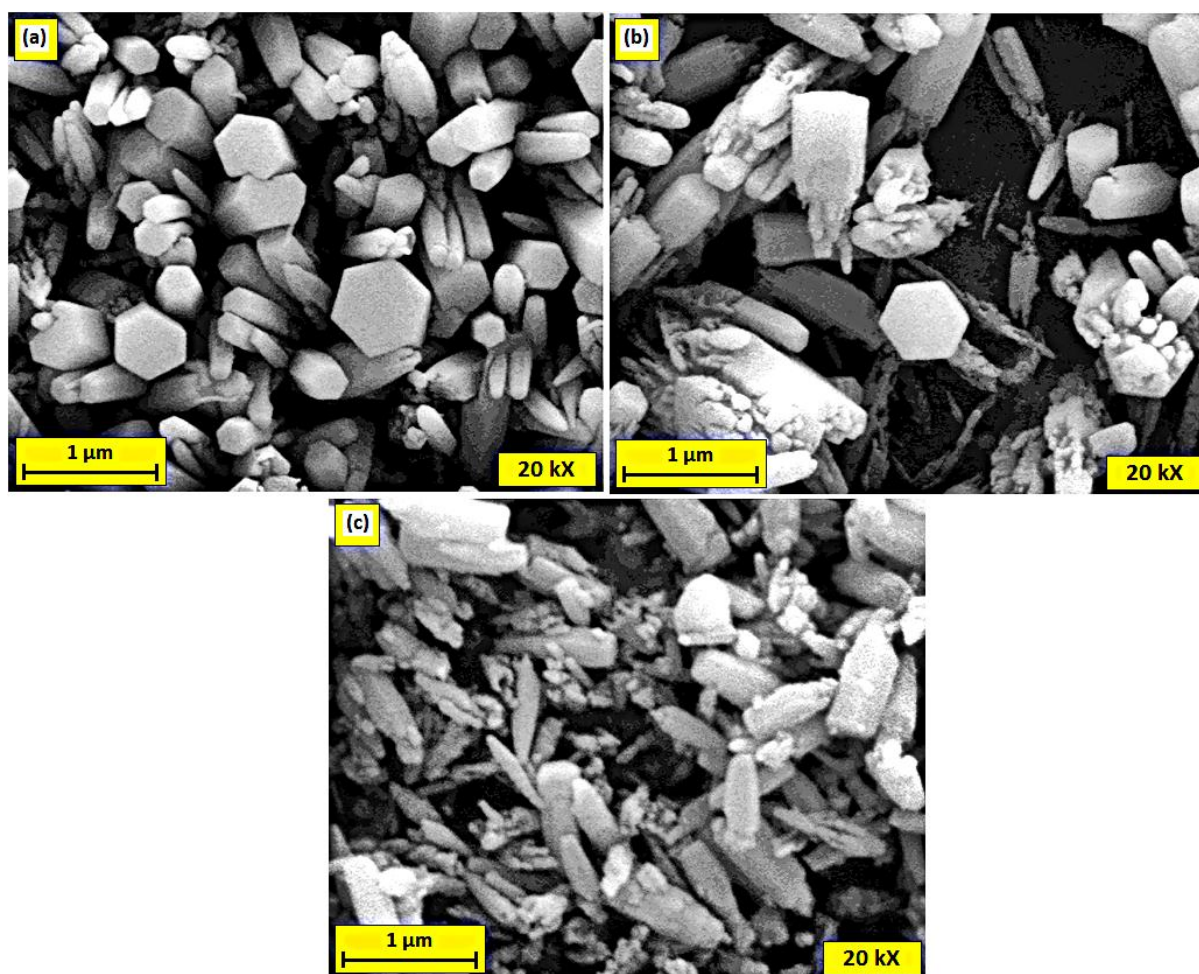


Fig.2 SEM micro patterns of the ZnO doped with and (b) ZnS thin films different Mn doping ratios (a) 0 at. %, b)1 at. %, and (c) 2 at. %.

EDX analyses confirmed the presence of Zn, Mn, and O atoms in the films, along with Si atoms, as shown in Fig. 3a and b. As is well known, the Si atoms originate from the glass substrate used. The measured atomic ratios of Zn and O in the ZnO films were approximately 75.65 % and 24.35 %, respectively. However, the EDX analysis showed that the atomic ratios

for the Zn, Mn, and O are about 57.75, 1.86, and 40.39 at. %, respectively, aligning well with values reported in the literature [12, 13].

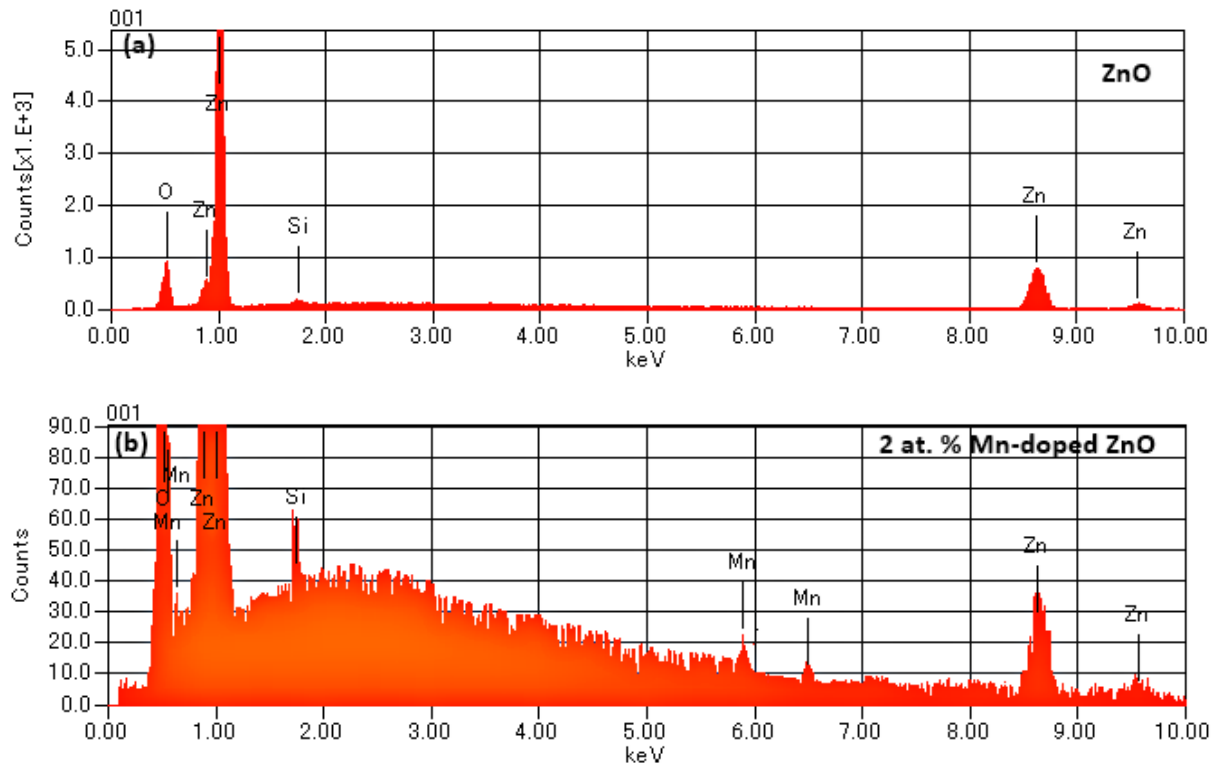


Fig.3 EDX analyses of the (a) ZnO and (b) 2 at. % Mn doped ZnO thin films.

3.3. Hall Measurements

Hall measurements of ZnO and Mn-doped ZnO nanorod thin films, prepared via the sol-gel method in given in Table 1, provide critical insights into their semiconductor properties, including resistivity, mobility, and conductivity.

Table.1 Hall measurements results of the undoped and Mn-doped ZnO nanorod thin films

Film Type	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Mobility (cm^2/Vs)	Conductivity ($\Omega \cdot \text{cm}$) ⁻¹	Conductivity type
ZnO nanorod	11	1.6×10^{-1}	9.0×10^{-11}	n
1 at.% Mn-doped ZnO nanorod	10.3	1.9×10^{-1}	9.73×10^{-11}	n
2 at.% Mn-doped ZnO nanorod	10.7	1.8×10^{-1}	9.35×10^{-11}	n

The Hall measurements results indicate that undoped ZnO exhibits n-type conductivity due to native defects such as oxygen vacancies and zinc interstitials [12]. Upon Mn doping, a systematic variation in electrical properties is observed. At low Mn concentrations, a slight increase in carrier concentration and mobility is noted, attributed to the substitutional

incorporation of Mn^{2+} ions, which may introduce shallow donor states [15]. This trend suggests that while Mn doping can be employed to tailor ZnO's electrical properties, excessive incorporation may hinder charge transport, highlighting the importance of optimizing doping levels for specific electronic applications.

4. CONCLUSIONS

XRD analyses of the nanorod films revealed that they crystallized as polycrystalline with a highly (200)-oriented hexagonal ZnO structure with any secondary phases. ZnO nanorod thin film demonstrated larger FWHM and a higher degree of orientation along (200) compared to Mn-doped nanorod thin film. However, XRD analyses confirmed a relatively higher crystallite size as Mn-doping concentration increased.

The facet morphologies of the prepared ZnO nanorod thin films were investigated using SEM. The obtained images indicated that the surfaces were nearly dense and homogeneous. Furthermore, Mn-doped nanorod thin films exhibited larger grain sizes compared to pure ZnO thin films. SEM and EDX analyses confirmed the absence of any secondary phases or foreign elements in the ZnO and Mn-doped ZnO nanorods, with Zn, Mn and O atoms being present in the films. Additionally, the detected silicon presence was attributed to the glass substrate.

Hall measurements show that undoped ZnO has n-type conductivity due to native defects. Mn doping alters electrical properties, initially increasing carrier concentration and mobility by introducing shallow donor states. However, excessive Mn can hinder charge transport, emphasizing the need for optimized doping levels.

REFERENCES

- [1] Ozgur, U., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., ... & Morkoç, H., A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics*, 98(4), 041301, 2005
- [2] Klingshirn, C., ZnO: From basics towards applications. *Physica Status Solidi (b)*, 244(9), 3027-3073, 2007.
- [3] Pearton, S. J., Norton, D. P., Ip, K., Heo, W. H., & Steiner, T., Recent progress in processing and properties of ZnO. *Progress in Materials Science*, 50(3), 293-340, 2005.
- [4] Sato, K., & Katayama-Yoshida, H., First principles materials design for semiconductor spintronics. *Semiconductor Science and Technology*, 17(4), 367, 2000.

- [5] Sharma, P., Gupta, A., Rao, K. V., Owens, F. J., Sharma, R., Ahuja, R., & Johansson, B., Ferromagnetism above room temperature in bulk and transparent thin films of Mn-doped ZnO. *Nature Materials*, 2(10), 673-677, 2010.
- [6] Look, D. C., Recent advances in ZnO materials and devices. *Materials Science and Engineering: B*, 80(1-3), 383-387, 2001.
- [7] Vayssieres, L., Growth of arrayed nanorods and nanowires of ZnO from aqueous solutions. *Advanced Materials*, 15(5), 464-466, 2003.
- [8] Göktaş, A., Investigation of structural, optical and magnetic properties of II-IV based diluted magnetic semiconductor thin films, PhD Thesis, 2013.
- [9] Goktas, A., Aslan, F., Yasar, E. et al. Preparation and characterisation of thickness dependent nano-structured ZnS thin films by sol-gel technique. *J Mater Sci: Mater Electron* 23, 1361–1366, 2012.
- [10] Tumbul, A., Aslan, E., Göktaş, A. et al. Chemically derived quinary $\text{Cu}_2\text{Co}_{1-x}\text{Na}_x\text{SnS}_4$ photon absorber material and its photocatalytic application. *Appl. Phys. A* 130, 225, 2024.
- [11] A. Goktas, I. H. Mutlu, Y. Yamada, & E. Celik, Influence of pH on the structural optical and magnetic properties of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}$ thin films grown by sol-gel method, *Journal of alloys and compounds*, 553, 259-266, 2013.
- [12] Mikailzade, F., Türkan, H., Önal, F. et al. Structural, optical and magnetic characterization of nanorod-shaped polycrystalline $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}$ films synthesized using sol-gel technique. *Appl. Phys. A* 126, 768 (2020).
- [13] A. Goktas, I. H. Mutlu, Y. Yamada, & E. Celik, Influence of pH on the structural optical and magnetic properties of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}$ thin films grown by sol-gel method, *Journal of alloys and compounds*, 553, 259-266, 2013.
- [14] Li, X., Wang, J., & Chen, Y., Native defects and carrier dynamics in ZnO nanostructures. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 107, 104868, 2020.
- [15] Singh, R., Patel, R., & Gupta, A., Influence of Mn doping on the structural and electrical properties of ZnO nanorods. *Thin Solid Films*, 685, 137437, 2019.

A COMPARATIVE STUDY ON STRUCTURAL AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF ZnS AND ZnO THIN FILMS

Dr. Sultan GÖKTAŞ

Harran University,

sultangoktas@harran.edu.tr - <https://orcid.org/0009-0000-7084-9710>

Dr. Öğr. Üye. Gülsen ŞAHİN

Adıyaman University,

gsahin@adiyaman.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-4891-041X>

Prof. Dr. Abdullah GÖKTAŞ

Harran University,

agoktas@harran.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-8837-8646>

ABSTRACT

Recently, ZnS and ZnO thin films have attracted significant interest due to their superior properties and wide-ranging applications in fields such as optoelectronics, catalysis, and antibacterial coatings. To this end, ZnS and ZnO thin films were fabricated using the sol-gel dip-coating method to investigate and compare their structural and photocatalytic properties. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that the produced films exhibit a polycrystalline nature with a hexagonal crystal structure. Scanning electron microscopy (SEM) analysis revealed that the films have smooth and homogeneous surface morphologies, with randomly distributed, nearly spherical grains across the film facets. Energy-dispersive X-ray (EDX) analysis confirmed the presence of Zn, O, and S elements. The photocatalytic performance of the films was evaluated using methylene blue (MB) as the organic dye model. The results indicated that the photocatalytic activity of ZnO thin films was significantly higher than that of ZnS thin films. This enhancement is primarily attributed to the superior crystalline quality of ZnO thin films compared to ZnS thin films. These findings highlight the strong potential of ZnO and ZnS thin films for effective photocatalytic applications, particularly in the removal of organic dye pollutants from the environment.

Keywords: ZnO, ZnS, Thin films, Photocatalytic activity, Methylene blue.

1. INTRODUCTION

The increasing demand for efficient and sustainable photocatalytic materials has led to extensive research on semiconductor thin films, particularly zinc-based compounds such as zinc sulfide (ZnS) and zinc oxide (ZnO). These materials have attracted significant attention due to their wide bandgap, high stability, and remarkable optoelectronic properties, making them promising candidates for various applications, including environmental remediation, water splitting, and solar energy conversion [1].

ZnO is a well-known n-type semiconductor with a direct bandgap of approximately 3.37 eV, making it highly effective for photocatalytic applications under ultraviolet (UV) light [2]. ZnS, on the other hand, possesses a slightly wider bandgap of around 3.68 eV in its cubic form, which influences its photocatalytic efficiency by limiting absorption in the visible range [3]. However, the electronic structure, surface chemistry, and defect states of ZnS and ZnO play a crucial role in their photocatalytic activity, and a direct comparison of these properties is essential to determine their practical applications [4].

Various fabrication methods, including chemical vapor deposition (CVD), sol-gel synthesis, and magnetron sputtering, have been employed to produce high-quality ZnS and ZnO thin films [5]. The structural properties of these films, such as crystallinity, phase composition, and morphology, significantly impact their photocatalytic efficiency. Moreover, surface modifications, doping, and heterojunction formation have been explored to enhance their light absorption and charge separation efficiency [6].

This study aims to provide a comparative analysis of the structural and photocatalytic properties of ZnS and ZnO thin films, focusing on their synthesis methods, crystallographic characteristics, optical behavior, and photocatalytic performance under different light conditions. By elucidating the differences and similarities between these two materials, this research contributes to the optimization of semiconductor-based photocatalysts for advanced technological applications.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1. Synthesis of ZnS and ZnO Thin Films

ZnS and ZnO thin films were prepared on glass substrates using the sol-gel method. Zinc acetate dihydrate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) was used as the precursor for both ZnS and ZnO, while thiourea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$) was employed as the sulfur source for ZnS. The precursor solutions were prepared by dissolving the respective salts in a mixture of ethanol and acetic acid under continuous stirring. The pH of the obtained transparent solutions was adjusted by using ethanolamine. The final mixture solution was mixed with a magnetic stirrer for 24 hours under room conditions. The prepared solution was on pre-cleaned glass substrates by sol-gel immersion method at 300 or 400 °C in air depending film type [7-9].

The cleaned glass substrates were coated with the precursor solutions using a dip-coating technique at 1 mm/s rpm for 10 min to complete one step. The coated substrates were then

dried at 300/400°C for 10 minutes and annealed at 500°C for 1 hour in air (for ZnO) and in a sulfur-rich environment at 600 °C (for ZnS) to obtain crystalline thin films [10].

2.2. Characterization Techniques

The structural, morphological, optical, and photocatalytic properties of the prepared thin films were characterized using the following techniques: X-ray Diffraction (XRD): The crystal structure and phase composition of the films were analyzed using an X-ray diffractometer with Cu-K α radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Scanning Electron Microscopy (SEM): The surface morphology and film thickness were examined using a field-emission scanning electron microscope. UV-Vis Spectroscopy: The optical properties, including bandgap determination, were studied using a UV-Vis spectrophotometer in the range of 200-800 nm.

2.3. Photocatalytic Activity Measurement

The photocatalytic performance of ZnS and ZnO thin films was evaluated by monitoring the degradation of methylene blue (MB) dye under UV and visible light irradiation. For preparation of MB solution, 1.25 mg/L MB dye was dissolved in pure water with a magnetic stirrer in room conditions. The solution was mixed until it sufficiently dissolved. The pH of the mixture was regulated by NaOH. According to previous studies in the literature, MB shows the best photocatalytic activity at pH = 11 [11]. A 10 ppm MB solution was used as the target pollutant. The thin films were immersed in the dye solution and exposed to a 4x 8W UV lamp.

At regular intervals, 5 mL of the solution was extracted and analyzed using a UV-Vis spectrophotometer to measure the absorbance decrease at 664 nm. The photocatalytic efficiency (η) was calculated using the equation:

$$\eta = [(1-(C/C_0))] \times 100.$$

Here, C_0 and C represent the main absorption peak of MB and the intensity of MB before and after photolysis, respectively. The experiment was repeated several times to ensure reproducibility.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. XRD Analysis

The XRD results of ZnO and ZnS thin films were given in Figure 1a and b, respectively. XRD result showed that the ZnO thin films crystallized in the (002) oriented hexagonal ZnO crystal structure. On the other hand, the ZnS thin film samples crystallized in a polycrystalline structure with a dominant cubic phase, accompanied by hexagonal ZnS crystal structures [7, 12]. The nanostructured ZnO film sample exhibited a higher degree of orientation along the (002) direction compared to ZnS thin films. No foreign phases or impurities were detected in the XRD results, confirming the high purity of the synthesized both films. The average crystal sizes calculated according to the Tauc equation are approximately 25 and 12 nm for the ZnO and ZnS thin films.

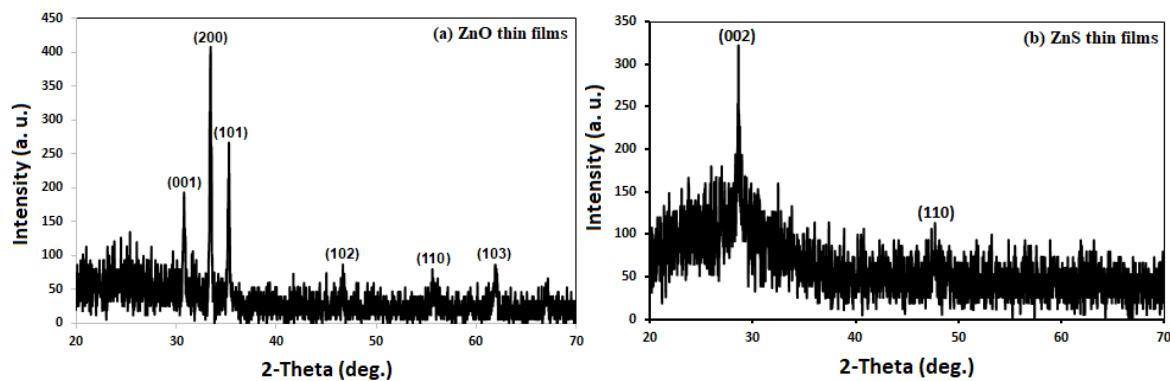


Fig.1 XRD patterns of the (a) ZnO and (b) ZnS thin films

3.2. SEM and EDX Analysis

The variation in the SEM surface morphologies of nano-structured ZnS and ZnO thin films are mainly depended on the type of different chemicals and solvent used, were presented in Fig.-2a-b. It is observed that the nano-structured ZnS and ZnO thin films exhibit surface grains in the form of nanospheres-like morphologies. The nanospheres appear to have a more homogeneous surface. The white islands on both film surfaces indicate regions enriched with sulfur (S) elements. Additionally, ZnO nanospheres are larger in size compared to the ZnS nanospheres. These finding aligns with the XRD analyses, which show that ZnO nanospheres exhibit more intense XRD peaks, indicating a higher degree of crystallinity as proved by XRD analysis.

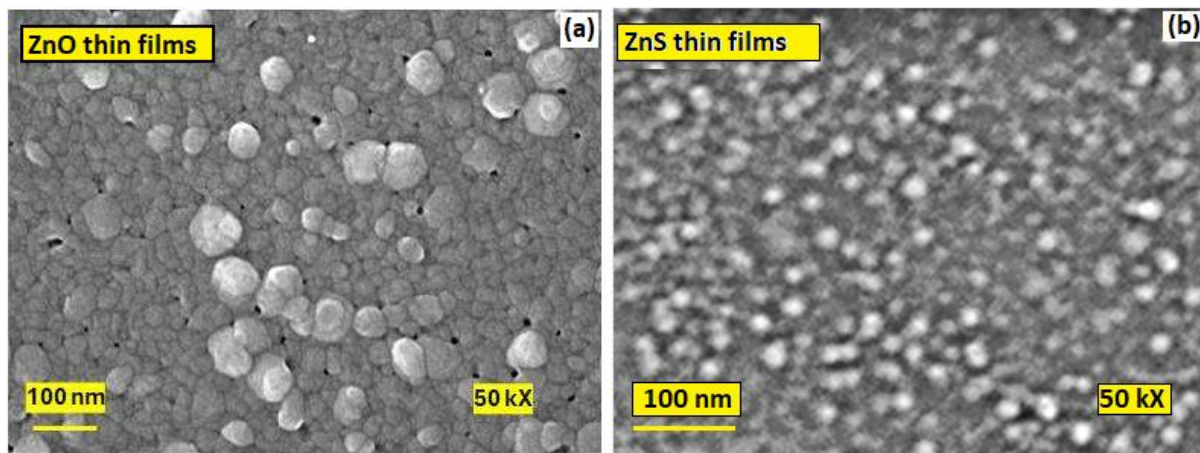


Fig.2 SEM nonpatterns of the (a) ZnO and (b) ZnS thin films

EDX analyses revealed the presence of Zn and O atoms in the films, along with Si atoms (Fig. 3a and b). On the other hand, for the ZnS films it was observed that the presence of S rather than Zn. As is well known, the Si atom originates from the glass substrate used. The observed Zn and O ratios in the films are approximately 75.65% and 24.35%, respectively, which are consistent with the literature [13]. Similarly, 50.10 and 49.10 % atomic ratios were found in the EDX analysis of the ZnS thin films for the Zn and S elements.

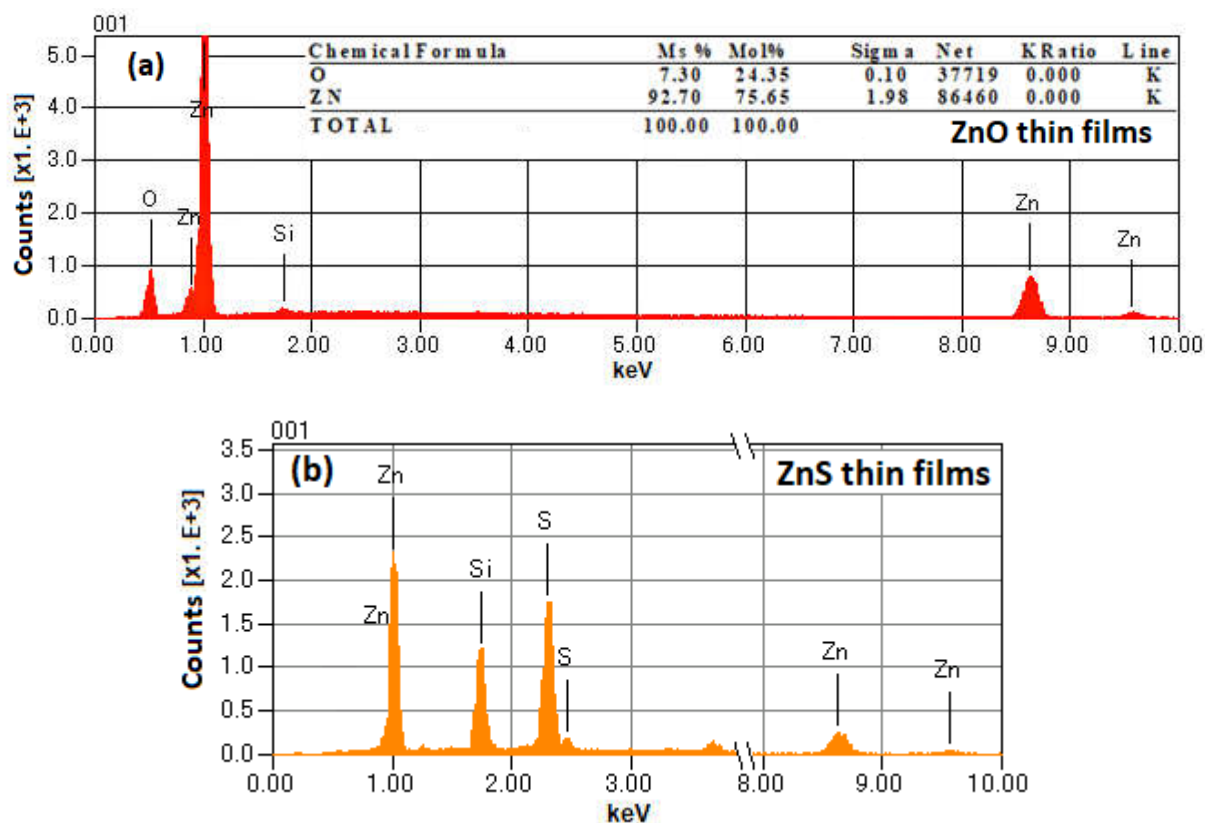


Fig.3 EDX analyses of the (a) ZnO and (b) ZnS thin films.

3.3. Photocatalytic Measurements

For photocatalytic studies, the photocatalyst dosage of ZnO and ZnS photocatalyst thin films immersed in the MB solution was determined to be approximately 0.4 mg/mL. The pH and concentration of the MB solution were adjusted to 11 with 10 g/L sodium hydroxide and distilled water. The distance of the UV LED lamp (64 W) from the MB solution container was set to 3 cm. Additionally, the dimensions of all film-coated glass samples in the solution were adjusted to 1×6 cm. The temperature of the MB solution was maintained at room temperature. Prior to UV lamp irradiation, the MB solution containing ZnS and ZnO thin film photocatalysts was stirred thoroughly with a magnetic stirrer and kept in a dark environment for 30 minutes to establish absorption-desorption equilibrium.

The efficiency of ZnS and ZnO thin film photocatalysts was calculated using the formula $[(C - C_0)/C_0] \times 100$, where C_0 and C represent the optical absorbance values of MB at a characteristic wavelength of 664 nm before and after exposure to UV light radiation, respectively [14].

The absorption spectra of the MB solution exposed to UV light in the presence of photocatalysts at 30-minute intervals are presented in Figure 4a-b. As can be seen from the figure, the intensity of the MB spectrum decreases monotonically over time. This is attributed to the excitation of ZnS and ZnO thin film photocatalysts by UV light and the subsequent formation of electron-hole pairs. While some of the excited electrons recombine and return to the valence band, the remaining electrons react with O_2 and OH^- at the surface, leading to the

formation of reactive $\cdot\text{O}_2^-$ and $\cdot\text{OH}$ radicals. These reactive species interact with MB organic molecules, decomposing them into CO_2 and H_2O [15].

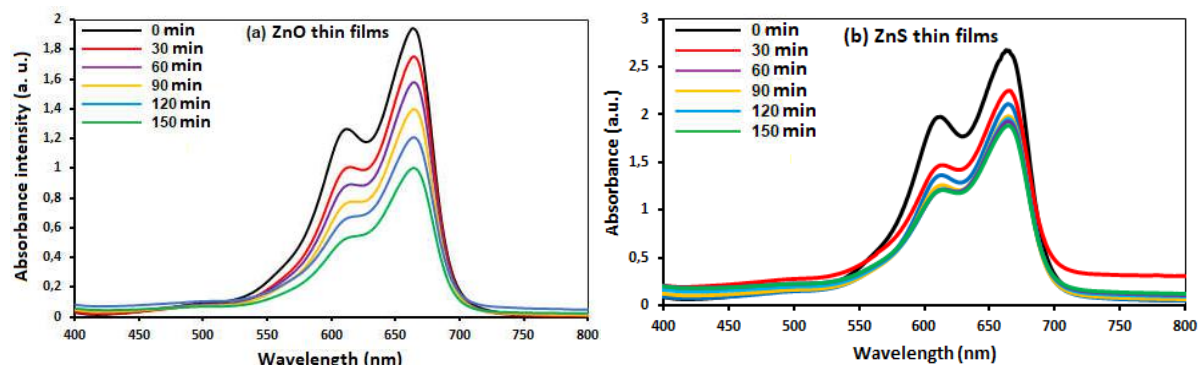


Fig.4 Absorbance of the (a) ZnO and (b) ZnS photocatalyst thin films under UV-light.

Using the photocatalytic efficiency formula mentioned above, the efficiencies of ZnS and ZnO thin film photocatalysts were calculated to be approximately 42% and 35%, respectively, after 150 minutes. This result is consistent with the literature; however, slight variations are observed due to differences in photocatalyst quantity and MB concentration compared to other studies. Furthermore, the UV LED lamp used in this study has relatively low power and intensity. Despite the lower photocatalyst amount and lower intensity light compared to other studies, the MB degradation rate was still found to be significantly notable, which is an important outcome [15, 16, 17].

4. CONCLUSIONS

XRD analyses of the films revealed that they crystallized as polycrystalline with a highly (200)-oriented hexagonal ZnO structure, whereas ZnS thin films exhibited a dominant cubic structure along with a (002)-oriented hexagonal phase. ZnO thin films demonstrated larger crystal/grain sizes and a higher degree of crystallinity compared to ZnS thin films. Moreover, XRD analyses confirmed the absence of any secondary phases in both types of films.

The surface morphologies of the prepared ZnO and ZnS thin films were investigated using SEM. The obtained images indicated that the surfaces were nearly dense and homogeneous. Furthermore, ZnO thin films exhibited larger grain sizes compared to ZnS thin films. SEM and EDX analyses confirmed the absence of any secondary phases or foreign elements in the ZnO and ZnS nanostructures, with Zn and O/S atoms being present in the films. Additionally, the detected silicon presence was attributed to the glass substrate.

Photocatalytic measurements showed that the optical absorption of methylene blue (MB) under UV light decreased over time in the presence of ZnO and ZnS thin-film photocatalysts. This reduction was attributed to the gradual degradation of MB within the solution. Furthermore, photocatalytic measurement results indicated that ZnO exhibited higher photocatalytic efficiency against MB compared to the ZnS catalyst. The observed high efficiency of the ZnO

thin-film photocatalyst was associated with its high crystallinity and active surface area. The obtained findings are consistent with the literature, suggesting that ZnO thin-film photocatalysts hold greater promise for photocatalytic applications.

REFERENCES

- [1] K. Lee, S. Park, "Recent advancements in Zn-based photocatalysts for environmental applications," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 8, no. 12, pp. 2456-2473, 2020.
- [2] J. Zhang, L. Wang, "Photocatalytic properties of ZnO nanostructures: A review," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 30, pp. 172-183, 2015.
- [3] R. Kumar, A. Umar, G. Shafiq, "Bandgap engineering in ZnS thin films: Structural and optical characterization," *Applied Surface Science*, vol. 426, pp. 763-770, 2017.
- [4] H. Wang, T. Chen, "Defect-related properties of ZnS and ZnO and their impact on photocatalytic performance," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 122, no. 14, pp. 7821-7830, 2018.
- [5] L. Patel, M. Singh, "Synthesis and characterization of ZnO and ZnS thin films via sol-gel processing," *Thin Solid Films*, vol. 660, pp. 15-22, 2018.
- [6] Y. Shen, X. Liu, "Doping and heterojunction strategies for improving Zn-based photocatalysts," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 11, no. 30, pp. 27645-27658, 2019.
- [7] S. Goktas, A. Tumbul, A. Goktas, "Growth technique-induced highly C-axis-oriented ZnO: Mn, ZnO: Fe and ZnO: Co thin films: A comparison of nanostructure, surface morphology, optical band gap, and room temperature ferromagnetism," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 36, no. 10, pp. 1875-1892, 2023.
- [8] E. Aslan, Ö. Emir, F. Arslan, A. Goktas, A. Tumbul, M. Durgun, A. Kilic, M.A. Aktacir, F. Aslan, Improving the optical properties of CuCoMnOx spinel absorber using ZnO nanorod arrays for thermal collector and photocatalytic applications, *Ceramics International*, 50 (6), 9169-9176, 2024.

- [9] A. Goktas, Sol-gel derived $\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}$ diluted magnetic semiconductor thin films: compositional dependent room or above room temperature ferromagnetism. *Applied Surface Science*, 340, 151-159, 2015
- [10] A. Goktas, F. Aslan, I. H. Mutlu, Effect of preparation technique on the selected characteristics of $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ nanocrystalline thin films deposited by sol-gel and magnetron sputtering, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 615, pp. 765-778, 2014.
- [11] Göktaş, A., Investigation of structural, optical and magnetic properties of II-IV based diluted magnetic semiconductor thin films, PhD Thesis, 2013.
- [12] S. Goktas, Synergic effects of pH, reaction temperature, and various light sources on the photodegradation of methylene blue without photocatalyst: A relatively high degradation efficiency, *Chemistry Africa*, vol. 7, pp. 4425-4437, 2024.
- [13] A. Goktas, I. H. Mutlu, Y. Yamada, & E. Celik, Influence of pH on the structural optical and magnetic properties of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}$ thin films grown by sol-gel method, *Journal of alloys and compounds*, 553, 259-266, 2013.
- [14] Fu, X., et al. Photocatalytic degradation of methylene blue by ZnO nanostructures: Effects of morphology and irradiation conditions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2020, 392, p. 112-119.
- [15] Y. Wang, et al. Enhanced photocatalytic activity of ZnO nanorods under UV light: Mechanisms and influencing factors. *Applied Surface Science*, 2019, 487, p. 1234-1245.
- [16] H. Liu, et al. Role of surface defects in ZnO photocatalysis: A comparative study using nanospheres and nanorods. *Materials Chemistry and Physics*, 2021, 257, p. 123456.
- [17] S. Gulsen, A. GOKTAS, E. ASLAN, A new way to tune photocatalytic activity, surface morphology, and structural/optical parameters of ZrO_2 thin films using different Zr sources along with annealing temperature and film thickness. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2024, 112(2), 425-443.

YENİ ve KARARLI POLİMETALİK KATALİZÖRÜN POTASYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİ HİDROJEN ÜRETİMİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ONAT

Bitlis Eren Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, Bitlis, Türkiye,
eonat@beu.edu.tr – ORCID: 0000-0003-1638-0151

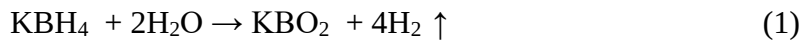
ÖZET

Fosil kaynaklarının neden olduğu sorunlara en iyi çözüm olma özelliğindeki hidrojen (H_2) temiz enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Hidrojenin sahip olduğu bir çok avantajının yanında depolama ve taşınma sorunu aşılması gereken en önemli dezavantajların başında gelmektedir. Söz konusu dezavantajları ortadan kaldırmada hidrojenin katı olarak depolandığı metal hidrürler gelmektedir. Bu çalışmada metal hidrürlerden biri olan potasyum bor hidrürün (KBH_4 -PBH) hidrolizi, Ru katkılı CoFe katalizörünün Eupergit CM polimerik destek malzemesi ile elde edilen katalizör varlığında katalitik hidrolizle açığa çıkan hidrojenin üretim parametreleri incelendi. Katalizör sentezinde emdirme, birlikte çöktürme, filtrasyon ve azot atmosferinde kurutma işlemleri gerçekleştirildi. Katalizör sentezinden sonra metal oranı, farklı KOH konsantrasyonu, farklı katalizör miktarları ve substrat miktarları gibi parametreler potasyum borhidrürün katalitik hidrolizindeki hidrojen üretimine etkileri incelendi. Ru-CoFe@ECM katalizörü varlığındaki PBH hidrolizi optimum $30^\circ C$ 'de % 0 KOH, 40 mg katalizör ve % 2 KBH_4 varlığındaki hidrojen üretim hızının 8808 mL/dak.g olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler : Hidrojen, Katalizör, Potasyum borhidrür, Ru-CoFe@ECM

1. GİRİŞ

Günlük yaşamda ve endüstriyel uygulamalarda temiz ve yenilebilir enerjiye yönelik talebi karşılamak için hidrojene olan ilgi günden güne artmaktadır. Ancak hidrojenin taşınması ve depolanması sorun olduğundan dolayı, bu sorunu aşan borhidrürlerin (NaBH_4 , KBH_4 , LiBH_4 , NH_3BH_3 gibi.) kullanımları öne çıkmaktadır. Bunlardan özellikle alkali borhidrürler olan NaBH_4 ve KBH_4 öne araştırmacıların yaptığı araştırmalarda çıkmaktadır. Bunun sebebi ise katalitik olarak kolay kontrol edilebilmeleri, suda kolay hidroliz olmaları ve bununla birlikte aşağıdaki reaksiyonda gösterilen denklemde elde edilen yüksek saflıkta 4 mol hidrojenin 2 molünün sudan gelmesi önem arz etmektedir. Her iki borhidrür bileşiğinin yanıcı, zehirli olmaması ve NaBH_4 'ün % 10.8, KBH_4 'ün ise yaklaşık % 7.5 ağırlıkça hidrojen depolanması öne çıkan bir diğer önemli avantaj olarak sıralanabilir [1-3].



Burada KBH_4 seçilmesinin sebebi, NaBH_4 (SBH) üzerine çok çalışma yapılmasına karşın KBH_4 hidrolizi ile yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bununla birlikte PBH hidrolizinde açığa çıkan ısı miktarı SBH'e göre az olması, depolama ve kararlı olması nedeniyle daha çevreci olduğu görülmektedir. PBH hidrolizi için son zamanlarda soy metal katalizörleriyle (Ru, Pd) ilgili çalışmalar yapıldığı bununla birlikte geçiş metalleriyle (Co, Ni, Fe,) çalışmaların daha az olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere soy metallerin yüksek maliyeti endüstride bu tür katalizörlerin kullanılmasını sınırlı hale getirmektedir. Bunun için hem maliyeti azaltmak için soy metallerle birlikte geçiş metallerinin kullanımını arttırmak hem de metallerin topaklaşmasının engellemek için destek malzemeleri kullanılmaktadır. Co, Ni, Fe, Cr gibi metallerle birlikte çok az miktarda soy metallerin kullanımı metaller arasında sinerjik etki yaparak sentezlenen katalizörün katalitik aktivitesini artırmaktadır [4,5]. Destek malzemesi olarak polimer malzeme olan Eupergit CM 250 kullanılmasının sebebi, yüksek yüzey gözeneklilik, su ve asitlere karşı dayanıklılığı, çözeltilerde yapısının bozulmaması ile dikkat çekmektedir.

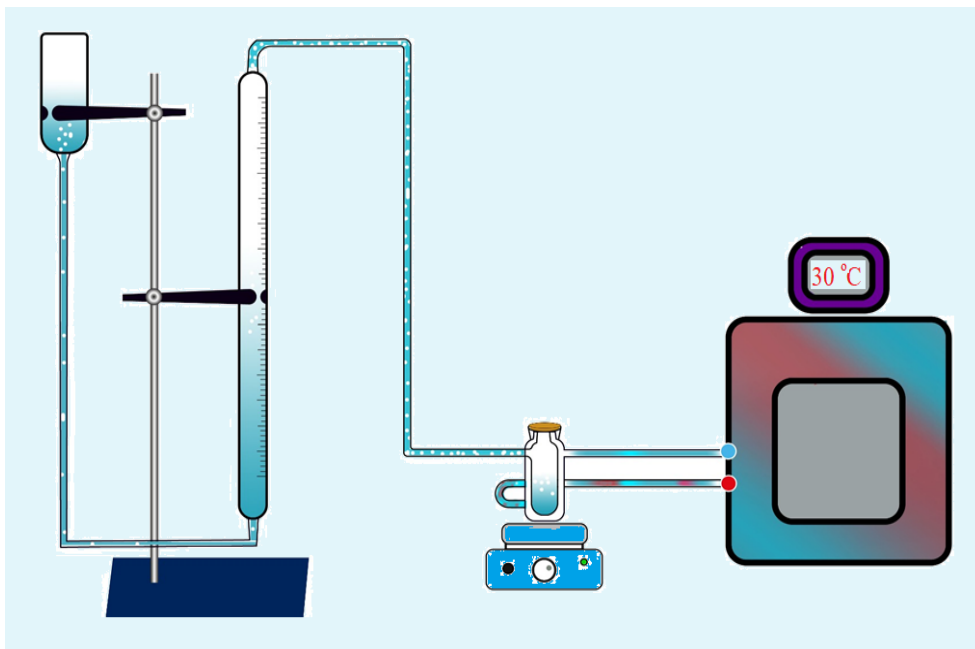
Bu çalışmada; Eupergit CM üzerine dekore edilen Co ve Fe metalleriyle birlikte çok az miktarda Ru metalinin eklenmesiyle elde edilen Ru-CoFe@ECM katalizörü varlığındaki PBH'ün hidrolizi sonucu elde edilen hidrojen veriminin, KOH, katalizör miktarı ve farklı PBH konsantrasyonları sonucu optimum miktarlar belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Katalizörün sentezi için, önce Fe 100 mL etanolde çözüldükten sonra Co metali eklendi, daha sonra Ru metali eklendikten sonra belirli miktarda Eupergit CM-250 konularak metallerin destek malzemesi üzerine iyice emdirilmesi için 1 saat ultrasonik banyoya bırakıldı. Burada optimum metal/destek oranı; 5/100 olacak Görselde sentezlenmiştir. Daha sonra etanolün uzaklaşması için 60 °C'de 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak çamurumsu bir karışım elde edildi. Elde edilen karışım daha sonra damıtılmış suyla 50 mL'ye tamamlandı. Ardından

bu karışım soğuk bir ortama alındı ve yavaşça %1'lik 50 mL NaBH_4 çözeltisiyle indirgendi [6]. İndirgemen sonra, katalizör iki kez damıtılmış suyla yıkandı ve ardından etanolle yıkandı ve 80°C 'de 6 saat boyunca nitrojen altında kurumaya bırakıldı. Kurutulduktan sonra, katalizörün hidrolizi gerçekleştirildi.

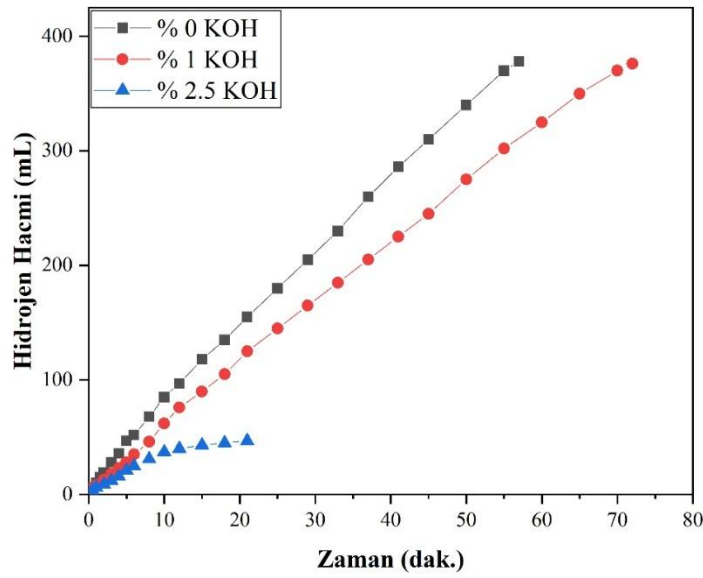
Potasyum borhidrürün katalitik hidroliz tepkimesi sonucu H_2 üretiminin incelendiği deneysel çalışma sistemi Görsel 1' deki gibidir. Katalitik hidroliz düzeneği sıcaklık kontrolü sağlayan sirkülasyonlu su banyosu, manyetik karıştırıcı, ceketli tüp, dereceli silindir ve gaz geçişlerinde görev alan bağlantı hortumlarından oluşmaktadır. Bu düzende ceketli tüp ortamı sağlamakta görev almaktadır. Manyetik karıştırıcı ile sirkülasyonlu kriyostat hidroliz tepkimelerinin her bir katalitik hidroliz için standart şartlar altında gerçekleşmesini sağlamaktadır. Dereceli silindir açığa çıkan H_2 gazının ölçülmesinde görev almaktadır. Görsel 1' deki katalitik hidroliz sisteminden yararlanılarak kronometre ile ölçülen zamana bağlı H_2 gazının ham değerleri veri tablolarına işlenerek tepkimenin ayrıntılı incelesi gerçekleştirilmiştir.



Görsel 1. Potasyum borhidrür hidroliz tepkimesi sonucu açığa çıkan hidrojen gazı miktarını ölçmek için kullanılan düzene

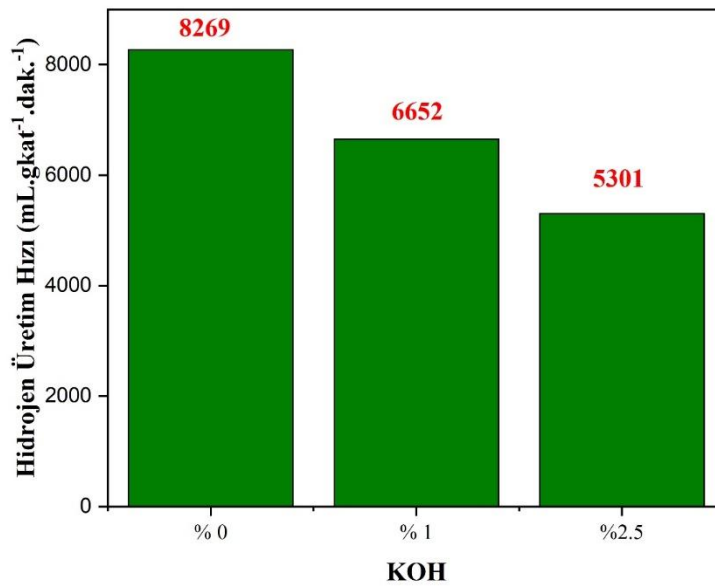
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Alkali borhidrür çözeltileri kendiliğinden hidrolize olduklarından dolayı belirli bir pH aralığında olmaları gerekir. Burada hem çözeltinin raf ömrünü uzatmak hem de reaksiyonun katalizör kontrollü olabilmesi için çözeltiye farklı konsantrasyonlarda KOH eklenerek Ru-CoFe@ECM katalizörünün PBH hidrolizi üzerine etkisi Görsel 2'de verilmiştir. Görselden görüleceği üzere KOH konsantrasyonu arttıkça hidroliz süresinin arttığı ve hidrojen üretim hızının düştüğü gözlemlenmektedir.



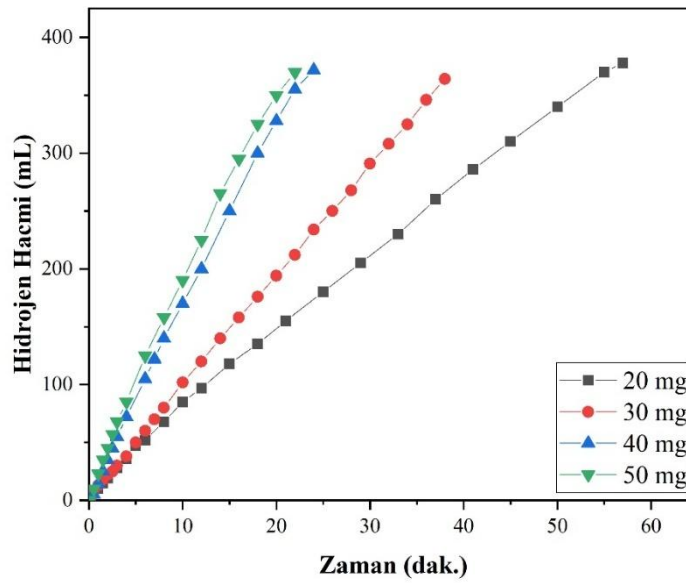
Görsel 2. Farklı KOH konsantrasyonunun KBH_4 hidrolizinin hidrojen üretimi üzerindeki etkisi (10 mL çözelti, 30 °C, 20 mg Katalizör, % 2 KBH_4)

Başlangıç hızlarının farklı KOH konsantrasyonlarına ilişkin grafik Görsel 3'te verilmiştir. Görselden görüldüğü üzere % 0 KOH varlığındaki hidrojen üretim hızının 8269 mL/g.dk olduğu görülmüştür. Bundan sonraki aşamalarda deneyler % 0 KOH varlığında gerçekleştirilecektir.



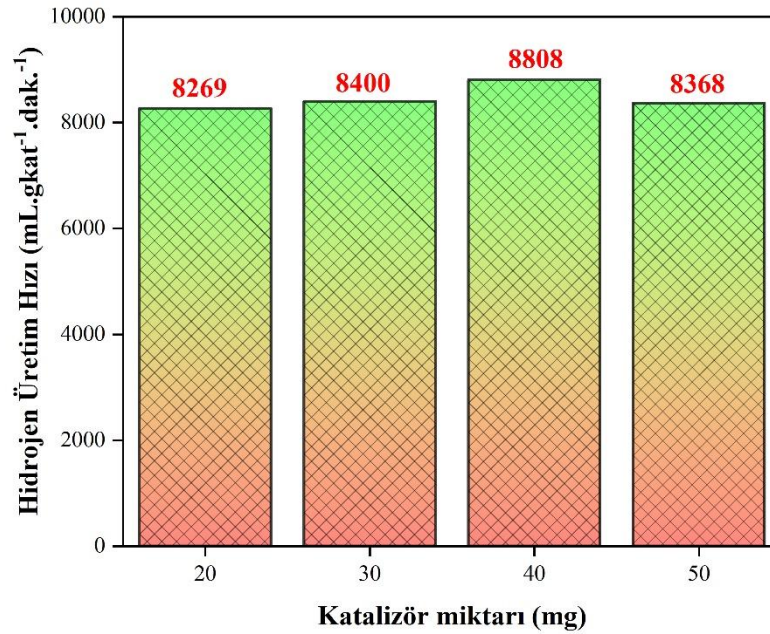
Görsel 3. Farklı KOH konsantrasyonunun KBH_4 hidrolizinin hidrojen üretim hızları üzerindeki etkisi (10 mL çözelti, 30 °C, 20 mg Katalizör, % 2 KBH_4)

Katalitik hidroliz tepkimelerinde önemli bir faktör olan farklı katalizör derişimlerinin tepkime hızına etkisi incelenmiştir. Görsel. 4, 30 °C de farklı katalizör derişimlerinde gerçekleştirilen katalitik tepkimede açığa çıkan hidrojen gaz miktarının zamana bağlı grafiğı görölmektedir. Görselden göröldüğü üzere katalizör konsantrasyonundaki artış hidrojen çıkışını da arttırdığı görölmektedir. Yani katalizör miktarı arttıkça PBH hidroliz süresinin azaldığı görölmektedir.



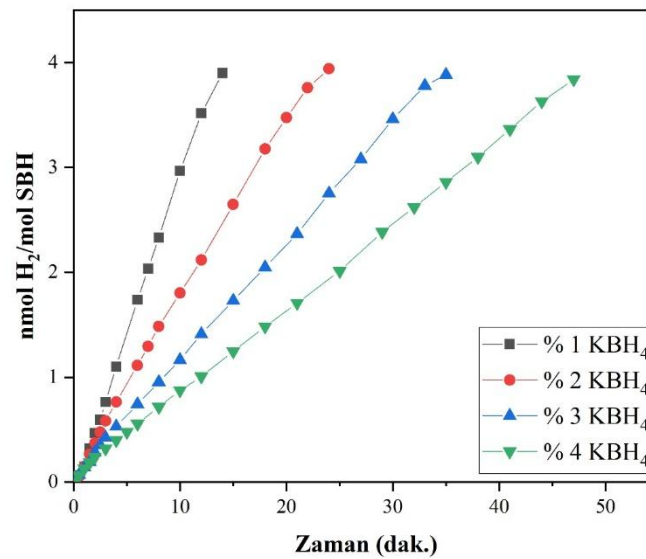
Görsel 4. Farklı katalizör derişimlerinin Potasyum borhidrür hidrolizine etkisi.

Tüm veriler aynı olacak Görselde hidrojen üretim hızlarının katalizör miktarına bağlı Görselde bakıldığında durumun katalizör miktarına bağlı olmadığı görölmektedir. Yani 40 mg katalizör varlığındaki hidrojen üretim hızının 8808 mL/g.dk kadar çıktığı, daha yüksek konsantrasyonlardaki katalizör miktarında ise hidrojen üretim hızının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni çözelti başına düşen katalizör miktarının artmasıyla başlangıç hızının azalmasıyla ilgilidir [7].



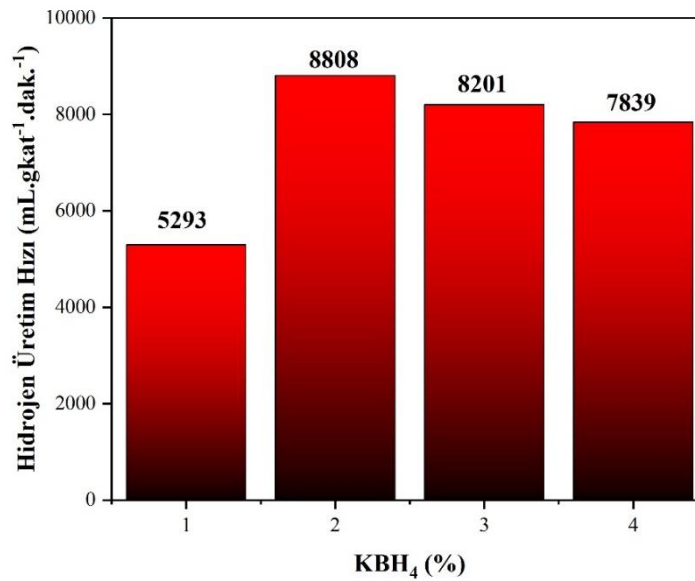
Görsel 5. Potasyum borhidrürün hidrolizi sonucu farklı katalizör derişimlerinin başlangıç hızlarına karşı etkisi

En son adımda ise Ru-CoFe@ECM katalizörünün katalitik performansını sabit katalizör miktarı ve sabit sıcaklıkta farklı PBH konsantrasyonlarında gerçekleştirilen katalitik hidroliz tepkimesinde test edilmiştir. Görsel 6 farklı PBH konsantrasyonlarında gerçekleştirilen katalitik tepkimeye ait açığa çıkan hidrojen gaz miktarının PBH'ün mol oranına ait grafiğini göstermektedir. Görsel 6 incelendiğinde PBH'ün tüm derişimlerinde yaklaşık 4 mol H₂ gazının çıktığı ve PBH derişiminin artmasıyla elde edilen hidrojen hacminin de arttığı görülmektedir.



Görsel 6. Farklı KBH₄ konsantrasyonları varlığındaki hidrojen üretiminin zamana karşı grafiği (30 °C de, 40 mg katalizör, % 0 KOH ve 10 mL çözelti).

Aşağıda verilen Görselde hidrojen üretim hızlarının PBH konsantrasyonlarına göre grafiğinde SBH optimum konsantrasyonunun %2 olduğu ve hidrojen üretim hızının da (30 °C de, 40 mg katalizör, % 0 KOH ve 10 mL çözelti) 8808 mL/dak.grkat olduğu, görülmektedir. Daha yüksek konsantrasyonlarında ise hidrojen üretim hızlarının düşerek sabit kaldığı görülmektedir. Bunun nedeni H₂ açığa çıktığında oluşan metaboratın viskozitesinin fazla olması sebebiyle H₂ çıkışını engellediği söylenebilir [8,9].



Görsel 7. Farklı KBH₄ konsantrasyonlarının hidrojen üretim hızının etkisi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada ilk kez polimetallik katkılı Ru metalinin polimer destekli katalizörün potasyum borhidrürdeki hidrolizi incelenmiştir. Burada elde edilen katalizörün, en iyi metal/destek oranının % 5 metal % 95 destek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 30 °C’de PBH’ün hidrolizinin Ru-CoFe@ECM katalizörü varlığında elde edilen hidrojen hacminin farklı KOH konsantrasyonlardaki optimum KOH konsantrasyonunun % 0, farklı katalizör miktarlarındaki optimum miktarının 40 mg, ve farklı PBH konsantrasyonlarındaki optimum değerinin ise % 2 KBH₄ olduğu tespit edilmiştir. Optimum veriler ışığındaki hidrojen üretim hızının 8808 mL/g.min olarak belirlenmiştir. Co bazlı katalizörler incelendiğinde KBH₄’ te sadece Co içeren katalizörlerin 1200 mL/g.dk değerlerinde H₂ verimi sağladığı görülecektir [10-12]. Bu çalışmada görüldüğü gibi 8808 mL/g.dk H₂ verimi çalışmanın çok iyi sonuçları netice verdiğini göstermektedir. Hidrojen üretimi veya diğer katalitik proseslerde benzer polimetallik çalışmaların yüksek katalitik sonuçları netice vereceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] C. Tarhan and M. A. Çil, “A study on hydrogen, the clean energy of the future: Hydrogen storage methods,” *J. Energy Storage*, vol. 40, no. 102676, p. 102676, 2021.
- [2] P. Preuster, A. Alekseev, and P. Wasserscheid, “Hydrogen storage technologies for future energy systems,” *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 445–471, 2017.
- [3] Y. Kojima and M. Yamaguchi, “Ammonia storage materials for nitrogen recycling hydrogen and energy carriers,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 16, pp. 10233–10246, 2020.
- [4] M. Pozzo, D. Alfe, V. Zr, and C. Pd, “Hydrogen dissociation and diffusion on transition metal (=),” *International journal of hydrogen energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1922–1930, 2009.
- [5] C. Wang, Q. Wang, F. Fu, and D. Astruc, “Hydrogen generation upon nanocatalyzed hydrolysis of hydrogen-rich boron derivatives: Recent developments,” *Acc. Chem. Res.*, vol. 53, no. 10, pp. 2483–2493, 2020.
- [6] E. Onat, “Synthesis of a cobalt catalyst supported by graphene oxide modified perlite and its application on the hydrolysis of sodium borohydride,” *Synthetic Metals*, vol. 306, 2024.
- [7] Ö. Şahin, S. Ekin, M. S. İzgi, and E. Onat, “Effect of different solvents on hydrogen production from hydrolysis of potassium borohydride with a new and active Ni-based catalyst synthesized by green synthesis,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024.
- [8] F. Y. Zhu, C. H. Fang, Y. Fang, Y. Q. Zhou, H. W. Ge, and H. Y. Liu, “Structure of aqueous potassium metaborate solution,” *J. Mol. Struct.*, vol. 1070, pp. 80–85, 2014.
- [9] L. Laversenne, C. Goutaudier, R. Chiriac, C. Sigala, and B. Bonnetot, “Hydrogen storage in borohydrides comparison of hydrolysis conditions of LiBH₄, NaBH₄ and KBH₄,” *Journal of thermal analysis and calorimetry*, vol. 94, pp. 785–790, 2008.
- [10] F. A. Celik et al., “Hydrogen production mechanism and catalytic productivity of Ni-X@g-C₃N₄ (X= precious and non-precious promoter metals) catalysts from KBH₄ hydrolysis under stress loading and atmospheric pressure: Experimental analysis and molecular dynamics approach,” *Diamond and Related Materials*, vol. 149, 2024.
- [11] D. Kılınç and Ö. Şahin, “Metal-Schiff Base complex catalyst in KBH₄ hydrolysis reaction for hydrogen production,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 34, pp. 18848–18857, 2019.
- [12] D. Xu, H. Wang, Q. Guo, and S. Ji, “Catalytic behavior of carbon supported Ni–B, Co–B and Co–Ni–B in hydrogen generation by hydrolysis of KBH₄,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 8, pp. 1606–1610, 2011.

THERMAL ANALYSIS OF A MONOCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC (PV) SOLAR PANEL IN ANSYS

Lecturer Dr., Seda YETKIN YESIL

Bitlis Eren University,
sedayetkinyesil@gmail.com- 0000-0001-9685-1376

Lecturer, Olcay PALTA

Bitlis Eren University,
opalta@beu.edu.tr- 0000-0002-7496-2101

ABSTRACT

In this study, a simulation was conducted using the ANSYS software to determine the temperature values and distributions that will occur in each layer of a monocrystalline photovoltaic (PV) solar panel generating 70 W of power. The thermal analysis was carried out for a rectangular structure with a total of 36 solar cells, arranged in 4 rows horizontally and 9 rows vertically, with dimensions of 1153 mm in length and 558 mm in width, based on the dimensions of a real PV solar panel. The layers of the PV panel were designed using 6 different materials (ethylene-tetrafluoroethylene, ethylene vinyl acetate, silicon, plastic, adhesive, and carbon fiber composite polymer), resulting in 7 layers. The thicknesses of the top, encapsulant 1, solar cell, encapsulant 2, bottom, adhesive and support layers forming the PV panel are designed with dimensions of 0.28, 0.20, 0.15, 0.20, 0.20, 0.20, 0.13 and 2 mm, respectively. For the designed PV panel, boundary conditions were determined under the assumption of 25°C ambient temperature, 1000 W/m² solar radiation, and a PV producing 70 W of power. Therefore, the boundary conditions were set as $T = 25^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{cell}} = 1000 \text{ W/m}^2$, and $Q_{\text{rete}} = 70 \text{ W}$. Additionally, since heat transfer occurs through conduction, convection, and radiation in the PV panel model, the calculated boundary conditions were applied to the analysis. As a result of the analysis, the highest temperature reached 53.255°C, occurring at the center of the solar cell layer. This is because the edges of the layer are connected to the support layer, and the support layer, which is in contact with air, results in cooling. This analysis provides an insight into how temperature develops along the solar radiation path. As a result, the study investigated how the design parameters affect the efficiency of the solar cells.

Keywords: Solar panel, heat transfer, thermal analysis, conduction heat transfer, radiation.

1. INTRODUCTION

The recent developments in production technologies have led to an increase in the demand for energy production. In the early stages, energy production was provided through the use of fossil fuels (Arı & Yılmaz, 2023). However, in recent years, due to the rapid depletion of fossil fuels and the environmental damage they cause, the use of innovative and eco-friendly renewable energy sources for energy production has increased. Research on renewable energy sources has

been steadily growing (Barichello, et al., 2024; Nwokediegwu, Ibekwe, Ilojianya, Etukudoh, & Ayorinde, 2024). As a developing country, Turkey's need for energy resources is increasing day by day in parallel with its growing population and economy. Given its current energy structure, Turkey, which is approximately 75% dependent on foreign energy, seems to have no choice but to reduce this dependency through renewable energy sources, making it a necessity rather than a preference. In their study, Tutar and colleagues have revealed and analyzed Turkey's current renewable energy potential (Tutar & Atas, 2022). Uslu and colleagues have examined the applications of renewable energy in retail trade and transportation services in recent years (Uslu, Özdemir, Yıldırım, & Kavak, 2024). Additionally, according to the first law of thermodynamics, energy can neither be created nor destroyed; however, existing energy can be transformed into another form. In light of this law, it can be stated that all the energy types we use are the result of the transformation of another energy form (Yetkin Yesil & Palta, 2022).

Photovoltaic solar panels, known as the leaders of renewable energy technologies, have the ability to convert solar waves, the most important energy source in the world, into electricity. Compared to other technologies, the use of monocrystalline silicon panels in systems designed for converting solar energy into electricity is becoming increasingly widespread. There are two main issues regarding the performance of solar panels. The first is low efficiency. To increase low efficiency, the metallurgy of the solar panel needs to be modified. The second issue is that the panels reach high temperatures while operating, which leads to a decrease in their performance (Hudedmani, Soppimath, & Jambotkar, 2017; Singh, Trivedi, & Mishra, 2021). To improve performance, the temperature can be reduced by providing a cold air environment for the solar panels, thus overcoming the problem (Shah & Mehta, 2021). In their study, Leow and colleagues used ANSYS simulation software, which employs the Finite Element Analysis (FEA) method, to investigate how the performance of solar panels would be affected under four different wind speeds (0 m/s, 0.43 m/s, 2.5 m/s, and 6.95 m/s) (Leow, ve diğerleri, 2016). Moiseev and colleagues conducted a simulation study in ANSYS to determine the thermal parameters of a solar panel at a pilot facility. Additionally, the pivot panel was constructed from three layers: tempered glass, encapsulant, and solar cell (Moiseev, Shishkov, Berseneva, & Osintzev, 2022). In our study, the thermal analysis of a PV panel, consisting of upper encapsulant 1, solar cell, encapsulant 2, lower layer, adhesive, and support layers, was performed.

The paper is structured as follows: Section 1 introduces the content of the topic and presents a review of related literature. In Section 2, the design and analysis processes of the photovoltaic solar panel used in the study are detailed. The analysis results are presented, calculated, solved, and explained in Section 3. Finally, Section 4 presents the conclusions.

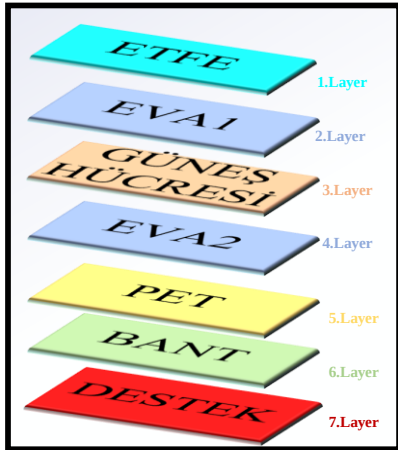
2. MODELING AND THERMAL ANALYSES

2.1. Design of PV Solar Panel

In this study, a monocrystalline photovoltaic (PV) panel with 36 cells and a maximum power output of 70W was designed, and its thermal analysis was conducted using the ANSYS software. The initial phase of the thermal analysis involves the design of the PV panel's

geometry. Prior to constructing the geometry, it is essential to note that the panel comprises seven layers. The characteristics and thicknesses of these layers are presented in Table 1.

Table 2. The layers and properties of the PV panel

No	Function	Material	Thickness (mm)	Layers Image
1	Top layer	ETFE	0.28	
2	Encapsulant 1	EVA	0.20	
3	Solar cell	Silicon	0.15	
4	Encapsulant 2	EVA	0.20	
5	Bottom layer	PET	0.20	
6	Adhesive	Tape	0.13	
7	Support	Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)	2	

According to Table 1, the first layer of the PV panel is the topmost layer made of Ethylene Tetrafluoroethylene (ETFE), a plastic polymer material commonly used instead of glass. In this study, the thickness of the ETFE layer is taken as 0.28 mm. The second layer is made of Ethylene Vinyl Acetate (EVA), a highly transparent material, with a thickness of 0.20 mm. The third layer is monocrystalline silicon, with a thickness of 0.15 mm. Below the monocrystalline layer, the fourth layer is another EVA layer, and its thickness is taken equal to that of the previous EVA layer. The fifth layer is known as the back protection (PET), an insulating plastic layer, with a thickness of 0.20 mm. The sixth layer is an adhesive layer, with a thickness of 0.13 mm. Finally, to provide structural support to the back of the panel, a Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) layer is used, with a thickness of 2 mm. As shown in Figure 1, the actual PV panel consists of a total of 36 solar cells, with 9 cells vertically and 4 cells horizontally. Each solar cell is assumed to be of equal size, 123 x 123 mm, with a 15 mm gap between them. The geometry of the PV panel in ANSYS was drawn based on the real dimensions. Additionally, the distance between two solar cells is taken as 2 mm, with a 15 mm gap at the top and a 10 mm gap at the bottom.

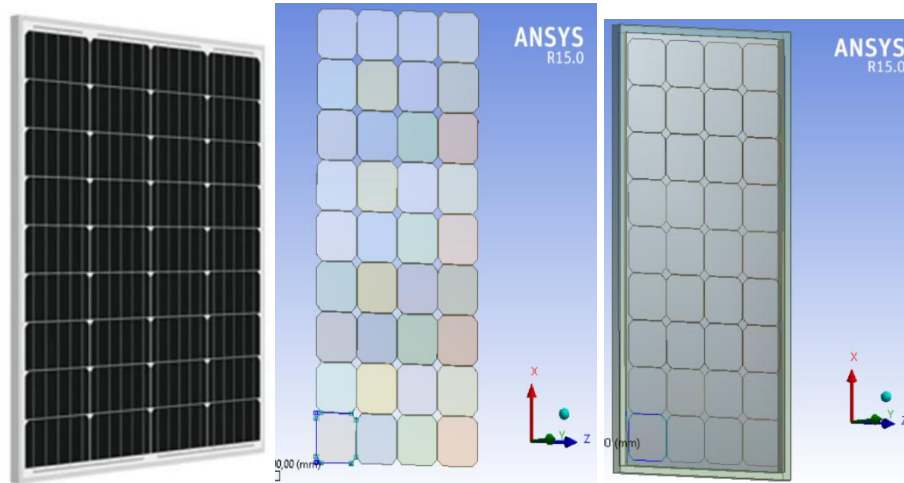


Figure 1. a) Real PV panel b) solar cells in ANSYS c) all layers in ANSYS

After the geometry of the PV panel was designed, the second phase of the thermal analysis involved defining the required material properties for each layer of the solar panel.

2.2. Material Properties of PV Solar Panel

Initially, the thermal processes occurring on or within the solar panel are based on the four equations presented between Equation 1 and Equation 4. These four equations provide information about the material and its required properties for heat transfer to occur within the layers of the PV panel. The first method of heat transfer in the PV panel is conduction (Conduction). The Fourier principle, as shown in Equation 1, is used for this method.

$$\text{Fourier principle: } Q = kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Here, the material's thermal conductivity coefficient is denoted by k , the surface area by A , and the temperature by T . According to Fourier's principle, heat transfer occurs not only between layers but also within the layers themselves through conduction. The second method of heat transfer in the PV panel is convection, which is the transfer of heat through a fluid (liquid or gas). For convective heat transfer, Newton's law of cooling, as shown in Equation 2, is used.

$$\text{Newton's principle: } Q = hA(T_y - T_\infty) \quad (2)$$

Here, the convective heat transfer coefficient h , surface area A , surface temperature of the layer T_y , and ambient temperature T_∞ are represented by their respective symbols. Furthermore, heat will be transferred by convection from the ETFE and CFRP layers to the surrounding air. The third heat transfer method in the PV panel is radiation, which is the transfer of heat through electromagnetic waves. For heat transfer by radiation, the Stefan-Boltzmann Law, as shown in Equation 3, is used.

$$\text{Stefan-Boltzmann principle: } Q = \sigma \epsilon A (T_y^4 - T_\infty^4) \quad (3)$$

Here, the Stefan-Boltzmann constant σ ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$), surface area A , emissivity of the layer ϵ (taken as 0.89), surface temperature of the layer T_y , and ambient temperature T_∞

are represented by their respective symbols. The final equation used for thermal processes occurring on or within the solar panel is the thermal energy change equation, shown in Equation 4.

$$\text{Thermal Energy Change Formula: } Q = mc_p dT \quad (4)$$

Here, m represents the mass of the material, c_p is the specific heat capacity, and dT is the change in temperature. This equation describes the energy change that occurs as a result of an increase or decrease in the heat within a system. This change is typically dependent on factors such as the temperature difference, the type of material, mass, and specific heat capacity. Therefore, all the necessary properties required in the simulation are utilized in these equations. The material properties of the layers used in this study are presented in Table 2.

Table 3. Material properties of PV solar panel [8]

Material	Density (kg/m ³)	Thermal Conductivity (W/m.K)	Specific Heat Capacity (J/kgK)
ETFE	1730	0,24	1172
EVA	945	0,35	2090
Solar cell	2330	148	700
PET	1350	0,275	1275
CFRP	1490	6,83	1130
Tape	1012	0,19	2000

2.3. ANSYS Thermal Analysis and Connections Types

ANSYS provides five different types of connection methods. These are as shown in Figure 2.

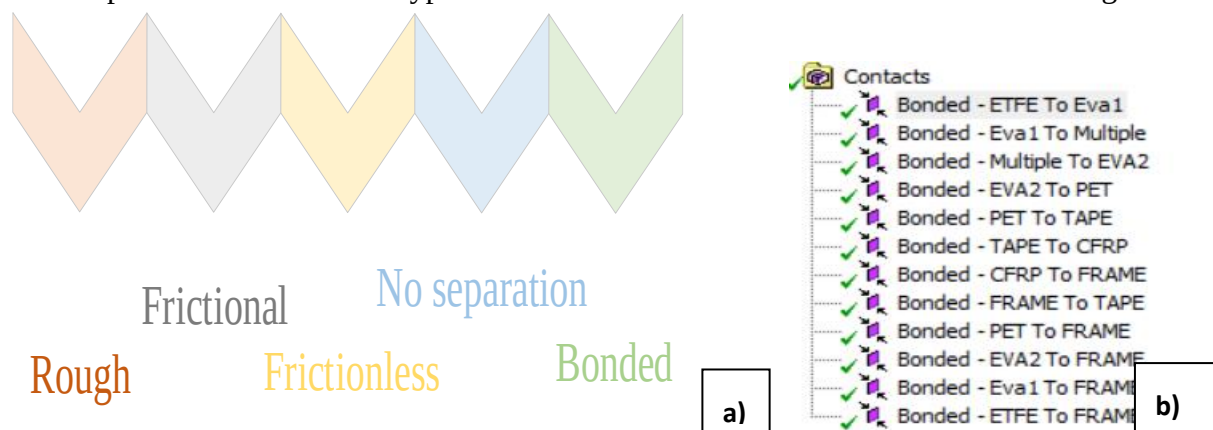


Figure 2. a) Connections in ANSYS, b) contacting of solar panel

These connection types are used in both mechanical and thermal analyses. Since there is no difference in the connections while performing the thermal analysis of the PV panel using the finite element method, no difficulties were encountered. The first type is a bonded connection. In this case, if the contact regions are bonded, no sliding or separation between faces or edges is permitted. A no-separation contact indicates that the target and contact surfaces remain tied

throughout the analysis, though sliding may still occur. A frictionless contact refers to a scenario where the coefficient of friction is zero, allowing for separation between bodies and free sliding.

In this case, the two contacting geometries can transmit shear forces up to a certain magnitude before they begin to move relative to one another. Finally, rough contact represents a completely frictional, rough contact with no sliding allowed.

The connections of the solar panel we designed were made as 12 units, and all of them are bonded type, as shown in Figure 2. After the connections of the solar panel were made, the mesh generation phase was initiated. In the mesh section, each edge was divided into segments of 0.007 m, resulting in a total of 94,038 elements and 594,008 nodes. The mesh visualization of the solar panel is shown in Figure 3.

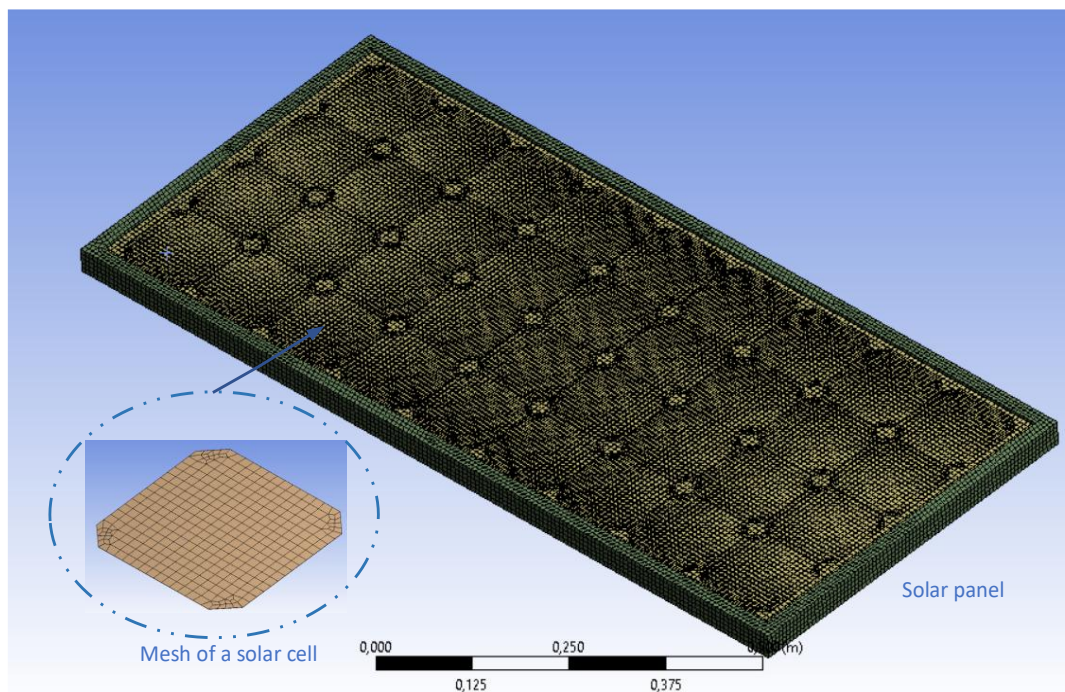
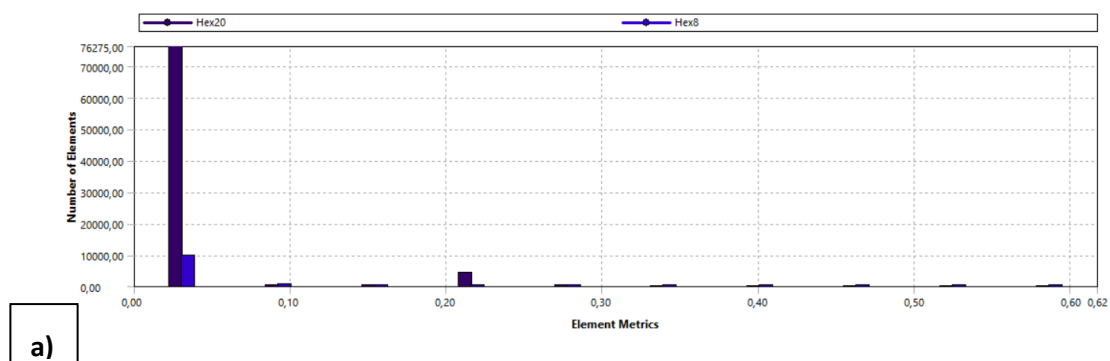
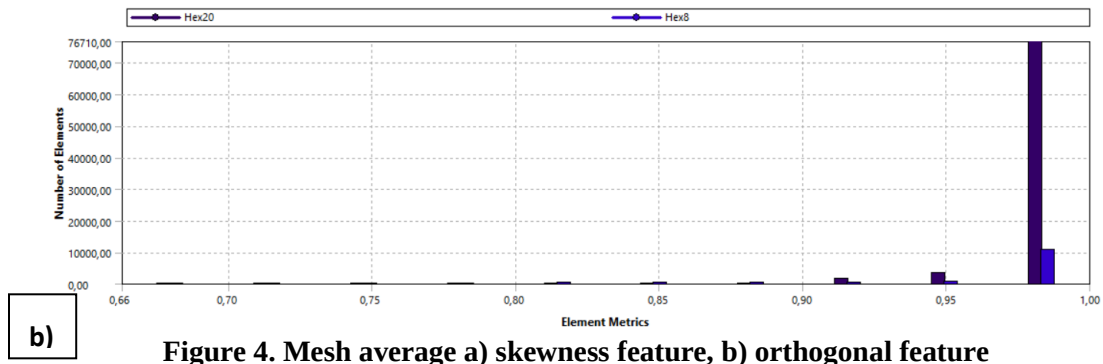


Figure 3. Mesh structure of the PV solar panel design

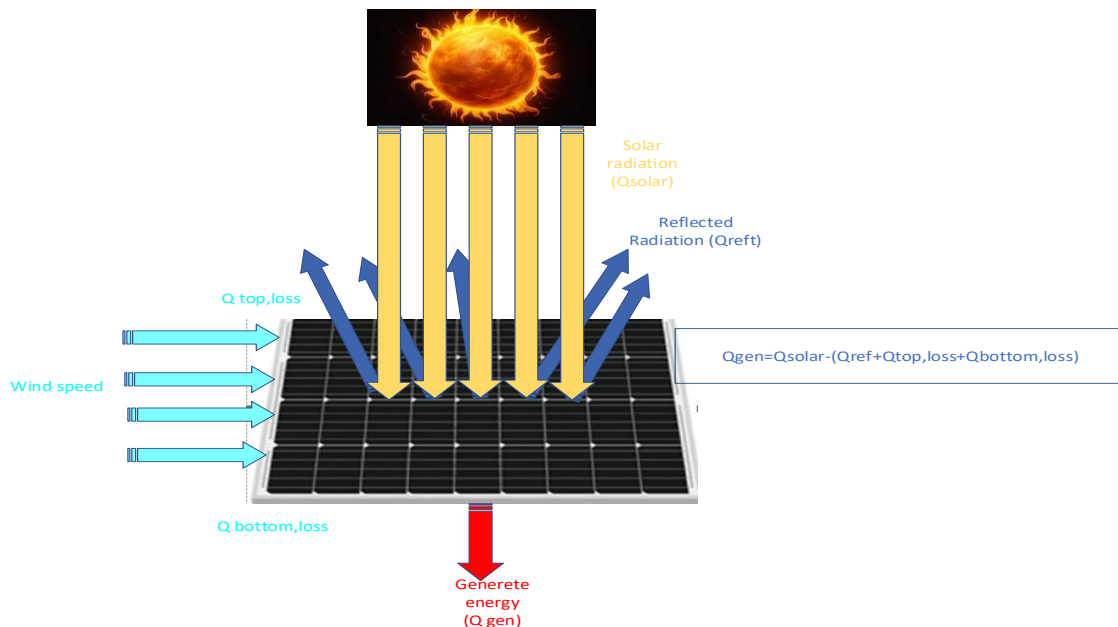
According to the numerical results of the mesh structure analysis shown in Figures 4, the average skewness quality is 0.02, and the average orthogonality quality has reached a value of 0.99, as shown. These values indicate the high meshing quality used in this study.



a)



In a PV panel system, the thermodynamics theorem is used (the energy entering the system is equal to the energy leaving the system). As shown in Figure 5, when sunlight hits a PV panel, some of the light is reflected back into the environment. This is due to the reflectivity of the first PV layer and is known as optical radiation loss.



However, as long as there is wind speed, convective thermal loss occurs. These convective losses flow out from both the top and bottom surfaces of the PV. In addition, a radiative loss will occur due to the temperature difference between the PV and the environment. Also, the energy produced is energy converted from temperature to electricity. All of these energies are included in the energy balance equation of the PV module. It is assumed that the EVA top layer is completely transparent, and internal reflection only occurs between the EVA and silicon cells. The generated power is obtained by subtracting the upper, lower losses, and optical losses from the incoming solar radiation, as shown in Equation 5.

$$Q_{gen} = Q_{solar} - (Q_{ref} + Q_{top,loss} + Q_{bottom,loss})$$

(5)

Qref is determined by multiplying the incoming solar radiation with the reflection properties of the EVA layer. During the simulation, the label on the back of the PV panel was used. Therefore, our simulation assumes a generated power of 70 W under 1000 W/m² solar radiation at an ambient temperature of 25°C (T = 25°C, q_{solar} = 1000 W/m², Q generated = 70 W). The absorption, permeability, and reflectivity properties of ETFE, EVA, and monocrystalline surfaces were referenced from Table 3.

Table 4. Material properties

Material	Absorption	Transmissivity	Reflectivity
ETFE	0,1	0,83	0,07
EVA	0	1	0
Si	0,97	0	0,03

Due to the absorption characteristics of ETFE, 1000 W/m² is calculated as 100 W/m² (1000 * 0.1 = 100 W/m²). The reflection loss of ETFE is calculated as 70 W/m² (0.07 * 1000 = 70 W/m²). The permeability value is 830 W/m² (1000 * 0.83 = 830 W/m²). The reflection property of silicon is 24.9 W/m² (830 * 0.03 = 24.9 W/m²).

Since the area of each cell is 0.0147 m² and there are 36 cells, the total area is calculated as:

$$0.0147 \times 36 = 0.528 \text{ m}^2$$

When the PV panel cell generates 70 W of power, the power generated per unit area is:

$$70 / 0.528 = 132 \text{ W/m}^2$$

The heat value that the cell will reflect is calculated as:

$$805 - 132 = 673 \text{ W/m}^2$$

Here, 805 W/m² represents the incoming solar radiation (or total irradiance), and 132 W/m² represents the power generated per unit area by the PV panel. The difference (673 W/m²) indicates the amount of heat that the panel will reflect. The boundary conditions, as shown in Table 4, have been input into ANSYS. After the boundary conditions are determined, the final section is started.

Table 5. Boundary conditions

LAYER	HEAT TRANSFER TYPE	VALUE
ETFE	Heat Flux	100 W/m ²
EVA1	Heat Flux	25 W/m ²
cell	Heat Flux	673 W/m ²
ETFE	Radiation	0.89
CFRP	Radiation	0.89

TOP	Convection	7,9543 W/m ² ·°C
BOTTOM	Convection	7,9475 W/m ² ·°C

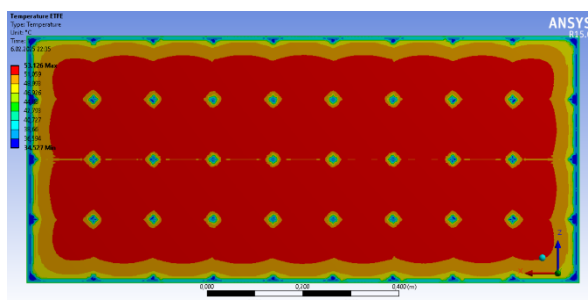
To determine the results of the thermal analysis, it is necessary to define the desired results in the "Solution" section at the beginning of the analysis. In this study, the temperature values and heat flux values for each layer have been defined, and the maximum and minimum values have been calculated.

3. RESULTS AND DISCUSSION

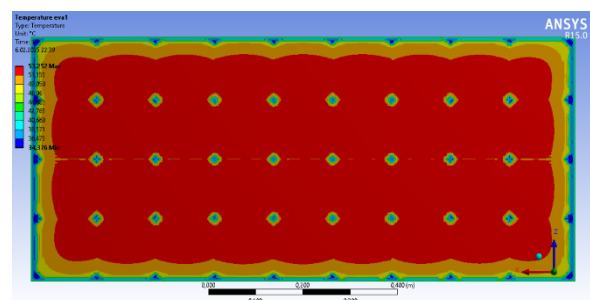
In this section, the process stage where the desired results are calculated and solved is explained. The total temperature and heat flux values for the 7 layers are shown in Table 5. The temperature values for each layer are shown in Figure 6, while the heat flux values are displayed in Figure 7.

Table 6. Maximum and minimum temperature and heat flux values of the PV layers

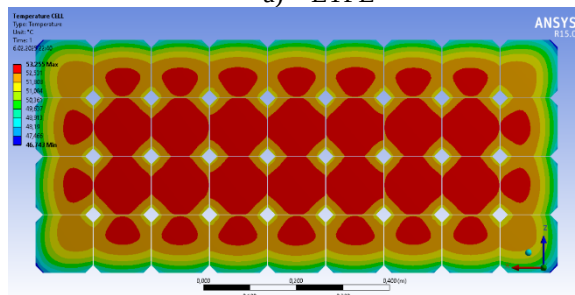
	Temperature (°C)		Heat flux(W/m ²)	
	max	min	max	min
ETFE	53,1260	34,5270	859,54	5,7971
EVA1	53,2520	34,3760	1270,4	3,3154
Cell	53,2550	46,7430	45926	403,16
EVA2	53,2520	44,1560	738,14	0,89616
PET	53,0360	44,2260	737,11	0,76463
TAPE	52,7480	44,2420	733,21	0,21731
CFRP	52,4690	44,2170	2241,8	27,558
Frame	45,2930	44,6410	708,33	0,1625



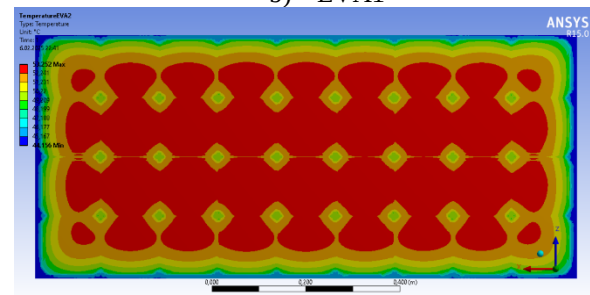
a) ETFE



b) EVA1



c) CELL



d) EVA2

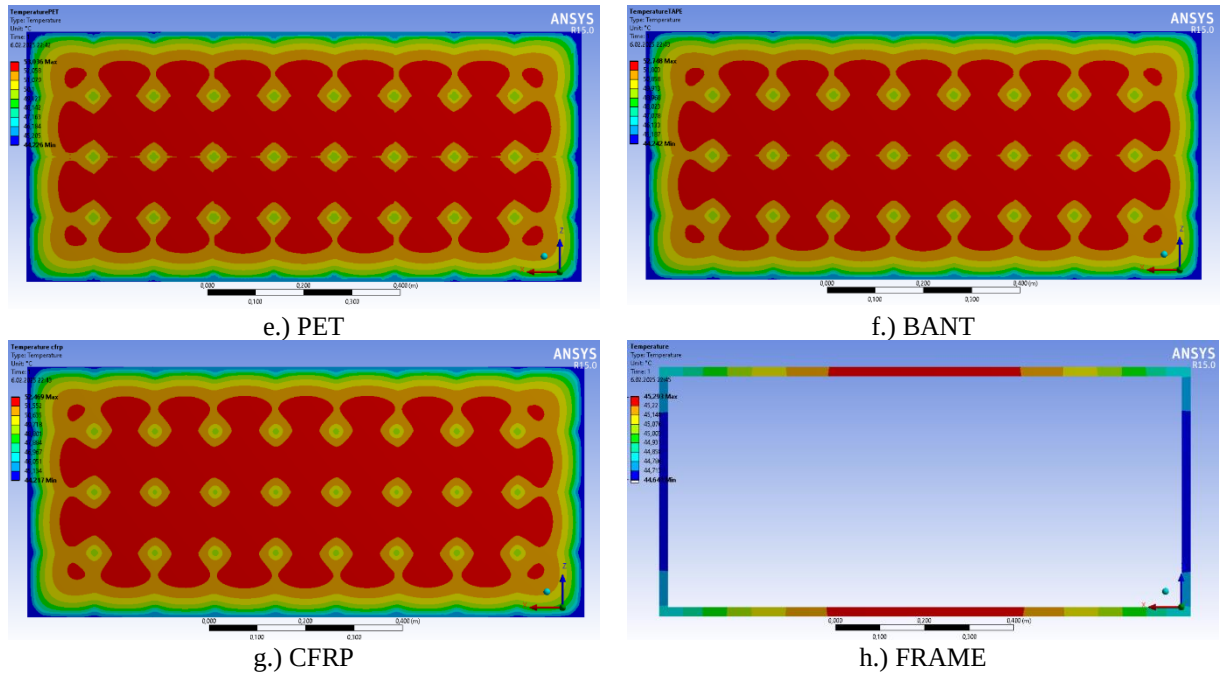
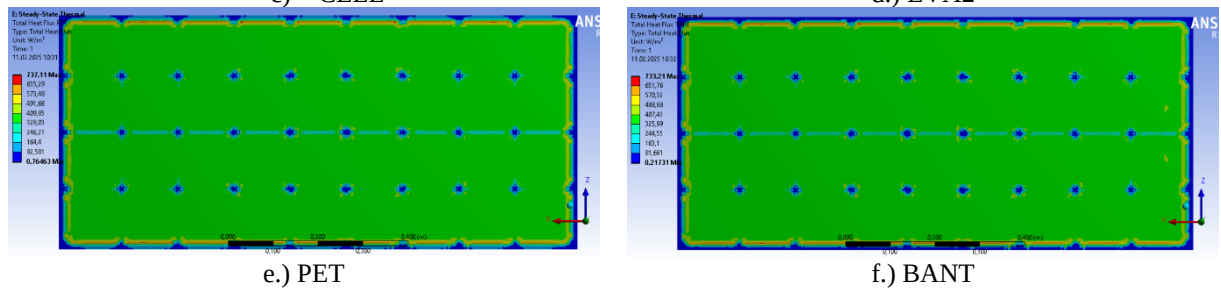
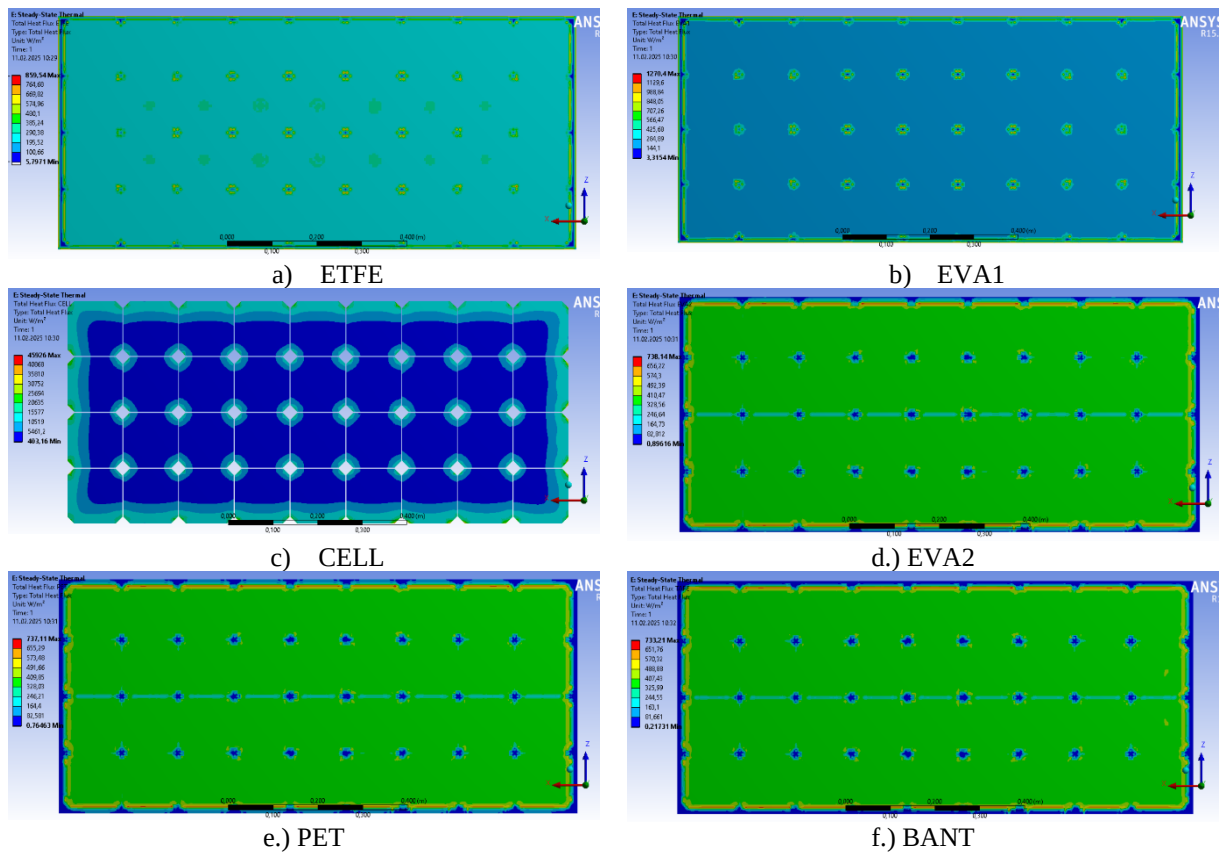


Figure 6. Temperature distribution of PV solar panel model, a.) ETFE, b) EVA1, c) cell, d) EVA2, e) PET, f) BANT, g) CFRP and h) Frame



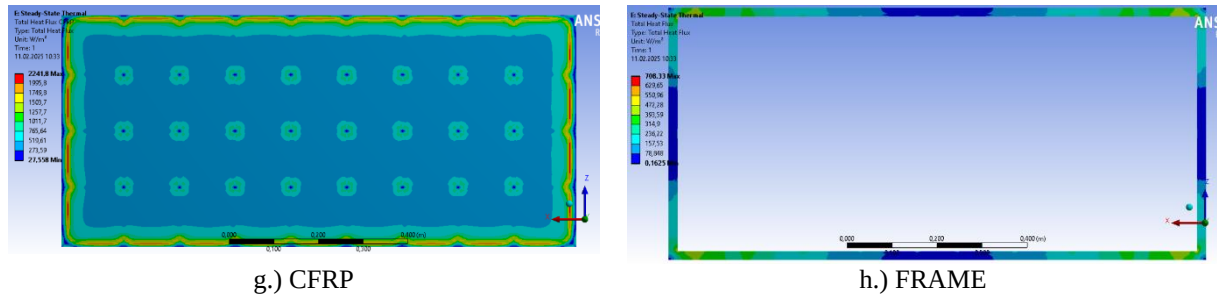


Figure 7. Heat flux distribution of PV Solar panel model, a.) ETFE, b) EVA1, c) cell, d) EVA2, e) PET, f) BANT, g) CFRP and h) Frame

4. CONCLUSIONS

- In this study, the PV panel model is designed in Solidworks. The PV panel has a length of 1153 mm and a width of 558 mm. Additionally, based on the specifications of a 70W power-producing PV panel, it consists of 7 layers. Furthermore, it is made up of 36 solar cells.
- Thermal analyses were performed using the Ansys software. Each layer is made of a different material, with a total of 6 different materials used.
- The maximum heat flux value of 45926 and the temperature value of 53.2550°C were observed in the cell layer.

REFERENCES

- Ari, F., & Yilmaz, V. (2023). Overview of Energy-Sources In Turkey and The World and The Importance of Alternative Energy-Sources. *Dicle University Social Sciences Institute Journal*, 496-519.
- Barichello, J., Mariani, P., Vesce, L., Spadaro, D., Citro, I., Matteocci, F., & Calogero, G. (2024). Bifacial dye-sensitized solar cells for indoor and outdoor renewable energy-based application. *Journal of Materials Chemistry C*, 2317-2349.
- Hudedmani, M. G., Soppimath, V., & Jambotkar, C. (2017). A study of materials for solar PV technology and challenges. *European Journal of Applied Engineering and Scientific Research*, 1-13.
- Leow, W. Z., Asri, M., Irwanto, M., Amelia, A. R., Syafiqah, Z., & Safwati, I. (2016). Investigation of solar panel performance based on different wind velocity using ANSYS. . *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 456-463.
- Moiseev, I. A., Shishkov, A. N., Berseneva, I. A., & Osintzev, K. V. (2022). Simulation of the operation of the solar panel of the pilot plant in the Ansys software package. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 990.
- Nwokediegwu, Z. Q., Ibekwe, K. I., Ilojiana, V. I., Etukudoh, E. A., & Ayorinde, O. B. (2024). Renewable energy technologies in engineering: A review of current developments and future prospects. *Engineering Science & Technology Journal*, 367-384.

- Shah, P., & Mehta, B. (2021). Mitigation of grid connected distributed solar photovoltaic fluctuations using battery energy storage station and microgrid. *International Journal of Power and Energy Conversion*, 153-169.
- Singh, V., Trivedi, V., & Mishra, V. R. (2021). Use of response surface methodology and CFD for analysing and optimization of simple-air cooled solar panel. *International Journal of Energy and Water Resources*, 153-169.
- Tutar, H., & Atas, M. (2022). A Review on Turkey's Renewable Energy Potential and its Usage Problems. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 1-9.
- Uslu, A. S., Özdemir, Y., Yıldırım, M., & Kavak, H. (2024). Use of Renewable Energy Resources in The Service Sector: Literature Review. *Journal of Statistics and Applied Sciences*, 133-145.
- Yetkin Yesil, S., & Palta, O. (2022). Classification and Operation of Solar Panels Principles. In *Multidisciplinary Technical Sciences Bulletins-22b*. Duvar Publishing.

METAHEURISTIC ALGORITHMS - GRAY WOLF OPTIMIZATION ALGORITHM AND ITS APPLICATION AREAS

Lecturer Dr., Seda YETKIN YESIL*

Bitlis Eren University,
sedayetkinyesil@gmail.com- 0000-0001-9685-1376

Lecturer, Olcay PALTA

Bitlis Eren University,
opalta@beu.edu.tr- 0000-0002-7496-2101

ABSTRACT

In recent years, research on metaheuristic algorithms has been increasing day by day. The most preferred methods in metaheuristic algorithms, such as Genetic Algorithms (GA), Ant Colony Optimization (ACO), and Particle Swarm Optimization (PSO), have become widely used not only among software engineers but also by researchers from different disciplines. In this study, one of the algorithms that seeks solutions by mimicking natural mechanisms or heuristic approaches without relying directly on mathematical models is the Gray Wolf Optimization (GWO) algorithm. The Gray Wolf Optimization algorithm is based on mimicking the leadership hierarchy and hunting behaviors of gray wolves. As a result of this study, detailed information is provided about the application areas of the Gray Wolf Optimization algorithm, the hunting method of gray wolves, and how the Gray Wolf algorithm is mathematically modeled.

Keywords: Meta heuristic algorithm, genetic algorithm, particle swarm algorithm, gray wolf algorithm.

1. INTRODUCTION

In the last twenty years, research on meta-heuristic algorithms has increased day by day. Interestingly, methods such as Genetic Algorithms (GA), Ant Colony Optimization (ACO), and Particle Swarm Optimization (PSO) have become widely used not only among software engineers but also by researchers from various disciplines (Adıyaman, 2023). Besides theoretical analyses, these optimization methods are also being applied in various academic fields. This has significantly contributed to the rise in popularity of meta-heuristic algorithms. There are four primary reasons for this: simplicity, flexibility, mechanism without derivation, and the prevention of local optimization.

- Many meta-heuristic algorithms are characterized by their simple structure and are typically inspired by fundamental concepts. These concepts can be associated with physical phenomena observed in nature, animal behavior patterns, or evolutionary development processes. This simplicity offers computer scientists the opportunity to

simulate natural systems, create new algorithms, combine different algorithms, or enhance existing ones. Additionally, the simplicity makes it easier for other researchers to quickly grasp and implement these algorithms.

- The flexibility of meta-heuristic algorithms lies in their ability to address a wide range of problems without altering the algorithm's structure. These algorithms can be easily applied to a wide range of problems because they often treat the system as a black box. In other words, the only thing that matters for a meta-heuristic algorithm is the system's inputs and outputs.
- Most meta-heuristic algorithms employ non-derivative mechanisms. Unlike gradient-based methods, these algorithms improve solutions in a random manner. The optimization starts with randomly generated solutions, eliminating the need for derivative calculations in the solution space.
- Lastly, meta-heuristic algorithms are more effective than traditional optimization methods in avoiding being trapped in local minima.

Real-world problems often have search spaces that are unknown and tend to feature complex structures with multiple local minima. Therefore, meta-heuristic algorithms are an ideal choice for optimizing these complex real-world problems (Sahu, Dehuri, & Jagadev, 2018). Swarm intelligence algorithms stand out among population-based meta-heuristic algorithms. These algorithms were first introduced in 1993 by Beni and Wang (Beni & Wang, 1993). Most of these algorithms are inspired by natural systems, swarms, and populations. Among the most recognized swarm intelligence algorithms are Ant Colony Optimization, Particle Swarm Optimization, and Artificial Bee Colony.

The advantages of swarm intelligence algorithms include the following:

1. Swarm intelligence algorithms maintain knowledge of the search space throughout the iterative process, while evolutionary algorithms often discard information from previous generations.
2. They typically utilize memory to store and update the best solution found.
3. They generally require fewer parameter adjustments compared to other algorithms.
4. Swarm intelligence algorithms do not have as strong an impact as evolutionary approaches like mutation and elitism.
5. From an application standpoint, they can be relatively easily realized.

Even with the variations in meta-heuristic algorithms, the search process is generally categorized into two essential stages: exploration and exploitation. The exploration phase involves scanning a large area to discover promising regions, and this process is carried out as broadly as possible. To support this phase, the algorithm must have operators that explore the search space randomly and on a global scale. The exploitation phase refers to the ability to perform local searches around the regions discovered during the exploration phase. Meta-heuristic algorithms are typically divided into three fundamental categories: evolutionary,

physics-based, and collective intelligence algorithms. In Figure 1, you can observe how these algorithms are classified into three distinct groups (Holland, 1992).

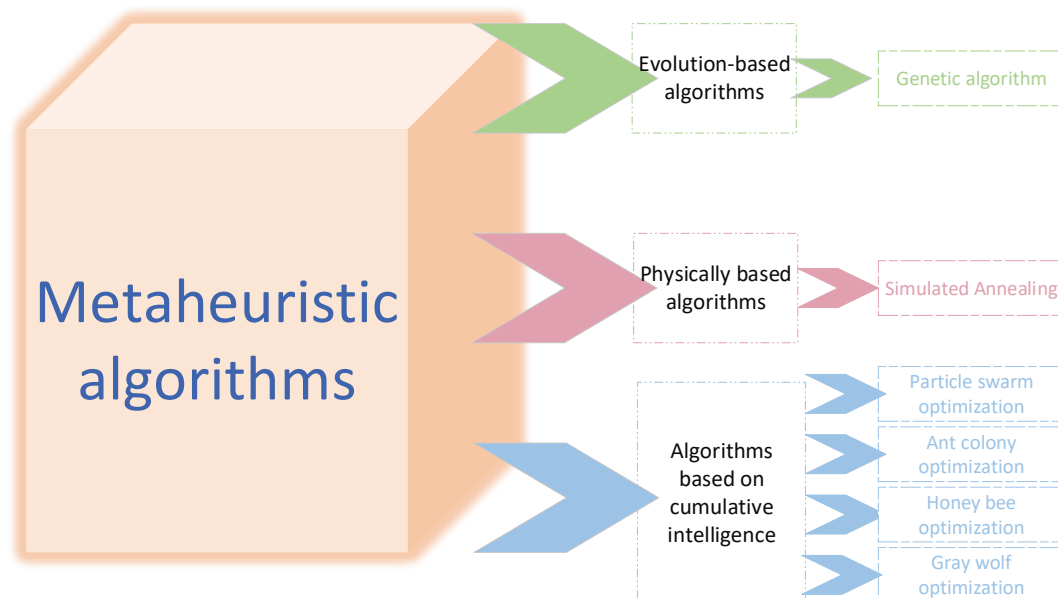


Figure 8. Classification of meta-heuristic algorithms.

Evolutionary algorithms are based on the principles of natural evolution, with the genetic algorithm being the most widely known method in this area. Proposed by Holland in 1992, it mimics Darwinian evolutionary theories (Holland, 1992). Goldberg has extensively explored the applications of genetic algorithms in engineering. In general, in evolutionary algorithms, optimization begins with a random initial solution. New populations are created by combining and mutating individuals from the previous generation. Furthermore, evolution-based algorithms, such as genetic algorithms and genetic programming, are also part of this process.

The second main branch of meta-heuristic algorithms consists of physics-based techniques, among which the Simulated Annealing (SA) algorithm is found. These algorithms are typically based on physical laws. As a mechanism, random search clusters interact with each other according to physical laws and move through the search space. The Simulated Annealing algorithm provides a simple yet effective approach to solving optimization problems in large and complex search spaces. This algorithm transforms the problem of minimizing a function with many variables into a statistical mechanics problem. The founders developed a solution by proposing a gradual and slow annealing technique for difficult optimization problems. In this process, the probability of selecting poor solutions gradually decreases over time.

Swarm intelligence-based methods form the third main branch among meta-heuristic algorithms. These algorithms simulate the social behaviors of groups, swarms, or animals observed in nature. Although it shares similarities with physics-based algorithms, the search process is shaped by the collective and social intelligence of the agents. The most well-known collective intelligence technique is Particle Swarm Optimization (PSO). This algorithm, introduced by Kennedy and Eberhart, models the flocking behavior of birds. PSO explores possible solutions using a group of particles that track both the best position of a particle and

its previous positions. Simply put, a particle moves by considering both its own optimal solution and the best solution discovered by the group (Kennedy & Eberhat, 1995). Another popular collective intelligence algorithm developed by Drigo and other researchers in 2006 is Ant Colony Optimization. This algorithm has been developed inspired by the social behavior of ants. Ant Colony Optimization is fundamentally inspired by the ants' social intelligence in locating the shortest path between their nest and a food source. Another well-known algorithm that simulates collective behavior is the Artificial Bee Colony algorithm. This algorithm is an optimization method inspired by the intelligent behaviors of bee swarms, particularly based on the foraging methods used by bees. Additionally, a recent algorithm has been developed based on the hunting and navigation behavior of bats. Bats may vary in size and weight, but they exhibit very similar behaviors during navigation and hunting. The bats' hunting behavior, characterized by decreasing the intensity of sound and increasing the amount of ultrasonic sound, has been used as a mathematical model in the design of the Bat Algorithm.

The paper is structured as follows: Section 1 introduces the content of the topic and presents a review of related literature. In Section 2, the definition and applications of the Gray Wolf Optimization (GWO) algorithm discussed in the study are detailed. In Section 3, the mathematical model, flowchart, and hunting method of the Gray Wolf Optimization algorithm are explained. Finally, Section 4 presents the conclusions.

2. APPLICATION AREAS OF GWO ALGORITHM

Since its introduction in 2014, the Gray Wolf Optimization (GWO) algorithm has been effectively used in a wide range of fields. The figure below shows the distribution of the usage percentages of the GWO across different areas. The field with the highest usage is engineering, accounting for approximately 61%. In second place are machine learning topics, which make up 20%. The GWO algorithm is particularly effective and useful in tasks with multiple parameters, such as engineering problems. Figure 2 illustrates how the GWO algorithm is used in different fields.

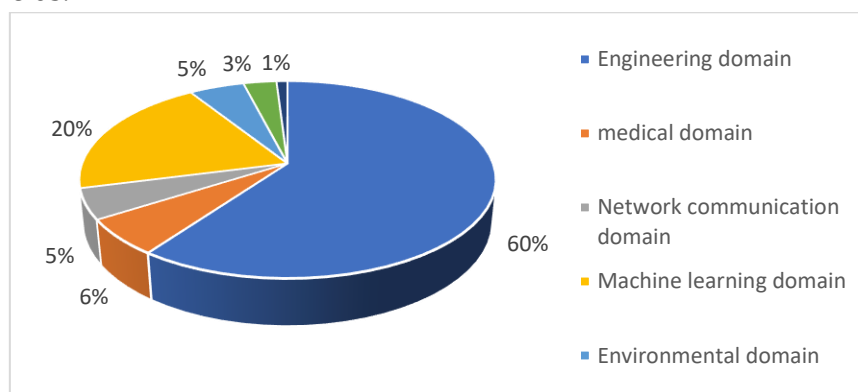


Figure 9. Areas of Application of GWO

Nadimi and colleagues proposed the Improved Grey Wolf Optimizer (I-GWO) algorithm to solve global optimization and engineering design problems. The proposed I-GWO was developed to address the shortcomings of population diversity, the imbalance between

exploitation and exploration, and premature convergence in the GWO algorithm (Nadimi-Shahraki, M. H., & Mirjalili, 2021). Sallam and colleagues employed the GWO algorithm for feature selection in machine learning techniques aimed at the detection of hematological disorders (Sallam, Saleh, Arafat Ali, & Abdelsalam, 2022).

3. GWO ALGORITHM

GWO is a meta-heuristic optimization technique developed based on behaviors observed in nature. This algorithm was developed in 2014 by Mirjalili and colleagues from Shahid Beheshti University and mimics the leadership hierarchy and hunting behaviors of grey wolves. GWO is one of the collective intelligence algorithms and shares similar structures with algorithms such as particle swarm optimization and ant colony optimization. In the problem-solving phase, the algorithm uses an operator (combination) to determine the positions of the wolves.

The GWO is a powerful optimization tool that has garnered significant interest in the research world. The algorithm uses four categories of grey wolves—alpha, beta, delta, and omega—to represent the leadership structure within the wolf pack (Hu, Hanand, & Zhang, 2024). This population-based algorithm, with its simple structure, can be easily adapted to large-scale problems. Grey wolves are apex predators at the top of the food chain, living in packs. A typical grey wolf pack consists of 5 to 12 individuals, each performing specific tasks and bound to each other by a strict social hierarchy. When hunting, grey wolves encircle their prey, surrounding it, and under the leadership of the alpha wolf, they attack in sequence to ultimately capture the prey.

2.1. Hunting Method in Grey Wolves

In the GWO, the social hierarchy and collective hunting behavior of grey wolves in nature shape the core structure and operational steps of the algorithm. These behaviors reflect different stages at each phase of the algorithm, creating an effective search process within the solution space. In the GWO, these stages are typically represented in three main phases, as shown in Figure 4:



Figure 10. Hunting Method of Grey Wolves

Observing, Following, and Chasing the Prey (Figure A): In the first phase, grey wolves observe their prey and track its movements. This stage involves the wolves monitoring the prey's movements, attempting to understand its position, and collecting environmental information to predict where the prey will go next. This phase is similar to the exploration part of the algorithm, where the search begins over a wide solution space, working on potential solutions. Pursuing and Encircling: The second phase is when grey wolves begin to closely follow and surround their prey. The wolves circle around their prey and continue to pursue it until it is unable to move. This phase corresponds to the local search (exploitation) phase of the algorithm. In this stage, the algorithm focuses on a narrower solution space, further investigating and optimizing the current promising solutions in greater detail.

Attacking the Prey: The final stage is when the grey wolves attack their prey and "capture" the solution. This phase is analogous to the final step of the algorithm, where the optimal solution is found, and the algorithm terminates. This stage occurs as the leader wolf identifies the best solution through its "attack."

These three main stages define the search and solution-finding process in the GWO. The algorithm progresses through these stages, initially performing a broad search, then conducting a more focused investigation in a narrower region to find the most optimal solution. These social behaviors enable the algorithm to mimic the hunting techniques of grey wolves in nature, providing solutions to complex optimization problems. Grey wolves live according to the social hierarchy described below, which is also shown in Figure 4.

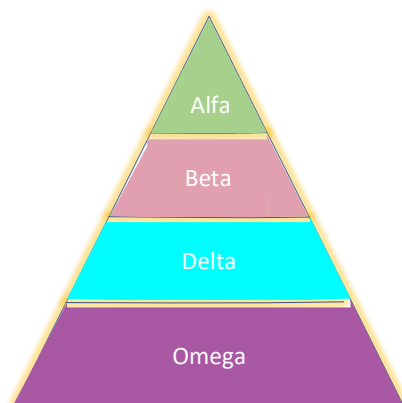


Figure 11. Social hierarchy of gray wolves

1. The alpha category consists of a male and a female, often not the strongest members of the group, but they are the leaders. They are the ones who make decisions for the pack.
2. Beta wolves obey commands and reinforce the alpha's orders. They give orders to the rest of the group and serve as advisors.
3. The omega category has the lowest rank. Omegas play a protective role and are typically the last to eat in the pack.
4. A wolf that does not belong to any of the three previous categories is considered a delta. This category includes older wolves, supervisors, watchers, and hunters.

2.2. Flowchart of GWO

In Figure 5, the flowchart of the GWO is shown (Mirjalili, Mirjalili, & Lewis, 2014). According to this flowchart, in the first step, an initialization evaluation is performed, and then the number of wolves along with random parameters such as α and C are determined. Next, the initial position of the wolf pack is set, and this position is randomly assigned using a uniform function (Uniform). The most important step is determining the objective function or cost function. In the second step, the fitness of each wolf is evaluated according to the computed objective functions. Following this, the wolf with the best fitness is assigned as the alpha, the second-best as the beta, and the third-best as the delta, while the remaining wolves are classified as omega. Once the alpha, beta, and delta are identified, the algorithm moves on to the main loop.

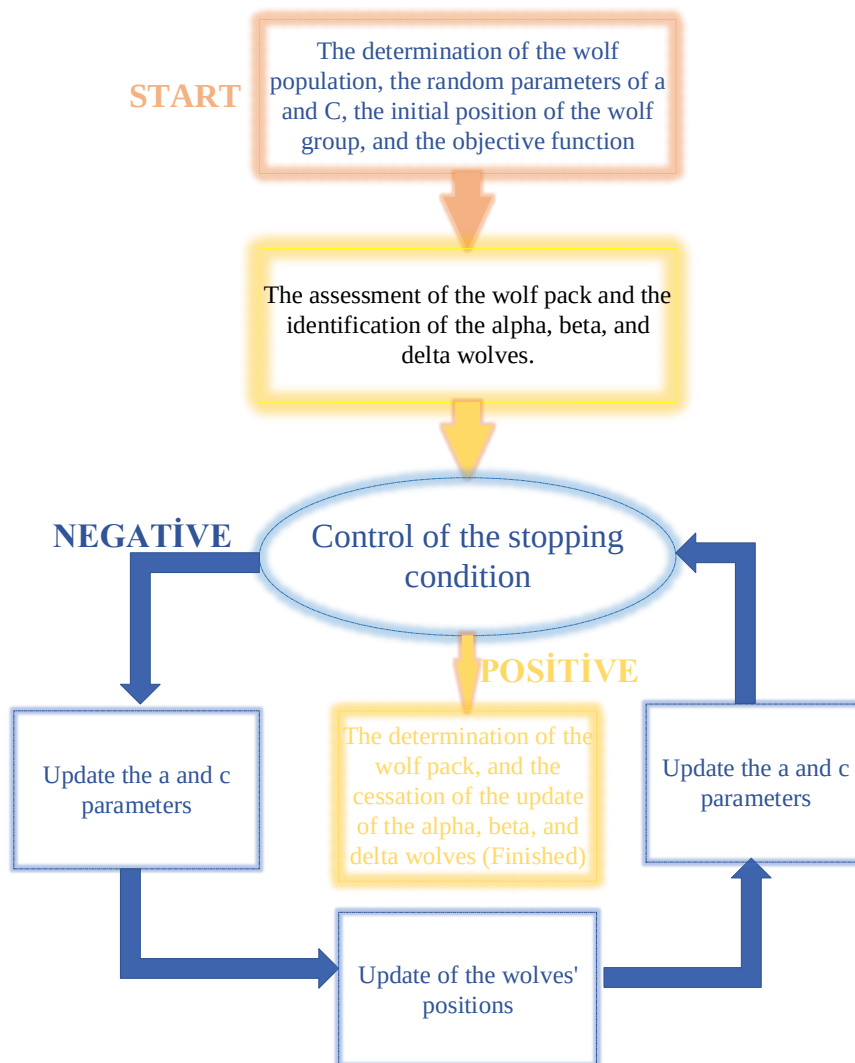


Figure 12. Flowchart of the Gray Wolf Algorithm.

In the loop, a stopping criterion with varying conditions can be applied. One of the most common stopping criteria is for the algorithm to halt after 100 iterations, returning the best result. This best result represents the final position and cost of the alpha wolf. During the first iteration, the a and C parameters are updated. The a parameter moves linearly from 2 to 0, while the C parameter takes a random value between -2 and 2. In subsequent steps, the positions of the wolves are updated using the current equations. Following the evaluations, the positions of the alpha, beta, and delta wolves are recalculated. Finally, when the stopping condition is met, the position of the alpha wolf is returned (Ghazal, 2021).

2.3. Mathematical Modeling of GWO

In each iteration, the alpha, beta, and delta wolves are present. Each grey wolf is considered as a search factor. These search factors are evaluated in terms of position according to the cost function. The best position is occupied by the alpha, followed by the beta, then the delta, and finally, the remaining wolves are categorized as omega.

The positions of the wolves need to be updated during the prey encirclement. During the hunt, grey wolves surround their prey. The following equations are presented to model the wolves' encircling behavior:

In Equation 1, it concerns the position of the wolves surrounding the prey at different iterations.

In Equation 2, it pertains to the position of the prey.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} * \vec{D}(t) \quad (1)$$

$$\vec{D}(t) = |\vec{C} * \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (2)$$

Here, t represents the iteration number. $\vec{a}$ and $\vec{C}$ are coefficient vectors. X_p denotes the position vector of the prey, and X represents the position vector of the grey wolf. In Equation 1 and Equation 2, the calculation of the coefficient vectors is performed using Equation 3 and Equation 4. Equation 3 shows the calculation of $\vec{a}$, which is evaluated based on the current iteration. Equation 4 illustrates the calculation of $\vec{C}$.

$$\vec{A} = a(2r_1 - 1) \quad (3)$$

$$\vec{C} = 2r_2 \quad (4)$$

In Figure 6.a, the two-dimensional position vectors of the wolves and some of their positions are shown. The grey wolf at position (X, Y) can update its position based on the location of the prey at position (X^*, Y^*) . A wolf at position (X, Y) can be in one of these states according to the random parameters A and C , which play a role in the formulas. For example, when $a = (1, 0)$ and $C = (1, 1)$, the wolf can reach the position $(X^* - X, Y^* - Y)$. In Figure 6.b, the three-dimensional position vectors of the wolves and some of their positions are presented.

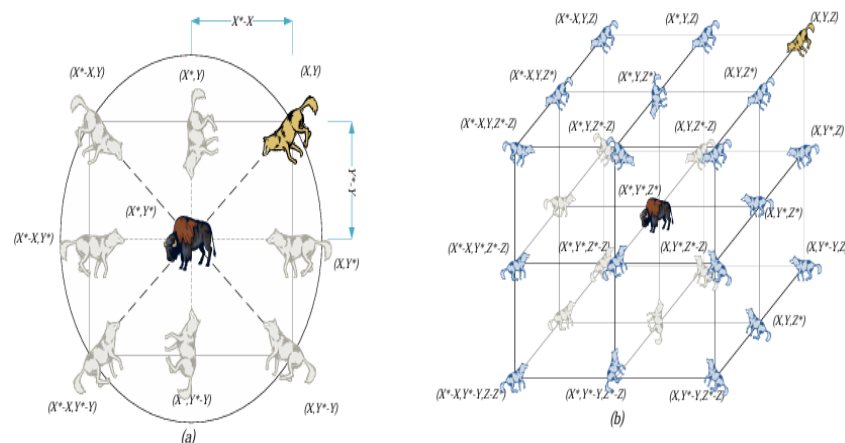


Figure 13. Wolves: a) two-dimensional, b) three-dimensional position vectors and possible locations

Finally, the question arises as to how the position of the gray wolf will be updated. The hunting position, or $X_p(t)$, is essentially the solution to the problem. Since this value is not available in the real scenario, hypothetical situations must be considered. The best cycle state of the wolves is regarded as a hypothetical position for hunting. In the real situation, as there is no hunting position or $X_p(t)$, an alternative must be provided. Therefore, the hunting position is considered to be the position of alpha (the best obtained position). The distances required for the mathematical model of each wolf are determined based on the positions of the wolves, as shown in Figure 7.

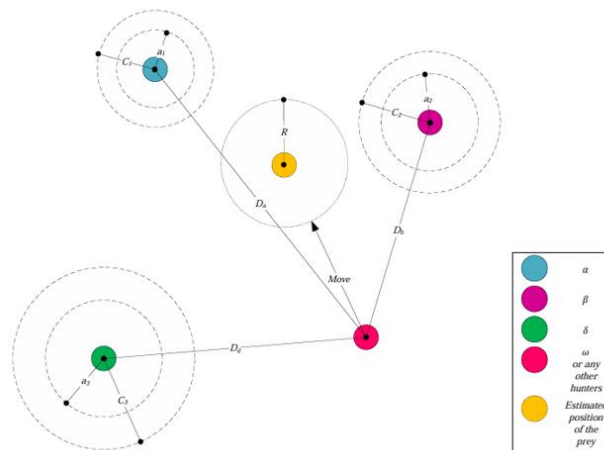


Figure 14. Mathematical modelling of wolves in the GWO

The positions of the alpha, beta, and delta wolves are determined individually, and their averages are calculated. The necessary calculations are provided between Equation 5 and Equation 8.

$$\overrightarrow{X_1(t)} = \overrightarrow{X_a(t)} - \overrightarrow{A_1} * \overrightarrow{D_a(t)}, \quad \overrightarrow{D_a(t)} = \left| \overrightarrow{C_1} * \overrightarrow{X_a(t)} - \overrightarrow{X(t)} \right| \quad (5)$$

$$\overrightarrow{X_2(t)} = \overrightarrow{X_\beta(t)} - \overrightarrow{A_2} * \overrightarrow{D_\beta(t)}, \quad \overrightarrow{D_\beta(t)} = \left| \overrightarrow{C_2} * \overrightarrow{X_\beta(t)} - \overrightarrow{X(t)} \right| \quad (6)$$

$$\overrightarrow{X_3(t)} = \overrightarrow{X_\delta(t)} - \overrightarrow{A_3} * \overrightarrow{D_\delta(t)}, \quad \overrightarrow{D_\delta(t)} = \left| \overrightarrow{C_3} * \overrightarrow{X_\delta(t)} - \overrightarrow{X(t)} \right| \quad (7)$$

$$\overrightarrow{X}(t+1) = \frac{\overrightarrow{X_1(t)} + \overrightarrow{X_2(t)} + \overrightarrow{X_3(t)}}{3} \quad (8)$$

Here, the position values of the alpha, beta, and delta wolves are represented by $\overrightarrow{X_1(t)}$, $\overrightarrow{X_2(t)}$, and $\overrightarrow{X_3(t)}$ respectively. The average of these values determines the approximate position of the alpha wolf.

4. CONCLUSIONS

As a result of our study, the following conclusions have been drawn regarding the GWO algorithm:

- GWO is used in various domains, including: Engineering, Medical, Network Communication, Machine Learning, Environmental, and Image Processing domains.
- When scientific studies using the GWO algorithm are examined, 60% of them are in the engineering domain, and 20% are in the machine learning domain.
- When the hierarchy of wolves in the GWO algorithm is examined, the most important wolf is the alpha, followed by beta, delta, and omega in that order. In the GWO mathematical model, the update of the wolf positions continues until the prey stops moving.

REFERENCES

- Adiyaman, O. (2023). Traffic Signal Optimization With Meta-Heuristic Algorithms. Kayseri, Turkey: Institute of Graduate Education.
- Beni, G., & Wang, J. (1993). Warm intelligence in cellular robotic systems. *Robots and biological systems: towards a new bionics*, 703-712.
- Ghazal, H. K. (2021). Design of A Mppt System Based on Modified Grey Wolf Optimization Algorithm in Photovoltaic System Under Partially Shaded Condition. . Altınbaş Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Holland, J. (1992). Genetic algorithms. . *Scientific American*, 66-73.
- Hu, P., Hanand, Y., & Zhang, Z. (2024). Multi-Level Thresholding Color Image Segmentation Using Modified Gray Wolf Optimizer. . *Biomimetics*.
- Kennedy, J., & Eberhat, R. (1995). Particle swarm optimization. in Neural Networks, . *In: Proceedings. IEEE international conference* , (s. 1942-1948). Australia.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer . *Advances in Engineering Software*, 46-61.
- Nadimi-Shahraki, M. H., T. S., & Mirjalili, S. (2021). An improved grey wolf optimizer for solving engineering problems. *Expert Systems with Applications*,, 166.
- Sahu, B., Dehuri, S., & Jagadev, A. (2018). A Study on the Relevance of Feature Selection Methods in Microarray Data. *The Open Bioinformatics Journal*, 117-139.
- Sallam, N. M., Saleh, A. I., Arafat Ali, H., & Abdelsalam, M. M. (2022). An efficient strategy for blood diseases detection based on grey wolf optimization as feature selection and machine learning techniques. . *Applied Sciences*,, 10760.

OPTIMIZATION TECHNIQUES USED IN SOLAR AIR HEATER: A REVIEW

Mohammad Javed

Research Scholar, IFTM University Moradabad.

ORCID ID - <https://orcid.org/0000-0002-1653-6219>

Dr. Vaibhav Trivedi

Professor, IFTM University Moradabad

ORCID ID - <https://orcid.org/0000-0002-0064-133X>

Dr. Vineet Singh

Assistant Professor, IFTM University Moradabad

Email address – vineetssingh@iftmuniversity.ac.in

ABSTRACT

A solar air heater is a device that captures solar energy to heat the air, which can then be used for space heating, drying, or other thermal applications. It is one of the simplest and most cost-effective renewable energy solutions, often used in residential, commercial, and industrial settings. Solar air heaters (SAHs) are a vital component of renewable energy systems, enhancing thermal efficiency and reducing dependency on conventional energy sources. Optimization techniques play a crucial role in improving their performance of solar air heater by maximizing heat transfer, minimizing heat losses, and ensuring cost-effectiveness. This paper presents an overview of various optimization methods and techniques applied to solar air heaters, focusing on experimental, numerical, and artificial intelligence-based approaches. Solar air heaters are widely used for applications such as space heating, drying, and industrial processes. The most suitable method is also selected based on the different parameters in terms of efficiency and uses. Their performance depends on various factors, including absorber plate design, airflow configuration, and collector material with operating conditions. To maximize efficiency, researchers employ diverse optimization techniques to refine the design and operational parameters of SAHs. Experimental approaches, numerical simulations, and AI-based models contribute significantly to improving Solar Air Heater (SAH) designs and operational parameters.

Keywords: Renewable Energy, Simulation, Thermal Efficiency, Absorber Plate

1. INTRODUCTION

Solar air heaters are the simplest and most cost-effective solar thermal systems used many applications like space heating, drying of crops, and many other industrial processes [1].

However, their low thermal efficiency necessitates various optimization techniques to improve heat transfer characteristics and minimize losses. This paper reviews different optimization strategies employed in SAHs and their effectiveness in enhancing system performance. It typically consists of a solar collector, an absorber plate, and a transparent cover, which work together to capture and transfer solar radiation to the air passing through the system. The heated air can then be utilized directly or stored for later use, improving energy efficiency and reducing reliance on conventional heating methods.

Components used in Solar Air Heater:

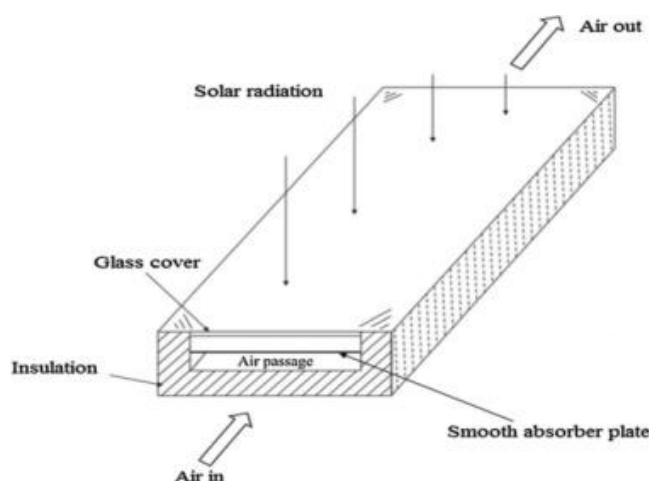


Figure 1 Components of Solar Air Heater

1. **Insulation:** This is the base of solar air heater in which the absorber plate is fitted, air inlet and outlet vents are fitted and the glass sheet or glass cover is fixed on the top side of the system.
2. **Absorber Plate :** It is the metal plate fitted inside the insulation box and it is painted dark so that maximum absorption takes place. On the absorber plate different types of fin design and artificial roughness may be used as per the application.
3. **Air Inlet and Outlet Vents :** These are the vents made up of galvenised iron sheets and made in conical shape so that maximum air flow takes place. At the conical ends the circular pipe of 1 inch diameter diameter is fitted to attach the blower.
4. **Transparent Cover :** This is the top part of the solar air heater and it is made of transparent glass or poly carbonate material. With the use of trasparent glass sheet maximum amount of solar energy is impinged on the absorber plate, allows solar radiation to enter while reducing heat losses.
5. **Blower or Fan:** A blower of high speed air flow is used to circulate the air inside the solar air heater. It is fitted at the inlet point of the air flow in the solar air heater.

Types of Solar Air Heaters:

- **Single-pass**– Varying air circulation patterns for enhanced efficiency [1]. Figure 2 shows a schematic representation of single pass solar air heater system in which air is flowing from one end and it exits from the other end, this type of solar air heater is known as single pass solar air haeter and there is only passage to flow the heated air.

- **Double-pass** – These are the solar air heaters which have the tendency of double pass i.e a device that uses two passes of air to transfer heat more efficiently than a single-pass solar air heater as shown in figure 3. These type of solar air heaters are used in heating the buildings and some other agricultural purposes like crop drying etc.
- **Multi Pass** – The solar air heater that passes air through multiple channels to increase the air temperature as shown in figure 4. Multi-pass solar air heaters are more efficient than other types of solar air heater.
- **SAHs with extended surfaces (e.g., fins, corrugated plates, or perforated plates)** – Improve heat transfer by increasing the absorber surface area using different types of fins arrangement like triangular, rectangular and waviness and many other type [2]. One more important thing that effects the performance of SAH is the coating at the absorber plate.
- **SAHs integrated with Phase Change Materials (PCMs)** – Store heat energy for use during non-sunshine hours [3]. In this different type of system phase changing materials are used to enhance the performance and efficiency of the solar air heater.

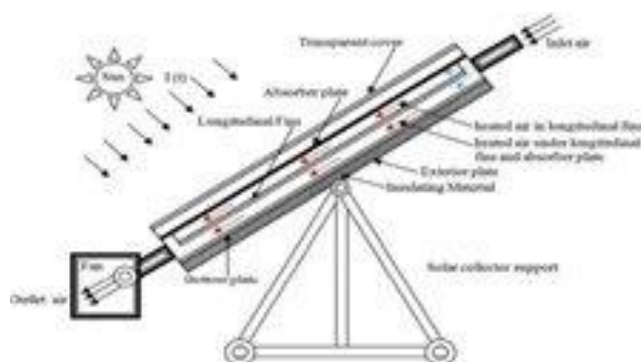


Figure 2 Single Pass Solar Air Heater

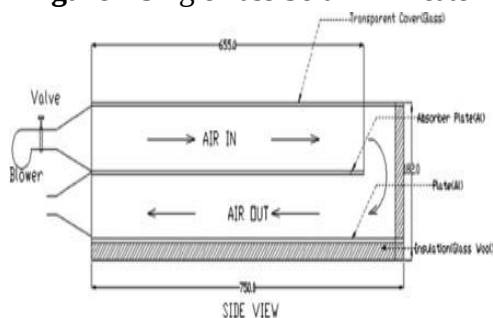


Figure 3 Double Pass Solar Air Heater

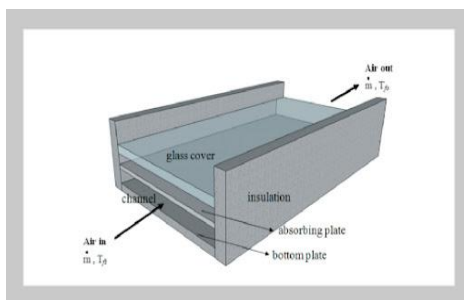


Figure 4 Multi Pass Solar Air Heater

2. TYPES AND METHODS OF OPTIMIZATION

There are different types of optimization are used in solar air heater in which some of them are discussed below.

2.1 Geometrical Optimization

This is the primary technique used to improve the efficiency of SAH. In this modifying the geometry of the absorber plate and duct to increase heat transfer and airflow turbulence. Some key geometrical modifications include:

- Artificial roughness is created on absorber plate in the form of ribs, fins, and baffles to improve turbulence and convective heat transfer [2].
- Optimization of shape of absorber plate such as wavy or corrugated designs, to enhance heat absorption [3].
- Multi-pass flow configurations to increase residence time and heat transfer [4].

2.2 Material Optimization

Material selection plays a significant role that impacts the thermal efficiency of SAHs. Effective material optimization techniques include:

- Uses of materials which high-thermal-conductivity like aluminum, copper, and composite materials with coatings to improve heat absorption and retention [5].
- Application of selective coatings on absorber plate to minimize heat losses and enhance solar absorption [6].
- Integration of phase change materials (PCMs) to store thermal energy and ensure consistent heat delivery [7].

2.3 Flow Optimization Techniques

Improving airflow dynamics is another crucial optimization aspect. Techniques employed include:

- Uses of baffles and vortex generators to improve mixing and turbulence, leading to better heat transfer rate [8].
- Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations to optimize flow patterns and minimize pressure drop [9].
- Implementation of double-pass and multi-channel configurations to enhance heat exchange efficiency [10].

2.4 Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches

Artificial intelligence based techniques provide maximum popularity for optimizing SAH performance. Some common techniques are-

- Genetic Algorithms (GA) for optimizing design parameters such as duct dimensions with designs and roughness elements, to maximize efficiency [11].
- Artificial Neural Networks (ANN) for predicting SAH performance under varying environmental conditions and operational parameters [12].
- Hybrid AI approaches combining experimental and numerical methods for robust system optimization [13].

2.5 Thermodynamic Optimization

Thermodynamic analysis plays a vital role in optimizing SAH performance. Common approaches include:

- Exergy analysis to evaluate and minimize irreversibilities in the system, leading to improved efficiency [14].
- Multi-objective optimization techniques to simultaneously enhance thermal and hydraulic performance while maintaining cost-effectiveness [15].

2.6. Hybrid and Advanced Solar Air Heater Configurations

To further enhance Performance, SAHs have been integrated with other technologies, including:

- Photovoltaic-Thermal (PVT) hybrid systems that generate both thermal and electrical energy, improving overall system efficiency [16].
- Use of nano fluids with superior thermal properties to enhance heat transfer rates [17].

3. RESULTS AND DISCUSSION

This paper gives the idea about various methods used by different researchers and their findings and highlights various optimization techniques used in SAHs, emphasizing the importance of geometrical modifications, material selection, airflow enhancement, AI-based optimization, thermodynamic analysis, and hybrid configurations. There are various factors that affect the performance as well as the cost of the solar air heater, so the selection of solar air heater is completely based on application and the cost estimation. By using various techniques different researchers find the results as per their applicable parameters. So if we want to fabricate a solar air heater than we should kept in mind the purpose of application, fin design, geometry of solar air heater, capacity, and mainly the outputs. Than any one the above said technology may be used that best fits on our requirements. Future research should focus on integrating multiple optimization methods, exploring innovative materials, and utilizing advanced AI techniques to develop more efficient SAH systems.

REFERENCES

1. Saini, R. P., & Saini, J. S. (2008). *Development of correlations for Nusselt number and friction factor for solar air heater with roughened duct*. Renewable Energy, 33(6), 1236-1244.
2. Prasad, B. N., & Saini, J. S. (1988). *Effect of artificial roughness on heat transfer and friction factor in a solar air heater*. Solar Energy, 41(6), 555-560.
3. Karmare, S. V., & Tikekar, A. N. (2009). *Heat transfer and friction factor correlation for artificially roughened duct with metal grit ribs*. Solar Energy, 83(1), 6-13.
4. Varun, Siddhartha, & Singal, S. K. (2008). *A review on roughness geometry used in solar air heaters*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(8), 1985-1997.
5. Esen, M. (2008). *Thermal performance of a solar air heater integrated with phase change materials for residential heating*. Renewable Energy, 33(5), 1071-1077.
6. Choudhury, C., & Garg, H. P. (1991). *Performance prediction of solar air heaters using computational fluid dynamics*. Solar Energy, 47(3), 153-163.
7. Kalogirou, S. A. (2001). *Artificial intelligence for the modeling and control of solar energy systems*. Progress in Energy and Combustion Science, 27(4), 399-420.
8. Saini, S. K., & Saini, R. P. (2017). *Optimization of solar air heater roughened with ribs using Genetic Algorithm and CFD analysis*. Energy, 123, 331-344.
9. Kaushik, S. C., & Arora, A. (2009). *Exergy analysis and parametric study of solar air heater*. Renewable Energy, 34(3), 481-487.
10. Bhushan, B., & Singh, R. (2010). *A review on methodology of artificial roughness used in duct of solar air heaters*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(8), 2123-2136.
11. Tiwari, G. N., Sodha, M. S., & Chandra, A. (1981). *Performance evaluation of hybrid PVT air heating systems*. Solar Energy, 26(1), 97-102.
12. Verma, S. K., Tiwari, A. K., & Said, Z. (2018). *Status review of solar thermal energy storage using phase change materials and nanomaterials*. Energy Conversion and Management, 177, 287-320.
13. https://www.researchgate.net/figure/Single-pass-air-solar-heater-5-Fig-3-Double-pass-SAHA-counter-flow-b-parallel-flow_fig2_318947408
14. Kazi, S. N., & Farooq, U. (2020). *Optimization of solar air heater using genetic algorithm*. Renewable Energy, 147, 1372-1383.
15. Sulaiman, S. A., & Razi, P. (2018). *Application of particle swarm optimization for the design of solar air heaters*. Energy Conversion and Management, 159, 1-10.

16. Chowdhury, S., & Saha, S. K. (2017). *Simulated annealing approach for optimal design of solar air heaters*. Energy Reports, 3, 185-193.
17. Akpınar, E. K., & Akpınar, S. (2016). *Artificial neural network-based optimization of solar air heater performance*. Solar Energy, 134, 158-170.

TOPRAK ZEMİN ÜZERİNE KURULUMU YAPILACAK ÇİFT YÜZLÜ (BIFACIAL) FOTOVOLTAİK PANELLERDE YÜKSEKLİĞİN VE EĞİM AÇISININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Arş. Gör. KÜBRA SOLAK

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

kubrasolak@nku.edu.tr - 0000-0001-6643-3368

Prof. Dr. UĞUR AKYOL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

uakyol@nku.edu.tr - 0000-0003-3707-0929

Doç. Dr. DİNÇER AKAL

Trakya Üniversitesi

dincerakal@trakya.edu.tr - 0000-0003-0055-5471

ÖZET

Dünyanın pek çok yerinde enerji talebinin artmasıyla birlikte, yenilebilir enerji kullanımına ilgi de artmaktadır. Yenilenebilir enerjiler içinde güneş enerjisi sonsuz bir enerji kaynağı ve sıfır emisyonlu olması ile daha çok tercih edilir hale gelmektedir. Son zamanlarda, güneş enerjisinden elektrik üretiminde çok farklı teknolojilerde fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. Çift yüzeyli (Bifacial) fotovoltaik panel teknolojisinde hem ön yüzeyden hem de arka yüzeyden ilave elektrik üretildiği için daha fazla ilgi görmektedir. Ancak bu tip fotovoltaik panellerin performansının artırılması büyük önem kazanmaktadır. Bu nedenle, çift yüzeyli fotovoltaik panellerde performansı etkileyen en önemli unsurlardan birisi zeminden gelen albedo etkisidir. Özellikle toprak zeminlerde çift yüzeyli fotovoltaik panellerin enerji verimliliği daha düşüktür. Bu nedenle bu çalışmada, çift yüzeyli fotovoltaik panellerin toprak zemine olan mesafesinin ve eğim açısının enerji verimliliğine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak eğim açısı 60° uygulanan çift yüzeyli fotovoltaik panelden (PV Panel 1) eğim açısı 45° uygulanan çift yüzeyli fotovoltaik panele (PV Panel 2) göre yaklaşık olarak %4,78 daha fazla enerji üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panel, Albedo, Enerji Verimliliği.

1. GİRİŞ

Dünyanın pek çok ülkesinde artan nüfus ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak enerjiye olan talepte artmaktadır. Bu durumda fosil kaynakların kullanım oranının yükselmesi ekonomik ve çevre bakımından bazı olumsuzluklara sebep olmaktadır. Son zamanlarda yenilenebilir enerji, sürdürülebilir bir gelecek ve karbon salınımının azaltılması için önemli bir çözüm kaynağı olarak görülmektedir [1, 2]. Güneş enerjisi sıfır emisyonlu bir kaynak olduğu için iklim değişikliğine de etkisi bulunmamaktadır [3]. Diğer yandan yenilenebilir enerji teknolojileri hem verimlilik olarak her geçen gün gelişmekte ve diğer kaynaklarla rekabet edebilir bir hale gelmiştir [1, 4, 5]. Yenilenebilir enerjiye olan talebin artması ile birlikte çift yüzlü (Bifacial) fotovoltaik panellerde popüler bir konu haline gelmiştir. Çift yüzlü modüller, yalnızca ön taraftan değil aynı zamanda arka yüzeyden de yansıyan ışınımı elektrik enerjisine çevirmektedir. Bifacial modüllerinin tam olarak ne kadar arkadan enerji ürettiği birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermiş olsa da %5-15 daha fazla enerji ürettiği görülmektedir [2]. Aynı zamanda bu tip fotovoltaik paneller kurulumların yapıldığı yerlere daha iyi bir görsellik kazandırmaktadır. Çift yüzlü fotovoltaik panellerin her iki, yüzeyden de enerji üretmesi güney cephesine kurulum yapılması şartını ortadan kaldırmaktadır [6]. Literatürde çift yüzeyi fotovoltaik paneller ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; PV Paneldeki çift taraflı modüllerin sıcaklığı, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve enerji verimliliğine etkisi detaylı olarak araştırılmıştır. Çift taraflı PV panel 43,5°'lik optimum eğim açısında maksimum %24 enerji verimliliği elde edilmiştir. Ayrıca PV Panel yüksekliğinin 1 metreyi aşması halinde arka yüzeyde meydana gelen albedo etkisinin azaldığı ifade edilmiştir [7]. Suudi Arabistan'daki Qassim Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, gerçek zamanlı bir fotovoltaik ölçüm sistemi ile çevre ve modül sıcaklık verileri kullanılarak enerji ve ekserji verimliliği analiz edilmiştir. Yapılan araştırma ile çift taraflı modüller, tek taraflı modüller ile karşılaştırıldığında ekserji verimliliğinde %9,5 artış ve %7 daha fazla enerji verimliliği tespit edilmiştir [8]. Bifacial fotovoltaik modüllerde enerji verimliliğini yükseltmek için arka yüzeydeki albedo etkisinin artırılması amacıyla farklı zeminler araştırılmıştır. Bu zemin kaplamaları arasında en yüksek albedo değerleri ve enerji verimliliği alüminyum yansıtıcı yüzey ile beyaz zeminde elde edilmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre; alüminyum yansıtıcı yüzey için, albedo değeri 0,50-0,57 arasında ve enerji verimliliğinde %21,4 artış sağlanmıştır. Beyaz yansıtıcı yüzeyde ise 0,37 ile 0,42 arasında albedo etkisi ve %18,9 oranında enerji artışı elde edilmiştir [9]. Çift taraflı fotovoltaik paneller ile ilgili yapılan farklı bir çalışmada, arka taraftan yansıyan albedo etkisinin yüksekliğe, konuma, arka yüzeyde meydana gelen gölgelenmeye ve iklim koşullarına bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu çalışmada ilave enerji üretiminde en önemli değişkenin albedo etkisi olduğu ancak zaman içinde beyaz yüzeylerin kirlendiği ve temizliği için ekstra masrafın meydana geldiği ifade edilmiştir [10]. Birleşik Krallık'taki Heriot-Watt Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada çift yüzlü fotovoltaik panellerin arka yüzeyine yansıyan ışınımın belirlenmesi için beton, beyaz çakıl taşları ve toprak yüzey için analizler yapılmıştır. Arka taraftaki ışınım yansıması en yüksek beyaz çakıllar ile %30 daha fazla enerji verimliliği elde edilirken, en düşük enerji verimliliği toprak yüzeyde %5-10 arasında bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada zemin yansıtıcı yüzeyinden bağımsız olarak, çift yüzlü fotovoltaik panellerde enerji kazanımının maksimum

%30 oranında olabileceği ifade edilmiştir [11]. Son zamanlarda Vellore Teknoloji Enstitüsü'nde yapılan bir çalışmada çift yüzlü fotovoltaik panellerdeki eğim açısının beyaz zemin üzerindeki albedo etkisi araştırılmıştır. Eğim açısı 0° ile 90° arasında alınarak enerji üretimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde PV panel 30° eğim açısında iken 316,85 W'lık maksimum günlük ortalama güç elde edilmiştir. Diğer yandan 90° açıda en düşük PV panel gücü tespit edilmiştir [12].

Literatürde yapılan çalışmalarda, çift yüzlü panellerin kullanıldığı toprak zeminlerde enerji verimliliğinin diğer zeminlere göre çok daha düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle planladığımız çalışmada; çift yüzlü fotovoltaik panellerin toprak zeminlere olan mesafesinin ve eğim açısının enerji verimliliği üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çift yüzeyli fotovoltaik panellerin toprak zemin üzerinde uygulanması halinde, yüksekliğin ve eğim açısının albedo etkisini incelemek amacıyla Çorlu Meslek Yüksekokulunda şebekeye bağlı (on-grid) Görsel 1'de görülen güneş enerji dönüşüm sistemi kurulmuştur. Ölçümler, 27.11.2024 – 11.12.2024 tarihleri arasında her gün saat 08.30 ile 17.30 arasında, 5 dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Sistem üzerinden alınan veriler analiz edilerek fotovoltaik panellerin güç çıkışı ve enerji üretim grafikleri çizilmiştir.



Görsel 1. Çift Yüzeyli Fotovoltaik Panellerin Toprak Zemin Üzerinde Kurulum Düzenegi

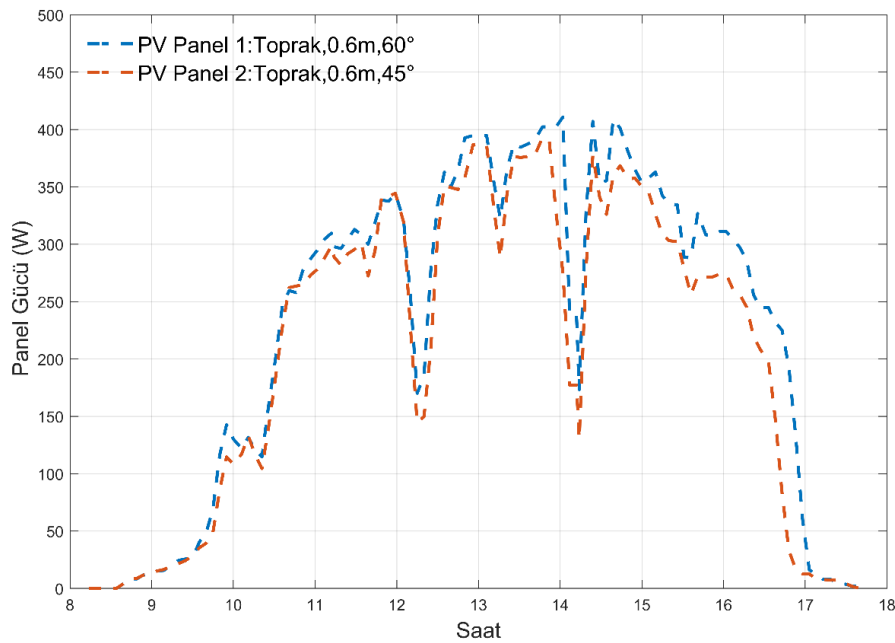
Toprak zemin üzerine kurulumu yapılan deney düzenegi Görsel 1'de görülmektedir. Deney düzenegi üzerindeki çift yüzeyli fotovoltaik panellerin toprak zeminden yüksekliği 0,6 m ve eğim açıları 45° ve 60° olarak montajı yapılmıştır. Sistem üzerinde kullanılan çift yüzeyli fotovoltaik panele ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çift Yüzlü (Bifacial) Fotovoltaik Panelin Özellikleri

Güneş Modül Tipi	JKM465M-7RL3-TV
Maksimum Güç (P_{max})	465 Wp
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	43,38 V
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	10,72 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	52,00 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	11,444 A
Modül Verimliliği	%20,43
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C ~ +85°C
Arka yüzey kazancı-Maksimum Güç (P_{max}) %5	488 Wp
Arka yüzey kazancı-Maksimum Güç (P_{max}) %15	535 Wp
Arka yüzey kazancı-Maksimum Güç (P_{max}) %25	581 Wp

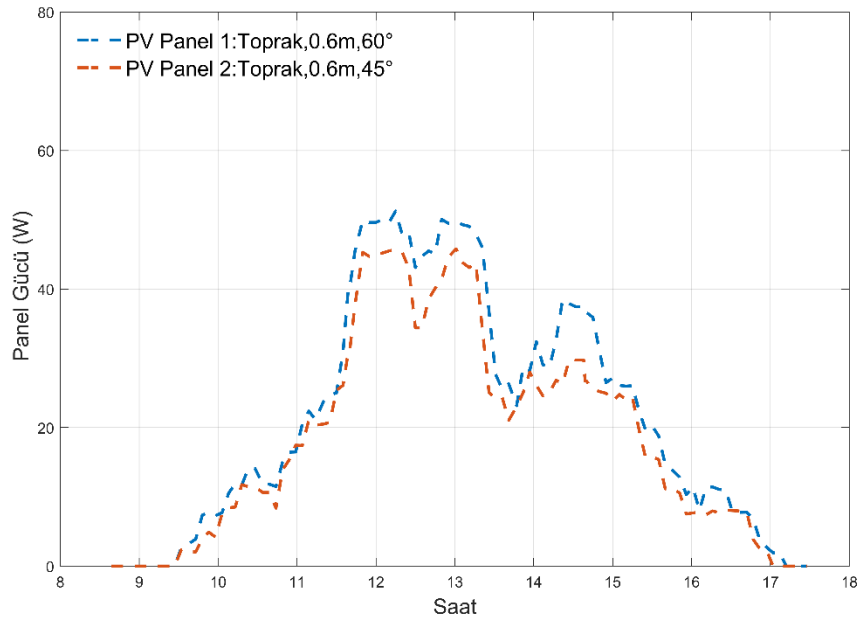
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panellerin çıkış güçlerinin karşılaştırılması için rasgele bir gün seçilmiş ve gün içindeki güç değişimleri Görsel 2’de verilmiştir. Toprak zemine 0,6 m yükseklikte ve 60° eğim açısı ile uygulanan çift yüzeyle fotovoltaik panelden Görsel 2’de görüldüğü gibi özellikle saat 12.00 ile 17.00 arasındaki tüm zaman dilimlerinde daha fazla çıkış gücü elde edilmiştir. Rastgele seçilen bir gün için eğim açısı 60° olan çift yüzeyle fotovoltaik panelin maksimum çıkış gücü 400 W olarak tespit edilmiştir.



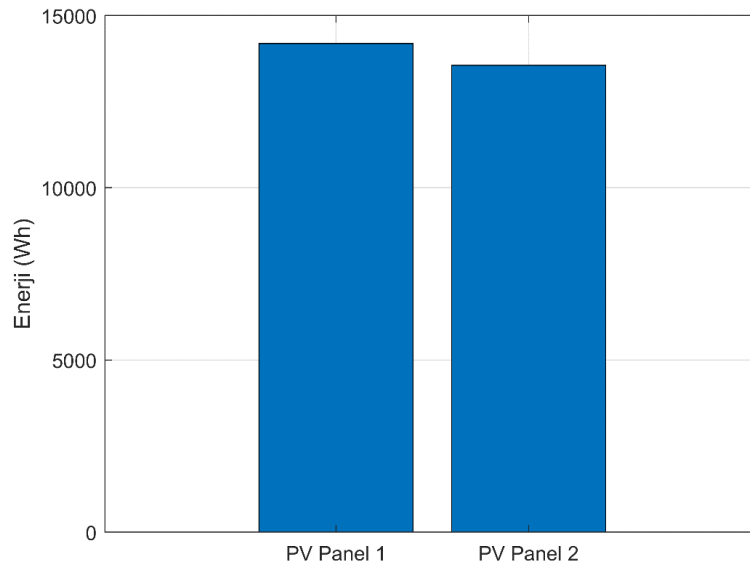
Görsel 2. Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panellerin Rastgele Bir Gün İçin Güç Çıkışlarının Karşılaştırılması

Çift yüzeyle fotovoltaik panellerden en düşük güç çıkışının elde edildiği gündeki değişimler Görsel 3’de verilmiştir. Benzer şekilde en kötü ışınım şartlarında dahi eğim açısı 60° olan çift yüzeyle fotovoltaik panelden daha yüksek çıkış gücü elde edilmiştir. Işınım değerinin en düşük olduğu günde çift yüzeyle fotovoltaik panelden yaklaşık 50 W çıkış gücü elde edilmiştir.



Görsel 3. Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panellerin Güç Çıkışlarının En Düşük Olduğu Bir Günde Karşılaştırılması

Toprak zemin üzerine 0,6 m yükseklikte, 45° ve 60° eğim açısı ile kurulumu yapılan çift yüzeyle fotovoltaik panellerin ürettiği toplam enerji miktarları Görsel 4’de verilmiştir. Burada PV Panel 1, 60° eğim açısı ile PV Panel 2 ise 45° eğim açısı ile montajı yapılan çift yüzeyle fotovoltaik paneli göstermektedir. Görsel 4’de görüldüğü gibi 60° eğim açısı uygulanan PV Panel 1 den toplamda daha fazla enerji elde edilmiştir.



Görsel 4. Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panellerin Güç Çıkışlarının En Düşük Olduğu Bir Günde Karşılaştırılması

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada çift yüzeyli fotovoltaik panellerin toprak zemin üzerinde uygulanması halinde, yüksekliğin ve eğim açısının albedo etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak zeminden 0,6 m yükseklikte ve 60° eğim açısı uygulanan çift yüzeyli panelden daha fazla enerji elde edilmiştir. Seçilen herhangi bir gün içinde 60° eğim açısında maksimum fotovoltaik panel çıkış gücü elde edilmiştir. Sonuç olarak eğim açısı 60° uygulanan çift yüzeyli fotovoltaik panelden (PV Panel 1) toplamda 14077,1 Wh enerji ve eğim açısı 45° uygulanan çift yüzeyli fotovoltaik panelden (PV Panel 2) toplamda 13434,7 Wh enerji elde edilmiştir. PV Panel 1 den, PV Panel 2'ye göre yaklaşık olarak %4,78 daha fazla enerji üretmiştir

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (NKÜBAP) tarafından NKUBAP.06.DR.23.468 numaralı proje ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 124M823 numaralı proje ile desteklenmiştir. Çalışmaya verdikleri destekten ötürü NKÜBAP ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- [1] Shahverdian, M. H., Sayyaadi, H., Sohani, A. An optical-based comparative study to detect best configurations for installation of monofacial and bifacial PV technologies. Solar Energy, 266, 112184, 2023.
- [2] Kazem, H.A., Al-Waeli, A.H., Chaichan, M.T., Sopian, K., Al Busaidi, A.S., Gholami, A. Photovoltaic-thermal systems applications as dryer for agriculture sector: A review. Case Studies in Thermal Engineering, 47, 103047, 2023.
- [3] Ma, T., Li, S., Gu, W., Weng, S., Peng, J., Xiao, G. Solar energy harvesting pavements on the road: comparative study and performance assessment. Sustainable Cities and Society, 81, 103868, 2022.
- [4] Kazem, H.A., Chaichan, M. T., Al-Waeli, A.H., Al-Badi, R., Fayad, M.A., Gholami, A. Dust impact on photovoltaic/thermal system in harsh weather conditions. Solar Energy, 245, 308-321, 2022.
- [5] Maleki, A., Pourfayaz, F., Ahmadi, M.H. Design of a cost-effective wind/photovoltaic/hydrogen energy system for supplying a desalination unit by a heuristic approach. Solar Energy, 139, 666-675, 2016.
- [6] <https://www.greentechrenewables.com/article/trend-watch-bifacial-modules>.
- [7] Verma, D., Shah, J., Patel, N., Patel, R., Patel, D. Feasibility and performance analysis of bifacial module under extremely hot and dry climate. Engineering Research Express, 5, 015024, 2023.

- [8] Almarshoud, A.F., Abdel-halim, M.A., Almasri, R.A., Alshwairekh, A.M. Exergy and energy analysis of bifacial PV module performance on a cloudy day in Saudi Arabia. *Sustainability*, 16 (17), 7428, 2024.
- [9] Ganesan, K., Winston, D.P., Sugumar, S., Jegan, S. Performance analysis of n-type PERT bifacial solar PV module under diverse albedo conditions. *Solar Energy*, 252, 81-90, 2023.
- [10] Braga, D.S., Kazmerski, L.L., Cassini, D.A., Camatta, V., Diniz, A.S.A. Performance of bifacial PV modules under different operating conditions in the State of Minas Gerais, Brazil. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 8, 23, 2023.
- [11] Alam, M., Gul, M.S., Muneer, T. Performance analysis and comparison between bifacial and monofacial solar photovoltaic at various ground albedo conditions. *Renewable Energy Focus*, 44, 295-316, 2023.
- [12] Basak, A., Chakraborty, S., Behura, A.K. Tilt angle optimization for bifacial PV module: Balancing direct and reflected irradiance on white painted ground surfaces. *Applied Energy*, 377, 124525, 2025.

BİNA CEPHESİNE ENTEGRE EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÜNEY, BATI VE DOĞU CEPHE SEÇİMİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Öğr. Gör. TAŞKIN TEZ

Trakya Üniversitesi

taskintez@trakya.edu.tr - 0000-0002-9837-3213

Doç. Dr. DİNÇER AKAL

Trakya Üniversitesi

dincerakal@trakya.edu.tr - 0000-0003-0055-5471

Prof. Dr. UĞUR AKYOL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

uakyol@nku.edu.tr - 0000-0003-3707-0929

ÖZET

Günümüz yenilenebilir enerji sistemleri kaynaklarından güneş enerjisine yönelim her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle güneş enerji dönüşüm sistemlerindeki fotovoltaik panellerin kurulum şartlarına göre enerji verimliliği de değişmektedir. Bina çatılarına optimum fotovoltaik panel eğim açısı ile yapılan kurulumlarında maksimum enerji elde edilir ancak bazı binaların konumu ve çatı yüzey alanı buna uygun değildir. Bu durumlarda binaların dikey cepheleri alternatif bir çözümdür. Ancak bu uygulamalarda binaların cephe yönü enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada bir binanın güney cephesi yerine, doğu ve batı cephesine entegre edilecek fotovoltaik panellerin enerji verimliliği PV Sol simülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasının sonuçlarına bağlı olarak; binanın güney cephesine dikey fotovoltaik panel uygulaması ile yıllık 47694 kWh toplam enerji elde edilirken, batı cephesinde 39687 kWh ve doğu cephesinde 39865 kWh enerji üretimi tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; mevcut bina için fotovoltaik panellerinde güney cephesi yerine, doğu veya batı cephelerinde uygulanması halinde toplam enerji üretiminin %17 civarında azalacağı öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Fotovoltaik Panel, Bina Cephesi, Enerji Verimliliği.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda güneş enerjisinden fotovoltaik panellerle enerji üretimi, verimliliği ve çevresel faydaları nedeniyle yoğun ilgi görmektedir. Diğer yandan bina cephe ve çatı kurulumlarında fotovoltaik enerji üretim potansiyelini doğru bir şekilde analiz edilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Bina cepheleri ve çatılar güneş enerji sistemlerinin kurulumu için farklı avantajlar sağlamaktadır. Enerji verimliliği bakımından çatı uygulamaları ön plana çıkarken yüksek katlı binalarda çatı alanı yetersiz kaldığından dolayı dış cephelere entegre edilen fotovoltaik paneller alternatif bir çözüm sunmaktadır [1]. İnsanların pek çoğu zamanlarının büyük bir kısmını binalarda geçirdiklerinden dolayı enerjinin önemli bir kısmı inşalar tarafından tüketilmektedir. Binalar tarafından tüketilen enerji Fransa’da %45 oranına ulaşmıştır [2, 3]. Bina cephelerinde kullanılan güneş panelleri, çatı kurulumlarına göre daha az güneş radyasyonu almasına rağmen yüksek katlı bina cephelerinde çok daha büyük alan imkânı sunmaktadır [4, 5]. Özellikle yüksek katlı binalarda olan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulumu yapılacak güneş enerji sistemleri için çatı alanları yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bina cepheleri daha büyük güçte kurulumlar için bir seçenek haline gelmiştir. Son zamanlarda güneş enerji dönüşüm sistemlerinin büyük şehirlerde ve inşaat sektöründe yaygın hale getirilmesi önem kazanmıştır [6, 7]. Pek çok araştırmacı kurulumlardaki mevcut cephe uygulama simülasyon analizlerine yönelirken bazıları da sistemlerin performansı üzerindeki çalışmalara yönelmiştir [8]. Diğer yandan geleneksel fotovoltaik panellerin ağır oluşu çatı kurulumlarını daha fazla tercih edilebilir hale getirmiştir [9, 10]. Organik güneş hücreleri hafif ve renk çeşitliliği bakımından daha fazla seçenek sunmuş olsa da düşük enerji verimliliğine sahip olduğu için daha az tercih edilmektedir [10, 11].

Literatürde bu konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; Malezya’da yapılan bir araştırmada bina cephesine uygulana fotovoltaik sistemlerin etkinliği simülasyon çalışması ile analiz edilmiştir. Ayrıca bina kabuğu boyunca ısı transferi, soğutma, gün ışığı kullanımı ve güneş ışıınımı parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Similasyon sonuçlarına göre ilk yatırım maliyeti yüksek bulunmuş ancak binasındaki aydınlatma enerjisi, binaya yeterli gün ışığı girdiğinden %80’e kadar tasarruf edilebileceği tespit edilmiştir [12]. Yapılan bir çalışmada, İstanbul’daki bir kamu binasının elektrik tüketimini karşılaştırmak amacıyla güneş enerji sistemi PV Sol yazılımıyla tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Tasarlanan 3.259 MW kurulu güce sahip sistemin yatırım maliyeti 2.705.586 ABD doları ve amortisman süresi 5,3 yıl olarak bulunmuştur [13]. PVsyst simülasyon programının kullanıldığı bir çalışmada, şebekeye bağlı çatı kurulumuna ait bir güneş enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Tasarlanan şebekeye bağlı 10 kW’lık kurulu güçteki sistemin tahmini yıllık 19.323 kWh enerji üretebildiği, ilk yatırım maliyetinin 5.213 ABD Doları olduğu ve amortisman süresinin 6,3 yıl olduğu tespit edilmiştir [14].

Literatürden farklı olarak bu çalışmada Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binasına kurulumu yapılacak güneş enerji sisteminde fotovoltaik panellerin cepheye dik olarak; güney, batı ve doğu yönlerinde uygulanması halindeki enerji üretimi PV Sol simülasyon programı ile analiz edilmiştir.

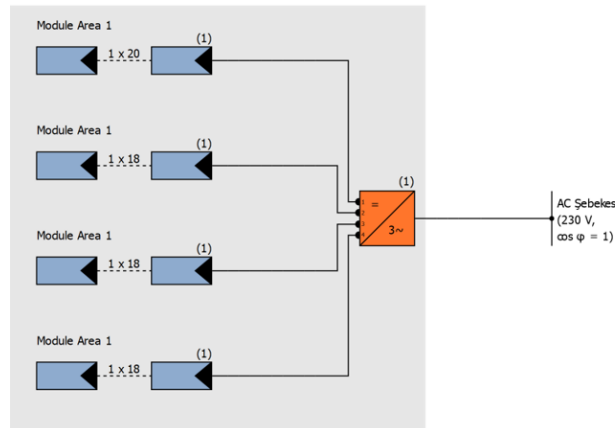
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Edirne ili, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binasının güney, doğu ve batı cephelerine entegre edilecek 50 kW'lık güçteki fotovoltaik panel kurulumu için sistem bileşenleri, lokasyon bilgileri ve modül açısı 90° girilerek PV Sol simülasyon programı ile her bir yön için ayrı ayrı enerji üretimi analiz edilmiştir. Kurulum yapılacak binanın mevcut lokasyonu Görsel 1'de verilmiştir. Şebekeye bağlı öz tüketimli bina cephesine dik olarak entegre edilen fotovoltaik panel sisteminin enerji verimliliği seçilen yönlere göre detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan simülasyon analizlerinin sonuçlarına ve binanın güney, doğu ve batı cephelerindeki fotovoltaik panel kurulumuna göre enerji üretim miktarlarını gösteren grafikler çizilmiştir.



Görsel 1. Sistem Kurulumunun Yapıldığı Bina Lokasyonu

Bina cephesine entegre edilecek fotovoltaik modüllerin devre şeması Görsel 2'de verilmiştir.



Görsel 2. Fotovoltaik Modüllere Ait Devre Şeması

Kurulumu yapılan şebekeye bağlı olan güneş enerji sistemine ait özellikler PV sol analiz programından alınmış ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Şebekeye Bağlı PV Sistemi

	PV sistemi
İklim verileri	Meteonorm 8.2(i) ((Edirne, TUR (2001 - 2020))
PV jeneratör çıkışı (kWp)	51,06
PV jeneratör yüzeyi (m ²)	229,9
Sayı PV modülleri	74
Evirici Sayısı	1

Tasarlanan güneş enerji sisteminin kurulumunda kullanılacak fotovoltaik modüller ve diğer teknik detaylar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. PV Jeneratörü Modül Alanı

	Modül Alanı
PV modülleri	74 x CWT690-132TNB12-V (v2)
Üretici	CW Enerji Müh. Ticaret ve San. Ltd. Şti.
Eğim(°)	90
Yerleşim Yönü	Batı-Doğu-Güney
Montaj Türü	Duvara entegre edilmiş - arka havalandırılmalı
PV jeneratör yüzeyi (m ²)	229,9
Gölgeleme (%)	0

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fotovoltaik panel kurulumu için sistem bileşenlerine bağlı olarak PV Sol simülasyon programı analizleri sonucunda bina yönüne göre üretim PV Sol simülasyon programı ile her bir yön için ayrı ayrı enerji üretimi analiz edilmiştir. Şebekeye bağlı PV jeneratör sisteminden elde edilecek üretim tahmini Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Üretim Tahmini

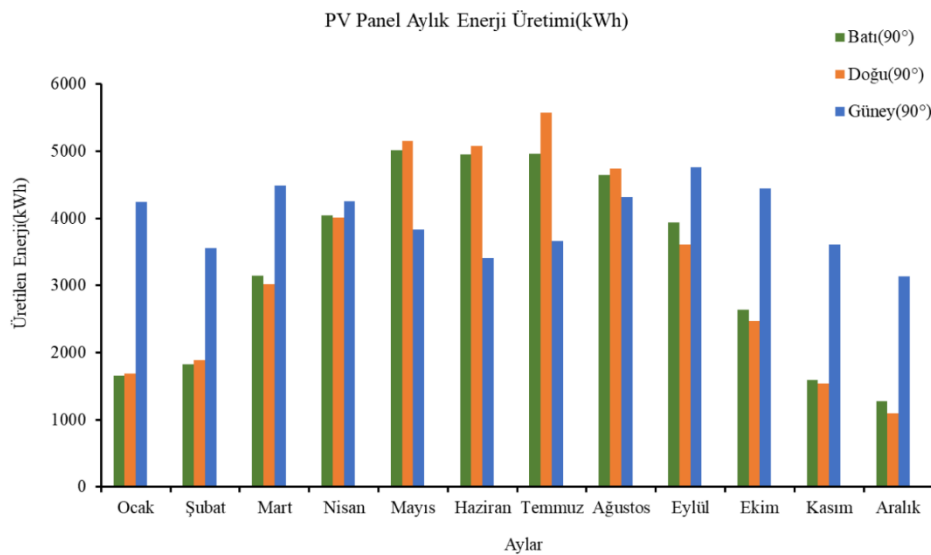
	Üretim Tahmini
PV jeneratör çıkışı (kWp)	51,06
Yıllık Özgül Kazanç (kWh/kWp)	776,80
Sistem kullanım oranı (PR) (%)	87,57
Izgara Dışa Aktarma (kWh/Yıl)	39,688
İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil) (kWh/Yıl)	39,688
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler) (kWh/Yıl)	24
Önlenen CO ₂ emisyonu (kg/yıl)	18,642

Finansal analiz sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. PV Sol programında yapılan analizlere göre; tasarlanan sistemin yatırım maliyeti 1531800 TL ve amortisman süresi 8,7 yıl olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Finansal Analiz

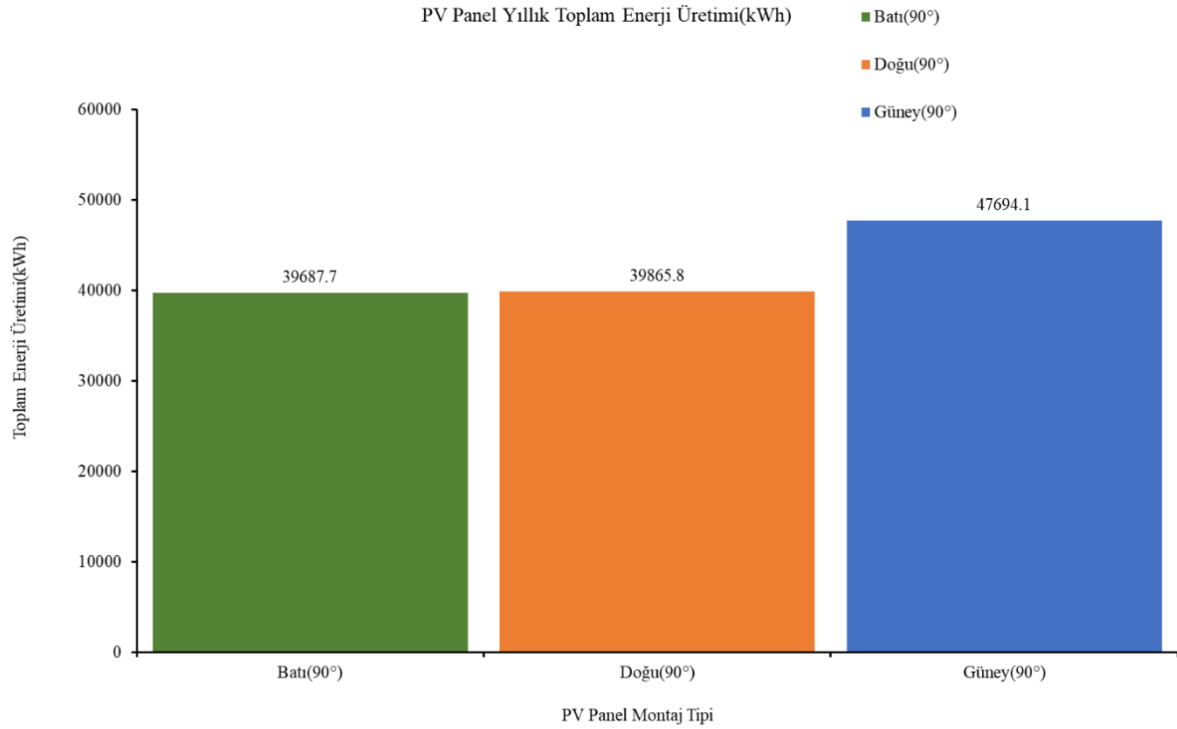
Toplam yatırım maliyeti (₺)	Kazanç
İç Verim Oranı (IRR) (%)	1531800
Amortisman süresi (Yıllar)	54,36
Elektrik üretim maliyeti (₺/kWh)	8,7
Enerji Dengesi / Şebekeyi Besleme Kavramı	2,1401
	Tam besleme

PV panellerin cepheye uygulandığı yöne göre aylık toplam enerji üretimleri Görsel 3’de verilmiştir. Güney cephesine uygulanan PV panellerin Mayıs, Haziran, temmuz ve ağustos ayları dışındaki diğer tüm aylarda batı ve doğu yöne göre daha fazla enerji ürettiği Görsel 3’de görülmektedir. Işınım değerlerinin en yüksek olduğu yaz sezonundaki en yüksek enerji üretimi Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında doğu cephesinden elde edilmiştir. Yılın tüm aylarındaki üretim değerleri dikkate alındığında batı ve doğu cephelerinden elde edilen enerji değerlerinin birbirine çok yakın değerde olduğu tespit edilmiştir.



Görsel 3. Cephe Yönüne Göre Fotovoltaik Panellerden Elde Edilen Aylık Enerji Değerleri

Simülasyon sonuçlarına bağlı olarak bina cephesi yönüne göre PV panellerden elde edilen toplam enerji üretimi Görsel 4’de verilmiştir. Binanın güney cephesine entegre edilen fotovoltaik panellerden 47694 kWh enerji elde edilirken, batı cephesinde 39687 kWh, doğu cephesinde 39865 kWh enerji elde edilmiştir.



Görsel 4. Cephe Yönüne Göre Fotovoltaik Panellerden Elde Edilen Yıllık Enerji Üretimi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda bina cephelerine fotovoltaik panel entegrasyonunda güney cephesindeki kurulumlarda en fazla enerji elde edileceği görülmüştür. Güneş ışıının şiddeti ve geliş yönü fotovoltaik panellerden elde edilen enerjiyi önemli derecede etkilemektedir. Yapılan simülasyon sonuçlarından elde edilen verilere göre binanın konumunda ve güney cephesi yüzey alanında herhangi bir sorun yoksa fotovoltaik panellerin güney cephesine entegre edilmesi ile en fazla enerji üretiminin gerçekleşeceği görülmüştür. Bu çalışmada, mevcut binanın güney cephesi yerine batı cephesi tercih edilirse yıllık toplam enerji üretimi %16,79, doğu cephesi tercih edilirse %16,42 oranında azalmış olacağı tespit edilmiştir. Bina cephelerine fotovoltaik panel entegrasyonunda batı ve doğu cephelerindeki kurulumlarında %16,42-16,69 oranında daha az enerji üretimi önemli bir değer olmasına rağmen bazen binanın güney cephesindeki olumsuzluklar (Gölgelenme, alan yetersizliği, balkon ve konsol çıkıntıları, görsellik vs) ile karşılaşıldığında batı veya doğu cephesinin kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Lu, X., Li,G., Wang, A., Xiong, Q., Lin, B., Lv, G. Estimating the Photovoltaic Potential of Building Facades and Roofs Using the Industry Foundation Classes. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10, 827, 2021.
- [2] Atmaja, D.T. Façade and rooftop PV installation strategy for building integrated photo voltaic application. Energy Procedia. 32, 105 – 114, 2013.

- [3] Salvador, M., Grieu, S. Methodology for the design of energy production and storage systems in buildings: Minimization of the energy impact on the electricity grid, *Energy and Buildings*, 47, 659-673, 2012.
- [4] M.C. Brito, S. Freitas, S. Guimarães, C. Catita, P. Redweik. The importance of facades for the solar PV potential of a Mediterranean city using LiDAR data. *Renewable Energy*, 111, 85-94, 2017.
- [5] R.R. Hernandez, M.K. Hoffacker, C.B. Field, Efficient use of land to meet sustainable energy needs, *Nat. Clim. Change*, <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE2556>, 2015.
- [6] Yue, Y., Yan, Z., Ni, P., Lei, F., Qin, G. Promoting solar energy utilization: Prediction, analysis and evaluation of solar radiation on building surfaces at city scale. *Energy & Buildings*, 319, 114561, 2024.
- [7] Wang, W., Liu, K., Zhang, M., Shen, Y., Jing, R., Xu, X. From simulation to data-driven approach: A framework of integrating urban morphology to low-energy urban design. *Renewable Energy*, 17, 2016-2035, 2021.
- [8] Assoa, B.Y., Thony, P., Messaoudi, P., Schmitt, E., Bizzini, O., Gelibert, S., Therme, D., Rudy, J., Chabuel. F. Study of a building integrated bifacial photovoltaic facade. *Solar Energy*, 227, 497-515, 2021.
- [9] Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Willmann, A., Schlueter, A. The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research*, 5, 143-156, 2016.
- [10] Frontini, F., Bonomo, P., Chatzipanagi, A. BIPV Product Overview for Solar Facades and Roofs. Technical Report, Swiss BIPV Competence Centre, SUPSI, 2015.
- [11] Barraud, E. Stained glass solar windows for the Swiss tech convention center. *CHIMIA Int. J. Chem.* 67, 3, 181–182, 2013.
- [12] Wei, J.L., Islam, M.M., Hasanuzzaman, M., Erdem Cuce, E. Energy consumption, power generation and performance analysis of solar photovoltaic module based building roof. *Journal of Building Engineering*, 90, 109361, 2024.
- [13] İnan, T.A. Technical and Economic Analysis of Photovoltaic System Designed for a Public Building in Turkey. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9, 3, 1435-1442, 2019.
- [14] Serat, Z., Fatemi, Z.A.S., Shirzad, S. Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software. *Archives of Advanced Engineering Science*, 1, 63-76, 2023.

PERDELERİ PLANDA DIŞ VE ORTA BÖLÜMLERDE BULUNAN YAPILARDA FARKLI TİPLERDEKİ ASMA KAT YÜKSEKLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ

Doç. Dr. Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

ozyurt@sakarya.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1593-4581>

Öğrenci Darkhan BAYAN

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

darkhan.bayan@ogr.sakarya.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5043-1611>

ÖZET

Türkiye'nin büyük bir bölümü, yüksek deprem riski taşıyan fay hatlarıyla çevrilidir ve nüfusun önemli bir kısmı bu fay hatlarına yakın bölgelerde yaşamaktadır. Bu nedenle, betonarme yapıların en güvenli ve en ekonomik şekilde optimum davranış göstermesi beklenmektedir. Betonarme yapılarda, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların oluşturduğu sabit ve hareketli yükler düşey yükleri meydana getirirken, bu yapılar aynı zamanda yatay yükler altında da yeterli dayanımı sağlamalıdır. Depremler, önemli yatay yükler oluşturarak yapı güvenliğini etkileyen en kritik faktörlerden biridir. İnşaat tekniklerindeki ilerlemelerle birlikte, konut ve ticari alanların tek bir yapıda birleştirildiği karma yapıların kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Bu çalışmada, zemin katında asma kat bulunan yapıların deprem davranışları incelenmiş ve gelecekte bu tür betonarme çerçevesi, çok katlı yapıların tasarımı için bir kaynak oluşturulması amaçlanmıştır. Çeşitli asma kat tiplerine sahip yapıların analizleri gerçekleştirilerek, bu yapı farklılıklarının deprem performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, model yapıların normal kat yükseklikleri 3 metre, zemin kat yükseklikleri 6,5 metre olarak belirlenmiş; asma kat yükseklikleri ise her bir tip için iki farklı şekilde, 3,5-3 metre ve 4-2,5 metre olarak tasarlanmıştır. Asma katlar, B ve D olmak üzere iki farklı tipte oluşturulmuştur. Verilen örneklere dayanarak toplamda 4 farklı model geliştirilmiş ve bu modeller SAP2000 programı kullanılarak üç boyutlu şekilde modellenmiştir. Taşıyıcı elemanlar TBDY 2018'e göre minimum sınırları sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Yapıların analizi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda analizlerden elde edilen veriler kullanılarak; modellenen yapıların; hâkim periyodu, yumuşak kat düzensizliği, "taban kesme kuvvetleri- tepe noktası yer değiştirmesi" grafikleri çizilerek, model yapıların yapısal davranışları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Perdeli-Çerçevesi Yapı, Periyot, Tepe Noktası Deplasmanı.

1. GİRİŞ

Perdeli kenar askılar, yapı sistemlerinde özellikle deprem etkilerinin azaltılması ve rijitlik sağlanması amacıyla yaygın olarak kullanılan elemanlardır. Bu tür sistemler, yüksek katlı yapıların stabilitesini artırırken, aynı zamanda yatay yüklerin etkilerini kontrol altında tutmak için etkin bir çözüm sunar. Ancak, asma kat boşlukları gibi yapısal düzensizlikler, sistemin genel davranışını önemli ölçüde etkileyebilir. Asma kat boşlukları, genellikle mimari gereksinimler doğrultusunda tasarlanırsa da, bu boşlukların boyutları, konumları ve oranları yapı sisteminin dinamik özelliklerini değiştirebilir ve sismik performansını olumsuz yönde etkileyebilir.

Bu çalışmada, perdeli kenar askılarla tasarlanan yapılarda farklı asma kat boşluklarının yapısal davranış üzerindeki etkileri incelenecektir. Özellikle, bu tür düzensizliklerin yapıdaki gerilme dağılımı, titreşim modları ve deformasyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Elde edilen sonuçlar, mühendislik uygulamalarında daha güvenli ve optimize edilmiş tasarımlar geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, aynı katlı yapılarda zemin katlarında farklı asma kat tiplerine sahip döşeme boşluklarının yapıların deprem davranışına etkilerini incelemektedir. Yapı analizleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ve Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500) esas alınarak yapılmıştır. İncelenen yapılarda döşeme sistemi olarak kirişli döşemeler kullanılmış ve perdelerin en-kesit boyutları 300 mm x 5400 mm olarak belirlenmiştir. Burulma düzensizliğini engellemek amacıyla perdeler, planda her iki yönde simetrik olarak yerleştirilmiştir. Yapıların deprem davranışları Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen periyot verileri, farklı modeller arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, 5 katlı işyeri ve konut yapıları için köşelerine betonarme perdeler yerleştirilmiş ve sabit asma kat yüksekliğine sahip bir yapı tipinin farklı döşeme boşluklarının yapısal davranışa etkisini incelemektedir. Analizler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ve Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen yapıların döşeme sistemi kirişli döşemedir ve perdelerin en-kesit boyutları 300 mm x 5400 mm olarak belirlenmiştir. Burulma düzensizliğini önlemek için perdeler planda her iki yönde simetrik olarak yerleştirilmiştir. Asma kat yükseklikleri, tüm modellerde sabit tutulmuştur. Ancak, döşeme boşlukları her modelde farklı şekilde tasarlanmıştır (A, B, C, D ve asma katsız modeller) ve SAP2000 programı ile analiz edilmiştir. İncelenen bütün yapı tiplerine ait modeller, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak ayrı ayrı yapısal analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, döşeme boşluklarının yapının deprem davranış üzerindeki

etkilerini, taban kesme kuvveti, periyot, yer deęiřtirme ve yumuřak kat dűzensizlięi katsayısı gibi parametreler űzerinden incelemiřtir.

2. SAYISAL ALIřMA

2.1 Yűntem

Bu çalıřmada, incelenen yapıların dűřeme kalınlıkları TS 500’de belirtilen sınır kořullara gűre hesaplanmıřtır. Tűm dűřemeler, planda eřit boyutlara sahip olup, iki doęrultuda çalıřan kiriřli dűřeme sistemine sahiptir. Ayrıca, her dűřeme her iki doęrultuda da aynı kenar uzunluęuna sahiptir ($m=1$). En olumsuz durumda olduęu kabul edilerek, planda kűře dűřemesi baz alınarak kalınlık hesabı yapılmıřtır. (1) numaralı eřitlik kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda dűřeme kalınlıęı (h_f) 120 mm olarak bulunmuřtur.

$$h_f \geq \left(\frac{l_{kn}}{15 + (20/m)} \right) \times \left(1 - \frac{as}{4} \right) \quad (1)$$

Burada; l_{kn} : dűřemenin kısa doęrultudaki serbest açıklıęı, m : dűřemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı, as : sűrekli kenar uzunluęunun dűřeme çevresine oranıdır.

Çalıřmada, doęrusal analiz yűntemlerinden biri olan Eřdeęer Deprem Yűkű Yűntemi kullanılmıřtır. Dűřey yűkler, kiriřlere etki eden duvar yűkleri (6,474 kN/m), dűřemelere etki eden yűkler, kaplama yűkleri (1,46 kN/m²) ve yapının kullanım amacına gűre TS 498’e uygun olarak belirlenen hareketli yűk (2,00 kN/m²) dikkate alınarak hesaplanmıřtır. Çalıřmada ele alınan model yapıların konumu Serdivan Belediyesi Mevkii olarak belirlenmiř, tasarım deprem yer hareketi dűzeyi olarak DD-2 seçilmiřtir. Ayrıca, ZD yerel zemin sınıfına uygun ivme katsayıları Tűrkiye Deprem Tehlike Haritaları Web Uygulamasından alınarak kullanılmıřtır. Deprem yűkleri, hem X hem de Y doęrultusunda $\pm 0,05$ eksantrisite ile yapıya etkilenmiřtir. Eřdeęer Deprem Yűkű Yűntemi ile gerçekleřtirilen analizlerde kullanılan veriler, Tablo 1’de sunulmuřtur.

Çizelge 1. Hesaplarda Kullanılan Veriler

Deprem dűzeyi sınıfı	DD-2
Konum	Enlem: 40,772084° ; Boylam: 30,363229°
Kullanım amacı	Konut + İşyeri
Yerel zemin sınıfı	ZE
Sűneklilik dűzeyi	Yűksek
S_s	1,598
S_1	0,438
F_s	0,799
F_1	2,324
$S_{DS} = S_s \times F_s$	$1,598 \times 0,799 = 1,278$
$S_{D1} = S_1 \times F_1$	$0,438 \times 2,324 = 1,018$
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R	8
Dayanım fazlalığı katsayısı, D	2,5

Bina önem katsayısı, (I)	1
Konum	Serdivan Belediyesi

Bu yöntemde; örnek olarak X doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) $V_{te}^{(X)}$, azaltılmış tasarım spektral ivmesi ve yapının deprem hesabına esas ağırlığının çarpılması ile belirlenmektedir (Denklem 2):

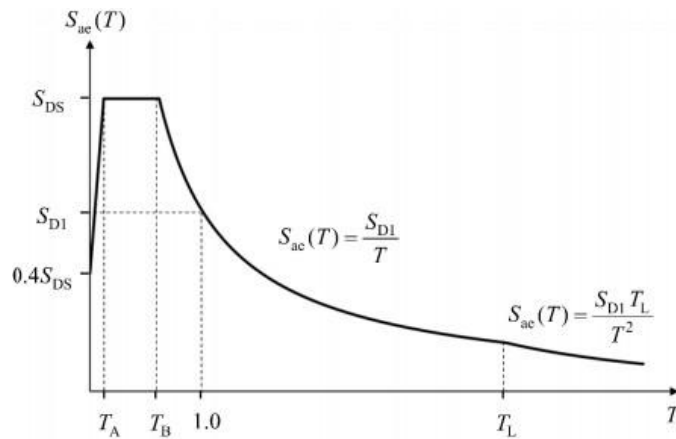
$$V_{te}^{(X)} = m_t S_{aR} (T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \quad (2)$$

Burada; m_t deprem hesabına esas yapı ağırlığını, SDS tasarım spektral ivme katsayısını ve g yer çekimi ivmesini göstermektedir. Diğer taraftan; göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ kullanılarak hesaplanan $S_{aR} (T_p^{(X)})$, Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi olup, Denklem 3'te verilmiştir:

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3)$$

$S_{ae}(T)$ ise Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi (g) olup, (4) eşitliği ile hesaplanır (Şekil 1):

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right] S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) & S_{ae}(T) &= S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) & S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (4)$$



Görsel 1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Eğrisi

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ ise (5) eşitliği ile şöyle hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} R_a(T) &= \frac{R}{I} & (T > T_B) \\ R_a(T) &= D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} & (T \leq T_B) \end{aligned} \quad (5)$$

Buradaki T, göz önüne alınan deprem doğrultusunda (X) yapının doğal titreşim periyodunu ifade eden $T_p^{(X)}$, tir olup, (6) eşitliği ile elde edilir:

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2}$$

(6)

Eşitlikte; $F_{fi}^{(X)}$ i'inci kata etki ettirilen fiktif yükü [kN], $d_{fi}^{(X)}$ i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yer değiştirmeyi [m], m_i ise i'inci kat döşemesinin toplam kütesini göstermektedir.

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'nci kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı (η_{ki}) (Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı) (7) eşitliğinde gösterilmiştir:

$$[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{ort} \text{ veya } \eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{ort}] \quad (7)$$

Burada: $\Delta_i^{(x)}$, X doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden *azaltılmış görel kat ötelemesini* ifade eder. h_i ise ilgili katın yüksekliğidir.

2.2 Model Tipleri ve Çalışmanın Kısıtları

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapı analizi gerçekleştirilmiş. Beton ve donatı çeliği özellikleri SAP2000 programında tanımlanmış. Asma kat yükseklikleri sabit tutularak, her birinde döşeme boşluklarının farklı olduğu beş farklı model tasarlanmıştır.

Kolon ve kirişler, çubuk elemanlar olarak modellenmiş ve etkin kesit rijitlikleri, ilgili yönetmeliklere uygun olarak hesaplanmıştır. Döşemeler, ölü ve hareketli yüklerin kirişlere aktarılabilmesi amacıyla membran elemanlar olarak tanımlanmıştır. Perdeler ise, etkin rijitlik çarpanlarıyla birlikte shell-thin elemanlar olarak oluşturulmuştur.

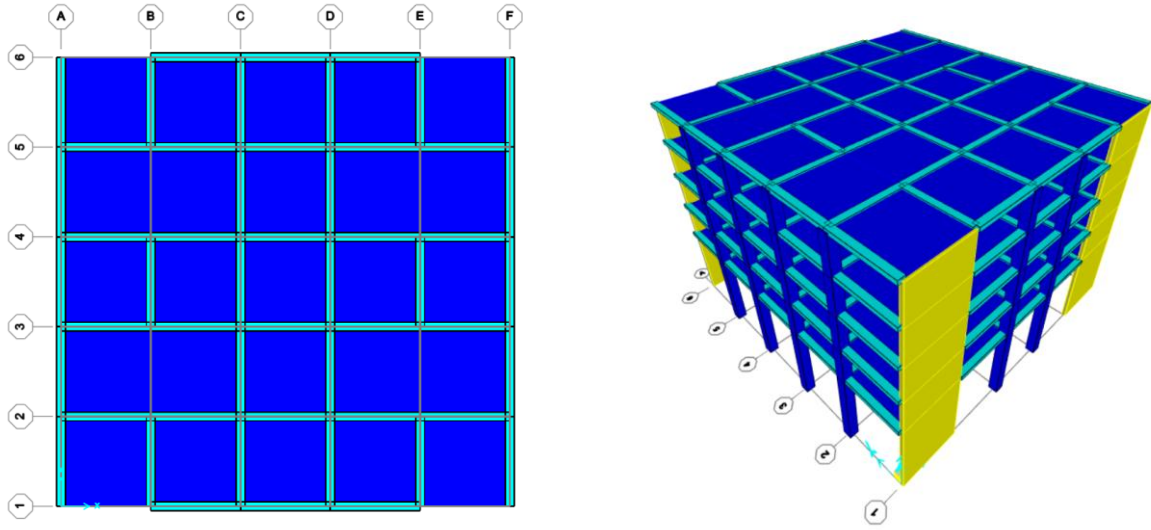
Yapının üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve perde elemanları hem yatay hem düşey ekseninde ortalama 70 cm civarında sonlu elemana bölünmüş. Zemin kattaki kolon ve perde elemanlarının alt uçları ankastre mesnetle tanımlanarak temel bağlantısı atanmış. Yapının bütün katları için rijit diyafram kabul edilmiş.

Çizelge 2. Sayısal Çalışmada Kullanılan Veriler

Beton sınıfı	C25
Donatı sınıfı	B420C
Kiriş kesit boyutları (mm x mm)	300 x 500
Kolon kesit boyutları (mm x mm)	710 x 710

Perde boyutları (mm x mm)	30 cm x 540 cm
Kolon donatıları	Boyuna donatı: 16 Ø 20, Etriye : Ø 8/20/10
Kiriş donatıları	2 Ø 12 üstte, 3 Ø 12 altta
Döşeme kalınlığı (mm)	120
Kat adedi	Zemin kat + 4 Normal Kat
X ve Y yönündeki açıklık adedi	5 / 5
Bütün aksların açıklıkları	5,10 m

Çalışma kapsamında oluşturulan beş tipteki modellerin, kat planları ve zemin kat yükseklikleri 3.5 metre olan 3 boyutlu görünümü aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

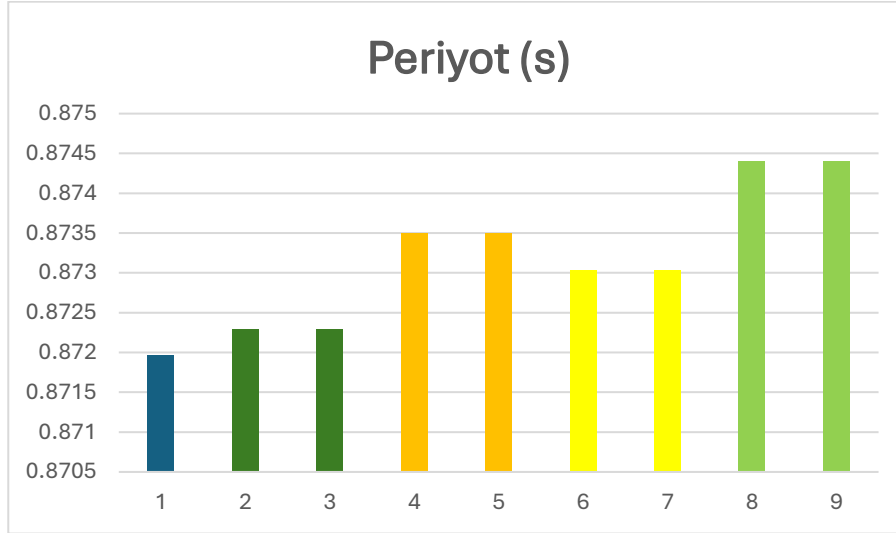


Görsel 2. Yapı Modeli

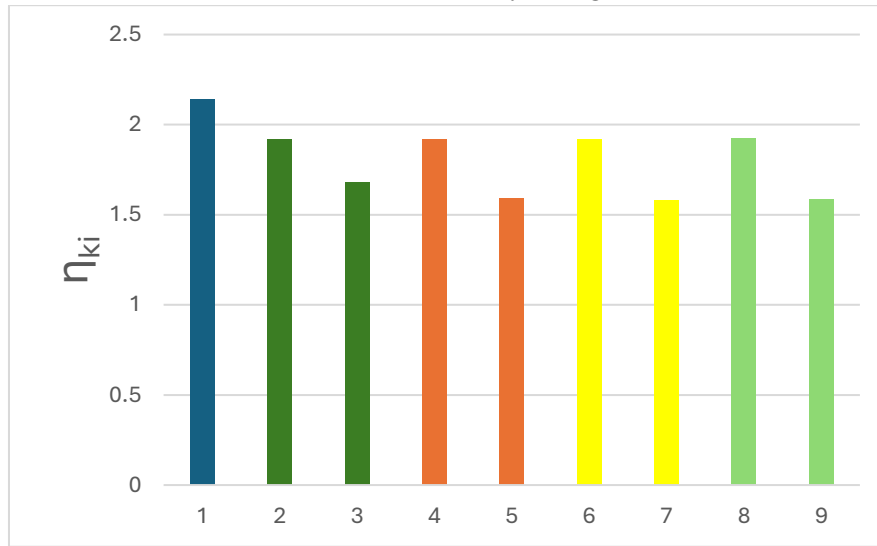
3. SAYISAL SONUÇLAR

Sap2000 programı ara yüzü yardımıyla üç boyutlu modellenen aynı tip asma kat döşeme boşluklarına bağlı 5 yapının, Tablo 1 ve Tablo 2’de tanımlanan veriler kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları aşağıda irdelenmiştir:

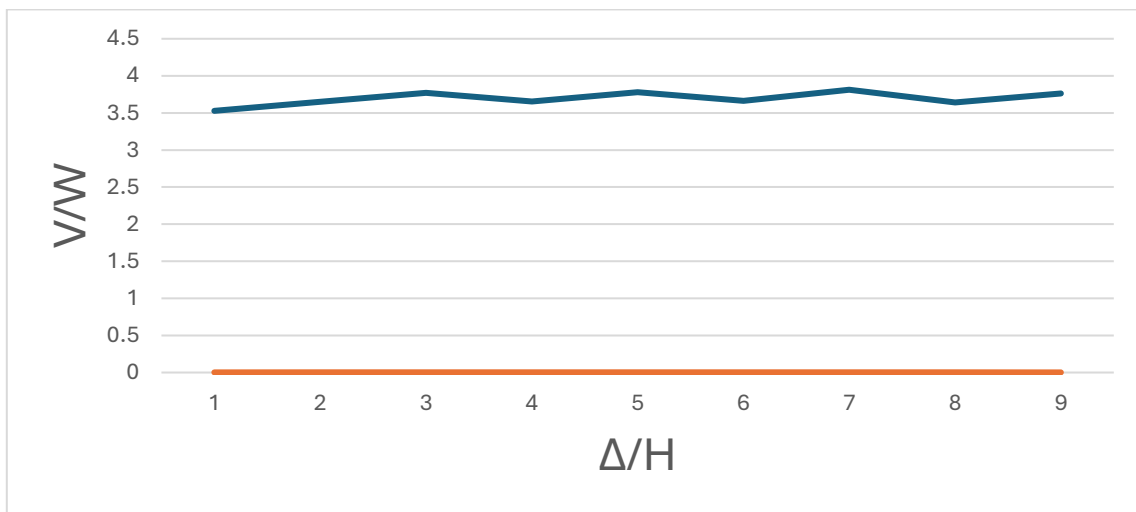
Modellenen yapıların asma kat döşeme boşluklarının değişimi ile birlikte analiz sonuçlarından elde edilen yapısal davranışlarını daha ayrıntılı bir biçimde gözlemlemek için; periyot değişimine ait grafik, yumuşak kat düzensizliği katsayısının değişimine ait grafik ve son olarak kesme kuvveti taşıma kapasitesi değişimine ait grafikler gösterilmiştir.



Görsel 3. Modelin Periyot Değişimi



Görsel 4. Modelin η_{ki} Değişimi



Görsel 5. Modelin Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi Değişimi

4. SONUÇLAR VE ÇIKARIMLAR

Yapılan analizler sonucunda, asma kat döşeme boşluklarının farklılaşmasının yapısal davranış üzerinde belirgin etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan Sap2000 programı aracılığıyla üç boyutlu olarak modellenen 5 yapının, asma kat döşeme boşluklarının değişimi ile birlikte elde edilen analiz sonuçları, yapıların performansına dair önemli bulgular sunmaktadır.

Periyot Değişimi: Asma kat döşeme boşluklarının büyüklüğünün artmasıyla birlikte, yapıların doğal periyotlarında belirgin bir değişim gözlemlenmiştir. Yüksek boşluklara sahip yapılar, düşük boşluklara sahip olanlara kıyasla daha uzun periyotlara sahip olmuş, bu da yapıların sismik etkiler karşısındaki tepki sürelerini uzatmıştır. Bu durum, yapıların daha büyük titreşimler yapmasına neden olabilir, bu da özellikle büyük depremler sırasında yapısal güvenliği tehdit edebilir.

Yumuşak Kat Düzensizliği Katsayısı: Asma kat boşluklarının arttığı yapılar için yumuşak kat düzensizliği katsayısında da artışlar görülmüştür. Bu durum, yapıların özellikle yatay yükler altındaki rijitliğini azaltarak, deprem gibi dinamik yükler altında daha fazla deformasyona uğramalarına yol açmaktadır. Yapılarda bu tür düzensizliklerin önceden tespit edilmesi ve uygun mühendislik çözümleriyle iyileştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi: Asma kat döşeme boşluklarının etkisiyle yapıların kesme kuvveti taşıma kapasitesinde de düşüşler gözlemlenmiştir. Boşlukların arttığı durumlarda, taşıma kapasitesinin azalması, yapının yer değiştirme yeteneğini kısıtlayarak olası hasarları artırmaktadır. Bu nedenle, asma kat boşluklarının boyutlarının ve yerlerinin dikkatli bir şekilde tasarlanması, yapıların taşıma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir.

Sonuç olarak, asma kat döşeme boşluklarının yapısal davranış üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması, daha güvenli ve optimize edilmiş yapı tasarımlarının yapılmasına olanak tanıyacaktır. Yumuşak kat düzensizliği ve taşıma kapasitesi gibi faktörler, sismik güvenliği artırmak amacıyla yapıların tasarım aşamasında dikkate alınmalı, bu tür boşlukların etkileri minimize edilmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 1997.
- [2] BAYÜLKE, N., *Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar*, Teknik Yayınevi, Ankara, 1998.
- [3] TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Şubat 2000.
- [4] ÇİZMECİOĞLU, M.F.T., *Betonarme okul binalarında depreme karşı güçlendirme sonrası kolon+perde kesit alan oranlarının karşılaştırılması*, Y.Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.
- [5] AKYILDIZ, H., *Betonarme bir yapının güçlendirme öncesi ve sonrası yapı performansının incelenmesi*. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.
- [6] Sinan E., *Betonarme Yapıların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2012.
- [7] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Ankara, 2018.
- [8] Kasap, H., Özyurt, M., Z., Küçük, U., *Betonarme Yapılarda Perde Yeri Seçiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi*, Natural Hazards And Disaster Management, 899-907, May,6-4, 5,2018.
- [9] *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, AFAD, 2018.
- [10] Yaman, S., Tekeli, H., Demir, F., *Perdeli-Çerçeve Binalarda Perde Duvarların Moment Zorlanması Hesabı İçin Basit Bir Yaklaşım*, 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 814-823, November, 9, 11, 2018.
- [11] Gülnur K., *Betonarme Yapıda Perde Yeri Seçiminin Yapısal Davranışa Etkisinin TBDY (2018) ve DBYBHY (2007) Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2019.
- [12] Yaman, S., Tekeli, H. & Demir, F. (2019). Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 194204.

- [13] Aktan, S., Kır  , N., Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 23 (1), 15-32, June, 30, 6, 2020.
- [14] Ali B., Betonarme Perdelerin Plandaki Yerle imlerinin Kiri siz D  emeli Yapılara Etkisinin  ncelenmesi, Teknik Dergi, 2020 9733-9753, Yazı 564.
- [15] Asiye K., Metin Hakan S., Farklı Tip Betonarme Yapıların Paket Programlar İle Analizi ve Karşılaştırılması, Black Sea Journal of Engineering and Science Open Access Journal Cilt 1- Sayı 2: 41-50.

PERDELERİ PLANDA DIŞ VE ORTA BÖLÜMLERDE BULUNAN YAPILARDA FARKLI TİPLERDEKİ ASMA KAT YÜKSEKLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ

Doç. Dr. Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

ozyurt@sakarya.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1593-4581>

Öğrenci Akhror DADAMATOV

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

akhror.dadamatov@ogr.sakarya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-8826-321X>

ÖZET

Türkiye'nin büyük bir bölgesi, yüksek deprem riski taşıyan fay hatlarıyla çevrili olup, nüfusun büyük bir kısmı bu fay hatlarına yakın bölgelerde yaşamaktadır. Bu durum, betonarme yapıların en güvenli ve en ekonomik şekilde optimum performans sergilemesini gerektirmektedir. Betonarme yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların oluşturduğu sabit ve hareketli yükler düşey yükleri meydana getirirken, aynı zamanda bu yapılar yatay yükler altında da yeterli dayanımı gösterebilmelidir. Depremler, yapı güvenliğini etkileyen en kritik unsurlardan biri olup, önemli yatay yükler meydana getirir. İnşaat tekniklerindeki gelişmelerle birlikte, konut ve ticari alanların tek bir yapıda birleştirildiği karma yapıların kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada, zemin katında asma kat bulunan yapıların deprem davranışları incelenmiş ve gelecekte bu tür betonarme çerçeveli çok katlı yapıların tasarımına yönelik bir kaynak oluşturulması hedeflenmiştir. Farklı asma kat tiplerine sahip yapıların analizleri yapılmış ve bu farklılıkların deprem performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, model yapıların normal kat yükseklikleri 3 metre, zemin kat yükseklikleri 6,5 metre olarak belirlenmiş; asma kat yükseklikleri ise her bir tip için iki farklı şekilde, 3,5-3 metre ve 4-2,5 metre olarak tasarlanmıştır. Asma katlar, B ve D olmak üzere iki farklı tipte oluşturulmuştur. Verilen örneklerle dayanarak toplamda 4 farklı model geliştirilmiş ve bu modeller SAP2000 programı kullanılarak üç boyutlu şekilde modellenmiştir. Taşıyıcı elemanlar TBDY 2018'e göre minimum sınırları sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Yapıların analizi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda analizlerden elde edilen veriler kullanılarak; modellenen yapıların; hâkim periyodu, yumuşak kat düzensizliği, "taban kesme kuvvetleri- tepe noktası yer değiştirmesi" grafikleri çizilerek, model yapıların yapısal davranışları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Perdeli-Çerçeveli Yapı, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Yapısal Davranış.

1. GİRİŞ

Deprem yükleri altında yapıların güvenli tasarımı, mühendislik uygulamalarında en önemli konulardan biridir. Özellikle, betonarme çerçevesi yapılar da zemin kat asma kat düzenlemelerinin, yapının genel dinamik davranışına olan etkisi oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Plan düzleminde perde elemanlarının yerleşim konumları (dış, orta) ve asma kat yüksekliklerinde yapılan değişiklikler, yapının deprem performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bağlamda, zemin kat yüksekliği ve asma kat düzenlemelerinin neden olduğu yumuşak kat düzensizlikleri ve bu düzensizliklerin taban kesme kuvvetleri ile yapısal davranış üzerindeki etkilerinin incelenmesi büyük bir önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, farklı asma kat yüksekliklerine ve perde yerleşim tiplerine sahip betonarme çerçevesi yapıların deprem davranışları değerlendirilmiş, bu tür yapıların tasarımına yönelik rehber bilgiler sağlanması amaçlanmıştır. Farklı tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen bu analizler, gelecekteki mühendislik projeleri için bir kaynak niteliğinde olup yapı güvenliğinin artırılmasına katkı sunmayı hedeflemektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, aynı kat yüksekliklerine sahip yapıların zemin katında asma kat tipleriyle oluşturulan döşeme boşluklarının yapıların deprem davranışına olan etkisini incelemektedir. Analizler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ve Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen yapıların döşeme sistemi kirişli döşemedir ve perdelerin en-kesit boyutları 300 mm x 5400 mm olarak belirlenmiştir. Burulma düzensizliğini önlemek için perdeler planda her iki yönde simetrik olarak yerleştirilmiştir. Yapı analizinde Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda; analizlerden elde edilen periyotlara ait sonuçlar karşılaştırılarak irdelenmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, köşelerinde betonarme perdeler bulunan ve asma kat düzenlemesine sahip 5 katlı işyeri ve konut yapılarının davranışlarını analiz etmeyi amaçlamaktadır. Analizler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen yapıların döşeme sistemi kirişli döşeme olup, perdelerin enkesit boyutları 300 mm x 5400 mm olarak tasarlanmıştır. Burulma düzensizliğini önlemek adına, perdeler planda her iki yönde simetrik bir şekilde yerleştirilmiştir. Farklı asma kat yüksekliklerine göre dört ayrı model oluşturulmuş ve bu modeller SAP2000 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca giriş katın farklı kullanım türleri (garaj, işyeri, konut, sanayi) dikkate alınmış ve giriş kat yüksekliği iki farklı yükseklikte (3 m ve 2,5 m) değerlendirilmiştir. Tüm yapı modelleri, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analiz edilmiş ve sonuçlar, asma kat ile giriş kat yüksekliğindeki değişimlerin taban kesme kuvveti, periyot, yer değiştirme değerleri ve yumuşak kat düzensizliği katsayısı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

2. SAYISAL ÇALIŞMA

2.1 Yöntem

Bu çalışmada incelenen yapıların döşeme kalınlıkları, TS 500’de belirtilen sınır şartlara uygun olarak hesaplanmıştır. Tüm döşemeler, planda birbirine eş boyutlara sahip ve çift doğrultuda çalışan kirişli döşeme sisteminden oluşmaktadır. Ayrıca, her döşemenin iki doğrultuda da kenar uzunlukları eşittir ($m=1$). En olumsuz durumu temsil etmesi nedeniyle hesaplamalar, plandaki köşe döşemesi esas alınarak yapılmıştır. Döşeme kalınlığı (h_f), TS 500’e göre belirlenen (1) eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve 120 mm olarak tespit edilmiştir.

$$h_f \geq \left(\frac{l_{kn}}{15 + (20/m)} \right) \times \left(1 - \frac{as}{4} \right) \quad (1)$$

Burada; l_{kn} : döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığı, m : döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı, as : sürekli kenar uzunluğunun döşeme çevresine oranıdır.

Çalışmada, doğrusal analiz yöntemlerinden biri olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi tercih edilmiştir. Düşey yükler; kirişlere aktarılan duvar yükleri (6,474 kN/m), döşeme yükleri, kaplama yükleri (1,46 kN/m²) ve yapının kullanım amacına uygun olarak TS 498 standardına göre belirlenmiş hareketli yükler (2,00 kN/m²) esas alınarak belirlenmiştir. İncelenen model yapılar, Serdivan Belediyesi Mevkii’nde konumlandırılmış olup, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve yerel zemin sınıfı ZE olarak kabul edilmiştir. Gerekli ivme katsayıları, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Web Uygulaması kullanılarak elde edilmiştir. Deprem yükleri, yapıya hem X hem de Y doğrultularında $\pm 0,05$ eksantrisite ile uygulanmıştır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle gerçekleştirilen analizlerde kullanılan veriler, Tablo 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Hesaplarda Kullanılan Veriler

Deprem düzeyi sınıfı	DD-2
Konum	Enlem: 40,772084° ; Boylam: 30,363229°
Kullanım amacı	Konut + İşyeri
Yerel zemin sınıfı	ZE
Süneklik düzeyi	Yüksek
S_s	1,598
S_1	0,438
F_s	0,799
F_1	2,324
$S_{DS} = S_s \times F_s$	$1,598 \times 0,799 = 1,278$
$S_{D1} = S_1 \times F_1$	$0,438 \times 2,324 = 1,018$
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R	8
Dayanım fazlalığı katsayısı, D	2,5
Bina önem katsayısı, (I)	1
Konum	Serdivan Belediyesi

Bu yöntemde; örnek olarak X doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) $V_{IE}^{(X)}$, azaltılmış tasarım spektral ivmesi ve yapının deprem hesabına esas ağırlığının çarpılması ile belirlenmektedir (Denklem 2):

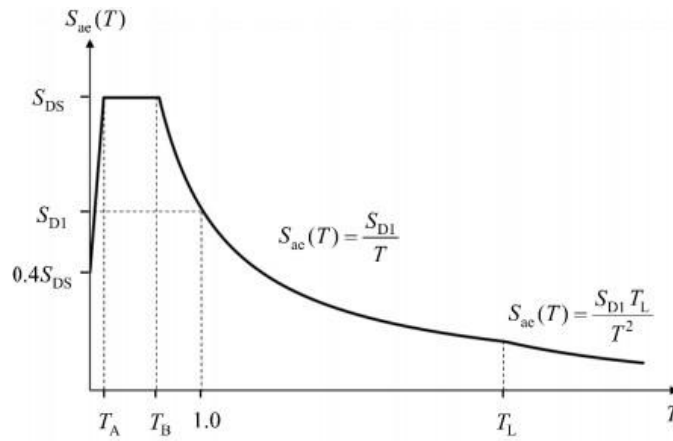
$$V_{IE}^{(X)} = m_t S_{aR} (T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \quad (2)$$

Burada; m_t deprem hesabına esas yapı ağırlığını, SDS tasarım spektral ivme katsayısını ve g yer çekimi ivmesini göstermektedir. Diğer taraftan; göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ kullanılarak hesaplanan $S_{aR} (T_p^{(X)})$, Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi olup, Denklem 3’te verilmiştir:

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3)$$

$S_{ae}(T)$ ise Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi (g) olup, (4) eşitliği ile hesaplanır (Şekil 1):

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right] S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) & S_{ae}(T) &= S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) & S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (4)$$



Görsel 1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Eğrisi

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ ise (5) eşitliği ile şöyle hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} R_a(T) &= \frac{R}{I} \quad (T > T_B) \\ R_a(T) &= D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad (T \leq T_B) \end{aligned} \quad (5)$$

Buradaki T, göz önüne alınan deprem doğrultusunda (X) yapının doğal titreşim periyodunu ifade eden $T_p^{(X)}$, tir olup, (6) eşitliği ile elde edilir:

$$T_P^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2}$$

(6)

Eşitlikte; $F_{fi}^{(X)}$ i'inci kata etki ettirilen fiktif yükü [kN], $d_{fi}^{(X)}$ i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yer değiştirmeyi [m], m_i ise i'inci kat döşemesinin toplam kütesini göstermektedir.

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'nci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı (η_{ki}) (Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı) (7) eşitliğinde gösterilmiştir:

$$[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{\text{ort}} \text{ veya } \eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{\text{ort}}] \quad (7)$$

Burada: $\Delta_i^{(x)}$, X doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden *azaltılmış görelî kat ötelemesini* ifade eder. h_i ise ilgili katın yüksekliğidir.

2.2 Model Tipleri ve Çalışmanın Kısıtları

Bu çalışmada yapı analizi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SAP2000 yazılımında beton ve donatı çeliği özellikleri tanımlanmış, farklı asma kat yükseklikleri ile aynı kat planlarına sahip dört farklı model oluşturulmuştur.

Kolon ve kirişler çubuk eleman olarak modellenmiş ve etkin kesit rijitlikleri ilgili yönetmeliklere uygun şekilde hesaplanmıştır. Döşemeler, ölü ve hareketli yükleri kirişlere iletmek amacıyla membran elemanlar olarak tanımlanmış, perdeler ise shell-thin elemanlar kullanılarak modellenmiş ve etkin rijitlik çarpanları dikkate alınarak tanımlanmıştır.

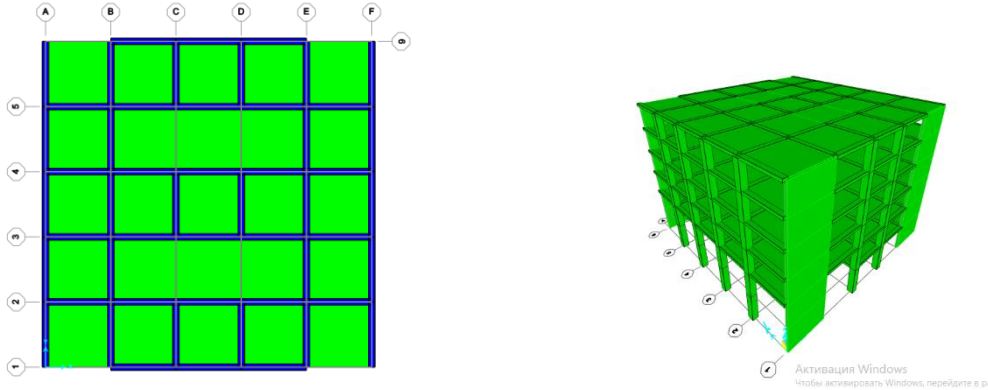
Yapının üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve perde elemanları, hem yatay hem de düşey eksenlerde yaklaşık 70 cm boyutlarında sonlu elemanlara ayrılmıştır. Zemin kattaki kolon ve perde elemanlarının alt uçları ankastre mesnet olarak tanımlanmış ve temel bağlantıları atanmıştır. Tüm katlar için rijit diyafram varsayımı yapılmıştır.

Çizelge 2. Sayısal Çalışmada Kullanılan Veriler

Beton sınıfı	C25
Donatı sınıfı	B420C
Kiriş kesit boyutları (mm x mm)	300 x 500
Kolon kesit boyutları (mm x mm)	710 x 710
Perde boyutları (mm x mm)	30 cm x 540 cm
Kolon donatıları	Boyuna donatı: 16 Ø 20, Etriye : Ø 8/20/10

Kiriş donatıları	3 Ø 12 üstte, 3 Ø 12 altta
Döşeme kalınlığı (mm)	120
Kat adedi	Zemin kat + 4 Normal Kat
X ve Y yönündeki açıklık adedi	5 / 5
Bütün aksların açıklıkları	5,10 m

Çalışma kapsamında oluşturulan dört tipteki modellerin, kat planları ve zemin kat yükseklikleri 3 metre ve 2,5 metre olan 3 boyutlu görünimleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

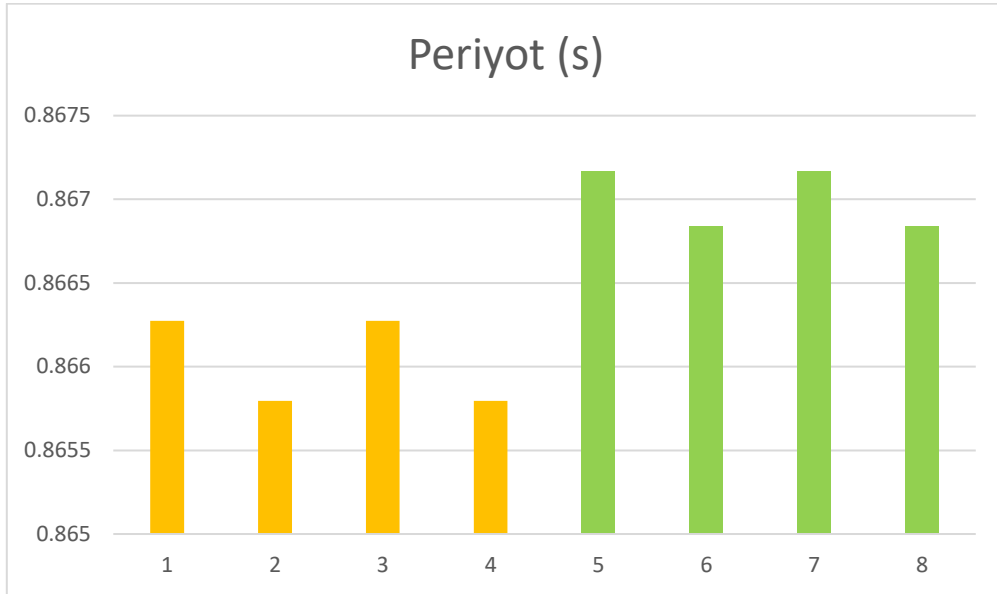


Görsel 2. Yapı Modeli

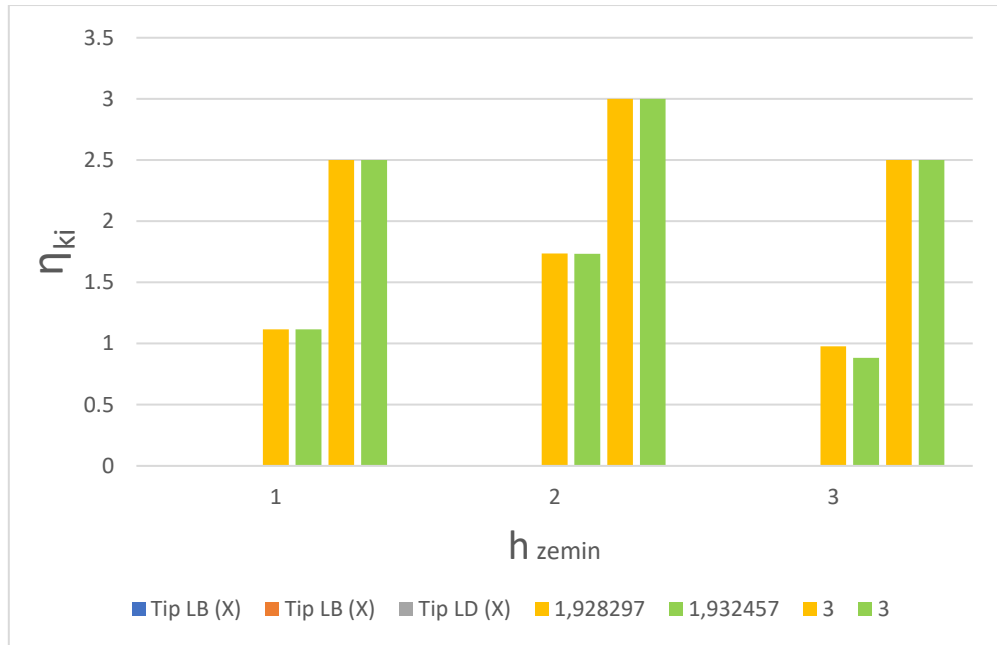
3. SAYISAL SONUÇLAR

Sap2000 programı ara yüzü yardımıyla üç boyutlu modellenen farklı tip asma kat yüksekliklerine bağlı değişen zemin kat yükseklikleri 6,5 yapının, Tablo 1 ve Tablo 2’de tanımlanan veriler kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları aşağıda irdelenmiştir:

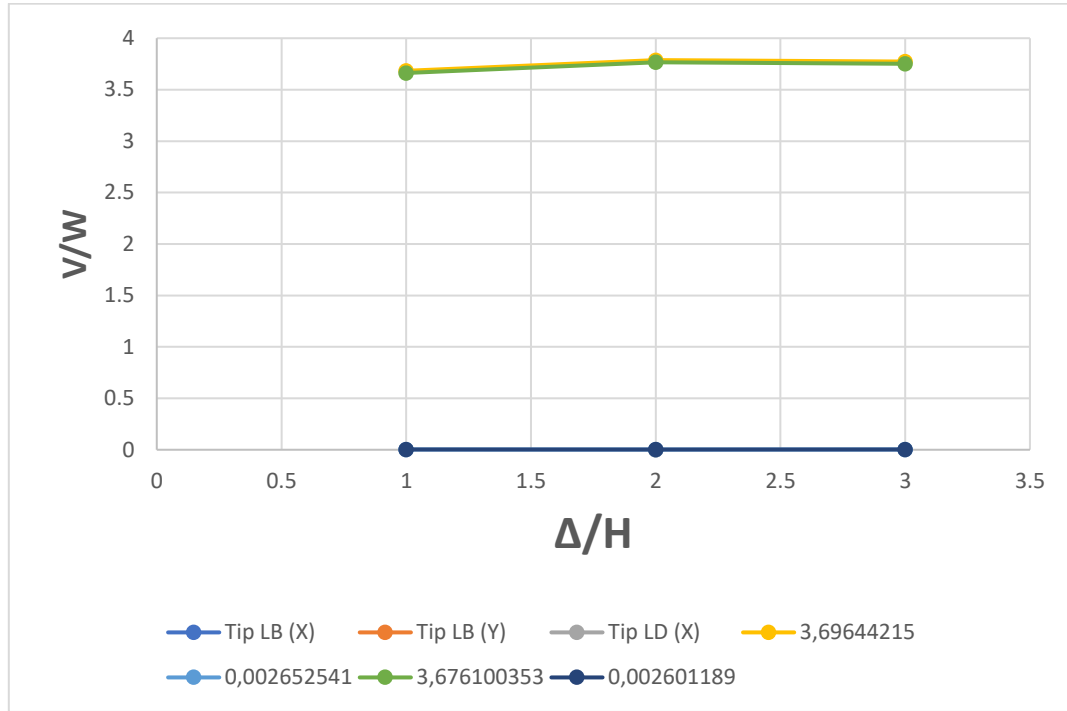
Modellenen yapıların zemin kat yüksekliğinin değişimi ile birlikte analiz sonuçlarından elde edilen yapısal davranışlarını daha ayrıntılı bir biçimde gözlemlemek için; periyot değişimine ait grafik, yumuşak kat düzensizliği katsayısının değişimine ait grafik ve son olarak kesme kuvveti taşıma kapasitesi değişimine ait grafikler gösterilmiştir.



Görsel 3. Modelin Zemin Kat Yüksekliği-Periyot Değişimi



Görsel 4. Modelin Zemin Kat Yüksekliği- η_{ki} Değişimi



Görsel 5. Modelin Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi Değişimi

4. SONUÇLAR VE ÇIKARIMLAR

Yapılan analizler sonucunda elde edilen verilere göre, yapıların hâkim periyotlarının asma kat yüksekliğine bağlı olarak küçük farklılıklar gösterdiği, ancak zemin kat yüksekliği arttıkça tüm modellerin periyot değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. İncelenen modeller arasında, D tipi modelin her iki zemin kat yüksekliği durumunda da en yüksek periyot değerine sahip olduğu, en düşük periyot değerinin ise B tipi modelde gözlemlendiği belirlenmiştir. Yumuşak kat düzensizliği incelendiğinde, tüm modellerin benzer oranlarda düzensizlik katsayısına sahip olduğu görülmüş, asma kat yüksekliğinin giriş kat yüksekliğine yaklaştıkça düzensizlik değerinin azaldığı anlaşılmıştır.

Tepe noktası yer değiştirme açısından yapılan değerlendirmelerde, zemin kat yüksekliği arttığında tüm modellerde tepe noktası yer değiştirme miktarının yükseldiği belirlenmiştir. Daha düşük zemin kat yüksekliği durumunda ise periyot değerlerinin daha düşük olduğu ve buna bağlı olarak tepe noktası yer değiştirme miktarının da azaldığı tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, İnşaat Mühendisleri Odası

İzmir Şubesi 1997.

- [2] Ali B., Betonarme Perdelerin Plandaki Yerleşimlerinin Kirişsiz Döşemeli Yapılara Etkisinin İncelenmesi, Teknik Dergi, 2020 9733-9753, Yazı 564.
- [3] Aktan, S., Kırac, N., Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 23 (1), 15-32, June, 30, 6, 2020.
- [4] AKYILDIZ, H., *Betonarme bir yapının güçlendirme öncesi ve sonrası yapı performansının incelenmesi*. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.
- [5] Asiye K., Metin Hakan S., Farklı Tip Betonarme Yapıların Paket Programlar İle Analizi ve Karşılaştırılması, Black Sea Journal of Engineering and Science Open Access Journal Cilt 1- Sayı 2: 41-50.
- [6] BAYÜLKE, N., *Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar*, Teknik Yayınevi, Ankara, 1998.
- [7] ÇİZMECİOĞLU, M.F.T., *Betonarme okul binalarında depreme karşı güçlendirme sonrası kolon+perde kesit alan oranlarının karşılaştırılması*, Y.Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007.
- [8] Gülnur K., *Betonarme Yapıda Perde Yeri Seçiminin Yapısal Davranışa Etkisinin TBDY (2018) ve DBYBHY (2007) Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2019.
- [9] Kasap, H., Özyurt, M., Z., Küçük, U., *Betonarme Yapılarda Perde Yeri Seçiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi*, Natural Hazards And Disaster Management, 899-907, May, 6-4, 5, 2018.
- [10] Sinan E., *Betonarme Yapıların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2012.
- [11] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Ankara, 2018.
- [12] *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, AFAD, 2018.
- [13] TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Şubat 2000.

- [14] Yaman, S., Tekeli, H. & Demir, F. (2019). Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 194204.
- [15] Yaman, S., Tekeli, H., Demir, F., *Perdeli-Çerçeveli Binalarda Perde Duvarların Moment Zorlanması Hesabı İçin Basit Bir Yaklaşım*, 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 814-823, November, 9, 11, 2018.

MOMENT END-PLATE CONNECTION: BASIC FUNDEMENTALS OF DESIGN PROCEDURE

Prof. Dr. Tugrul TALASLIOGLU

Osmaniye Korkut Ata Univ., Engineering and Natural Sciences Fac., Civil Eng. Dep.
ttalaslioglu@osmaniye.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8075-4130>

ABSTRACT

A moment end-plate connection (MEPC) consists of a steel plate welded to the end of a beam and attached to another member using rows of fully tensioned, high-strength bolts. These connections can be flush and extended and are classified based on the bolt arrangements and stiffeners. Flush connections are compact suitable for light lateral loads. Extended connections have plates extending beyond the tension flange, allowing bolts outside the flanges and optionally using stiffeners for greater strength. This study considers the extended end plate-moment connections in a way of firstly separating the its fundamental components and then examining them as a unified-single connection in a chronological order. Thus, the advantages and disadvantages of moment end-plate-moment connections are correspondingly laid out in a way of including an introduction of their governing jargon terms.

Key Words: End-Plate, Moment Connection, Design

1. INTRODUCTION

MEPC typically consists of a welded steel plate and fully-tensioned bolts. These connections can either join two beams (splice plate connection) or a beam and a column. Moment end-plate connections are categorized as flush and/or extended and further classified based on the number of bolts at the tension flange.

Flush Connections: A flush connection is shorter designed in compared with extended one (See Figure 1). These connections are generally used in frames subjected to no severe loading conditions.

Extended Connections: An extended connection features an end plate allowing bolts to be located outside the beam flanges (See Figure 2). Extended plates can include a stiffener. These connections are mainly used for beam-to-column moment connections.

A significant body of literature exists on the moment end-plate connections, with publications spanning over 40 years



Figure 1 Unstiffened (a) and Stiffened (b) Flush End-Plate Moment



Figure 2 Unstiffened (a) and Stiffened (b) Extended End-Plate Moment Connection

2. MATERIAL AND METHOD

This section tackles the fundamentals of design procedure. In this regard, the computing steps of design procedure are generated thereby taking into account of the main components of MEPC: end plate, bolt, column and modelling and analysis of MEPC

2.1. End Plate Design

The design of MEPC has evolved significantly since the 1950s, transitioning from basic static methods to advanced analytical approaches.

MEPC are integral in steel structures, facilitating the transfer of moments between beams and columns. Over the decades, design procedures have been refined to enhance efficiency and safety. This review traces the evolution of these design methodologies, from early static-based approaches to contemporary techniques incorporating *yield-line theory*.

Initial design methods in the 1950s relied on static principles with simplifying assumptions about **prying forces**. These approaches often led to the specification of thick end plates and large-diameter bolts to ensure safety.

Subsequent research introduced yield-line theory to better predict end-plate behavior. This method provided a more nuanced understanding of failure mechanisms, allowing for optimized designs with thinner plates and appropriately sized bolts.

Murray (1988) provided an extensive overview of existing literature and design methods for both flush and moment end-plate configurations, including **column-side limit states** [1]. In 1990,

Graham (1993) reviewed existing design methods and recommended **a limit state design** approach [2].

Murray and Shoemaker (2002) presented a guide for designing the moment end-plate connections, including provisions for various configurations [2]. The guide employed a unified design procedure based on yield-line analysis and a modified method for determining bolt forces. Furthermore, after this, it was also introduced a unified method for designing moment MEPC configurations subject to cyclic/seismic loading. A yield-line theory is used to predict end-plate and column flange strength and validated the method against ninety MEPC tests, achieving good correlation with experimental results.

2.2. Bolt Design

The design of bolts in MEPC has been extensively studied, with a primary focus on understanding and predicting prying forces. Early research utilized **the tee-stub analogy** to model bolt behavior, leading to various predictive methods. Over time, these methods have evolved, incorporating advanced techniques such as finite element analysis (FEA) to enhance accuracy.

Initial investigations into bolt behavior in end-plate connections employed the tee-stub analogy, modeling the connection as a T-shaped component under tension. In the beginning of research, Researchers conducted foundational studies to evaluate bolt forces, including the effects of prying. These studies assumed that prying forces acted near the edge of the end plate, leading to conservative designs with thick plates and large-diameter bolts.

Building upon the tee-stub analogy, various methods were proposed to predict bolt forces more accurately:

Kennedy et al. (1981) introduced a design procedure identifying three stages [3]. i) Elastic Behavior: At low loads, the flange plate behaves elastically, with no significant prying forces, ii) Intermediate Thickness: As load increases, a plastic hinge forms at the base of the tee stem, introducing prying forces iii) Thin Plate Behavior: Further loading leads to a second plastic hinge at the bolt line, maximizing prying forces.

Fleischman et al. (1991) studied moment end-plate connections finding that while the initial stiffness was slightly lower compared to **fully tensioned bolts**, ultimate strength remained unchanged [2]. Murray et al. (1992) investigated end-plate connections with **snug-tight bolts** under cyclic wind loading [1]. Their findings aligned with analytical predictions, concluding that such connections offer slightly reduced stiffness compared to fully tightened counterparts. After 2017, the fatigue behavior of **bolts in tee-stub connections** emphasizes the impact of bolt bending moments and pretension forces on fatigue life.

2.3. Column-Side Design

The design of the column-side components in MEPC is crucial for ensuring structural integrity, particularly concerning limit states such as column web yielding and column flange bending.

MEPC are integral in steel structures, facilitating the transfer of moments between beams and columns. The column-side design of these connections addresses critical limit states.

Column web yielding occurs when the web of a column undergoes excessive deformation under compressive forces transmitted through the end-plate connection.

Column flange bending refers to the flexural deformation of the column flange under the action of tensile forces from the connected beam's flange.

2.4. Cyclic Testing of MEPC

MEPC are critical components in steel structures, especially in seismic regions where they must withstand cyclic loading. Understanding their behavior under such conditions is essential for ensuring structural integrity and safety.

Johnstone and Walpole (1981) conducted four cruciform beam-to-column tests on four-bolt extended unstiffened connections [4]. Their findings indicated that well-designed end-plate connections could transmit forces effectively, promoting inelastic deformations primarily in the beam. However, connections not designed to the beam's full capacity exhibited reduced ductility.

Popov and Tsai (1989) explored various moment connections under cyclic loading, concluding that end-plate connections have more advantages with respect to the welded one [2]. Further research by Popov on four-bolt extended stiffened and unstiffened configurations suggested modifications to existing design procedures to accommodate seismic demands.

Ghobarah et al. (1990) tested both stiffened and unstiffened moment end-plate connections, finding that a proper proportioning provides 1.3 times the beam's plastic moment capacity in unstiffened connections to account for prying forces [5].

Recent studies have delved into the effects of bolt pretension levels and the inclusion of end-plate stiffeners on the cyclic behavior of these connections. Noferesti and Gerami (2023) conducted experimental investigations revealing that varying bolt pretension levels can significantly influence the cyclic performance of bolted stiffened MEPC [6]. Their findings suggest that optimal bolt pretension can enhance energy dissipation and delay failure modes.

Similarly, research by Ahmadi and Mirghaderi (2019) examined through-plate moment connections for beams connected to both concrete-filled and unfilled circular columns [7]. Their cyclic tests demonstrated that the presence of through-plates could improve the seismic performance of such connections, offering better force transfer and increased ductility.

The collective findings from these studies underscore the importance of considering factors such as bolt pretension, end-plate stiffening, and accurate modeling of connection components in design procedures. Incorporating these considerations can lead to more resilient MEPC capable of sustaining the demands of seismic loading.

2.5. Modelling The MEPC

The provided text discusses the finite element analysis (FEA) of bolted MEPC, highlighting early studies that established foundational methodologies and more recent research that leverages advanced computational capabilities.

Initial research focused on correlating two-dimensional (2-D) and three-dimensional (3-D) FEA models to understand the behavior of bolted MEPC.

Ahuja et al. (1982) investigated the extended stiffened end-plate connections using FEA [2], while Ghassemieh et al. (1983) extended this work to include inelastic behavior [8].

With advancements in computer technology, the use of 3-D FEA models became more prevalent. Kukreti et al. (1990) utilized finite element modeling to conduct parametric studies predicting bolt forces and end-plate stiffness in eight-bolt extended stiffened MEPC [9]. Their

regression analysis of the parametric study data resulted in equations for predicting end-plate strength, stiffness, and bolt forces, which were compared to experimental results with reasonable correlation.

Bahaari and Sherbourne (1994) used ANSYS, a commercially available FEA code, to analyze 3-D models and successfully predict the behavior of four-bolt extended unstiffened MEPC [10]. They recommended using 3-D FEA models to generate analytical formulations for predicting the behavior and strength of connection components.

Building upon these foundational studies, contemporary research has further refined the understanding of MEPC through advanced FEA techniques. For instance, Coelho and Bijlaard (2007) conducted experimental assessments of high-strength steel end-plate connections, providing valuable data for validating FEA models [11]. Their work emphasized the importance of considering material non-linearities and contact interactions in simulations to accurately predict connection behavior. Additionally, Abolmaali et al. (2005) developed moment-rotation model equations for flush end-plate connections, utilizing FEA to capture the complex interactions within the connection assembly [12]. These studies have contributed to more accurate and reliable design.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The progressive evolution of MEPC designs is evident in the transition from early empirical methods to sophisticated analytical and computational techniques. Early approaches were limited by their reliance on oversimplified assumptions, leading to conservative designs. However, the introduction of yield-line theory and FEA has enabled precise optimization of plate thickness, bolt spacing, and material selection.

Experimental studies have consistently validated these analytical advancements. For example, cyclic tests on moment end-plate connections reveal their potential in seismic applications, with proper detailing minimizing strength loss and enhancing energy dissipation. The inclusion of high-strength bolts and stiffeners has further amplified the performance of these connections, ensuring their suitability for demanding structural applications.

Column-side considerations have similarly evolved, with modern techniques emphasizing the distribution of flange forces and the integration of stiffened designs to mitigate bending and yielding failures. These advancements reflect a holistic approach to connection design, addressing both beam and column behaviors.

4. CONCLUSION

MEPC have undergone significant advancements, from static design methods to cutting-edge computational analyses. The integration of yield-line theory, bolt force prediction models, and FEA has enhanced the safety, efficiency, and adaptability of these connections. As research continues to explore dynamic loading conditions, fatigue behavior, and material innovations, the future of MEPC promises even greater structural reliability and versatility.

Further studies are encouraged to expand on dynamic and blast-like loading scenarios, providing deeper insights into the behavior of these connections under extreme conditions. The synergy between experimental and computational approaches will remain pivotal in driving these advancements, ensuring that MEPC meet the evolving demands of modern engineering

REFERENCES

- [1] Murray, T.M., Recent Developments for the Design of Moment end-plate connections, Steel Beam to-Column Building Connections, Elsevier Applied Science, New York, 133-162, 1988.
- [2] Extended MEPC Seismic and Wind Applications, Steel Design Guide 4, Second Edition
- [3] Kennedy, N.A., Vinnakota, S. and Sherbourne, A.N., *The Split-Tee Analogy in Bolted Splices and Beam-Column Connections*, Proceedings of the International Conference: Joints in Structural Steelwork: The Design and Performance of Semi-Rigid and Rigid Joints in Steel and Composite Structures and Their Influence on Structural Behaviour, Teesside Polytechnic, Middlesbrough, England, 2.138-2.157, 1981.
- [4] Johnstone, N.D. and Walpole, W.R., *Bolted End-Plate Beam-to-Column Connections Under Earthquake Type Loading*, Report 81-7, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1981.
- [5] Ghobarah, A., Osman, A. and Korol, R.M., Behaviour of Moment end-plate Connections Under Cyclic Loading, Engineering Structures, 12, 15-26, 1990.
- [6] Noferesti, H., Gerami, M., Cyclic Behavior of Bolted Stiffened MEPC for Different Bolt Pretensioning Levels: An Experimental Study, Shock and Vibration, 5330905, 13 pages, 2023.
- [7] Ahmadi M.M., Mirghaderi S.R., Experimental studies on through-plate moment connection for beam to HSS/ CFT column, Journal of Constructional Steel Research, 161, 154-170, 2019
- [8] Ghassemieh, M., Kukreti, A.R. and Murray, T.M., *Inelastic Finite Element Analysis of Stiffened MEPC*, Research Report No. FSEL/MBMA 83-02, Fears Structural Engineering Laboratory, Oklahoma, 1983.
- [9] Kukreti, A.R., Ghassemieh, M. and Murray, T.M., Behavior and Design of Large-Capacity Moment End Plates, Journal of Structural Engineering, ASCE, 116(3), 809-828, 1990.
- [10] Bahaari, M.R. and Sherbourne, A.N., Computer Modeling of A Moment end-plate Bolted Connection, Computers and Structures, 52, 879-893, 1994.
- [11] Coelho A.M., Frans S.K. Bijlaard, Experimental behaviour of high strength steel end-plate connections, Journal of Constructional Steel Research, 63, 1228-1240, ISSN 0143-974X, 2006.
- [12] Abolmaali, A. et al., Development of moment-rotation model equations for flush end-plate connections, Journal of Constructional Steel Research, 61, 1595-1612, 2005.





















KİMYASAL ÜRETİM SÜREÇLERİNDE HATA TAHMİNLEME: MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANSI

Prof. Dr. Akın ÖZÇİFT

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, akin.ozcift@cbu.edu.tr – 0000-0002-5317-5678

Doç. Dr. Fatih YÜCALAR

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, fatih.yucalar@cbu.edu.tr – 0000-0002-1006-2227

ÖZET

Kimyasal üretim süreçlerinde hata tahminleme, üretim verimliliğini artırmak, ürün kalitesini iyileştirmek ve maliyetleri azaltmak açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, bir üretim sürecini temsil eden sıcaklık, basınç, debi, üretim hızı, kimyasal bileşim oranı ve cihaz durumu gibi özelliklerden oluşan bir veri seti kullanılarak, hata tahminleme performanslarını değerlendirmek amacıyla beş farklı makine öğrenimi algoritması incelenmiştir. İncelenen algoritmalar arasında Rastgele Orman, Çok Katmanlı Algılayıcı, K-En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri ve Lojistik Regresyon yer almaktadır. Bu algoritmalar, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor gibi ölçütlerle değerlendirilmiş ve her bir algoritmanın hata tahminleme başarımı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Rastgele Orman algoritmasının F1-skor değerinde 0.88889 ile en iyi performansı sergilediğini, Destek Vektör Makineleri ve Lojistik Regresyon algoritmalarının ise özellikle duyarlılık ölçütlerinde düşük performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, üretim hatalarının erken tespiti ve hızlı müdahalesi için Rastgele Orman gibi topluluk öğrenme yöntemlerinin etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, makine öğrenimi algoritmalarının seçiminin, üretim süreçlerindeki spesifik ihtiyaçlara ve veri yapısına bağlı olarak değişebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, diğer algoritmaların performans eksiklikleri tartışılmış ve bu eksikliklerin giderilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Bu bulgular, endüstriyel süreçlerde makine öğrenimi tabanlı hata tespit sistemlerinin, üretim süreçlerinin dijitalleşmesinde kilit bir rol oynayabileceğini göstermekte ve araştırmacılar için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Gelecekteki çalışmaların, daha geniş veri kümeleri ve gerçek zamanlı analizlerle desteklenmesi, bu sistemlerin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenimi Algoritmaları, Hata Tahminleme, Kimyasal Üretim Süreçleri, Endüstriyel Veri Analitiği.

1. GİRİŞ

Kimyasal üretim süreçlerinde hata tespiti, endüstriyel verimliliği artırmak, operasyonel maliyetleri düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirmek açısından büyük önem taşımaktadır [1]. Modern üretim tesislerinde, sıcaklık, basınç, debi ve kimyasal bileşim oranı gibi parametrelerin belirli sınırların dışına çıkması, süreçte bir arızayı veya hatayı işaret edebilir. Geleneksel yöntemlerle bu tür hataların tespiti genellikle insan denetimine dayalıdır ve bu durum, karmaşık üretim ortamlarında hataların hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesini zorlaştırmaktadır [2].

Son yıllarda, sensör teknolojilerinin ve veri toplama sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, üretim süreçlerinden elde edilen verilerin boyutu ve çeşitliliği önemli ölçüde artmıştır [3]. Bu büyük veri setlerinin etkin bir şekilde analiz edilmesi, geleneksel yöntemlerle mümkün olamamaktadır; bu nedenle, veri odaklı yaklaşımlar giderek daha fazla tercih edilmektedir. Makine öğrenimi, bu bağlamda, büyük veri setlerinden öğrenme kabiliyetiyle ön plana çıkmakta ve hata tahmini gibi kritik görevler için güçlü bir araç sunmaktadır [4].

Makine öğrenimi algoritmalarının, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler içeren veri setlerinde yüksek performans sergilediği bilinmektedir. Rastgele Orman (Random Forest – RF) [5], Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron – MLP) [6], K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor – KNN) [7], Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine – SVM) [8] ve Lojistik Regresyon (Logistic Regression – LR) [9] gibi yöntemler, endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu algoritmaların performansları, doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1-skor gibi ölçütlerle değerlendirilmekte ve süreçlerin başarımını optimize etmek için kullanılmaktadır [10].

Bu çalışmada, kimyasal üretim süreçlerine özgü bir veri seti üzerinde beş farklı makine öğrenimi algoritmasının hata tahminleme performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, bu algoritmaların üretim sürecindeki hataları doğru bir şekilde tahmin etme kapasitelerini analiz etmek ve belirli senaryolarda hangi algoritmanın daha etkili olduğunu tespit etmektir. Elde edilen bulgular yalnızca mevcut süreçlerin iyileştirilmesi için değil, aynı zamanda yeni sistemlerin tasarımında da önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Ayrıca, çalışmada kullanılan değerlendirme metrikleri, dengesiz veri setlerinde hata tahminleme performansını doğru bir şekilde ölçmek için sağlam bir çerçeve sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın katkısı, kimyasal üretim süreçlerinde hata tahmini konusunda farklı makine öğrenimi algoritmalarının etkinliklerini sistematik bir şekilde değerlendirmek ve bu alanda literatüre yeni bir perspektif kazandırmaktır. Çalışma, üretim süreçlerini otomatikleştirmeyi hedefleyen endüstriyel uygulamalar için hem teorik hem de pratik açıdan değerli bilgiler sunmaktadır.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER VE PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Bu çalışma içinde kullanılmak üzere tercih edilen makine öğrenimi algoritmaları, deneysel sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan performans metrikleri ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

2.1. Makine Öğrenimi Algoritmaları

Makine öğrenimi algoritmaları, kimyasal üretim süreçlerinde hata tespiti için yenilikçi çözümler sunarak üretim verimliliğini artırma ve maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptir. Bu algoritmalar, üretim süreçlerinden elde edilen büyük veri setlerini analiz ederek hataları hızlı ve doğru bir şekilde tespit etme imkânı sağlar. Bu bağlamda Rastgele Orman, Çok Katmanlı Algılayıcı, K-En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri ve Lojistik Regresyon gibi makine öğrenimi algoritmaları çalışma kapsamında ele alınmıştır ve kimyasal üretim süreçlerindeki hata tespit performansları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Rastgele Orman (Random Forest – RF), sınıflandırma ve regresyon görevlerinde yüksek performans gösteren etkili bir topluluk öğrenme yöntemidir [5]. Bu algoritma, birden fazla karar ağacı oluşturarak, her ağacın bağımsız olarak eğitildiği bir yeniden örnekleme (bootstrap) yöntemi kullanır. Her bir karar ağacı, veri setinin ve özelliklerin rastgele bir alt kümesi üzerinde eğitilerek modelin genelleme yeteneği artırılır ve aşırı öğrenme sorunu minimize edilir. RF algoritmasının, özellikle çok boyutlu ve karmaşık veri setlerinde yüksek başarı sağladığı bilinmektedir [11]. Ayrıca, algoritmanın özellik önemi (feature importance) hesaplaması yapabilmesi, özneliklerin tahmin üzerindeki etkisini değerlendirme imkânı sunar ve bu da üretim süreçlerinde karar alma mekanizmalarını desteklemek için önemli bir avantaj oluşturur.

Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron – MLP), ileri beslemeli bir yapay sinir ağı türü olup, özellikle doğrusal olmayan ilişkileri öğrenme yeteneğiyle öne çıkar. Bu algoritma, giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur [12]. Her bir katmanda, özelliklerden karmaşık temsiller, doğrusal kombinasyonlar ve aktivasyon fonksiyonları kullanılarak öğrenilir [13]. Eğitim sürecinde, geriye yayılım algoritması aracılığıyla ağırlıklar güncellenir. MLP, kimyasal üretim süreçlerindeki doğrusal olmayan bağıntıları modellemek için son derece uygundur ve yüksek boyutlu veri setlerinde etkili bir performans sergiler.

K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor – KNN), en basit makine öğrenimi algoritmalarından biridir. Bu algoritma, sınıflandırma yaparken bir veri noktasının en yakın k komşusunu analiz eder ve bu komşuların sınıflarına dayanarak bir tahminde bulunur. KNN algoritması, parametre ayarlarına oldukça duyarlıdır; özellikle k değeri ve mesafe metriğinin seçimi, modelin başarımını doğrudan etkileyebilir [14]. Algoritma, düşük boyutlu veri setlerinde etkili bir şekilde çalışmasına rağmen, yüksek boyutlu veri setlerinde artan hesaplama maliyeti, performansını sınırlayabilir.

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine – SVM), sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılan güçlü bir algoritmadır. Algoritma, veriler arasındaki karar sınırını maksimum ayırma marjı ile belirlemeyi amaçlar; bu özellik, SVM'nin küçük veri setlerinde bile yüksek doğruluk oranlarıyla çalışmasını sağlar [15]. Ayrıca, SVM'nin doğrusal olmayan sınıflandırma problemlerinde çekirdek (kernel) fonksiyonları kullanarak karmaşık veri ilişkilerini öğrenme kapasitesini artırdığı bilinmektedir. Ancak, yüksek boyutlu ve dengesiz veri setlerinde, duyarlılık (recall) değerlerinde düşüş yaşanabilir.

Lojistik Regresyon (Logistic Regression – LR), özellikle ikili sınıflandırma problemleri için yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır [9]. Bu model, veriler arasındaki olasılıksal ilişkiyi

tahmin eder ve tahmin sonuçlarını sigmoid fonksiyonu aracılığıyla 0 ile 1 arasında normalize eder [16]. LR, sadeliği ve hızlı çalışması nedeniyle avantaj sağlar; ancak doğrusal karar sınırlarına dayanması, karmaşık veri yapılarında sınırlı kalmasına neden olabilir. Bu algoritma, özellikle düşük boyutlu ve dengeli veri setlerinde etkili sonuçlar verir.

Bu algoritmaların performansları, kullanılan veri setinin doğası, hata tahminleme senaryoları ve uygulama bağlamına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Çalışmamızda, bu algoritmaların kimyasal üretim süreçlerinde hata tahminleme görevindeki başarıları, çeşitli performans metrikleri üzerinden detaylı bir şekilde karşılaştırılmış ve her birinin avantajları ve sınırlamaları tartışılmıştır.

2.2. Performans Metrikleri

Kimyasal üretim süreçlerinde hata tahmini, algoritmaların performanslarını doğru bir şekilde değerlendirebilmek için çeşitli metriklerin kullanılmasını gerektirir. Özellikle dengesiz veri setlerinin sıkça karşılaşıldığı bu tür senaryolarda, klasik doğruluk (accuracy) metriği genellikle yeterli bir performans ölçütü sağlamaz. Bunun yerine, kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve f-skor (f-score) gibi metrikler, kimyasal süreçlerde hataların doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlamak ve yanlış sınıflandırma riskini en aza indirmek açısından büyük önem taşır [17].

Kesinlik (precision), bir algoritmanın tahmin ettiği pozitif sınıflamaların (örneğin, hata var durumu) ne kadarının doğru olduğunu ölçer [18]. Bu metrik, kimyasal üretim süreçlerinde yanlış pozitif (false positive) tahminlerin en aza indirilmesi açısından önemli bir ölçüttür. Kesinlik değeri, Denklem (1)'de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

Denklem (1)'de TP (True Positive), hatanın doğru bir şekilde tespit edildiği durumları; FP (False Positive) ise hata olmadığı halde hata var olarak tahmin edilen durumları ifade eder. Kesinlik metriği, özellikle kimyasal reaksiyonların stabilitesini korumak amacıyla yanlış pozitif tahminlerin etkisini en aza indirmek için kritik öneme sahiptir [19].

Duyarlılık (recall), bir algoritmanın tüm gerçek pozitif durumların ne kadarını doğru bir şekilde tahmin edebildiğini ölçer [20]. Bu metrik, hataların gözden kaçırılmasını önlemek için önemlidir ve kimyasal üretim süreçlerinde kritik bir rol oynar. Özellikle yüksek maliyetli hataların bulunduğu senaryolarda, duyarlılık metriği model başarısının kritik bir göstergesidir. Duyarlılık değeri, Denklem (2)'de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

Denklem (2)'de, FN (False Negative), var olan hataların yanlışlıkla gözden kaçırıldığı durumları ifade eder. Duyarlılık değerinin yüksek olması, kimyasal süreçlerde kritik hataların gözden kaçma riskini azaltır ve operasyonel güvenliği ile süreçlerin güvenilirliğini artırır.

F-skor (F-score), kesinlik ve duyarlılık arasındaki dengeyi sağlayan bir metriktir [21]. Bu metrik, özellikle dengesiz veri setlerinde model başarımını daha doğru değerlendirmek için

kullanılır. Denklem (3)'te görüldüğü üzere F-skor, kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması alınarak hesaplanır.

$$F - skor = 2 * \frac{Kesinlik * Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık} \quad (3)$$

Kimyasal üretim süreçlerinde, hem hataların gözden kaçırılmasının (false negative) hem de yanlış pozitiflerin (false positive) en aza indirilmesi gerektiği durumlarda F-skor, performans değerlendirmesinde kritik bir rol oynar. Bu metrik, hataların tespitinde dengeli bir yaklaşım sağladığı için dengesiz veri setlerinin yaygın olduğu endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır [22].

Kimyasal üretim süreçlerinde hataların tespiti yalnızca ekonomik kayıpları önlemekle kalmaz, aynı zamanda çevresel etkilerin azaltılmasına ve operasyonel güvenlik risklerinin düşürülmesine yardımcı olur. Örneğin, bir sıcaklık sensöründe meydana gelen arıza, kimyasal reaksiyonun stabilitesini bozabilir ve ürün kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu gibi durumlarda, yüksek kesinlik, yanlış alarmları azaltarak süreçlerin gereksiz yere durdurulmasını önlerken; yüksek duyarlılık, kritik hataların gözden kaçmasını engelleyerek üretim güvenliğini artırır. F-skor ise, özellikle dengesiz veri setlerinde kesinlik ve duyarlılığı dengeleyerek süreçlerin genel başarımını optimize eder. Bu nedenle, çalışmada kullanılan tüm metrikler, kimyasal üretim süreçlerinin hata tahminine yönelik analizlerde hem operasyonel hem de stratejik karar verme süreçlerini desteklemektedir. Bu bağlamda, çalışmamızda kullanılan kesinlik, duyarlılık ve F-skor metrikleri, kimyasal süreçlerde hata tahmini performansını değerlendirmenin ötesinde, süreç iyileştirme çalışmalarına yönelik değerli içgörüler sunmaktadır.

2.3. Deneysel Sonuçlar

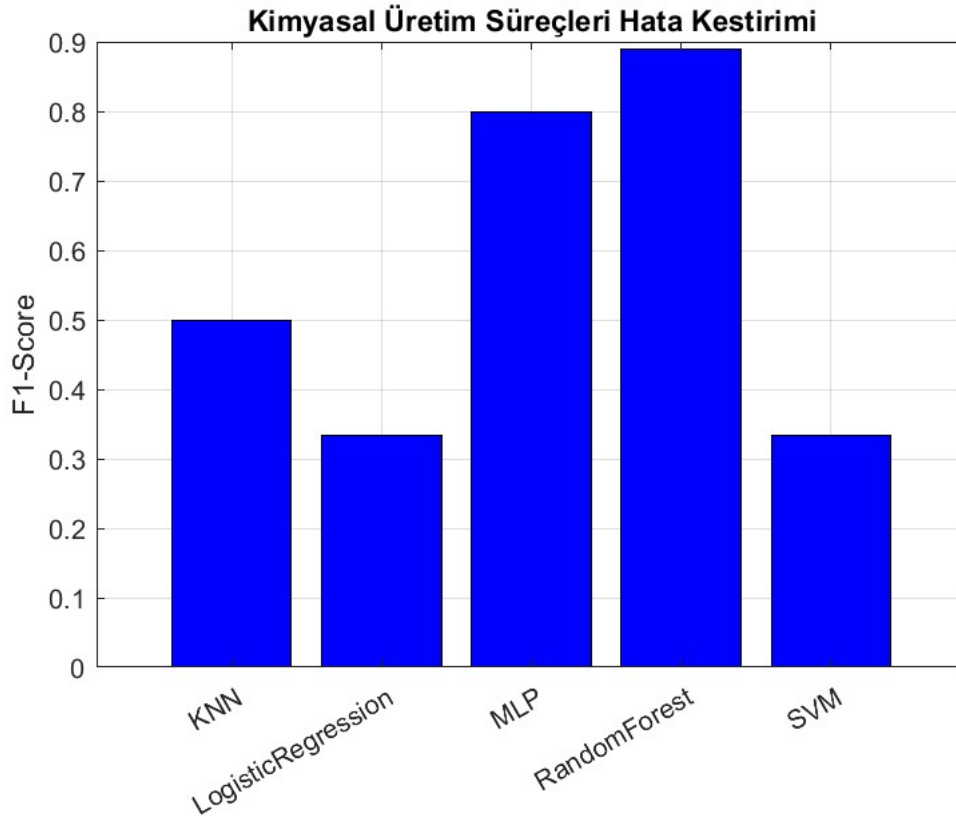
Kimyasal üretim süreçlerinde hataların tespitine yönelik olarak Rastgele Orman (RF), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Lojistik Regresyon (LR) gibi makine öğrenimi algoritmaları değerlendirilmiş ve her bir algoritmanın model performansları, Çizelge 1'de görüldüğü gibi, Kesinlik, Duyarlılık ve F-skor gibi temel metrikler kullanılarak analiz edilmiştir.

Çizelge 1. Algoritmaların performans değerleri

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	F-skor
RF	1.00000	0.80306	0.88889
MLP	0.80089	0.80024	0.80307
KNN	0.66667	0.41328	0.50439
SVM	1.00000	0.20367	0.33333
LR	1.00000	0.20703	0.33333

Çizelge 1'de sunulan algoritmaların performans değerleri değerlendirildiğinde, Rastgele Orman (RF) algoritmasının %100 kesinlik ve %80.3 duyarlılık ile en dengeli ve başarılı sonuçları verdiği görülmektedir. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) algoritması, kesinlik ve duyarlılık açısından birbirine yakın değerlere sahip olup (%80.1 kesinlik, %80.0 duyarlılık), F-skorunun %80.3 olması nedeniyle istikrarlı bir performans göstermektedir. Ancak, K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması, özellikle düşük duyarlılık (%41.3) nedeniyle hataların büyük bir

kısmını gözden kaçırmakta ve F-skoru yalnızca %50.4 seviyesinde kalmaktadır. Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Lojistik Regresyon (LR) algoritmalarının kesinlik değerleri %100 olmasına rağmen, duyarlılıklarının sırasıyla %20.3 ve %20.7 olması, bu modellerin yalnızca pozitif tahminlerinde doğru olduğunu ancak birçok hatayı gözden kaçırdığını göstermektedir. Görsel 1’de de görüldüğü üzere Rastgele Orman algoritması hem yüksek kesinlik hem de yüksek duyarlılık ile hata tespiti açısından en güvenilir model olarak öne çıkmaktadır.



Görsel 1. Kimyasal üretim süreçlerinde hata kestirim performansları grafiği

3. SONUÇ

Bu çalışma, kimyasal üretim süreçlerinde hata tahminine yönelik beş farklı makine öğrenimi algoritmasını kullanarak kapsamlı bir performans değerlendirmesi sunmuştur. Kullanılan algoritmalar arasında Rastgele Orman (RF), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Lojistik Regresyon (LR) yer almış, her birinin tahmin başarımı kesinlik, duyarlılık ve F1-skor metrikleri üzerinden analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, kimyasal üretim süreçlerinde hata tespitinin algoritma seçimine ve kullanılan metriğe bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebileceğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, Rastgele Orman algoritmasının hem yüksek kesinlik hem de dengeli duyarlılık değerleriyle kimyasal süreçlerde kritik hataların tespitinde en etkili yöntem olduğunu göstermiştir. Bu algoritma, özellikle yanlış pozitiflerin en aza indirildiği ve kritik hataların büyük bir kısmının doğru bir şekilde tespit edildiği senaryolarda ön plana çıkmıştır. Diğer yandan, MLP algoritması, dengeli kesinlik ve duyarlılık değerleriyle güvenilir bir performans sergilerken, KNN, SVM ve LR gibi algoritmaların bazı durumlarda düşük duyarlılık değerleri

nedeniyle kritik hataları gözden kaçırma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, hangi algoritmanın kullanılacağına dair kararların, üretim hattının gereksinimleri ve kritik hata tespiti önceliklerine göre verilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Çalışmanın bir diğer önemli çıktısı, kullanılan metriklerin kimyasal süreçlerin hata tahmini bağlamında oynadığı kritik roldür. Kesinlik, hatalı alarmları en aza indirmek için etkili bir ölçüt sunarken, duyarlılık ise kritik hataların gözden kaçma riskini azaltmada öne çıkmaktadır. F1-skor ise bu iki metriğin dengesini sağlayarak, dengesiz veri setlerinde genel başarıyı ölçmek için ideal bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir. Kimyasal üretim süreçleri gibi hata tahmininin yüksek doğruluk gerektirdiği alanlarda, çalışmamızın bulguları pratik uygulamalar için rehber niteliğindedir. Örneğin, bir üretim hattında hataların maliyetli duruşlara neden olduğu durumlarda Rastgele Orman gibi yüksek performanslı algoritmalar tercih edilebilir. Buna ek olarak, düşük performans gösteren algoritmaların geliştirilmesi ve belirli süreçler için özelleştirilmesi, gelecekteki çalışmalar için bir fırsat alanı sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, kimyasal üretim süreçlerinde hata tahmini performansını artırmaya yönelik çeşitli yaklaşımları karşılaştırarak, her bir algoritmanın güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçları hem akademik araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar için faydalı bilgiler sağlamaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, daha büyük ve daha çeşitli veri setlerinin kullanılması, algoritmaların performanslarının optimize edilmesi ve bu süreçlerde gerçek zamanlı veri akışı ile entegrasyonun sağlanması hedeflenmelidir. Bu tür çalışmalar, endüstriyel kimya süreçlerini daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir hale getirmeye katkıda bulunabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Leite, D., Martins, A., Jr., Rativa, D., De Oliveira, J. F. L., Maciel, A. M. A. (2022). An Automated Machine Learning Approach for Real-Time Fault Detection and Diagnosis. *Sensors*, 22(16), 6138
- [2] Zhang, T., Li, D., Li, C., Ding, J. (2024). EHOPN: A novel enhanced high-order pooling-based network for industrial fault detection, *Journal of Process Control*, v.142, 103296.
- [3] Lee, J., Bagheri, B., Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- [4] Bertolini, M., Mezzogori, D., Neroni, M., and Zammori, F. (2021). Machine Learning for industrial applications: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, 175(C).
- [5] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- [6] Bishop, C. M. (2006). Pattern recognition and machine learning. *Springer*.
- [7] Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21-27.
- [8] Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273-297.

- [9] Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (3rd ed.). Wiley.
- [10] Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37-63.
- [11] Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11), 2783-2792.
- [12] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). Deep learning. *MIT Press*.
- [13] Hinton, G. E. (1989). Connectionist learning procedures. *Artificial Intelligence*, 40(1-3), 185-234.
- [14] Takcı, H. (2022). Optimum parametreler yardımıyla performansı artırılmış KNN algoritması tabanlı kalp hastalığı tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 451-460.
- [15] Schölkopf, B., & Smola, A. J. (2002). Learning with kernels: Support vector machines, regularization, optimization, and beyond. *MIT Press*.
- [16] Peng, R. D., Lee, K. K., & Dominici, F. (2002). Logistic regression in epidemiology. *American Journal of Epidemiology*, 155(4), 362–370.
- [17] Brownlee, J. (2021). Imbalanced Classification with Python: Better Metrics, Balance Data, Model Selection and Performance Improvement. *Machine Learning Mastery*.
- [18] Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLoS ONE*, 10(3), e0118432.
- [19] Grandini, M., Bagli, E., Visani, G. (2020). Metrics for Multi-Class Classification: an Overview. *arXiv preprint arXiv:2008.05756*.
- [20] Lever, J., Krzywinski, M. and Altman, N. (2016) Classification evaluation. *Nature Methods*, 13(8), pp. 603-604.
- [21] Chicco, D., Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21(1), 1-13.
- [22] Manning, C. D., Raghavan, P., Schütze, H. (2008). Introduction to information retrieval, *Cambridge University Press*, Cambridge, England, 482 pp.

FAULT PREDICTION IN WIND TURBINES WITH MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Assoc. Prof. Dr. Fatih YÜCALAR

Manisa Celal Bayar University, fatih.yucalar@cbu.edu.tr – 0000-0002-1006-2227

Prof. Dr. Akın ÖZÇİFT

Manisa Celal Bayar University, akin.ozcift@cbu.edu.tr – 0000-0002-5317-5678

ABSTRACT

Wind turbines play a significant role in modern energy production systems. The efficient operation of these turbines is one of the fundamental requirements for sustainable energy generation. However, mechanical or electrical failures in turbines can lead to production losses, thereby reducing operational efficiency. In this study, the performance of various machine learning algorithms was analyzed for early fault prediction in wind turbines. The algorithms were trained using sensor data such as wind speed, vibration, and generator temperature and were evaluated based on precision, recall, and F1-score metrics. The algorithms used in the study include Random Forest, Extra Trees, Bagging, Gradient Boosting, Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Naive Bayes, Support Vector Machine, Logistic Regression, and Multi-Layer Perceptron. These algorithms were compared to improve the accuracy of fault prediction in wind turbines. Experimental results demonstrate the effectiveness of each algorithm in fault prediction, with the Random Forest algorithm achieving the highest F1-score. The results serve as a valuable guide for optimizing wind turbine maintenance processes and predicting failures in advance. This study highlights the applicability of machine learning methods in enhancing the efficiency of wind turbine maintenance.

Keywords: Wind Turbine, Fault Prediction, Machine Learning Algorithms, Sensor Data Analysis, Predictive Maintenance.

1. INTRODUCTION

Wind turbines play a significant role in electricity generation and are becoming increasingly widespread worldwide. With the growing importance of wind energy, accurate fault predictions are essential to ensure the safe and efficient operation of these turbines. Various environmental factors can negatively impact turbine performance, leading to unexpected failures. Such failures cause disruptions in energy production, resulting in economic losses [1].

In recent years, machine learning methods have made significant advancements in industrial machine fault prediction. These methods can analyze operational data from machines to predict potential future failures [2]. The same approach can be applied to wind turbines. The operational parameters of turbines can be continuously monitored through sensors. Data such as wind speed, vibration, and generator temperature can be analyzed to predict the risk of failures in advance [3].

Machine learning algorithms are widely used to solve such prediction problems. However, determining which algorithm performs best in wind turbines is crucial. In this study, ten different machine learning algorithms were tested for fault prediction in wind turbines: Random Forest [4], Extra Trees [5], Bagging [6], Gradient Boosting [7], Decision Tree [8], K-Nearest Neighbors (KNN) [9], Naive Bayes [10], Support Vector Machines (SVM) [11], Logistic Regression [12], and Multi-Layer Perceptron (MLP) [13]. These algorithms were trained with optimal hyperparameters, and their fault prediction performance was evaluated based on precision, recall, and F1-score [14].

This paper compares the performance of algorithms and identifies which ones are more suitable for improving the fault prediction process in wind turbines. Additionally, it presents solution proposals aimed at increasing the efficiency of these turbines [15].

2. MACHINE LEARNING ALGORITHMS AND THEIR PERFORMANCES

In this section, machine learning algorithms used for early fault prediction in wind turbines, performance metrics used to evaluate the success of experiments, and the obtained experimental results are discussed.

2.1. Machine Learning Algorithms

In this study, ten different machine learning algorithms, including Random Forest, Extra Trees, Bagging, Gradient Boosting, Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN), Naive Bayes, Support Vector Machines (SVM), Logistic Regression, and Multilayer Perceptron (MLP), were used for fault prediction in wind turbines. These algorithms were trained and tested on various datasets to predict turbine faults in advance. Each algorithm stands out due to its unique data processing approach and learning mechanism. This section provides a detailed discussion of the working principles of these algorithms and their fault prediction performance.

Random Forest is an ensemble learning method created by combining a large number of decision trees [16]. This algorithm ensures that each tree operates independently, and the predicted results of each tree are combined to achieve the final outcome. Known for its high accuracy and robustness, Random Forest typically delivers successful results when working

with noisy data [17]. It is particularly effective with complex datasets, such as early fault prediction in wind turbines. By accurately predicting the fault conditions of turbines, it can help optimize maintenance processes, thereby enabling the early detection and prevention of failures.

The Extra Trees algorithm uses multiple decision trees similar to Random Forest, but it is trained by making more random selections for each tree [18]. This results in faster training time for the model and generally higher accuracy. Extra Trees provides performance results that are close to those of Random Forest, especially in high-dimensional data [19]. Additionally, it yields effective results when working with complex data, such as early fault prediction in wind turbines. This algorithm can predict turbine faults more quickly and assist in optimizing maintenance processes, thereby enabling the early detection of faults.

Bagging (Bootstrap Aggregating) involves taking random subsets from a dataset to train each model with a different training set. Then, the predictions of each model are combined to obtain the final result. Bagging reduces the risk of overfitting, thereby improving the model's generalization ability [20], and provides high accuracy in variable datasets such as wind turbine data. This method can help generate more reliable predictions by reducing noise in sensor data when performing early fault prediction in wind turbines [21]. Additionally, the diversity of models trained on different subsets increases the likelihood of detecting unexpected fault conditions.

Gradient Boosting aims to build a strong model by combining weak learners. This algorithm ensures that each new model is trained to correct the errors of the previous model. It is frequently used to achieve high accuracy but may require significant computational power [22]. It is a highly effective method for predicting the performance and failure probabilities of wind turbines. By gradually reducing the error margin, it can produce more precise predictions. When applied to early fault prediction in wind turbines, it can identify small but critical data patterns, contributing to more efficient maintenance planning [23].

Decision Tree performs classification by dividing the dataset into more homogeneous subgroups. Each node makes decisions based on a feature in the dataset, and at the end of the model, the leaves are assigned to specific classes [24]. This algorithm typically provides more interpretable and understandable results, but it may suffer from overfitting in complex datasets [25]. The Decision Tree algorithm can be particularly effective for early fault prediction in wind turbines because it can clearly model the operating conditions and fault tendencies of the turbines. However, due to the risk of overfitting with complex sensor data, more refined models may need to be used, which highlights the importance of data preprocessing and cleaning techniques.

K-Nearest Neighbors (KNN) is a simple and intuitive algorithm that classifies each data point based on the majority class of its nearest K neighbors [26]. KNN may generally work with lower accuracy; however, it can make accurate predictions when enough data is available. This algorithm can also be effectively used for fault prediction in wind turbines because it can recognize patterns based on sensor data. However, when working with large datasets and high-

dimensional features, the computational cost may increase [27], which may require optimization to obtain faster and more efficient results.

Naive Bayes is an algorithm that performs classification by calculating conditional probabilities using Bayes' theorem [28]. This method assumes that the classes are independent, which allows the algorithm to work very quickly. However, this assumption often does not hold true for real-world data, which can lead to a decrease in accuracy. Nevertheless, the Naive Bayes algorithm can generate fast and effective results, particularly with large datasets [28]. When used for early fault prediction in wind turbines, it can make quick classifications by using the independence assumption in sensor data, but it may struggle to model complex relationships.

Support Vector Machines (SVM) is a powerful algorithm used for classification and regression problems. This algorithm attempts to determine the optimal hyperplane that separates the data and performs particularly well on non-linear datasets [29]. Due to this capability, it can also be an effective method for early fault prediction in wind turbines. By identifying complex and non-linear patterns in sensor data, it can classify fault indicators more accurately.

Logistic Regression is a linear classifier and is commonly used for binary classification problems. This algorithm performs classification based on probability theory and provides results as a probability value between 0 and 1 [30]. For early fault prediction in wind turbines, measurements obtained from sensor data can be analyzed to estimate the likelihood of a fault occurrence. However, due to its linear decision boundaries, its performance may be insufficient when dealing with sensor data that contain complex and non-linear relationships.

Multi-Layer Perceptron (MLP) is a type of artificial neural network that can learn complex relationships in data using a multi-layered structure [31]. This algorithm can provide high accuracy in large datasets and datasets with multiple features. Due to this capability, it can be used as an effective method for early fault prediction in wind turbines. By learning complex and non-linear patterns in sensor data, it can detect fault indicators more accurately and optimize maintenance processes [32].

2.2. Performance Metrics

When performing fault prediction in wind turbines, various performance metrics are used to obtain accurate and reliable results. These metrics are essential for evaluating the accuracy of algorithms. In particular, metrics such as precision, recall, and F1-score play a critical role in determining how well the model predicts faults [33]. A low False Negative (FN) rate contributes to the early detection of potential failures, allowing maintenance processes to be optimized [33].

Precision is the ratio of true positive predictions to all positive predictions. This metric indicates the model's ability to reduce false positives [34]. Therefore, when performing early fault prediction in wind turbines, a high precision value can help minimize unnecessary maintenance costs and false alarms. A low false positive rate ensures that only truly faulty turbines are included in the maintenance process, thereby improving operational efficiency. The Precision value is calculated as shown in Equation (1):

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

Recall is the ratio of true positive predictions to all actual positive instances. This metric indicates how successfully the model detects real faults [34]. In early fault prediction for wind turbines, a high recall value can enhance turbine reliability by preventing potential faults from being overlooked. On the other hand, a low recall value may lead to critical faults going undetected, resulting in unexpected system downtimes and increased maintenance costs. The Recall value is calculated using the formula provided in Equation (2):

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

The F1-score is the harmonic mean of precision and recall, balancing both metrics. When performing early fault prediction in wind turbines, a high F1-score helps the model increase the number of true positive predictions while minimizing false negatives. This ensures more efficient maintenance processes and supports the continuous operation of turbines. The F1-score is calculated using the formula provided in Equation (3):

$$F1 - score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

2.4. Experimental Results

In this section, the performance of machine learning algorithms in fault prediction for wind turbines is compared and evaluated using precision, recall, and F1-score metrics. The experimental data are derived from sensor measurements collected from wind turbines, taking into account the impact of various environmental factors. The obtained results provide insights into each algorithm's ability to make accurate predictions. The results obtained for each machine learning algorithm on the dataset are presented in Table 1. These data show the accuracy rates between the predicted fault conditions and the actual fault conditions for each algorithm. The performance of the algorithms is evaluated using precision, recall, and F1-score metrics.

Table 1. Performance values of the machine learning algorithms

Algorithm	Precision	Recall	F1-score
Random Forest	0.934	0.913	0.924
Extra Trees	0.913	0.891	0.902
Bagging	0.881	0.873	0.877
Gradient Boosting	0.909	0.851	0.883
Decision Tree	0.846	0.829	0.837
KNN	0.797	0.802	0.799
Naive Bayes	0.751	0.738	0.744
SVM	0.884	0.857	0.871

Logistic Regression	0.819	0.784	0.801
MLP	0.925	0.902	0.913

According to the results shown in Table 1, the Random Forest algorithm stands out as the most successful algorithm, achieving the highest precision, recall, and F1-score values. Extra Trees and MLP algorithms are also among the methods that demonstrate high performance. Bagging and Gradient Boosting algorithms, on the other hand, achieve slightly lower but still satisfactory results. Decision Tree, KNN, Naive Bayes, and Logistic Regression algorithms generally have lower accuracy values.

These results provide valuable insights into the performance of machine learning algorithms for fault prediction in wind turbines. Algorithms such as Random Forest and MLP can be preferred in industrial applications due to their higher accuracy rates and better generalization ability. However, algorithms like SVM and Gradient Boosting can also be considered strong alternatives. On the other hand, simpler and faster algorithms like Naive Bayes and Logistic Regression can be advantageous when working with very large datasets or under limited computational resources. The graph illustrating the fault prediction performance for wind turbines based on the F1-score values obtained from the evaluation of machine learning algorithms is shown in Figure 1.

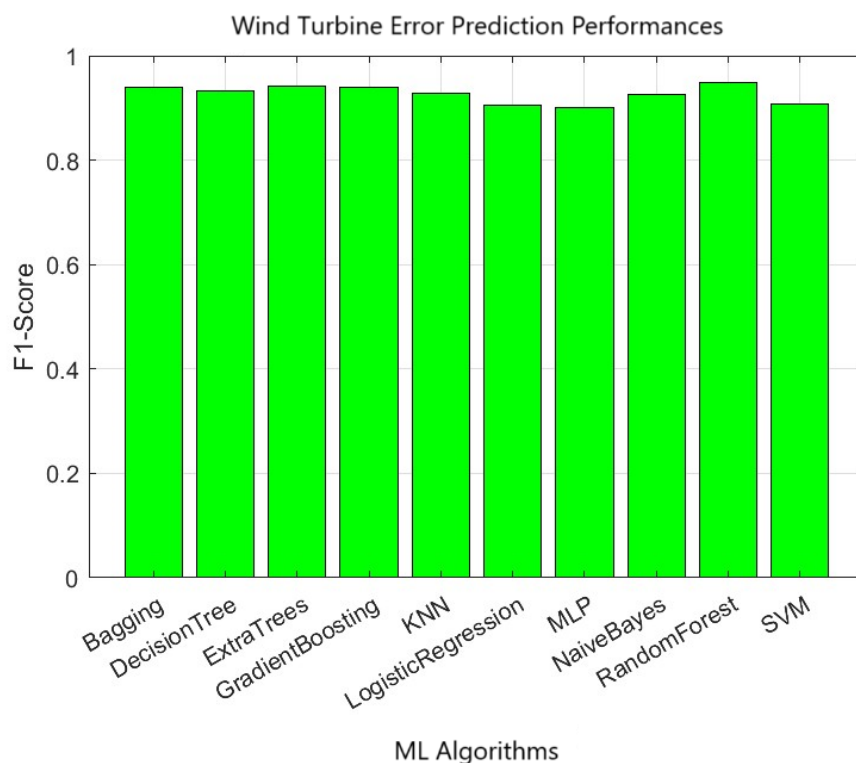


Figure 1. Performance Graph of ML Algorithms for Failure Prediction for Wind Turbines

4. CONCLUSION

In this study, ten different machine learning algorithms were used and compared for fault prediction in wind turbines. The algorithms utilized include Random Forest, Extra Trees, Bagging, Gradient Boosting, Decision Tree, KNN, Naive Bayes, SVM, Logistic Regression, and MLP. The performance of these algorithms was evaluated using metrics such as precision, recall, and F1-score. Experimental results indicate that the Random Forest algorithm demonstrated the best overall performance and achieved the highest accuracy in fault prediction. This algorithm exhibited outstanding success by achieving high values of 0.934 and 0.913 in precision and recall metrics, respectively. Additionally, Extra Trees and MLP algorithms also provided successful results and showed performance comparable to Random Forest. On the other hand, simpler algorithms such as Decision Tree, Naive Bayes, and Logistic Regression yielded lower accuracy values.

This study facilitates the comparison of machine learning algorithms used for fault prediction in wind turbines based on various metrics, providing valuable insights into the advantages and limitations of each algorithm. Algorithms such as Random Forest and MLP are recommended for industrial applications due to their high accuracy rates and generalization capabilities. However, although simpler algorithms like Decision Tree, Naive Bayes, and Logistic Regression exhibit lower accuracy values, their performance can be improved through model optimizations. In conclusion, identifying the most suitable algorithms for fault prediction in wind turbines can optimize maintenance processes and enhance energy production efficiency. Future studies can further improve algorithm performance by diversifying datasets and incorporating additional features. Moreover, testing the model with real-time data will enable more robust and reliable predictions.

REFERENCES

- [1] Elshenawy, L. M., Gafar, A. A., Awad, H.A., AbouOmar, M. S. (2024). Fault detection of wind turbine system based on data-driven methods: a comparative study. *Neural Computing & Applications*, 36, 10279–10296.
- [2] Ng, E. Y.-K., Lim, J. T. (2022). Machine Learning on Fault Diagnosis in Wind Turbines. *Fluids*, 7(12), 371.
- [3] Li, P., Tian, B., Liu, Z., Lin, Y., Wang, Z., Yin, X., Zhang, J., Luo, B., & Zhang, Z. (2024). Wind Turbine Operation Status Monitoring and Fault Prediction Methods Based on Sensing Data and Big Bang–Big Crunch Algorithm. *Electronics*, 13(22), 4404.
- [4] Zhang, S., Basu, M., Robinson, E., Fitzgerald, B., Basu, B. (2021). Fault Prediction and Classification for a Doubly-Fed Induction Generator based Wind Turbine by using Random Forest Classifier, *The 9th Renewable Power Generation Conference (RPG Dublin Online 2021)*, pp. 149-154.
- [5] Yürek, Ö., Birant, D., & Yürek, İ. (2021). Wind Power Generation Prediction Using Machine Learning Algorithms. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 107-119.
- [6] Rashid, H., Khalaji, E., Rasheed, J., Batunlu, C. (2020). Fault Prediction of Wind Turbine Gearbox Based on SCADA Data and Machine Learning, *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Deggendorf, Germany, pp. 391-395.

- [7] Wu, Z., Wang, X., & Jiang, B. (2020). Fault Diagnosis for Wind Turbines Based on ReliefF and eXtreme Gradient Boosting. *Applied Sciences*, 10(9), 3258.
- [8] Abdallah, I., Dertimanis, V., Mylonas, H., Tatsis, K., Chatzi, E., Dervili, N., Worden, K., Maguire, E. (2018). Fault diagnosis of wind turbine structures using decision tree learning algorithms with big data, *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World*, 1st Edition, *CRC Press*, pp. 3053-3061.
- [9] Dai, Z., Qian, X., Kang, C., Wang, L., Guan, S., Zhao, Y., Jiang, X. (2024). A k-Nearest Neighbor Wind Turbine Fault Detection Method Based on Deep Metric Learning and Domain Feature Discrimination, *IEEE Access*, vol. 12, pp. 181666-181678.
- [10] Arockia Dhanraj, J., & Sugumaran, V. (2017). A Comparative Study of Bayes Classifiers for Blade Fault Diagnosis in Wind Turbines through Vibration Signals, *Structural Durability & Health Monitoring*, 12(1): 69-90.
- [11] Tuerxun, W., Chang, X., Hongyu, G., Zhijie, J., Huajian, Z. (2021). Fault Diagnosis of Wind Turbines Based on a Support Vector Machine Optimized by the Sparrow Search Algorithm, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 69307-69315.
- [12] Bodla, M. K., Malik, S. M., Rasheed, M. T., Numan, M., Ali, M. Z., Brima, J. B. (2016). Logistic regression and feature extraction-based fault diagnosis of main bearing of wind turbines, *2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Hefei, China, pp. 1628-1633.
- [13] Gomes Mergulhão, H., da Fonseca Santiago, R. A., Medrado, R. C., Pinheiro, O. R., Sperandio Nascimento, E. G., Bandeira Santos, A. A., da Cunha Lima, I. C., da Cunha Lima, A. T., Carvalho, T. F. de. (2024). Fault detection in wind turbines: a supervised learning approach with multilayer perceptron neural network. *Concilium: Revista Internacional de Teología*, 391, 24(4).
- [14] Kong, L., Liang, H., Liu, G., & Liu, S. (2023). Research on Wind Turbine Fault Detection Based on the Fusion of ASL-CatBoost and TtRSA. *Sensors*, 23(15), 6741.
- [15] Knes, P., Dao, P. B. (2024). Machine Learning and Cointegration for Wind Turbine Monitoring and Fault Detection: From a Comparative Study to a Combined Approach. *Energies*, 17(20), 5055.
- [16] Gaïffas, S., Merad, I., Yu, Y. (2023). WildWood: A New Random Forest Algorithm, *IEEE Transactions on Information Theory*, 69(10), pp. 6586-6604.
- [17] Zhou, X., Ding, P. L. K., Li, B. (2019). Improving Robustness of Random Forest Under Label Noise, *2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, Waikoloa, HI, USA, pp. 950-958.
- [18] Ghazwani, M., Begum, M. Y. (2023). Computational intelligence modeling of hyoscine drug solubility and solvent density in supercritical processing: gradient boosting, extra trees, and random forest models. *Scientific Report*, 13, 10046.
- [19] Mingzhu, T., Yutao, C., Huawei, W., Qi, Z., Wen, L., Victor, S., Jiabiao, Y. (2021). Cost-Sensitive Extremely Randomized Trees Algorithm for Online Fault Detection of Wind Turbine Generators. *Frontiers in Energy Research*, vol.9.
- [20] Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123–140.
- [21] Qin, S., Wang, K., Ma, X., Wang, W., & Li, M. (2017). Ensemble Learning-Based Wind Turbine Fault Prediction Method with Adaptive Feature Selection. *Data Science*, Springer, pp. 572–582.

- [22] Natekin, A., Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, 21.
- [23] Raju, S. K., Periyasamy, M., Alhussan, A. A., Kannan, S., Raghavendran, S., El-Kenawy, E-S. M. (2025). Machine learning boosts wind turbine efficiency with smart failure detection and strategic placement. *Scientific Report*, 15, 1485.
- [24] Gümüüşçü, A., Taşaltın, R., & Aydılek, İ. B. (2016). C4.5 Karar Ağaçlarının Genetik Algoritma ile Budanması. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 77-80.
- [25] Khan, P. W., & Byun, Y. C. (2023). A Review of machine learning techniques for wind turbine's fault detection, diagnosis, and prognosis. *International Journal of Green Energy*, 21(4), 771–786.
- [26] Ogaili, A. A., Hamzah, M. N., & Jaber, A. A. (2024). Enhanced Fault Detection of Wind Turbine Using eXtreme Gradient Boosting Technique Based on Nonstationary Vibration Analysis. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 24, 877–895.
- [27] Abouhnik, A., Albarbar, A. (2012). Wind turbine blades condition assessment based on vibration measurements and the level of an empirically decomposed feature, *Energy Conversion and Management*, 64, 606-613.
- [28] Sousa, P. H. F.; Nascimento, N. M. M.; Almeida, J. S.; Rebouças Filho, P. P. and Albuquerque, V. H. C. (2019). Intelligent Incipient Fault Detection in Wind Turbines based on Industrial IoT Environment. *Journal of Artificial Intelligence and Systems*, 1, 1–19.
- [29] Xiao, H., Sun, Y., Jin, Y., Wang, J., (2018). Optimization about Fault Prediction and Diagnosis of Wind Turbine Based on Support Vector Machine, 2018 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), Changsha, China, pp. 139-142.
- [30] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12(85):2825–2830.
- [31] Siddiqi, M. H., Alruwaili, M., Alhwaiti, Y., Alanazi, S., Khan, F. (2025). A Novel Hyper-Tuned Multilayer Perceptron With Effective Stochastic Learning Strategies for Missing Values Imputation, *Expert Systems*, 42(2): e13828.
- [32] Döndüren, T. A., Yağcı, M. (2024). Hydraulic fault detection of wind turbine generators using artificial neural networks. *European Mechanical Science*, 8(4), 331-340.
- [33] Leahy, K., Gallagher, C., O'Donovan, P., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. J. (2018). A Robust Prescriptive Framework and Performance Metric for Diagnosing and Predicting Wind Turbine Faults Based on SCADA and Alarms Data with Case Study. *Energies*, 11(7), 1738.
- [34] Powers, D. (2011). Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37-63.

THE IMPACT AND GROWTH OF DEEP LEARNING IN SCIENCE AND MEDICINE

Ankur Jain

IFTM University, Delhi Road Lodhipur Rajput Moradabad

ankur1101@gmail.com – ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3246-7612>

Deepankar Bharadwaj

IFTM University, Delhi Road Lodhipur Rajput Moradabad

deepankar.bharadwaj@gmail.com - ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0035-680X>

ABSTRACT

Deep learning has significantly transformed various scientific disciplines in recent years. In image processing and analysis, deep learning algorithms have surpassed other state-of-the-art methods. Similarly, in fields like autonomous driving, deep learning has outperformed previous approaches, achieving remarkable success. In some cases, such as object recognition and gaming, deep learning models have even exceeded human performance. The medical field is also experiencing the vast potential of deep learning. With the increasing collection of large-scale patient data and the shift toward personalized treatments, there is a growing need for automated and reliable health data processing and analysis. Patient information is now gathered not only in clinical settings such as hospitals and private practices but also through mobile healthcare applications and online platforms. The surge in patient data collection, combined with advances in deep learning, has fueled a significant increase in research. As deep learning continues to expand across medical subfields, keeping up with the breadth of research is becoming increasingly difficult. Despite these challenges, numerous review and survey articles have been published in recent years, typically focusing on specific medical applications such as the analysis of medical images for disease detection. Building on these existing surveys, this article aims to present the first high-level, systematic meta-review of deep learning research in the medical domain.

Keywords : Deep Learning, Image Processing, Healthcare Data Analysis, Personalized Medicine, AI in Healthcare

1. INTRODUCTION

Deep learning has had a significant impact on various scientific fields in recent years. This has been demonstrated across multiple tasks, where deep learning approaches have outperformed traditional methods, including image processing and analysis. Moreover, deep learning has enabled automation in tasks that were previously impossible, such as autonomous driving. In some applications, deep learning has even surpassed human performance, particularly in object recognition and gaming.

One field where deep learning has shown immense potential is the medical domain. The increasing availability of large quantities of patient records and data, along with a growing trend toward personalized treatments, has created a need for automatic and reliable data processing and analysis. Patient data is collected not only in hospitals and private practices but also through mobile healthcare apps and online platforms. This has led to significant research efforts in recent years. By the second quarter of 2020, a PubMed search for "deep learning" yielded over 11,000 results, with approximately 90% of these publications emerging in the last three years. However, despite PubMed being the largest search engine in the medical field, it does not encompass all relevant publications. Important contributions in medical applications are often published in computer science conferences, which are not always indexed in PubMed. While some prestigious conferences, such as the Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), are included, many technical computer vision conferences also publish influential research that medical search engines may overlook.

Obtaining a complete overview of medical deep learning is increasingly challenging. However, numerous review and survey articles have been published in recent years, typically focusing on specific medical applications. For instance, some reviews analyze medical imaging techniques used for diagnosing cardiovascular disorders in computed tomography angiography. The aim of this study is to provide an introductory, high-level, and systematic meta-review of existing medical deep learning surveys. This approach is modeled after similar meta-reviews in medicine, such as systematic reviews of homeopathy studies and surveys on visualization techniques for interpreting machine learning models. Currently, there are no known meta-reviews dedicated to deep learning in medicine or general deep learning. Given the rapid growth of computer science as a discipline, meta-reviews of this kind are expected to become more common.

In this study, we analyze all review and survey articles published between 2017 and 2019, identified through a systematic PubMed search. We excluded articles published after 2019 to ensure that the citation analysis remains balanced. Newer publications from 2020 have had limited time to accumulate citations, leading to citation disparities among different years. As an example, Google Scholar citations as of August 2020 indicate that publications from 2017 received 6,089 citations, those from 2018 had 947 citations, and those from 2019 had 408 citations. Table 1 summarizes the number of reviews published each year, along with the total references and citations according to Google Scholar. Tables 2–4 provide more detailed descriptions of the publications from each year.

To conduct this systematic review, we first outlined the manuscript's structure, taking inspiration from existing surveys and meta-surveys. We then selected relevant databases and publication years, ensuring that the number of included studies remained manageable. After finalizing the literature search strategy (detailed in the next section), we summarized each identified survey, extracting key information such as citations, model architectures, evaluations, advantages, limitations, challenges, and future research directions. This enabled us to identify common trends and provide a comprehensive discussion and outlook.

For this systematic meta-review, we conducted a PubMed search using the keywords 'Deep Learning' combined with terms such as 'Review' and 'Survey.' We excluded articles that did not pertain to medical deep learning, were not written in English, focused on veterinary studies, or discussed deep learning as a human learning strategy rather than a machine learning approach. Although Geoffrey Hinton introduced the term "deep learning" in 2006 to describe deep neural networks, the concept had appeared earlier in educational psychology. Additionally, neural networks with multiple layers were already a research topic in the early 1990s, becoming feasible through unsupervised learning techniques. Ultimately, our search identified 43 review or survey articles on deep learning in the medical field, which form the basis of this systematic meta-review.

While this review provides a high-level summary of medical deep learning research, it does not cover all aspects of the field. For instance, certain topics, such as uncertainty quantification in deep learning applications for medical data analysis, were not included due to the constraints of our systematic search methodology. We sought to maintain consistency in our meta-review rather than selectively adding literature beyond the defined criteria.

1.

2. MEDICAL DEEP LEARNING: A COMPACT OVERVIEW OF REVIEWS AND SURVEYS

This section provides an overview of review and survey publications in medical deep learning. The publications within each year are arranged chronologically based on their publication date, starting with the earliest work. While review and survey articles often organize research based on specific categories such as medical image classification, object detection, segmentation, registration, and other tasks, this meta-review follows a chronological order to highlight the historical progression of research. However, tables included in this section also provide an overview of different research categories.

The reviewed surveys vary in scope, ranging from specialized topics such as diabetic retinopathy screening to broader themes like healthcare. Present the number of referenced works and current citations according to Google Scholar. As of August 2020, the reviewed surveys collectively referenced 5,023 works and received a total of 7,444 citations. Additionally, Figure 1 presents a collage mapping figures from the reviewed articles onto the surface of the left hemisphere of the brain. [1], visualizes the keyword network of review, showing co-occurrence relationships and topic clusters. This analysis reveals two primary clusters, "humans" and "deep learning," along with related clusters centered on "machine learning," "neural networks (computer)," and "algorithms." These connections illustrate the impact of deep learning on the medical field, covering a broad range of topics and applications.

Using the defined search strategy, seven medical deep learning surveys published in 2017 were identified keyword network from these reviews, highlighting "humans" as the main cluster, with additional clusters for "deep learning" and "neural networks (computer)." More specific topics from 2017 surveys include "electronic health records" and "diagnostic imaging," alongside general clusters such as "machine learning," "algorithms," and "image processing." The reviews from 2017 cite 1,060 contributions and have been cited 6,089 times as of August 2020.

An in-depth overview of the methods, advantages, limitations, evaluations, challenges, and future directions discussed in the 2017 medical deep learning surveys. A common theme across all reviews is the recognition of deep learning as a transformative approach in various medical applications, including diagnosis, prediction, decision-making, and task automation. The surveyed methods consistently outperform traditional algorithms, yet challenges remain—most

notably the lack of model interpretability (the “black box” problem) and the need for large, well-annotated datasets to enhance performance. Addressing these issues will be crucial for advancing the field.

In 2018, 15 new surveys on medical deep learning were identified. Figure 4 presents a network visualization of the primary keywords from these reviews, revealing strong connections around the terms “humans” and “deep learning,” similar to the 2017 studies. Additional clusters emerged in 2018, highlighting expanding areas of research such as “electrocardiography,” “computational biology,” “genomics,” and “animals.” The 2018 surveys cite 1,684 references and have been cited 947 times as of August 2020. These reviews, ordered by electronic publication date, span the following categories:

Toxicity of Chemicals – Tang et al. [2] examine deep learning applications for predicting chemical toxicity, emphasizing the importance of large datasets for quantitative structure-activity relationship modeling. Their survey outlines key data sources, highlights ongoing challenges, and discusses future directions in toxicity prediction.

Pulmonary Nodule Diagnosis – Yang et al. [1] review deep learning-based approaches for pulmonary nodule detection, feature extraction, false-positive reduction, and benign-malignant classification in chest scans.

Physiological Signals – Faust et al. [3] analyze deep learning applications in healthcare using physiological signals such as electromyograms (EMGs), electroencephalograms (EEGs), electrocardiograms (ECGs), and electrooculograms (EOGs).

DNA Sequencing – Celesti et al. [4] explore how deep learning accelerates next-generation sequencing (NGS) by optimizing tools and software, with a focus on cloud computing applications.

Radiotherapy – Meyer et al. [5] discuss deep learning’s role in radiotherapy planning and automation, categorizing studies based on different stages of patient treatment.

Ophthalmology – Grewal et al. [6] highlight deep learning applications for diagnosing eye diseases using digital photographs, optical coherence tomography, and other imaging techniques.

Electronic Health Records (EHRs) – Xiao et al. [7] conduct a systematic analysis of deep learning models for EHR data processing, discussing key challenges and potential solutions.

Bioinformatics – Lan et al.[8] survey deep learning's role in bioinformatics, comparing traditional data mining techniques with newer deep learning architectures.

Personalized Medicine – Zhang et al. [9]review deep learning's impact on patient-specific treatments, particularly in disease characterization, drug development, and therapeutic effect prediction.

1-D Biosignals – Ganapathy et al. [10] classify deep learning models for analyzing one-dimensional biosignals, categorizing them by origin, type, and application.

Omics – Zhang et al. [11] provide an entry-level overview of deep learning techniques used in genomics, transcriptomics, and proteomics, discussing open-source frameworks and emerging challenges.

Sport-Specific Movement Recognition – Cust et al. [12] explore deep learning applications for automated movement analysis in sports, emphasizing the importance of tailored experimental setups and data preprocessing.

These studies demonstrate the growing impact of deep learning in medical fields, addressing an increasingly diverse range of applications while also highlighting ongoing research gaps and future opportunities.

Medical Image Analysis (I) – Medical image analysis involves the automatic or semi-automatic extraction of information from patient data. For example, deep learning can be used to determine tumor volume from an MRI scan, aiding in therapy selection. Shen et al. [28] review fundamental deep learning techniques and their applications in image registration, tissue segmentation, anatomical/cell structure detection, and computer-aided disease diagnosis and prognosis. They conclude by discussing remaining research challenges and potential future directions.

Healthcare – Healthcare encompasses efforts to maintain and improve health through diagnosis, prevention, treatment, and recovery. Miotto et al. [13] survey deep learning applications in healthcare, demonstrating how big biomedical data can be leveraged for

advancements in human health. They also discuss limitations, the need for improved methods, and future research challenges.

Medical Image Analysis (II) – Litjens et al. [14] provide an extensive review of deep learning applications in medical imaging, summarizing over 300 studies. Their analysis covers deep learning techniques for object detection, image classification, segmentation, registration, and more. They categorize research across multiple imaging domains, including digital pathology, neurology, pulmonary imaging, ophthalmology, breast imaging, and cardiovascular applications. They conclude by discussing key research gaps and future directions.

Stroke Management – Stroke can cause long-term disability, and deep learning is increasingly applied in neuroimaging to assess ischemic regions. Feng et al. [15] review deep learning applications in stroke management, identifying key areas such as image segmentation, multimodal prognostication, and radiomics (automated feature extraction).

Molecular Imaging in Cancer – Molecular imaging plays a crucial role in early cancer detection, enabling visualization of biological changes at the cellular and molecular levels. Xue et al. [16] review deep learning applications in molecular cancer imaging, focusing on tumor segmentation, classification, and patient survival prediction.

Health-Record Analysis – Electronic health records (EHRs) store digital patient information, initially for administrative purposes but increasingly for clinical research. Shickel et al. [17] review deep learning applications in EHR analysis, covering frameworks used for information extraction, representation learning, outcome prediction, phenotyping, and de-identification. They highlight challenges such as data heterogeneity, lack of universal benchmarks, and model interpretability, while outlining future research directions.

Microscopy Image Analysis – Microscopy imaging is essential for diagnosing diseases such as brain tumors, breast cancer, and lung cancer. Xing et al. review deep learning techniques applied to microscopy image analysis, summarizing common neural network architectures, including convolutional and fully convolutional networks, deep belief networks, recurrent neural networks, and stacked autoencoders. They analyze applications in segmentation, object detection, and classification, concluding with a discussion of remaining research needs and potential future developments.

Table 1: Deep Learning in Biomedical Data Analysis

Publication	Pros	Cons	Methods	Challenges	Future Directions
Medical Imaging (Biswas et al. [18])	DBM has easy inference Automated feature extraction Learning of complex relationships in data DL methods surpass in robustness and performance	Unknown generalization capabilities (DBN) Vanishing gradient problems during training (AE)	AE (fully), CNN, DBN, DRN, FCN, SVM	Improvement needed before techniques could be integrated into clinical workflows Only trained on small datasets	Widespread use in research and clinical practice Develop realtime applications
Brain Cancer Classification (Tandel et al. [19])	Automatically produce features stable to deformation and translation invariance DL outperforms other ML methods	Computationally more expensive	ANN, CNN, EM, KNN, NB, RF, SVM	Not discussed	Provide fast, noninvasive diagnostic tools
Electroencephalogram (Craik et al. [20])	Successfully applied to motor imagery, seizure detection, mental workload, sleep stage scoring, eventrelated potential, and emotion recognition	Not discussed	AE, CNN, DBN, LSTM, MLPRBM, ANN, SAE, SVM	Formulation of the input data (PSD, wavelet decomposition, etc.)	Combine convolutions and recurrent or RBM architectures Use denoised EEG data
Neurooncology (Shaver et al. [21])	Do not require humanconstructed features CNN architectures provide high accuracies on segmentation, characterization, grading, and survival prediction tasks	Requires large quantities of annotated data Necessitates medical expert knowledge and significant time	ANN, CNN, CRNN, LSTM, SVM	Lack of large annotated datasets	Undisruptive integration into workflows Work with regulatory bodies to facilitate ML/DL use in clinical practice
Diabetic Retinopathy (Asiri et al. [22])	Automatic discovery of relevant features Ability to train and deliver solutions endtoend Successfully applied to vessel and optic disk segmentation, lesion detection, and diabetic retinopathy diagnosis	Require large labeled datasets Tendency to overfit Convergence of DL methods not always guaranteed Lack of interpretability Class imbalance of datasets	AE, CNN, DBN, RNN	Lack of largescale annotated uniform training data Generalization of DL methods	More standardization in data, labels, and test metrics Research GANs
Cardiac Arrhythmia	Unsupervised information capture	Highest scoring ML outperformed	AE, CNN, DBN, LSTM, NN	Lack of interpretability	Research interpretability Identify optimal

(Parvaneh et al. [23])	and feature generation	best DL Overfitting		Large datasets needed	dataset sizes for training and testing
Protein Structure (Wardah et al. [24])	Automatic protein structure prediction Reduced time and costs compared to traditional in vitro analysis	Not discussed	ANN, CNN, GRU, HMM, RNN	Need in vitro techniques to determine hard truths, limiting datasets Lack of comparability	Automated prediction methods to set benchmarks closer to theoretical accuracy
Electroencephalography (Roy et al. [25])	Avoids timeconsuming traditional feature engineering Provides endtoend solutions Flexible with different dataset sizes Can generalize to other tasks or datasets	Lack of reproducibility and interpretability	AE, CNN, DBN, GAN, MLPRBM, ANN, SDAE	Lack of labeled data Dataset augmentations and hyperparameter searches are difficult to identify	Efforts in reproducibility Exploratory research into data quantity vs. performance
Neurology (Valliani et al. [26])	No manual feature crafting Performance gains with larger datasets Successfully applied for medical image classification, segmentation, functional connectivity, and classification of brain disorders	Require large labeled datasets Highquality labels are timeconsuming to create Overfitting Lack of interpretability	AE, CNN, NN, GAN, GRU, LSTM, NB, RNN, SVM	Medical data suffers from heterogeneity and complexity Data privacy, accessibility, and ethical concerns over potential biases	Research into generalizability and interpretability
Cancer Diagnosis (Munir et al. [27])	Learns features from raw images instead of manually constructing them Successfully applied to cancer diagnosis on multiple image samples	Require large datasets, generally with labels Major time/cost investment	AE, AFINN, CNN, DBN, GAN, LSTM, RBM, RNN	Lack of available datasets Datasets suffer from disparity between positive and negative samples	Not discussed

Overall, these reviews provide valuable insights into how deep learning has influenced medical research, identifying key trends and challenges across various healthcare applications.

3. CONCLUSION

Deep learning has significantly impacted scientific research and medicine, revolutionizing fields such as medical imaging, genomics, personalized medicine, and healthcare data analysis. The rapid growth in patient data, combined with advancements in computational power and

algorithmic improvements, has led to the widespread adoption of deep learning in medical applications.

This systematic meta-review highlights the progress providing an overview of key surveys that have explored deep learning's applications in various medical domains. The reviewed studies demonstrate that deep learning models consistently outperform traditional methods in tasks such as image segmentation, disease classification, and physiological signal analysis. However, several challenges remain, including the need for large annotated datasets, issues with model interpretability, and concerns regarding algorithmic bias and generalization.

While deep learning continues to evolve, its integration into clinical practice requires addressing regulatory, ethical, and technical challenges. Future research must focus on improving model explainability, optimizing data efficiency, and developing robust validation frameworks to ensure the reliability of deep learning applications in real-world medical settings. With ongoing advancements, deep learning is poised to further enhance precision medicine, diagnostics, and treatment strategies, ultimately improving patient outcomes and transforming the landscape of modern healthcare.

REFERENCES

- [1] Y. Yang *et al.*, “Deep learning aided decision support for pulmonary nodules diagnosing: A review,” *J Thorac Dis*, vol. 10, pp. S867–S875, Apr. 2018, doi: 10.21037/JTD.2018.02.57.
- [2] W. Tang, J. Chen, Z. Wang, H. Xie, and H. Hong, “Deep learning for predicting toxicity of chemicals: a mini review,” *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*, vol. 36, no. 4, pp. 252–271, Oct. 2018, doi: 10.1080/10590501.2018.1537563.
- [3] O. Faust, Y. Hagiwara, T. J. Hong, O. S. Lih, and U. R. Acharya, “Deep learning for healthcare applications based on physiological signals: A review,” *Comput Methods Programs Biomed*, vol. 161, pp. 1–13, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.CMPB.2018.04.005.
- [4] F. Celesti, A. Celesti, J. Wan, and M. Villari, “Why Deep Learning Is Changing the Way to Approach NGS Data Processing: A Review,” *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 11, pp. 68–76, Apr. 2018, doi: 10.1109/RBME.2018.2825987.

- [5] P. Meyer, V. Noblet, C. Mazzara, and A. Lallement, "Survey on deep learning for radiotherapy," *Comput Biol Med*, vol. 98, pp. 126–146, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.compbiomed.2018.05.018.
- [6] P. S. Grewal, F. Oloumi, U. Rubin, and M. T. S. Tennant, "Deep learning in ophthalmology: a review," *Canadian Journal of Ophthalmology*, vol. 53, no. 4, pp. 309–313, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.jcjo.2018.04.019.
- [7] C. Xiao, E. Choi, and J. Sun, "Opportunities and challenges in developing deep learning models using electronic health records data: A systematic review," *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 25, no. 10, pp. 1419–1428, Oct. 2018, doi: 10.1093/JAMIA/OCY068.
- [8] K. Lan, D. tong Wang, S. Fong, L. sheng Liu, K. K. L. Wong, and N. Dey, "A Survey of Data Mining and Deep Learning in Bioinformatics," *J Med Syst*, vol. 42, no. 8, Aug. 2018, doi: 10.1007/S10916-018-1003-9.
- [9] S. Zhang, S. M. H. Bamakan, Q. Qu, and S. Li, "Learning for Personalized Medicine: A Comprehensive Review From a Deep Learning Perspective," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 12, pp. 194–208, Aug. 2019, doi: 10.1109/RBME.2018.2864254.
- [10] N. Ganapathy, R. Swaminathan, and T. M. Deserno, "Deep Learning on 1-D Biosignals: a Taxonomy-based Survey," *Yearb Med Inform*, vol. 27, no. 1, pp. 98–109, Aug. 2018, doi: 10.1055/S-0038-1667083.
- [11] Z. Zhang *et al.*, "Deep learning in omics: A survey and guideline," *Brief Funct Genomics*, vol. 18, no. 1, pp. 41–57, Feb. 2019, doi: 10.1093/BFGP/ELY030.
- [12] E. E. Cust, A. J. Sweeting, K. Ball, and S. Robertson, "Machine and deep learning for sport-specific movement recognition: a systematic review of model development and performance," *J Sports Sci*, vol. 37, no. 5, pp. 568–600, Mar. 2019, doi: 10.1080/02640414.2018.1521769.
- [13] R. Miotto, F. Wang, S. Wang, X. Jiang, and J. T. Dudley, "Deep learning for healthcare: Review, opportunities and challenges," *Brief Bioinform*, vol. 19, no. 6, pp. 1236–1246, May 2017, doi: 10.1093/BIB/BBX044.

- [14] G. Litjens *et al.*, “A survey on deep learning in medical image analysis,” *Med Image Anal*, vol. 42, pp. 60–88, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.media.2017.07.005.
- [15] R. Feng, M. Badgeley, J. Mocco, and E. K. Oermann, “Deep learning guided stroke management: A review of clinical applications,” *J Neurointerv Surg*, vol. 10, no. 4, pp. 358–361, Apr. 2018, doi: 10.1136/NEURINTSURG-2017-013355.
- [16] Y. Xue, S. Chen, J. Qin, Y. Liu, B. Huang, and H. Chen, “Application of Deep Learning in Automated Analysis of Molecular Images in Cancer: A Survey,” *Contrast Media Mol Imaging*, vol. 2017, p. 9512370, 2017, doi: 10.1155/2017/9512370.
- [17] B. Shickel, P. J. Tighe, A. Bihorac, and P. Rashidi, “Deep EHR: A Survey of Recent Advances in Deep Learning Techniques for Electronic Health Record (EHR) Analysis,” *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 22, no. 5, pp. 1589–1604, Sep. 2018, doi: 10.1109/JBHI.2017.2767063.
- [18] M. Biswas *et al.*, “State-of-the-art review on deep learning in medical imaging,” *Front Biosci (Landmark Ed)*, vol. 24, no. 3, pp. 392–426, Jan. 2019, doi: 10.2741/4725.
- [19] G. S. Tandel *et al.*, “A review on a deep learning perspective in brain cancer classification,” *Cancers (Basel)*, vol. 11, no. 1, Jan. 2019, doi: 10.3390/CANCERS11010111.
- [20] A. Craik, Y. He, and J. L. Contreras-Vidal, “Deep learning for electroencephalogram (EEG) classification tasks: A review,” *J Neural Eng*, vol. 16, no. 3, 2019, doi: 10.1088/1741-2552/AB0AB5.
- [21] M. M. Shaver *et al.*, “Optimizing neuro-oncology imaging: A review of deep learning approaches for glioma imaging,” *Cancers (Basel)*, vol. 11, no. 6, Jun. 2019, doi: 10.3390/CANCERS11060829.
- [22] N. Asiri, M. Hussain, F. Al Adel, and N. Alzaidi, “Deep learning based computer-aided diagnosis systems for diabetic retinopathy: A survey,” *Artif Intell Med*, vol. 99, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.artmed.2019.07.009.
- [23] S. Parvaneh, J. Rubin, S. Babaeizadeh, and M. Xu-Wilson, “Cardiac arrhythmia detection using deep learning: A review,” *J Electrocardiol*, vol. 57, pp. S70–S74, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.jelectrocard.2019.08.004.

- [24] W. Wardah, M. G. M. Khan, A. Sharma, and M. A. Rashid, "Protein secondary structure prediction using neural networks and deep learning: A review," *Comput Biol Chem*, vol. 81, pp. 1–8, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.compbiolchem.2019.107093.
- [25] Y. Roy, H. Banville, I. Albuquerque, A. Gramfort, T. H. Falk, and J. Faubert, "Deep learning-based electroencephalography analysis: A systematic review," *J Neural Eng*, vol. 16, no. 5, Aug. 2019, doi: 10.1088/1741-2552/AB260C.
- [26] A. A. A. Valliani, D. Ranti, and E. K. Oermann, "Deep Learning and Neurology: A Systematic Review," *Neurol Ther*, vol. 8, no. 2, pp. 351–365, Dec. 2019, doi: 10.1007/S40120-019-00153-8.
- [27] K. Munir, H. Elahi, A. Ayub, F. Frezza, and A. Rizzi, "Cancer diagnosis using deep learning: A bibliographic review," *Cancers (Basel)*, vol. 11, no. 9, Sep. 2019, doi: 10.3390/CANCERS11091235.

HAVA ve SU KİRLİLİĞİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER ve YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Hakan YILDIZ

Harran Üniversitesi, hyildiz@harran.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2181-7226

ÖZET

Hava ve su kirliliği, küresel ölçekte çevresel, ekonomik ve toplumsal açıdan ciddi tehditler oluşturmaktadır. Sanayileşme, kentleşme, fosil yakıt tüketimi, plastik ve kimyasal atıkların denetlenmeden doğaya bırakılması, su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilememesi gibi etkenler bu kirlilik türlerinin artmasına neden olmaktadır. Hava kirliliği solunum yolu hastalıklarını artırırken, su kirliliği ise temiz içme suyuna erişimi zorlaştırarak küresel sağlık krizlerine yol açmaktadır. Geleneksel kirlilik izleme yöntemleri yetersiz kalırken, yapay zeka (YZ) tabanlı teknolojiler hava ve su kirliliğini tespit etmek, tahmin etmek ve önlemek için güçlü araçlar sunmaktadır. IoT tabanlı sensör ağları, uydu görüntüleme sistemleri, makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları ile çevresel veriler daha hızlı ve hassas bir şekilde analiz edilebilmektedir. Hava kirliliği açısından, YZ destekli hava kalitesi izleme sistemleri, sanayi emisyonları, trafik yoğunluğu ve meteorolojik değişkenleri analiz ederek kirlilik seviyelerini tahmin edebilir. Su kirliliği konusunda ise, IoT tabanlı akıllı sensörler, su kaynaklarındaki kimyasal ve biyolojik kirleticileri gerçek zamanlı olarak tespit ederek su kalitesinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, hava ve su kirliliğinin nedenleri ve etkileri ele alınmış, geleneksel mücadele yöntemlerinin yetersizlikleri ortaya konmuş ve YZ destekli yenilikçi çözümler detaylandırılmıştır. YZ tabanlı izleme ve tahmin sistemlerinin, çevresel sürdürülebilirliği artırmada nasıl kullanılabileceği incelenmiş ve gelecekte bu teknolojilerin daha yaygın hale getirilerek çevre yönetiminde nasıl devrim yaratabileceği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava ve Su Kirliliği, Yapay Zeka Destekli Çevre Yönetimi, Sürdürülebilir Çevre Politikaları

1. GİRİŞ

Hava ve su kirliliği, günümüzde küresel ölçekte en büyük çevresel tehditlerden biri haline gelmiş olup, ekosistemleri, insan sağlığını ve ekonomik sürdürülebilirliği doğrudan etkilemektedir. Sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı, fosil yakıt tüketimi, endüstriyel ve evsel atıkların doğaya bilinçsizce bırakılması gibi insan kaynaklı faktörler, çevresel kirliliğin hızla artmasına sebep olmaktadır. Doğal kaynakların aşırı tüketimi ve çevresel düzenlemelerin yetersiz kalması, kirliliğin yayılmasını hızlandırarak, ekolojik sistemlerin geri dönüşü olmayan bir noktaya ulaşmasına neden olmaktadır (Feuzer-Matos et al., 2022; Jayalakshmi et al., 2023).

Özellikle hava kirliliği, büyük şehirlerde yaşayan milyonlarca insan için önemli bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksitler (NO_x), sülfür dioksit (SO₂) ve partikül maddeler (PM2.5 ve PM10) gibi kirlletici gazlar, atmosferde birikerek hava kalitesini düşürmekte ve solunum yolu hastalıklarını artırmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) verilerine göre, dünya nüfusunun %99'u kirli hava solumakta ve hava kirliliği her yıl yaklaşık 7 milyon erken ölüme neden olmaktadır. Kronik akciğer hastalıkları, astım, bronşit ve akciğer kanseri gibi hastalıkların görülme sıklığı, yüksek hava kirliliğine sahip bölgelerde çok daha fazladır (Görsel 1).



Görsel 1. Hava ve Su Kirliliğinin Çevresel Etkisi

Ayrıca, atmosferde biriken sera gazları küresel sıcaklıkların yükselmesine, iklim değişikliğinin hızlanmasına ve ekstrem hava olaylarının daha sık yaşanmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, su kirliliği, dünya çapında temiz içme suyuna erişimi zorlaştırarak küresel sağlık krizlerine yol açmaktadır. Tatlı su kaynaklarının %80'inden fazlası evsel, sanayi ve tarım atıkları nedeniyle kirlenmekte ve bu durum, su ekosistemlerini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, su kaynaklarına karışarak

hem su kalitesini düşürmekte hem de deniz yaşamını olumsuz etkilemektedir. Plastik atıkların ve mikroplastiklerin suya karışması, balık ve diğer deniz canlılarının genetik yapısını bozarak biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte ve gıda zincirine mikroplastiklerin karışmasına sebep olmaktadır. Denizlerde ve okyanuslarda biriken atıklar, mercan resiflerinin yok olmasına ve deniz ekosistemlerinin bozulmasına yol açmaktadır (Liu et al., 2020).

Hava ve su kirliliğiyle mücadelede geleneksel yöntemler yetersiz kalmaktadır. Manuel veri toplama, saha çalışmaları ve laboratuvar analizleri, kirliliğin boyutunu belirlemek için gerekli olsa da bu yöntemler zaman alıcı, maliyetli ve geniş ölçekli kirlilik yönetimi açısından yetersizdir. Geleneksel ölçüm teknikleri, yalnızca belirli bölgelerden veri toplamakta ve gerçek zamanlı analizler sunamamaktadır. Bu nedenle, hava ve su kirliliğinin tespit edilmesi, izlenmesi ve önlenmesi için yeni teknolojilere olan ihtiyaç giderek artmaktadır (Harbi et al., 2024).

Son yıllarda, yapay zeka (YZ), büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve uzaktan algılama teknolojileri, çevresel kirliliği yönetmek için etkili çözümler sunmaktadır. YZ destekli izleme sistemleri, büyük ölçekli veri analizi yaparak kirliliğin nedenlerini ve kaynaklarını belirleyebilir, tahmine dayalı modelleme ile gelecekteki kirlilik seviyelerini öngörebilir ve erken uyarı mekanizmaları geliştirerek çevresel krizleri önleyebilir. Akıllı sensörler, IoT cihazları, drone'lar ve uydu görüntüleme sistemleri, hava ve su kalitesinin sürekli olarak izlenmesine olanak tanırken, makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, kirliliğin nedenlerini belirlemek ve azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için kullanılmaktadır (Yang et al., 2022).

Bu çalışmada, hava ve su kirliliğinin nedenleri ve etkileri ele alınarak, geleneksel mücadele yöntemlerinin yetersiz kaldığı noktalar irdelenecek, yapay zeka tabanlı yenilikçi çözümler detaylandırılacaktır. Özellikle, hava ve su kirliliğini izleme, tahmin etme ve önleme alanlarında yapay zekanın mevcut uygulamaları ve gelecekteki potansiyel gelişmeleri incelenecektir. Çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve doğal kaynakları korumak amacıyla yapay zeka destekli teknolojilerin nasıl daha etkin bir şekilde kullanılabileceği tartışılacak ve gelecekte çevre yönetiminde atılması gereken adımlar değerlendirilecektir.

2. HAVA ve SU KİRLİLİĞİ: YAPAY ZEKA DESTEKLİ ÇÖZÜMLER

Hava kirliliği, insan sağlığı, ekosistemler ve iklim değişikliği üzerinde doğrudan ve uzun vadeli olumsuz etkiler yaratan en büyük çevresel sorunlardan biridir. Sanayileşme, fosil yakıt kullanımı, kentleşme, enerji üretimi, ulaşım, tarım ve ormansızlaşma, hava kirliliğinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Özellikle büyük şehirlerde, sanayi tesisleri, fabrikalar, enerji santralleri ve yoğun motorlu taşıt trafiği nedeniyle hava kalitesi giderek daha da kötüleşmektedir. Hava kirliliği yalnızca yerel bir sorun olmakla kalmayıp, atmosferde biriken zararlı gazlar ve ince partiküller nedeniyle küresel çapta da etkili olmaktadır. Bu durum, sera

etkisini artırarak iklim değişikliğini tetiklemekte ve dünya çapında ekstrem hava olaylarının artmasına yol açmaktadır.

Geleneksel hava kalitesi izleme yöntemleri, genellikle yerel ölçüm istasyonlarına dayalı olup, geniş coğrafi alanlarda hava kirliliğinin tam olarak izlenmesini ve tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak, son yıllarda gelişen yapay zeka (YZ) ve büyük veri teknolojileri, hava kirliliğinin izlenmesi ve yönetilmesi için devrim niteliğinde çözümler sunmaktadır. Yapay zeka destekli hava kirliliği izleme sistemleri, gerçek zamanlı sensör verileri, uydu görüntüleri, hava durumu modelleri ve büyük veri analitiğini kullanarak hava kirliliğini daha hassas ve kapsamlı bir şekilde takip etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu teknolojiler, hava kirliliğinin tahmin edilmesini, çevresel politikaların daha verimli hale getirilmesini ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesini sağlamaktadır.

2.1. Hava Kirliliğinin Nedenleri ve Etkileri

Hava kirliliği, doğal süreçlerin yanı sıra büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklanan gazlar ve partikül maddelerin atmosfere yayılmasıyla oluşmaktadır. Başlıca nedenler şunlardır:

Sanayi ve Enerji Üretimi:

Sanayi tesisleri, petrol rafinerileri ve enerji santralleri, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtları yakarak büyük miktarlarda kirlletici maddeyi atmosfere salmaktadır. Termik santrallerden çıkan karbon dioksit (CO₂), sülfür dioksit (SO₂) ve azot oksitler (NO_x), hava kirliliğinin en önemli bileşenlerindendir (Liu et al., 2020).

Fosil Yakıt Kullanımı ve Ulaşım:

Motorlu taşıtlar, hava kirliliğinin en büyük kaynaklarından biridir. Egzoz emisyonları, karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve partikül maddeler (PM_{2.5}, PM₁₀) içererek şehirlerde hava kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Yoğun trafiğin olduğu büyük şehirlerde, hava kirliliği ve sera gazı salınımı diğer bölgelere göre çok daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır (Harbi et al., 2024).

Tarım ve Hayvancılık:

Tarımsal ilaçlar, pestisitler ve kimyasal gübreler havaya yayılan amonyak (NH₃) gibi gazlarla hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Büyükbaş hayvancılık ve pirinç tarımı gibi faaliyetlerden kaynaklanan metan (CH₄) emisyonları, küresel ısınmayı hızlandıran faktörler arasında yer almaktadır (Popescu et al., 2024).

Ormansızlaşma ve Yangınlar:

Orman yangınları, havaya büyük miktarlarda karbon monoksit (CO), metan (CH₄) ve ince partikül maddeler salarak hava kirliliğini artırmaktadır. Ormansızlaşma, karbondioksit emisyonlarının dengelenmesini sağlayan doğal yutakların yok olmasına neden olarak hava kirliliğini artırmaktadır (Puig & Darbra, 2024).

2.2. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Ekosistem Üzerindeki Etkileri

Hava kirliliği, insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, her yıl yaklaşık 7 milyon insan hava kirliliği nedeniyle erken ölmektedir. Solunum yolu hastalıkları, akciğer kanseri, astım, bronşit ve kardiyovasküler hastalıklar, hava kirliliğiyle doğrudan ilişkilendirilen sağlık sorunları arasındadır. Ayrıca, hava kirliliğinin ekosistemler ve iklim üzerindeki etkileri şunlardır:

Biyolojik çeşitliliğin azalması: Asit yağmurları, tarım alanlarına ve su kaynaklarına zarar vererek ekosistemlerin bozulmasına yol açmaktadır (Yang et al., 2022)

İklim değişikliğinin hızlanması: Karbondioksit ve metan gazlarının atmosferde birikmesi, küresel sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır (Vallidevi et al., 2021).

Ozon tabakasının incilmesi: Atmosferdeki kirleticiler, ozon tabakasını zayıflatarak güneşin zararlı ultraviyole ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına neden olmaktadır (Qi, 2024).

2.3. Yapay Zeka ile Hava Kalitesi İzleme ve Tahmini

Geleneksel hava kirliliği izleme yöntemleri, genellikle belli başlı ölçüm istasyonlarından alınan verilere dayanarak sınırlı bir alanı kapsamakta ve geniş ölçekli hava kirliliği tahmini yapmakta yetersiz kalmaktadır (Görsel 2). Ancak, yapay zeka tabanlı sistemler, büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde çok daha kapsamlı ve doğru hava kirliliği tahminleri yapabilmektedir (Belova et al., 2022).



Görsel 2. Yapay Zeka ile Hava Kalitesi İzleme ve Tahmini Görseli

Yapay Zekâ Destekli Hava Kalitesi İzleme Teknolojileri

IoT Tabanlı Sensör Ağları

İşlevsellik: IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazları, hava kirliliğini izlemek için küçük, taşınabilir ve düşük maliyetli sensörlerle donatılmıştır.

Gerçek Zamanlı Veri Toplama: Bu sensörler, hava kalitesi verilerini anlık olarak toplayarak merkezi sistemlere iletir ve kesintisiz izleme sağlar (Manongga et al., 2024).

Avantajlar: Düşük maliyet, yüksek ölçeklenebilirlik ve hem kentsel hem de kırsal alanlarda erişilebilirlik.

Zorluklar: Sensör doğruluğu ve veri güvenilirliği, çevresel koşullar ve donanım sınırlamalarına bağlı olarak değişebilir (Sharma et al., 2022).

Uydu Görüntüleme ve Uzaktan Algılama

Uydu Teknolojisinin Kullanımı: NASA'nın Landsat, MODIS ve Sentinel uyduları, atmosferdeki kirletici gazların konsantrasyonlarını ve dağılımlarını analiz eder (Andreı & Ioand, 2023).

Yapay Zekânın Rolü: Derin öğrenme algoritmaları, uydu görüntülerini işleyerek geniş ölçekli hava kirliliği haritaları oluşturur ve yüksek mekânsal ve zamansal doğruluk sağlar (R.K, 2023). Sanayi emisyonlarını ve kentsel kirliliği izleme. İklim değişikliğinin hava kalitesine etkisini değerlendirme. Politika müdahaleleri için kirlilik odak noktalarını tespit etme (Manongga et al., 2024).

Makine Öğrenmesi ile Hava Kirliliği Tahmini

Tahmin Modelleri: Makine öğrenmesi modelleri, geçmiş hava kirliliği verilerini analiz ederek gelecekteki kirlilik seviyelerini tahmin eder (R.K, 2023).

Kullanılan Algoritmalar: Yapay Sinir Ağları (ANN'ler): Kirlilik verilerindeki karmaşık desenleri tanımlar (Kumar ve ark., 2022). Karar Ağaçları: Hava kirliliğini etkileyen meteorolojik faktörleri (örn. sıcaklık, nem, rüzgar hızı) belirler (Gomathi et al., 2022).

Faydalar: Erken uyarılar ve proaktif önlemler sağlar. Kentsel planlamayı ve çevresel politikaları iyileştirir. Bu teknolojiler, hava kirliliği ile mücadelede yapay zekanın büyük bir fark yarattığını göstermektedir. Gelecekte, bu sistemlerin daha da gelişmesiyle, şehirler daha temiz hava kalitesine sahip olabilir ve çevresel sürdürülebilirlik sağlanabilir (Babu Saheer et al., 2022).

2.4. Su Kirliliği ve Yapay Zeka Destekli Çözümler

Su kirliliği, küresel ölçekte en ciddi çevresel tehditlerden biri olarak kabul edilmektedir. Sanayi tesislerinden çıkan kimyasal atıklar, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve pestisitler, plastik atıklar, evsel ve belediye atıkları gibi insan faaliyetleri, su kaynaklarını kirleterek hem insan sağlığını hem de doğal ekosistemleri tehlikeye atmaktadır. Tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetilememesi, su krizlerini artırarak milyonlarca insanın temiz içme suyuna erişimini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, okyanuslara karışan plastik atıklar ve ağır metaller, deniz yaşamının genetik yapısını bozarak ekosistemlerin dengesini tehdit etmektedir. Geleneksel su kalitesi izleme yöntemleri, genellikle sınırlı ölçüm noktalarına dayandığından, geniş ölçekli su kirliliği analizleri yapmakta yetersiz kalmaktadır. Ancak, son yıllarda geliştirilen yapay zeka (YZ) tabanlı sistemler, büyük veri analitiği, IoT (Nesnelerin İnterneti) destekli akıllı sensörler ve uzaktan algılama teknolojileri sayesinde su kirliliğini daha etkin bir şekilde izleme ve önleme imkanı sunmaktadır (Alam et al., 2022).

YZ destekli su yönetim sistemleri, su kaynaklarındaki kimyasal ve biyolojik kirleticileri anlık olarak analiz edebilir, suyun kalitesini tahmin edebilir ve kirliliğin nedenlerini belirleyerek önleyici politikaların uygulanmasını sağlayabilir. Bu teknolojiler, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve tatlı su kaynaklarını korumak için kritik bir rol oynamaktadır.

2.5. Su Kirliliğinin Nedenleri ve Ekosistem Üzerindeki Etkileri

Su kirliliği, doğal süreçlerin yanı sıra büyük ölçüde insan faaliyetleri nedeniyle meydana gelmektedir. Göller, nehirler, denizler ve yer altı su kaynakları, özellikle sanayi, tarım ve şehirleşme nedeniyle büyük miktarlarda kirlletici maddeye maruz kalmaktadır.

Su Kirliliğinin Başlıca Nedenleri

Su kirliliğinin başlıca kaynakları şunlardır:

Sanayi Atıkları ve Ağır Metaller:

Fabrikalar, rafineriler ve madencilik faaliyetleri, su kaynaklarına doğrudan kimyasal atıklar bırakabilmektedir. Cıva (Hg), kurşun (Pb), arsenik (As) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metaller, sulara karışarak zehirli atık oluşumuna ve ekosistemlerin bozulmasına yol açmaktadır (Alam et al., 2022).

Tarım Kimyasalları ve Pestisitler: Gübreler, tarım ilaçları ve pestisitler, yağmurlar yoluyla su kaynaklarına karışarak alg patlamalarına ve su ekosistemlerinde oksijen seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır. Nitrat (NO_3) ve fosfat (PO_4) içeren tarım kimyasalları, özellikle nehirler ve göllerde su kalitesini ciddi şekilde düşürmektedir (Mancuso et al., 2021).

Plastik Kirliliği ve Mikroplastikler: Denizlerde ve nehirlerde biriken plastik atıklar, deniz canlılarının genetik yapılarını bozmakta ve biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir. Mikroplastikler, balıkların sindirim sistemine girerek besin zinciri boyunca insan sağlığına kadar ulaşabilmektedir (Yadav, 2024).

Evsel ve Belediye Atıkları:

Kanalizasyon sularının yetersiz arıtılması, içme suyu kaynaklarını ve ekosistemleri tehdit etmektedir. Deterjanlar, farmasötik ilaç atıkları ve kimyasal temizlik ürünleri, suyun kimyasal dengesini bozarak su yaşamını olumsuz etkilemektedir (Shah et al., 2021).

2.6. Su Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Ekosistemler Üzerindeki Etkileri

Su kirliliği, insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluştururken, aynı zamanda doğal ekosistemleri de tahrip etmektedir.

İçme Suyu Krizleri ve Halk Sağlığı Tehditleri: Dünya genelinde 2 milyardan fazla insan güvenli içme suyuna erişememektedir. Kirli su tüketimi, tifo, kolera, dizanteri ve hepatit gibi su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olmaktadır (Satoh et al., 2023).

Deniz ve Tatlı Su Ekosistemlerinin Bozulması: Oksijen seviyelerinin düşmesi (Ötrofikasyon), alg patlamalarına yol açarak deniz ve göllerdeki biyolojik yaşamı yok etmektedir. Mercan resifleri, ağır metaller ve plastik atıklar nedeniyle giderek yok olmaktadır.

Tarım ve Gıda Güvenliği Üzerindeki Etkiler: Kirlilik nedeniyle sulanan tarım ürünleri, insan sağlığını tehdit eden ağır metal ve pestisit kalıntıları içerebilmektedir.

2.7. Yapay Zeka ile Su Kirliliği İzleme ve Yönetimi

Geleneksel su kalitesi izleme yöntemleri, genellikle laboratuvar analizleri ve fiziksel örneklemeye dayandığından, geniş çapta ve hızlı ölçümler yapma konusunda yetersiz kalmaktadır. Ancak, yapay zeka tabanlı çözümler, su kirliliğinin daha hassas ve anlık olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır (Görsel 3).



Görsel 3. Yapay Zeka ile Su Kalitesi İzleme ve Tahmini Görseli

Yapay Zekâ Destekli Su Kirliliği İzleme Teknolojileri

IoT Tabanlı Akıllı Sensörler

Gerçek Zamanlı Veri Toplama: IoT destekli akıllı sensörler, suyun pH seviyesi, sıcaklık, çözünmüş oksijen ve kirlenici kimyasallar gibi kritik parametreleri sürekli izleyerek merkezi sistemlere gerçek zamanlı veri sağlamaktadır (Singh & Walingo, 2024).

Makine Öğrenmesi ile Veri Analizi: Makine öğrenmesi algoritmaları, sensörlerden alınan verileri analiz ederek su kalitesinde oluşabilecek olası sorunları önceden tahmin edebilir (William et al., 2023).

Uydu Teknolojisi: NASA ve ESA'nın Sentinel, MODIS ve Landsat gibi uydu sistemleri, su kaynaklarının geniş ölçekte izlenmesini sağlamaktadır (Mukonza & Chiang, 2023).

Derin Öğrenme ile Görüntü Analizi: Yapay zekâ destekli görüntü işleme teknikleri, uydu verilerini analiz ederek kirliliğin kaynaklarını ve yayılımını haritalandırmaktadır (Omondi et al., 2024).

Geçmiş Verilerle Kirlilik Tahmini: Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, su kirliliğinin geçmiş verilerini analiz ederek gelecekteki kirlilik seviyelerini tahmin edebilir (Aldhyani et al., 2020).

Karar Destek Sistemleri: Hangi bölgelerin en fazla kirlilik riski taşıdığını belirleyerek önleyici tedbirlerin alınmasını sağlar.

2.8. Yapay Zekâ Destekli Su Yönetimi Çözümleri

Atık Su Arıtma ve Geri Dönüşüm

Otomatik Arıtma Süreçleri: Yapay zekâ destekli arıtma tesisleri, suyun kalitesine göre optimal arıtma süreçlerini otomatik olarak belirleyerek suyun tekrar kullanılmasını sağlamaktadır (Hmoud Al-Adhaileh & Waselallah Alsaade, 2021).

Sürdürülebilir Su Yönetimi: Bu sistemler, suyun geri kazanım oranını artırarak sürdürülebilir su yönetimi sağlamaktadır (Mustafa et al., 2021).

Akıllı Sensörler ve Büyük Veri Analitiği: Su kirliliğinin hangi endüstriler veya bölgelerden kaynaklandığını tespit edebilir (Popescu et al., 2024).

YZ Destekli Robotlar ve Otonom Sistemler: Su altındaki plastikleri ve zararlı atıkları temizlemek için kullanılmaktadır (Puig & Darbra, 2024).

Bu teknolojiler, su kaynaklarını koruma ve su krizlerine karşı önleyici çözümler geliştirme açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Yapay zeka, gelecekte su kirliliğinin daha etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olacak ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirecektir.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, hava ve su kirliliğinin nedenlerini ve etkilerini detaylı bir şekilde ele alarak, yapay zeka destekli çevre yönetimi çözümlerinin günümüzdeki ve gelecekteki rolünü vurgulamaktadır. Sanayi faaliyetleri, fosil yakıt tüketimi, tarımsal kimyasallar, plastik atıklar ve belediye atıkları gibi insan kaynaklı faktörler, çevresel kirliliğin başlıca nedenleri arasında yer almakta ve ekosistemler üzerinde ciddi tahribatlara yol açmaktadır. Hava ve su kirliliğinin önlenmesi ve yönetimi için geleneksel yöntemler yetersiz kalırken, yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi yenilikçi teknolojiler, çevresel koruma çabalarını daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmektedir.

Yapay zeka tabanlı sistemler, hava ve su kirliliğini daha doğru tahmin etmek, kaynakları optimize etmek ve erken uyarı mekanizmaları oluşturmak için güçlü araçlar sunmaktadır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve IoT destekli akıllı sensörler sayesinde kirlilik seviyeleri anlık olarak izlenebilmekte ve çevresel veriler geniş bir ölçekle değerlendirilebilmektedir. Bu teknolojiler, politika yapımcıların ve çevre yönetimi uzmanlarının bilinçli kararlar almasını sağlayarak, çevre dostu ve sürdürülebilir çözümlerin benimsenmesini teşvik etmektedir.

Gelecekte, yapay zeka tabanlı sistemlerin daha yaygın hale gelmesiyle birlikte, hava ve su kirliliğini azaltmaya yönelik daha etkili çevre politikalarının geliştirilmesi mümkün olacaktır. Akıllı şehir uygulamaları, sanayi tesisleri ve su yönetimi sistemlerinde yapay zeka destekli izleme teknolojilerinin entegrasyonu, çevresel sürdürülebilirliği sağlamanın yanı sıra enerji ve su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına da katkıda bulunacaktır. Aynı zamanda, gelişmiş yapay zeka modelleri sayesinde, kirlilik kaynakları daha iyi tespit edilecek, uzun vadeli çevresel tahminler yapılacak ve önleyici önlemler zamanında uygulanabilecektir.

Sonuç olarak, hava ve su kirliliğiyle mücadelede yapay zekanın kullanımı, sadece mevcut sorunları çözmekle kalmayıp, gelecekte daha yaşanabilir ve sağlıklı bir çevre oluşturmak için kritik bir unsur olacaktır. Yapay zeka destekli çevre yönetimi sistemlerinin daha da geliştirilmesi ve uygulanması, küresel çevre sorunlarının çözümüne yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir. Bu teknolojilerin benimsenmesi, ekosistemlerin korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği ve insan sağlığının güvence altına alınması açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., & Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130011. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130011>

- Aldhyani, T. H. H., Al-Yaari, M., Alkahtani, H., & Maashi, M. (2020). Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/6659314>
- ANDREI, N., & IOANID, A. (2023). POTENTIAL USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GEOSPATIAL ANALYSIS IN ENVIRONMENTAL MONITORING: Air quality in a large city. *Towards Increased Business Resilience: Facing Digital Opportunities and Challenges*, 369–376. <https://doi.org/10.56177/11icmie2023.31>
- Babu Saheer, L., Bhasy, A., Maktabdar, M., & Zarrin, J. (2022). Data-Driven Framework for Understanding and Predicting Air Quality in Urban Areas. *Frontiers in Big Data*, 5. <https://doi.org/10.3389/fdata.2022.822573>
- Belova, Y., Razveeva, I., & Rakhimbaeva, E. (2022). Intelligent analysis of Earth remote sensing data on the distribution of phytoplankton and pollutants in coastal systems. *E3S Web of Conferences*, 363, 02026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236302026>
- Feuzer-Matos, A. J., Testolin, R. C., Pimentel-Almeida, W., Radetski-Silva, R., Deomar-Simões, M. J., Poyer-Radetski, L., Ariento-Neto, R., Batista-Barwinski, M. J., Somensi, C. A., & Radetski, C. M. (2022). Treatment of Wastewater Containing New and Non-biodegradable Textile Dyes: Efficacy of Combined Advanced Oxidation and Adsorption Processes. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 273. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05751-1>
- Gomathi, G., Emilyn, J. J., Thamburaj, A. S., & D, V. K. (2022). Real Time Air Pollution Prediction in Urban Cities using Deep Learning Algorithms and IoT. *2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 340–343. <https://doi.org/10.1109/ICCES54183.2022.9835991>
- Harbi, M. R., Rasheed, H. A., Abed, H. A., & Mohsein, O. A. (2024). The Role of Remote Sensing in Assessing and Mitigating Environmental Pollution: A Narrative Review. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(5), 268–278. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2\(5\).27](https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(5).27)
- Hmoud Al-Adhaileh, M., & Waselallah Alsaade, F. (2021). Modelling and Prediction of Water Quality by Using Artificial Intelligence. *Sustainability*, 13(8), 4259. <https://doi.org/10.3390/su13084259>
- Jayalakshmi, R., Soundaranayaki, K., & Subhash Kannan, M. (2023). Removal of Methylene Blue dye from textile wastewater using vertical flow constructed wetland. *Materials Today: Proceedings*, 77, 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.030>
- Liu, Y., Jing, Y., & Lu, Y. (2020). Research on Quantitative Remote Sensing Monitoring Algorithm of Air Pollution Based on Artificial Intelligence. *Journal of Chemistry*, 2020, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/7390545>
- Mancuso, G., Bencresciuto, G. F., Lavrnić, S., & Toscano, A. (2021). Diffuse Water Pollution from Agriculture: A Review of Nature-Based Solutions for Nitrogen Removal and Recovery. *Water*, 13(14), 1893. <https://doi.org/10.3390/w13141893>
- Manongga, D., Rahardja, U., Sembiring, I., Aini, Q., & Wahab, A. (2024). Improving the Air Quality Monitoring Framework Using Artificial Intelligence for Environmentally Conscious Development. *HighTech and Innovation Journal*, 5(3), 794–813. <https://doi.org/10.28991/HIJ-2024-05-03-017>
- Mukonza, S. S., & Chiang, J.-L. (2023). Meta-Analysis of Satellite Observations for United Nations Sustainable Development Goals: Exploring the Potential of Machine Learning for Water Quality Monitoring. *Environments*, 10(10), 170. <https://doi.org/10.3390/environments10100170>
- Mustafa, H. M., Mustapha, A., Hayder, G., & Salisu, A. (2021). Applications of IoT and Artificial Intelligence in Water Quality Monitoring and Prediction: A Review. *2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 968–975.

- <https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358675>
- Omondi, A. N. A., Ouma, Y., Mburu, S. N., & Achisa, C. M. (2024). Optimization of Reservoir Water Quality Parameters Retrieval and Treatment Using Remote Sensing and Artificial Neural Networks. *Journal of Digital Food, Energy & Water Systems*, 5(1). <https://doi.org/10.36615/2x3qd014>
- Popescu, S. M., Mansoor, S., Wani, O. A., Kumar, S. S., Sharma, V., Sharma, A., Arya, V. M., Kirkham, M. B., Hou, D., Bolan, N., & Chung, Y. S. (2024). Artificial intelligence and IoT driven technologies for environmental pollution monitoring and management. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1336088>
- Puig, M., & Darbra, R. M. (2024). Innovations and insights in environmental monitoring and assessment in port areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 70, 101472. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2024.101472>
- Qi, Y. (2024). The Impact of Artificial Intelligence on Environmental Protection. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 96, 152–156. <https://doi.org/10.54097/nzbf8s91>
- R.K, T. (2023). FEMTOSAT-Based Air Quality Monitoring: Leveraging Satellite Data and LoRa Communication for Improved AQI Predictions. *Acceleron Aerospace Journal*, 1(3), 47–53. <https://doi.org/10.61359/11.2106-2311>
- Satoh, H., Hafner, J., Hutter, J., & Fenner, K. (2023). Can AI Help Improve Water Quality? Towards the Prediction of Degradation of Micropollutants in Wastewater. *CHIMIA*, 77(1/2), 48. <https://doi.org/10.2533/chimia.2023.48>
- Shah, M. I., Alaloul, W. S., Alqahtani, A., Aldrees, A., Musarat, M. A., & Javed, M. F. (2021). Predictive Modeling Approach for Surface Water Quality: Development and Comparison of Machine Learning Models. *Sustainability*, 13(14), 7515. <https://doi.org/10.3390/su13147515>
- Sharma, S., Tanwar, P., Yadav, A., Sairam, B. K., & Jaswal, S. (2022). Critical Review of Air Quality Prediction using Machine Learning Techniques. *2022 Sixth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC55078.2022.9987252>
- Singh, Y., & Walingo, T. (2024). Smart Water Quality Monitoring with IoT Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 24(9), 2871. <https://doi.org/10.3390/s24092871>
- Vallidevi, K., Gopinath, K. P., Nagarajan, K. K., Prakash, D. G., Sudhamsu, G., Sudhish, S., & Al-Zahrani, S. A. (2021). Water Pollution Monitoring through Remote Sensing. *Current Analytical Chemistry*, 17(6), 802–814. <https://doi.org/10.2174/1573411016666200206095055>
- William, P., Oyebode, O. J., Ramu, G., Gupta, M., Bordoloi, D., & Shrivastava, A. (2023). Artificial Intelligence based Models to Support Water Quality Prediction using Machine Learning Approach. *2023 International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, 1496–1501. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT58313.2023.10245020>
- Yadav, S. C. (2024). Water Pollution: The Problems and Solutions. *Science Insights*, 44(2), 1245–1251. <https://doi.org/10.15354/si.24.re905>
- Yang, L., Driscoll, J., Sarigai, S., Wu, Q., Lippitt, C. D., & Morgan, M. (2022). Towards Synoptic Water Monitoring Systems: A Review of AI Methods for Automating Water Body Detection and Water Quality Monitoring Using Remote Sensing. *Sensors*, 22(6), 2416. <https://doi.org/10.3390/s22062416>