



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Engineering Sciences

2023

SAYI / NUMBER : 1

CILT / VOLUME : 26



Yazışma Adresi / Corresponding Address

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
46050, Onikişubat/Kahramanmaraş
TÜRKİYE

E - Posta

jes@ksu.edu.tr

Web

<http://jes.ksu.edu.tr/>

Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.

This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.



Sahibi / Owner

Prof.Dr. Alptekin YASIM
KSU Rector

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL
munsal@ksu.edu.tr

Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

Assist. Prof. Dr. Zeynep Banu ÖZGER
zeynepozger@ksu.edu.tr

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
asyilmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet ALKAN
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
aalkan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL
Civil Eng.
KSU Univ. TURKEY
munsal@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet KAYA
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
kaya38@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Remzi ŞAHİN
Civil Eng.
Atatürk Univ.,TURKEY
rsahin@atauni.edu.tr

Prof Dr. Yücel ÖZMEN
Mechanical Eng.
Karadeniz Teknik Univ.,TURKEY
yozmen@ktu.edu.tr

Prof.Dr. Özlem TURGAY
Food Eng.
KSU Univ. TURKEY
ozlem@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU
Landscape Arc.
KSU Univ. TURKEY
fmengelo@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Tahir Çetin AKINCI
Electrical Eng.
İstanbul Teknik Univ, TURKEY
akincitc@itu.edu.tr

Prof. Dr. Kristina SARIC
Geological Eng.
University of Belgrade, SERBIA
kristina.saric@rgf.bg.ac.rs

Prof. Dr. Ramazan GÖKÇE
Food Eng.
Pamukkale Univ., TURKEY
rgokce@pau.edu.tr

Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER
Chemical Eng.
İnönü Univ., TURKEY
mehmet.yuceer@inonu.edu.tr

Assoc. Prof.Dr.Tamer RIZAOĞLU
Geological Eng.
KSU Univ., TURKEY
tamer@ksu.edu.tr

Assist.Prof.Dr. Fethullah GÖÇER
Industrial Eng.
KSU Univ. TURKEY
fgocer@ksu.edu.tr

Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ
Environmental Eng.
KSU Univ. TURKEY
cuci@ksu.edu.tr

Assoc.Prof.Dr. Erdem SELVER
Textile Eng.
KSU Univ. TURKEY
eserver@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM
Computer Eng.
KSU Univ. TURKEY
hbadem@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
bozcelik@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Özdeş ÇERMİK
Language Editor
KSU Univ. TURKEY
ozdescermik@ksu.edu.tr

Research Assist. Fahriye GEMCİ
Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
fahriyegemci@ksu.edu.tr

Res. Assist. Dr. S.Hatice GÖKLER
Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
sedahaticegokler@ksu.edu.tr

Res. Assist. Elif ÇELİK

Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
elifcelik@ksu.edu.tr

Res. Assist. Sermet AYMAN

Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
sayman@ksu.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Cetin Kaya KOC

Dep. of Computer Eng.
Univ Of Cal.
Santa Barbara. USA
koc@cs.ucsb.edu

Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
Sakarya Univ. Sakarya,
TURKEY
aozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng.
ÇU Univ.
Adana, TURKEY
hakilli@cu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng.
İTU Univ.
İstanbul. TURKEY
korurek@itu.edu.tr

Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.
KSU Univ.
TURKEY
ykorkmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.
Alanya Alaaddin Keykubat
Univ. Antalya, TURKEY
apinarbasi@alanya.edu.tr

Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.
İTU Univ. İstanbul.
TURKEY
sekers@itu.edu.tr

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
YBU Univ.
Ankara, TURKEY
serel@ybu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng.
Marmara Univ.
İstanbul. TURKEY
monat@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.
Yıldız Technical Univ.
İstanbul. TURKEY
debik@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.
Brunel Univ.
Uxbridge, UK
mizi.fan@brunel.ac.uk

Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İst.,
TURKEY
fbaba@marmara.edu.tr

Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics
Panjab Univ,
Chandigarh, India
amit_chaudhry01@yahoo.com

Assoc. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ.
İstanbul, TURKEY
nekren@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education.
KSU Univ.
K.Maras. TURKEY
yazici@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.
YTU Univ.
İstanbul. TURKEY
selimay@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics
KSU Univ.
K.Maraş, TURKEY
gogebakan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng.
Adiyaman Univ.
Adiyaman. TURKEY
pala@adiyaman.edu.tr

Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng
KSU Univ.
K.Maraş. TURKEY
iokumus@ksu.edu.tr



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



BU SAYIYA (CİLT 26 SAYI 1) KATKI VEREN HAKEMLER

Fatma Elçin KURT

Ahmet BUDAK

İlker KAZAZ

Gökhan ERKAN

Levent ELEN

Pelin CANBAY

Ferdi DOĞAN

Şerafettin EREL

Bilgehan GÜRÜNLÜ

Rafet KARADAĞ

Faruk Enes OĞUZ

Erkan AVCI

Furkan DİNÇER

Füsun DOBA KADEM

Mehmet Zübeyir ÜNLÜ

Şendoğan KARAGÖZ

Cihangir BOZTEPE

Zehra YILDIZ

Nihan BABAOĞLU

Muhterem KÜÇÜKÖNDER

Fatih Yavuz ILGIN

Turab SELÇUK

Mücahid GÜNAY

Mehmet Eren GÜLŞAN

Hatice ÇITAKOĞLU

Kubilay Muhammed SÜNNETÇİ

Taner TUNCER

Ahmet Ferhat BİNGÖL

Erdal KILIÇ

Zeynep ZAIMOĞLU

Dilek OKUYUCU

Koray PEKTAŞ

Erkan KOÇ

Celal KURŞUN

Murat İNCE

Hakan AÇIKGÖZ

Mustafa Can BİNGÖL

Mehmet GÖK

Aydın ÇITLAK

Mehmet İsmail GÜRSOY

Evren TERZİ

Sami ŞİT

Özgün CAN

İlker KILIÇ

İsmail BOZKURT

Ayten ATEŞ

Mustafa ÖZTÜRK

Özlem AKAR

Senem TEKİN

Hacı Ömer DOKUMACI

Eyüp Emre ÜLKÜ

Kasım MERMERDAŞ

Kadir ABACI

Ahmet BAYLAR

Ramazan SOLMAZ

Serdar ÇARBAŞ

Serkan ETLİ



İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALESİ – RESEARCH ARTICLE

- Demir (II, III) Oksit (Fe₃O₄) Nanopartiküller Kullanılarak Tekstil Atıksularının Arıtılması**
Treatment Of Textile Wastewater Using Iron (II, III) Oxide (Fe₃O₄) Nanoparticles 1-7
İrem AYRANPINAR, Ahmet DUYAR, Serdar GÖÇER, Melike KOZAK, Emre Oğuz KÖROĞLU, Kevser CIRIK
- Sürtünmeli Sönümleyicinin Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi**
Investigation Of The Effect Of Friction Damper On The Earthquake Behavior 8-18
Elif BORU, Emine AYDIN, Mert GÜRBÜZ
- Problems Of Textile Dyehouses: From Employee's Perspective** 19-32
Tekstil Boyahanelerinin Sorunları: Çalışan Bakış Açısıyla
Hüseyin ÖZDEMİR
- AZ91 Magnezyum Alaşımının Saf Si Tozu Ortamında Kaplanabilirliğinin İncelenmesi**
Investigation Of Coatable Of AZ91 Magnesium Alloy In Pure Si Powder 33-42
Onur AVCI, Tunahan KARACA, Tuna AYDOĞMUŞ, Bünyamin ÇİÇEK
- Citrus Disease Classification With Transfer Learning and CNN Based Models**
Transfer Öğrenme Ve CNN Tabanlı Modeller İle Narenciye Hastalığı Sınıflandırması 43-56
Halit ÇETİNER
- Seasonal Assessment Of Run-Of-River Hydroelectric Power Plant Ramp Events**
Nehir Tipi Hidroelektrik Güç Santrallerinin Rampa Olaylarının Mevsimsel Değerlendirilmesi 57-66
İsrafil KARADÖL, Fatma AVLİ FIRIŞ, Mustafa ŞEKKELİ
- 2048 Oyunu İçin Farklı Algoritmaların Performans Analizi**
Performance Analysis of Various Algorithms For The 2048 Game 67-77
Sabri AYLIK, Hüseyin HAKLI
- Helisel Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerinde Hava Tarafı Isı Transferi Ve Basınç Düşümünün Sayısal Analizi**
Numerical Investigation Of The Air-Side Heat Transfer And Pressure Drop With Helical Finned-Tube Heat Exchangers 78-85
Murat GÖRELİ, İshak Gökhan AKSOY,
- DHGUP Tabanlı Beyin-Bilgisayar Arayüzleri İçin Alt Uzay Keşfi**
Subspace Discovery For SSVEP Based Brain-Computer Interfaces 86-97
Abdullah Kutay CANKI, Hüseyin ÖZKAN

Yumurta Kabuğu İçeriğinin Odun Plastik Kompozit Malzemenin Yanma Dayanımı Üzerine Etkisi Effect Of Egg Shells Contents On Combustion Resistance Of Wood Plastic Composite Material Ferhat ÖZDEMİR, Ali Osman ÖZĞAN	98-107
Girişine Güneş Paneli Bağlı Bir Geri Dönüştürücü İçin Seçilen Dekuplaj Kapasitörü Voltaj Değerinin Çıkış Gücü Üzerine Etkisi Simulation Of Effect On Selecting Decoupling Capacitor Voltage Value On The Output Power Of A Flyback Converter Fed By A Pv Panel Metin SALİHMUHSİN	108-116
Çevre Dostu Denim Kumaş Tasarımı Ve Yaşam Döngü Analizi Eco-Friendly Denim Fabric Design And Life Cycle Analysis Yaşar ERAYMAN YÜKSEL, Yasemin KORKMAZ	117-125
Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı Geliştirilmesi Development Of Machine Learning Based Analysis Program For Diagnosis Of Respiratory System Diseases Burcu ACAR DEMİRCİ, Yücel KOÇYİĞİT	126-138
Kanatçıklı Bant Tipi Türbülatorlerin Isı Transferi Ve Sürtünme Faktörü Üzerindeki Etkisinin Nümerik Analizi Numerical Analysis Of The Effect Of Winglet Band Type Turbulators On Heat Transfer And Friction Factor Murat TEKÖZ, İshak Gökhan AKSOY	139-153
3-Aptms Takviyeli Kitosan-Polivinil Alkol Harman Filmlerinin Fiziksel Ve Antibakteriyel Aktiviteleri Physical And Antibacterial Activities Of 3-APTMS Reinforced Chitosan-Polyvinyl Alcohol Blend Films Nedim GÜRLER, Ferit Can YAZDIÇ	154-165
Sivas İlinde Karayolundan Kaynaklanan Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi Determination Of Carbon Footprint Of Road Origin In Sivas City Ayben POLAT BULUT	166-176
Albedo, Yer Yüzey Sıcaklığı Ve NDVI Arasındaki İlişkinin Landsat-7 Ve Landsat-8 Uydu Verileri Kullanılarak İncelenmesi: Safranbolu Örneği Investigation Of The Relationship Between Albedo, Land Surface Temperature And NDVI Using Landsat-7 And Landsat-8 Satellite Data: A Case Study Safranbolu Emre YÜCER	177-190
Kesir Dereceli Kaos Tabanlı Haberleşme Sistemlerinin FPAA Tasarımı FPAA Design Of Fractional Chaos Based Communication Systems Gökçenur KAYA, Kenan ALTUN	191-202
Dalgacık Evrişimsel Sinir Ağı Yöntemi İle Koronavirüs Hastalığının Tespiti Detection Of Coronavirus Disease Using Wavelet Convolutional Neural Network Method Abidin ÇALIŞKAN	203-212
Kaiser Cıvatalı Moment Birleşimlerin Davranışının Ve Sismik Performansının İncelenmesi Investigation On Behavior And Seismic Performance Of Kaiser Moment Connections Ahmet Serdar EROL, Alırıza İlker AKGÖNEN	213-232

Türkiye'deki Lisanssız Güneş Enerjisi Santrallerinde Üretim Kayıplarının Belirlenmesi
Determination Of Production Losses At Unlicensed Solar Plants In Turkey 233-240
Mehmet BAYRAK, Ecem ASLAN

Su Alma Ağızlarından Hava Girişinin Bulanıklık Üzerine Etkileri
The Effects Of Air Entering From Water Intakes On Turbidity 241-249
Ercan GEMİCİ, Betül Tuba GEMİCİ

Detection Of Nail Diseases Using Ensemble Model Based On Majority Voting
Çoğunluk Oyuna Dayalı Topluluk Modeli İle Tırnak Hastalıklarının Tespiti 250-260
Senar Ali YAMAÇ, Orhun KUYUCUOĞLU, Şeyma Begüm KÖSEOĞLU, Sezer ULUKAYA

A New Image Encryption Method Based On A 6D Hyperchaotic Map And Genetic Operators
Hiperkaotik Harita Ve Genetik Operatörlere Dayalı Yeni Bir Görüntü Şifreleme Yöntemi 261-278
Mehmet DEMİRTAS

DERLEME MAKALESİ – REVIEW ARTICLE

Beton Dolgulu Çelik Tüp Kolonların Yangın Performansının Araştırılması
Investigation Of Fire Performance Of Concrete Filled Steel Tube Columns 289-294
Özge Çiğdem ÖZELMACI DURMAZ, Süleyman İPEK, Dia Eddin NASSANI, Esra Mete GÜNEYİSİ

Obstrüktif Uyku Apnesi Tespitinde Polisomnografiye Alternatif Yeni Yöntemler
New Alternative Methods To Polysomnography In The Detection Of Obstructive Sleep Apnea 295-307
İsrafil KARADÖL



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 07.07.2022
Kabul Tarihi : 20.10.2022

Received Date : 07.07.2022
Accepted Date : 20.10.2022

DEMİR (II, III) OKSİT (Fe_3O_4) NANOPARTİKÜLLER KULLANILARAK TEKSTİL ATIKSULARININ ARITILMASI

TREATMENT OF TEXTILE WASTEWATER USING IRON (II, III) OXIDE (Fe_3O_4) NANOPARTICLES

İrem AYRANPINAR¹ (ORCID: 0000-0001-8132-3490), Ahmet DUYAR² (ORCID: 0000-0001-8850-8308)

Serdar GÖÇER³ (ORCID: 0000-0003-0443-8045), Melike KOZAK³ (ORCID: 0000-0001-6985-3587)

Emre Oğuz KÖROĞLU¹ (ORCID: 0000-0002-6027-6792), Kevser CIRIK^{1*} (ORCID: 0000-0002-1756-553X)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite-Sanayi-Kamu İş birliği, Araştırma-Geliştirme-Uygulama Merkezi, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye

³ Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana, 0100 Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kevser CIRIK, kcirik@ksu.edu.tr

ÖZET

Demir (II, III) oksit (Fe_3O_4) nanopartiküller, ortamdaki kirletici maddeleri adsorbe ederek hızla uzaklaştırması özelliğinden dolayı atıksu arıtımında kullanılabilen manyetik nanopartikül türlerinden biridir. Demir (II, III) oksit (Fe_3O_4); yüksek rejenerasyon verimi, geniş yüzey alanı ve manyetik özelliklere sahiptir. Fe_3O_4 partiküllerinin adsorpsiyon kapasitesi, kullanılan partikülün boyutuna ve kirletici konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ek olarak, demir oksit maddelerin bu türlerinde, reaksiyon bittikten sonra bir mıknatıs kullanılarak partiküller kolaylıkla ortamdan uzaklaştırılabilir. Daha sonra adsorbe edilen kirleticiler katalizör kullanılarak partikülden ayrıştırılarak partikül tekrar kullanılabilir. Bu çalışmada, kimyasal olarak sentezlenen Fe_3O_4 nanopartikül kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile tekstil Atıksularının arıtılması incelenmiştir. Adsorpsiyon performansı, farklı Fe_3O_4 konsantrasyonlarında (250-750 mg/L) ve temas sürelerinde (5-45 dakika) incelenmiştir. Elde edilen optimum reaksiyon süresi ve adsorban konsantrasyonu sırasıyla 30 dakika ve 250 mg/L olarak bulunmuştur. Optimum şartlar altında toplam organik karbon (TOK), renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi sırasıyla %25,94, %51,64 ve %66,68 olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar, manyetik nanopartiküller kullanılarak yapılan adsorpsiyon işleminin tekstil atıksularında KOİ ve renk kirleticilerinin uzaklaştırılmasında oldukça etkili olduğunu, ancak TOK miktarında önemli bir değişiklik gözlemlenmediğini göstermiştir. Tekstil atık sularının arıtılmasına yönelik demir oksit nanopartikül uygulaması deşarj standartlarını sağlamasa da çeşitli arıtma proseslerindeki kirlilik yükünü azaltmak için ön arıtım veya ileri arıtım yöntemi olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, demir (II, III) oksit, manyetik nanopartikül, tekstil atıksularının arıtılması.

ABSTRACT

Iron (II, III) oxide (Fe_3O_4) nanoparticles are one of the magnetic nanoparticle types that can be used in wastewater treatment due to their ability to adsorb and rapidly remove pollutants in the environment. Iron (II, III) oxide (Fe_3O_4); It has high regeneration efficiency, large surface area and magnetic properties. The adsorption capacity of Fe_3O_4 particles varies depending on the particle size and pollutant concentration used. In addition, in these types of iron oxide substances, the particles can be easily removed using a magnet after the reaction is over. Then the adsorbed pollutants can be separated from the particle using a catalyst and the particle can be reused. In this study, the treatment of textile wastewater by adsorption method using chemically synthesized Fe_3O_4 nanoparticles was investigated. Adsorption performance was investigated at different Fe_3O_4 concentrations (250-750 mg/L) and contact times (5- 45

To Cite: AYRANPINAR, İ., & DUYAR, A., & GÖÇER., S., & KOZAK., M., & KÖROĞLU., & E., CIRIK., K., (2022). DEMİR (II, III) OKSİT (Fe_3O_4) NANOPARTİKÜLLER KULLANILARAK TEKSTİL ATIK SULARININ ARITILMASI. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1), 1-7.

minutes). The optimum reaction time and adsorbent concentration obtained were found to be 30 minutes and 250 mg/L, respectively. Total organic carbon (TOC), color and chemical oxygen demand (COD) removals under optimum conditions were observed as 25.94%, 51.64% and 66.68%, respectively. The results showed that the adsorption process using magnetic nanoparticles was very effective in removing COD and color pollutants in textile wastewater, but no significant change was observed in the amount of TOC. Although the application of iron oxide nanoparticles for the treatment of textile wastewater does not meet the discharge standards, it can be used as a pre-treatment or advanced treatment method to reduce the pollution load in various treatment processes.

Keywords: Adsorption, iron (II, III) oxide, magnetic nanoparticle, treatment of textile wastewater

GİRİŞ

Tekstil endüstrisi; artan nüfus ve teknolojik değişimler ile birlikte gelişmekte ve kapasitesini arttırmaktadır. Sağladığı istihdam, ihracat kapasitesi ve geniş kullanım alanları gibi özelliklerinden dolayı ülkemizde ve dünyada ekonomik olarak büyük öneme sahiptir. Türkiye dünya çapında tekstil üretimi ve ihracatı yapan ülkeler arasında 5. sırada yer alarak birçok büyük markanın üretimini yapıp ülkemize büyük ekonomik kazançlar getirmektedir. Tüm bu avantajların yanı sıra ülkemizde bulunan mevcut doğal kaynakların kirlenmesine neden olup en önemli doğal kaynaklardan biri olan su tüketiminin artırılması gibi dezavantajlara da sahiptir. Türkiye içindeki sanayi kuruluşlarından atılan atıksu miktarı yaklaşık 3 milyon l/gün dür. En çok kirlilik yapan endüstriler; tekstil sanayi, deri sanayi ve kimya sanayi sektörüdür. Endüstriyel atıksu kaynakları arasında tekstil sanayi, en önemli kaynaklardan birini oluşturur. Tekstil endüstrisi en çok su tüketilen endüstrilerden biridir ve kullanılan su atıksu olarak nitelendirilerek alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Deşarj edilen atıksular yüksek konsantrasyonda boyar madde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) gibi kirleticiler içermektedirler ve böylece alıcı ortamdaki ekolojik dengeyi bozmaktadır. Bu sebeple atıksuların deşarj edilmeden önce arıtılarak deşarj limit değerlerini sağlaması gerekmektedir (Özyonar vd. 2012; Kestioğlu vd. 2006). Bazı tekstil atıksularında yüksek değerlerde organik kirleticiler bulunmaktadır ve bu kirleticilerin biyolojik olarak parçalanması zordur. Tekstil atıksularında bulunan organik kirleticiler biyolojik olarak parçalanabildiği takdirde, kimyasal arıtmaya dayalı biyolojik arıtma uygulanarak deşarj kriterlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Bu arıtma yöntemleri kimyasal oksidasyon, çökeltme, filtreleme, aerobik ve anaerobik mikrobiyal bozunma, pıhtılaşma, membran ayırma, elektrokimyasal arıtma, yüzdürme, hidrojen peroksit katalizi, ters ozmos, ozonlama gibi çeşitli yöntemlerdir. Ancak kullanılan geleneksel arıtma teknikleri oldukça pahalıdır ve renk sorununu giderememektedir. Günümüzde kullanılan arıtma yöntemlerinden biri olan adsorpsiyon yöntemi, atıksudan çeşitli kirleticilerin adsorbe edilerek ortamdan uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Adsorpsiyon yöntemi düşük maliyeti, kolay elde edilebilirliği, farklı yöntemlerle birlikte kullanılabilirliği, biyokimyasal oksijen ihtiyacını kontrol edebilirliği gibi özelliklerin yanı sıra renk gideriminde oldukça verimli ve ekonomik bir işlem olduğu için diğer arıtma yöntemlerine karşı alternatif bir yol sağlamaktadır (Gonawala vd. 2014).

Bununla birlikte, yaygın kullanılan bazı adsorban türlerinde, düşük adsorpsiyon çekimi, seçicilik, yetersiz kapasite ve rejenerasyon miktarı gibi sıkıntılar ortaya çıkması endüstriyel ölçekte uygulamalarını sınırlamaktadır. Bu tür sorunları ortadan kaldırmak için yeni adsorban maddeler üzerine çalışılmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda ortaya çıkan maddelerden biri manyetik nanopartiküllerdir. Manyetik nanopartiküller atık sudan kirleticiler maddelerin hızlı bir şekilde emilimi, mükemmel manyetik davranış, kimyasal stabilite, biyoyumluluk, amfoterik yüzey aktivitesi, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, gelişmiş katalitik aktivite ve dağılılırılık gibi özellikleri sağlaması nedeniyle atıksu arıtımında yaygın adsorbanlara alternatif bir malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca manyetik nanopartiküller adsorpsiyon işlemi bittikten sonra basit bir manyetik alan oluşturarak kolaylıkla ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bu tür ayırt edici özelliklerinden dolayı manyetik nanopartiküller atıksu arıtımında adsorban malzeme olarak ortaya çıkmıştır (Nassar vd. 2015). Manyetik nanopartiküllere örnek olarak demir oksitler (Fe_3O_4 - Fe_2O_3), toz metaller (Fe, Co), Alaşımalar ($CoPt_3$, $FePt$) ve spinel yapıdaki ferrimagnetler ($MgFe_2O_4$, $MnFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$) verilebilir. (Sakallıoğlu, 2013). Nano boyuttaki manyetik partiküllerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Babes vd., 1999). Kuantum etkisi ve büyük yüzey alanı sağlaması manyetik partiküllerin nano boyutta, manyetik özellikleri değişmekte ve süper para manyetik karakter kazanmaktadır. Bunun nedeni her bir manyetik partikülün kendi başına bir manyetik birim oluşturmasıdır (Goya vd. 2003).

Bu çalışmanın amacı; Manyetik nanopartiküllerden biri olan Fe_3O_4 'i laboratuvar ortamında sentezleyerek tekstil atıksularına uygulayıp renk, KOİ, TOK giderim verimlerinin gözlemlenerek yöntemin uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır.

MATERYAL-METOD

Atıksu İçeriği

Çalışmada kullanılan atıksu Kahramanmaraş'ta bulunan ve denim kumaş üretimi yapan tekstil fabrikasından alınmıştır. Daha sonra, tekstil atıksuyu, laboratuvar ölçekli adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır. Tekstil atıksu arıtma performansı renk, KOİ ve TOK giderimleri açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tekstil atıksuların karakterizasyonu aşağıdaki Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Atıksu Karakterizasyonu

PARAMETRELER	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	RENK (Pt-Co)
KONSANTRASYON	3535	1993	10650

Deneysel Plan

Bu çalışmada, demir II-III oksit (Fe_3O_4) manyetik nanopartikül madde sentezlenerek tekstil atıksularından kirleticilerin uzaklaştırılması ve giderim performansı açısından değerlendirilmiştir. Deneysel plan doğrultusunda; adsorban konsantrasyonu (250-500-750 mg/L) ve temas süresi (5-15-30-45dk) değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan deneysel planın şematik diyagramı Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Deneysel Plan

İŞ PAKETLERİ	ÇALIŞMALAR	
<u>İP.1</u>	Laboratuvar Koşullarında Kullanılacak Malzemelerin ve Atıksuyun Tedarik	
<u>İP.2</u>	Manyetik Nanopartikül Sentezi	
<u>İP.3</u>	Konsantrasyon Etkisinin Araştırılması	Konsantrasyon (mg/l)
		250
		500
		750
<u>İP.4</u>	Temas Süresinin Etkisinin Araştırılması	Süre (dk)
		5
		15
		30
		45

Deneysel çalışmalarda ferrik klorür heksahidrat ($FeCl_3 \cdot 4H_2O$), demir sülfat heptahidrat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), ve amonyak (NH_4OH , %10) kullanılmıştır. Örneklerin sentezlenmesinde ve bazı çözeltilerin hazırlanmasında deiyonize su kullanılmıştır. Demir (II, III) oksit (Fe_3O_4) elde etme yöntemi olarak ortak çöktürme yöntemi kullanılmıştır. Ortak çöktürme yöntemi; Uygun oranlar sağlandıktan sonra karıştırılan Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonları bazik ortamda karıştırıcı altında çöktürülür. Oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklar altında gerçekleştirilebilir (Sakallıoğlu, 2013). Bu yöntemi gerçekleştirmek için, 16.218 gr demir klorür heksahidrat ($FeCl_3 \cdot 4H_2O$), 8.34 gr demir klorür heptahidrat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) tartılır ve kapaklı cam şişeye konur. 60 ml deiyonize suda çözülür. Karışım homojen hale gelinceye

kadar karıştırılmıştır (minimum 15 dakika). Daha sonra damla damla 120 ml amonyak çözeltisi (NH_4OH , %10) eklenmiştir. Çözelti 60°C 'de 450 rpm hızda 90 dakikada karıştırılmıştır. 90 dk sonunda amonyak kokusu kaybolana kadar Fe_3O_4 solüsyonu deiyonize su ile yıkanır (7 kez). Yıkama işlemi bittikten sonra 80°C sıcaklıkta 14 saat etüvde kurutmaya bırakılır.

Adsorpsiyon deneyleri sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışan çoklu manyetik karıştırıcı (MTOPS HS15 06P, Korea) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışılacak konsantrasyonlar için 500 mL çalışma hacmi beherlere konularak pH değeri ölçülür. İş paketlerinde belirlenen süre ve konsantrasyonlar yapılan önceki çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir (Evliyaoğulları, 2019). 1M HCl ve NaOH kullanılarak adsorpsiyon öncesi istenilen değere ayarlanmıştır. Belirlenen miktardaki Fe_3O_4 (250,500,750 mg) hassas terazide (DENVER INSTRUMENT GmbH & CO.KG, Germany) tartılarak belirlenen reaksiyon sürelerinde (5,15,30,45 dk) örnekler alınıp 500 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjden sonra sıvı kısım katı kısımdan ayrılmış ve adsorplanmadan kalan renk miktarlarını belirlemek için UV visible spektrofotometrede absorbans değerleri okunarak bulunmuştur. Deneyler; farklı adsorbent miktarı ve farklı temas süreleri için uygulanmıştır.

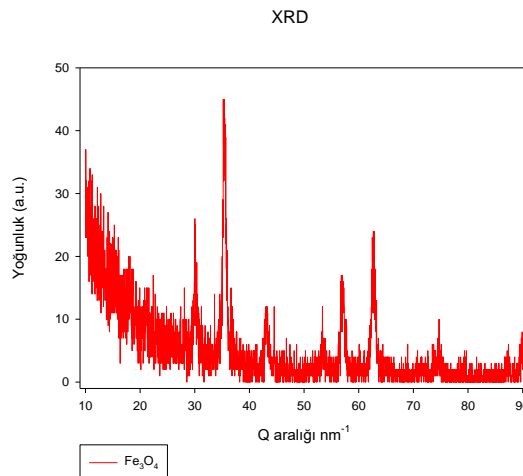
Analizler

Tekstil atıksuyu arıtılabilirlik çalışmalarında manyetik nanopartiküler madde performansını değerlendirmek amacıyla; toplam çözünmüş organik, anyon ve katyon, pH, renk, KOİ, parametreleri değerlendirilmiştir. Analizi yapılacak tüm sıvı numuneler analiz öncesinde santrifüj cihazında (Hermle Z 200A Labortechnik, Wehingen, Almanya) 5000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Toplam organik karbon ölçüm cihazı (Shimadzu TOC-VCPN, Kyoto, Japonya) kullanılarak karbon tayini yapılmıştır. Çalışmada TOK miktarını belirlemek için $0,45 \mu\text{m}$ filtreden geçirilmiş 15 ml hacmindeki numuneler kullanılmıştır. Cihaz kalibrasyonu, analizi yapılacak numunelerin yaklaşık TOK değeri baz alınarak çözünmüş organik karbon kalibrasyonu potasyum hidrojen fitalat ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) standardı ile yapılırken inorganik karbon kalibrasyonu ise sodyum hidrojen karbonat (NaHCO_3) ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) standartları ile hazırlanmıştır. pH ölçümleri pH metre (Thermo Orion Start, Germany) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen Fe_3O_4 manyetik nanopartikül maddelerinin kırınım modelleri, yüksek çözünürlüklü bir elektron mikroskobu (HRTEM, Tecnai G2, F30) ile elde edildi. X-ışını kırınımı (XRD) kırınımı, bir Miniflex II modeli (Malik vd. 2018) kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında Pt-Co cinsinden renk ölçüm metodu kullanılmıştır. Renk analizi (HACH DR 5000 Loveland, CO., ABD) spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir (EN ISO 7887).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fe_3O_4 Karakterizasyonu

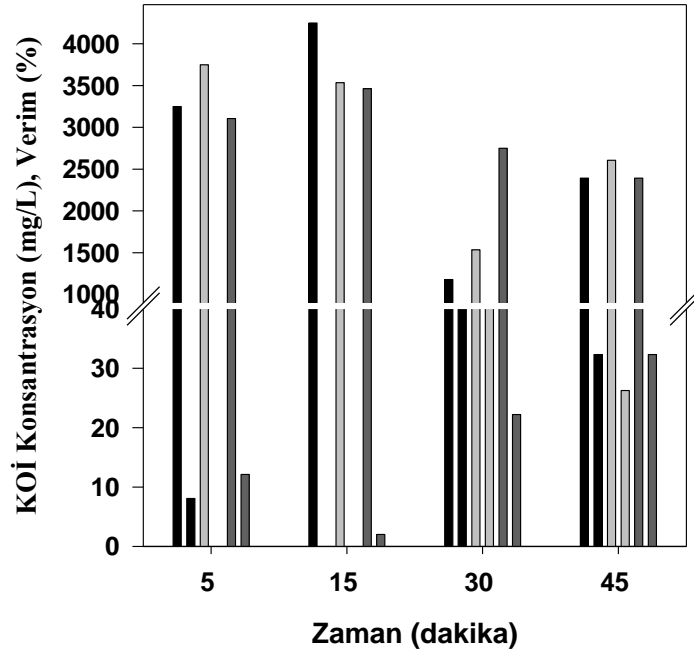
Sentezlenen manyetik nanopartikül maddenin karakterizasyonu X-ışını kırınımı (XRD) tekniği ile değerlendirilmiştir. Nanopartikül maddenin X-ışını kırınım modelleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Fe_3O_4 nanopartikül madde sırasıyla (26.03), (45.22), (16.87) ve (23.93) yansımasına karşılık gelen $2\theta=29.97$, 35.47, 57.05, 62.43 dört karakteristik zirveye sahiptir. Bu zirvelerle malzemelerin kristal yapısı oluşturulabilir. XRD çizgi genişlemesinde Scherrer denklemini kullanarak, Fe_3O_4 'ün hesaplanan ortalama partikül boyutunun 10 nm olduğu elde edilmiştir. $2\theta=35.47$ 'de düzlem ortalama kırınım zirvesi, yoğun yapısı nedeniyle manyetik nanopartikül (Fe_3O_4) maddenin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Demir (II, III) Oksit (Fe_3O_4) Parçacıklarının X Işını Kırınım (XRD) Grafiği

Tekstil Atıksularının Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Giderim Performansı

Adsorpsiyon prosesi, belediye ve endüstriyel kaynaklı atık sulardan kirletici parametreleri eşzamanlı olarak renk, toplam organik karbon (TOK), ve KOİ 'yi gidermek için uzun süredir kullanılmaktadır. Nanopartiküllerin adsorpsiyon sürecinde renk ve KOİ konsantrasyonlarının önemli bir rol oynadığı ve giderim verimini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, adsorpsiyon sistem performansı, belirlenen adsorban konsantrasyonunda (250-500-750 mg/L) ve reaksiyon süresinde (5-15-30-45 dk) KOİ giderimi açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki KOİ çıkış konsantrasyonları ve giderim verimi Şekil 2'de sunulmaktadır.

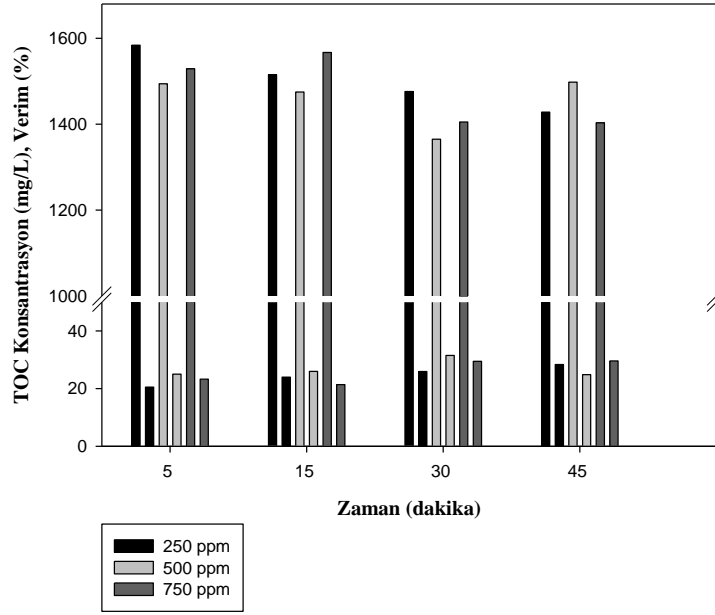


Şekil 2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Giderim Performansı

Bu çalışmada giriş KOİ konsantrasyonu ortalama 3535 mg/L'dir. Çalışmanın bu bölümünde, Fe₃O₄ dozajı 250 mg/L'den 750 mg/L'ye yükseltilerek Fe₃O₄ dozajının ve reaksiyon süresinin tekstil atıksularında kullanılan adsorpsiyon prosesine etkisi araştırılmıştır. pH 7'de sabit tutularak ve reaksiyon süreleri sırasıyla 5-45 dakikaya ayarlanmıştır. Fe₃O₄ dozajı 250 mg/L' den 750 mg/L' ye yükseltildiğinde KOİ konsantrasyonunda artış olduğu gözlemlenmektedir. 250 mg/L Fe₃O₄ konsantrasyonunda ve 30 dakikalık reaksiyon süresinde %66'lık yüksek KOİ giderim verimi gözlemlenirken, buna karşılık gelen KOİ konsantrasyonu yaklaşık 1177 mg/L' dir (Şekil 2). Fe₃O₄ konsantrasyonu 250 mg/L' den 750 mg/L' ye yükseltildiğinde sırasıyla ortalama KOİ giderim verimleri %50 ve %20 olarak belirlenmiştir (Şekil 2). 250 mg/L Fe₃O₄ konsantrasyonunda reaksiyon süresi 5 dakikadan 30 dakikaya çıkarıldığında KOİ giderim veriminin en yüksek değere ulaştığı ve buna karşılık gelen KOİ giderim veriminin %66 olduğu gözlemlenmiştir. Fe₃O₄ nanopartikül konsantrasyonu artarken, KOİ giderimi olumlu yönde etkilenmemektedir.

Tekstil Atıksularının Toplam Organik Karbon (TOK) Giderim Performansı

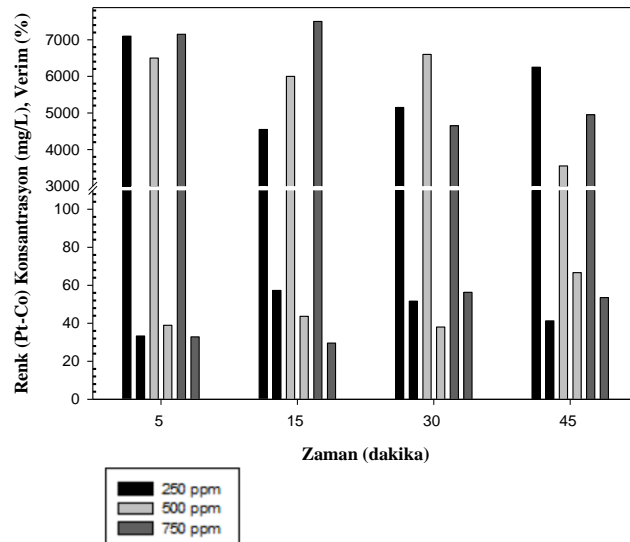
Çalışmanın bu bölümünde, adsorpsiyon sistemi performansı, belirli adsorban konsantrasyonunda (250-750 mg/L) ve reaksiyon süresinde (5-45 dk) TOK giderimi açısından değerlendirilmiştir. Bu sistemdeki TOK konsantrasyonu ve giderim verimi performansı, Şekil 3'te sunulmaktadır. Bu çalışmada giriş TOK konsantrasyonu ortalama 1993 mg/L'dir. 250, 500 ve 750 mg/L'lik adsorban konsantrasyonunda ve optimum reaksiyon süresi 30 dk' da TOK giderim verimi sırasıyla %26, %31 ve %29'dur (Şekil 3). TOK giderim verimi, 500 mg/L Fe₃O₄ konsantrasyonunda ve 30 dakikalık bir reaksiyon süresinde %31'in üzerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Ayrıca 250 mg/L Fe₃O₄ konsantrasyonu ve reaksiyon süresi 5 dakika olduğunda TOK giderim verimi %20'ye düşmüştür



Şekil 3. Toplam Organik Karbon (TOK) Giderim Performansı

Tekstil Atıksularının Renk Giderim Performansı

Çalışmanın bu bölümünde, adsorpsiyon sistem performansı, belirlenen adsorban konsantrasyonunda (250-750 mg/L) ve reaksiyon süresinde (5-45 dk) renk giderimi açısından değerlendirilmiştir. Bu sistemdeki renk konsantrasyonu ve giderim verimi performansı, Şekil 4'te sunulmaktadır. Bu çalışmada giriş renk konsantrasyonu ortalama 1065 mg/L'dir. 250, 500 ve 750 mg/L' lik adsorban konsantrasyonunda ve optimum reaksiyon süresi 30 dk' da renk giderim verimi sırasıyla %67, %57 ve %22'dir (Şekil 4). Renk giderim verimi, 250 mg/L Fe_3O_4 konsantrasyonunda ve 30 dakikalık bir reaksiyon süresinde %67'nin üzerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Ayrıca 500 mg/L Fe_3O_4 konsantrasyonunda ve reaksiyon süresi 15 dakika olduğunda renk giderim verimi gözlemlenmemiştir. Darwesh O vd. (2019) yaptığı çalışmada peroksidadın manyetik nanopartiküller üzerine immobilizasyonu sonucu tekstil atıksularındaki renk konsantrasyonunun başarılı bir şekilde giderildiği laboratuvar ortamında yapılan deneylerle ölçülmüştür. Renk giderim veriminin maksimum giderimden sonra giderek azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi adsorpsiyon kapasitesinin maksimum seviyeye ulaşması olarak yorumlanmaktadır. Temas süresi arttıkça toksik etki ortaya çıkarak adsorbe edilen rengin partikül dışına çıkmasından dolayı giderim verimi azalmaktadır. Song H. J. vd. (2015) yaptığı çalışmada azo boya renk gideriminin 2. dakikada maksimum seviyede iken 120. dakikada verimin giderek azaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile benzerlik göstermiştir.



Şekil 4. Renk Giderim Performansı

SONUÇ

Bu çalışmada, farklı adsorban konsantrasyonları ve farklı reaksiyon sürelerini içeren işletme koşulları altında, tekstil atıksularından adsorpsiyon işlemi kullanılarak TOK, KOİ ve renk giderim performansı incelenmiştir. Bu çalışma, adsorpsiyon işlemi kullanılarak KOİ, TOK ve renk gideriminde adsorban konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin önemli bir rol oynadığını göstermiştir; bununla birlikte, adsorban konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin, TOK giderimi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Adsorban konsantrasyonu ve reaksiyon süresi, yüksek sistem performansı için 250 mg/L Fe₃O₄ ve 30 dk temas süresi optimum olarak elde edilmiştir. Optimum adsorban konsantrasyonunda, KOİ giderim verimleri %67, TOK giderimleri %23 ve renk giderimi %52 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, manyetik nanopartiküllerle adsorpsiyon yönteminin KOİ ve renklerin tekstil atık suyundan gideriminde oldukça etkili bir performans gösterdiği, ancak TOK miktarında önemli bir değişiklik olmadığını göstermiştir. Tekstil atık sularının arıtılmasına yönelik manyetik demir oksit nanopartikül (Fe₃O₄) madde uygulaması deşarj standartlarını karşılamasa da çeşitli arıtma proseslerinin kirlilik yükünü azaltmak için ön arıtma veya ileri arıtım olarak kullanılabilir.

Teşekkür

Bu araştırma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinasyon Birimi tarafından 2021/2-2 YLS hibesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Evliyaoğulları, N. E. (2019). Bitki özütü kullanılarak sentezlenmiş nanoparçacıkların sulardan ağır metal gideriminde kullanımı (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).
- Darwesh, O. M., Matter, I. A., & Eida, M. F. (2019). Development of peroxidase enzyme immobilized magnetic nanoparticles for bioremediation of textile wastewater dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1), 102805 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.049>.
- Gonawala, K. H., & Mehta, M. J. (2014). Removal of color from different dye wastewater by using ferric oxide as an adsorbent. *Int J Eng Res Appl*, 4(5), 102-109.
- Kestioğlu, K., & Yahlı, M. (2006). Yüksek KOİ içerikli tekstil atıksularının kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon yöntemleriyle arıtılabilirliği. *Ekoloji*, 15(59), 27-31.
- Nassar, N. N., Marei, N. N., Vitale, G., & Arar, L. A. (2015). Adsorptive removal of dyes from synthetic and real textile wastewater using magnetic iron oxide nanoparticles: thermodynamic and mechanistic insights. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 93(11), 1965-1974 <https://doi.org/10.1002/cjce.22315>.
- Özyonar, F., & Karagözoğlu, B. (2012). Elektrokoagülasyon Prosesi ile Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı Treatment of Textile Wastewater by Electrocoagulation Process. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(1), 29-37.
- Sakallıoğlu, H. (2013). Manyetik nanopartiküller üzerine desteklenmiş Schiff bazı türevi metal komplekslerinin sentezleri ve katalitik etkinliklerinin incelenmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Song, H. J., You, S., Jia, X. H., & Yang, J. (2015). MoS₂ nanosheets decorated with magnetic Fe₃O₄ nanoparticles and their ultrafast adsorption for wastewater treatment. *Ceramics International*, 41(10), 13896-13902 <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.08.023>.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 04.08.2022
Kabul Tarihi : 22.12.2022

Received Date : 04.08.2022
Accepted Date : 22.12.2022

SÜRTÜNMELİ SÖNÜMLEYİCİNİN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FRICTION DAMPER ON THE EARTHQUAKE BEHAVIOR

Elif BORU ^{1*} (ORCID: 0000-0003-1661-7673)
Emine AYDIN ¹ (ORCID: 0000-0001-9191-5190)
Mert GÜRBÜZ ¹ (ORCID: 0000-0002-9441-3441)

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Elif BORU, eorak@subu.edu.tr

ÖZET

Binaların güçlendirilmesinde binada perde duvarların veya sönümleyicilerin kullanıldığı görülmektedir. İki uygulama arasından sönümleyiciler zaman tasarrufu ve uygulama kolaylığı açısından ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada sürtünmeli sönümleyicilerin küçük ölçekli binanın deprem davranışına olan etkisi incelenmiştir. İncelemede tek açıklıklı ve tek katlı çelik deneysel model bina oluşturularak sarsma tablasında deneysel olarak, SAP2000 programında ise nümerik olarak sürtünmeli sönümleyicinin binanın deprem davranışına etkisi belirlenmiştir. Nümerik kısımda Zaman Tanım Alanında Analiz kullanılarak binaya iki farklı deprem kaydı uygulanmıştır. Sönümleyicili ve sönümleyicisiz binanın frekans ve tepe noktası yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılarak sürtünmeli sönümleyicinin model binanın davranışına etkisi belirlenmiştir. Sürtünmeli sönümleyici binanın frekansının %121, yerdeğiştirme değerinin ise depremin büyüklüğüne bağlı olarak en az %70 azalmasını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürtünmeli sönümleyici, sarsma tablası deneyi, deneysel modal analiz, zaman tanım alanında analiz

ABSTRACT

Shear walls or dampers are widely used in building strengthening. Among the two applications, dampers come to the fore in terms of time saving and ease of application. In this study, the effect of friction dampers on the earthquake behavior of the small-scale model building was investigated. In the study, a single-span and single-storey steel model building was created and the effect of the friction damper on the earthquake behavior of the building was determined experimentally in the shaking table and numerically in the SAP2000 program. Two different earthquake records were applied to the building by using Time History Analysis in the numerical part. By comparing the frequency and peak displacement values of the building with and without the damper, the effect of the friction damper on the building behavior was determined. The friction damper reduced the frequency of the building by 121% and the displacement value by at least 70% depending on the magnitude of the earthquake.

Keywords: Friction damper, shake table test, experimental modal analysis, time history analysis

GİRİŞ

Mevcut betonarme yapıların, yapı elemanlarında güçlendirme gerekliliği olmasının yanında, yapı sistemi genelinde, deprem etkileri altında davranışının iyileştirilmesi de gerekmektedir. Betonarme binaların güçlendirilmesinde birçok yöntem vardır. En fazla kullanılan yöntemlerden birisi binaya perde duvarlar eklenmesidir. Mevcut betonarme yapıların, deprem etkisindeki davranışlarının iyileştirilmesi, yapısal elemanlar açısından olumlu etki yapmaktadır (Boru ve Aydın, 2022; Aydın ve Boru, 2020; Ersin, 2017). Geleneksel yapı tasarım yöntemlerinde, sismik enerji çoğu zaman yapı elemanlarında meydana gelen deformasyonlarla sönmülenmek üzere tasarlanmaktadır. Bunun sonucunda da büyük depremlerde kalıcı deformasyonlar meydana gelmektedir ve yapının tekrar kullanılabilir hale gelmesi için onarılması zorunlu hale gelmektedir (Wang vd., 2021). Yapıların görelî kat ötelemelerini azaltarak yapı sisteminde iyileşme sağlanması ilave perdelerin eklenmesi ile sağlanabildiği gibi; yapıya aktif veya pasif sönmüleyicilerin ilave edilmesi ile de sağlanabilmektedir (Naimi ve Waheb, 2019; Ersin, 2017; Ayazoğlu, 2015).

Modern güçlendirme yöntemlerine bakıldığında perde duvar yerine sönmüleyicilerin kullanıldığı görülmektedir. Sönmüleyiciler zaman tasarrufu ve uygulama kolaylığı açısından ön plana çıkmaktadır. Uygulamada aktif ve pasif olarak farklı sönmüleyici çeşitleri bulunmaktadır. Pasif sönmüleyiciler hız ve yer değiştirmeye bağlı olarak gruplandırılabilirler. Yer değiştirmeye bağlı pasif sönmüleyici çeşidi olan sürtünmeli sönmüleyiciler, sismik yüklerden meydana gelen taban kesme kuvvetini enerji yutma kapasitesi ile sönmülemektedirler. Bu sayede yapıdaki diğer mevcut elemanlarda doğrusal elastik olmayan deformasyonlar azalmaktadır.

Pasif enerji sönmüleyiciler, yapısal elemanlarda oluşan kesit zorlarını ve yer değiştirmeleri yönetmelik sınırlarında tutmak amacıyla, kolon giriş birleşim bölgelerine veya kat aralarına yerleştirilen mekanik elemanlardır. Bu sönmüleyiciler, yapıda oluşan kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek sönmülerler. Hıza ve yer değiştirmeye bağlı pasif sönmüleyiciler olarak sınıflandırılacakları gibi çevrimsel ve visko-elastik sistemler olarak da sınıflandırılmaktadırlar (Ercan ve Nuhoglu, 2005). Pasif sönmüleyiciler içinde yer değiştirmeye bağlı sönmüleyici çeşitlerinden biri olan sürtünmeli sönmüleyiciler, yapının çevrimsel davranışı esnasında sönmüleyebildiği enerji miktarı bakımından öne çıkan bir sönmüleyici çeşididir. Sürtünmeli sönmüleyiciler, istenen enerji dağılımını sağlamak için birbirine göre kayan iki katı cisim arasında gelişen katı sürtünme mekanizmasından yararlanır. Bu tür sönmüleyiciler, deprem hareketlerinde sürtünme ile enerjiyi sönmülemek için önceden belirlenmiş bir yük seviyesinde kayarlar ve bu kayma sonucunda enerjinin sönmülenmesi sağlanır. Yapılarda birçok farklı tipte ticari olarak temin edilebilir sürtünmeli sönmüleyici incelenmiş ve üretilmiştir (Deringöl, 2013). Üretilen bu sürtünmeli sönmüleyiciler, yüksek mukavemetli civataya uygulanan ön germe kuvvetiyle sürtünme kuvveti kontrol edilebilen bir performansa sahiptir. Basit bir yapıya ve ucuz maliyete sahip bu sönmüleyiciler oldukça istikrarlı performansa sahiptir ve yapının maruz kaldığı deprem ve rüzgar yükü kaynaklı enerjiyi sönmüleyebilirler (Zhang ve Wang, 2019).

Sürtünmeli sönmüleyicilerin yapılardaki enerjiyi sönmülemesi amacıyla ilk kullanma fikri 1979 yılında Avtar Pall tarafından doktora tezinde geniş panellerin sismik davranışlarının kontrol edilmesi amacıyla sunulmuştur (Pall, 1979). Çerçeve sistemlerin karakteristik sönmü yaklaşık olarak %5'tir. Ancak, Pall sürtünmeli sönmüleyicilerle donatılan çerçevelerin karakteristik sönmüleri %50'lere kadar çıkabilmekte ve farklı mimari ve mühendislik ihtiyaçlarına göre X çaprazlı, tek diyagonal tip ve şevron çapraz olmak üzere üç farklı çapraz düzenine sahiptir. Pall sürtünmeli sönmüleyicilerinin diğer sürtünme sönmüleyicilere üstünlüğü, rüzgar ve küçük sismik hareketler sırasında aktif olmamalarıdır. Yapıya gelen yanal yükler önceden belirlenmiş kayma yük seviyesini aştığında, Pall sürtünmeli sönmüleyiciler kaymaya başlar ve gelen enerjiyi sönmülerler.

Sürtünme esaslı sönmüleyicilerde temas yüzeylerinde oluşan kayma hareketi sonucunda meydana gelen sürtünme kuvvetinin ve kayma deformasyon kapasitesinin, stabil olarak korumak amacıyla yüzeyde farklı malzemeler kullanılmaktadır (Akpınar vd., 2021). Tasarlanan ilk sürtünmeli sönmüleyici, çelik plakalar arasına monte edilen, otomobillerde de kullanılan fren balatalarından meydana getirilmiştir (Soong ve Dargush, 2019). Bu sönmüleyiciler Slotted-Bolted Connections (SBC) olarak da bilinmektedir. SBC'lere bakır, grafit ve bronzdan bir sürtünme yüzeyi meydana getirilerek oluşturulan sürtünmeli sönmüleyiciler oluşturulmuştur (Suk, 2019; Constantinou ve Symans, 1992; Aiken vd., 1993).

Sürtünmeli sönmüleyiciler üzerinde araştırmacılar birçok deneysel çalışmalar yapmıştır. Filiatrault vd. (1986) ile Pasquin vd. (2002) sönmüleyicilerin toplam girdi enerjisinin yüzde ellisini sönmülediği tespit edilmiştir. Bunun yanında maksimum ötelenmelerin de %1'den az olduğu, yani yapının hasar görmeden orijinal şekline döndüğünü gözlemlemiştir. Zhou ve Peng (2009), yaptıkları deneyler kapsamında sarsıntılar sonucu yapıya giren enerjinin

yaklaşık %60'ının bu sönümleyiciler tarafından sönümlendiğini ifade etmiştir. Popov vd. (1995) ise, büyük miktarda enerji girdisi, sistemin doğal sönümlenmesi veya yapısal elemanların elastik olmayan deformasyonu nedeniyle değil, SBC'ler tarafından sönümlendiğini ayrıca yer hareketini sönümleyen çevrimsel eğrilerin de kayma genliğine ulaşmadan sonlandığını gözlemlemiştir (Deringöl, 2013). Fitzgerald vd. (1989), merkezi çaprazlı çerçevelerin bir ucuna SBC yerleştirip, çerçeveleri sinüzoidal fonksiyonlu sarsıntılara maruz bırakmıştır. Test sonuçları, SBC'lerin yer hareketlerinin etkisini azaltma konusunda, uygun ve kararlı davranış sergilediğini göstermiştir.

Yapılan analizlerde, depremden sonra sürtünmeli sönümleyicilerin herhangi bir hasar olmadan orijinal konumuna döndüğü görülmüştür. Vaseghi vd. (2009) ise, yapılarda sürtünmeli sönümleyici kullanımının; taban kesme kuvveti, tepe deplasmanı ve eksenel kolon yük taşıma kapasitesi açısından depremin hasar etkisini azalttığını belirtmiştir.

Yapılan çalışmada sürtünmeli sönümleyicilerin bina deprem davranışına olan etkisi araştırılmıştır. İkinci bir aşama olarak da Sap2000 programında nümerik model oluşturularak model doğrulama yapılmıştır. Tasarlanan çelik tek katlı model bina sönümleyicili ve sönümleyicisiz durumlar için sarsma tablasında iki farklı deprem etkisine maruz bırakılmıştır. Nümerik modellemesi de yapılan binanın, hem deneysel hem de nümerik sonuçları karşılaştırılarak sürtünmeli sönümleyicinin binanın frekans ve tepe noktası yer değiştirmesinde meydana getirdiği fark bulunmuştur.

DENEYSEL MODAL ANALİZ YÖNTEMİ

Titreşim, yapının belirlenen başlangıç şartlarına veya yapının maruz kaldığı etkilere bağlı ortaya çıkan bir yapı davranış biçimidir. Yapının dinamik davranış parametrelerinin tespitinde yapının titreşim şeklinin yorumlanması önem arz etmektedir. Yapıların dinamik davranış parametrelerini belirlemek amacıyla teorik ve deneysel olarak iki şekilde modal analiz yazılmaktadır.

Teorik modal analizde, yapının rijitlik, kütle, ve sönüm özellikleri kullanılarak yapı tanımlanır ve bu tanıma bağlı olarak yapının analitik modeli oluşturulur. Analitik model ile yapılan modal analiz sonuçları yapının periyotları, frekansları, mod şekilleri ve sönümleri elde edilir. Modal analiz yapılırken yapıya herhangi bir dış yük uygulanmadığı için elde edilen değerler doğal değerler olarak kabul edilir. Son adımda da oluşturulan model üzerinden yapının verilen yüklemeler ve sınır şartları altında vereceği tepkiler kontrol edilir. Frekans ve itme davranışı şeklinde isimlendirilen bu tepkiler ile yapının davranış modeli oluşturulur.

Deneysel modal analizde ise yapıya değeri bilinen bir kuvvetin etki ettirilmesi sonucunda oluşan hız, ivme ve yer değiştirme değerleri analiz edilir. Etki ve oluşan tepki kuvvetleri analiz edildikten sonra tepki değerleri etki değerlerine bölünerek yapıya ait dinamik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak frekans davranış fonksiyonu elde edilir (Türker, 2005).

Frekans Davranış Fonksiyonları

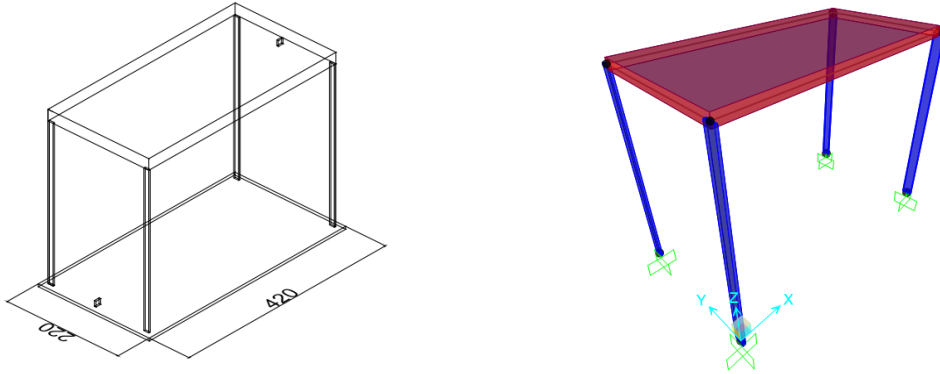
Frekans davranış fonksiyonunun elde edilmesi için analiz edilecek her frekans değerinde sinüzoidal kuvvetler seçilir. Etki ettirilen kuvvetlere bağlı olarak yapıda oluşan tepki fonksiyonları ivme, hız ve yer değiştirme şeklinde elde edilir. Tepki verileri analiz edildikten sonra etki/tepki sonucunda elde edilen frekans fonksiyonları kullanılarak etki koşulları belirli yük altında, yapıda oluşan davranış ve genlik belirlenebilir. Frekans davranış fonksiyonları kompleks sayısal ifadelerdir. Bu kompleks ifadeler genellikle frekans, faz, kullanılan tepki parametrelerine bağlı olarak receptance, mobility veya inertance gibi kısımlarından oluşabilir. Bahsedilen bu üç verinin standart iki eksenli x-y grafiğinde gösterilmesi mümkün değildir. Frekans davranış fonksiyonlarının gösteriminin üç farklı yolu vardır. Bu çalışmada modül ve faz diyagramlarının frekansa göre çizildiği Bode diyagramları kullanılmıştır (Ewins, 1984).

NÜMERİK ÇALIŞMALAR

Sürtünme etkili sönümleyicilerin binanın deprem davranışına olan etkisinin araştırılması amacıyla tek katlı çelik model bir bina tasarlanmıştır. Bina Sap2000 programında modellenmiş ve sarsma tablası deneylerinde kullanılmak üzere imalatı yapılmıştır. Binaya uygun şekilde tasarlanan sürtünme etkili sönümleyicinin bina davranışına olan etkisi hem Sap2000'de modal ve Zaman Tanım Alanında analiz sonuçları ile hem de deneysel modal analiz sonuçları ile belirlenmiştir.

Tek Katlı Çelik Model Bina

Çelik model bina x yönünde 400 mm, y yönünde 200 mm genişliğe ve 300mm kat yüksekliğine sahiptir. Taşıyıcı elemanları S235 çeliğinden üretilmiştir. Tasarlanan model binanın çizimi ve Sap2000 modellemesi Şekil 1'de sunulmuştur.



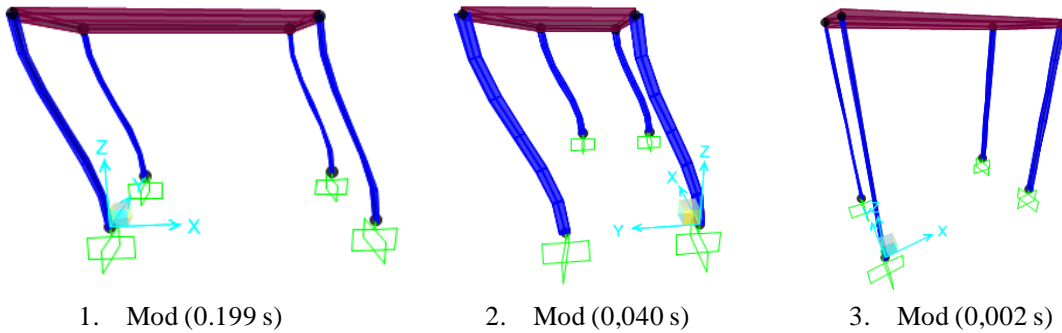
Şekil 1. Tek Katlı Çelik Model Bina

Model binaya ait malzeme detayları ve elemanların kesit bilgileri Tablo 1'de özetlenmiştir. İmal edilen bina modeli toplamda 14 kg ağırlığındadır.

Tablo 1. Tek Katlı Model Binaya ait Malzeme ve Kesit Bilgileri

Deneysel Model Elemanları	Malzeme cinsi	Kesit Ölçüleri (mm)	Uzunluk veya Kalınlık (mm)	Ağırlık (kg)
Kolon	S235	15*3	300	0,424
Döşeme	S235	200*400	6	11,300
Taban plakası	S235	220*420	3	2,175
Toplam Ağırlık				13,899

Binanın Sap2000 bilgisayar paket programında nümerik modellemesi yapılmış ve modal analiz sonucunda binanın dinamik davranış parametreleri elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Model Bina Sap2000 Modal Analiz Sonuçları

Sürtünmeli Sönümleyicinin Tasarım ve İmalatı

Sürtünmeli sönümleyicinin tasarım aşamasında gerekli optimum kayma kuvveti değerinin bulunması gerekmektedir. Optimum kayma kuvvetini bulmak için 5N, 15N, 25N, 65N, 75N, 80N gibi farklı değerler denenmiştir. Optimum kayma kuvvetine, nümerik modellerin tepe noktalarında meydana gelen yer değiştirmelerin karşılaştırılmasıyla karar verilmektedir. Yapılan denemeler sonucunda sürtünmeli sönümleyicideki kayma kuvveti 65 N olduğunda nümerik modelin tepe noktasındaki yer değiştirme minimum olarak elde edilmiştir.

Sürtünmeli sönümleyicilerde gereken optimum kayma kuvvetini elde etmek için bulonlara uygulanması gereken öçekme kuvveti değeri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan 'Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar' yönetmeliğinde Bölüm 13.3.11 de 'Sürtünme Etkili Birleşimlerde Yüksek Dayanımlı

Bulonlar' kısmında verilen denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar, 2018).

$$R_n = \mu * D_u * h_f * T_b * n_s \quad (1)$$

Burada, R_n , bir bulon için sürtünme etkili tasarım kayma kuvveti, D_u , bulon montajında uygulanan ortalama öneçme kuvvetinin minimum karakteristik öneçme kuvvetine oranı, 1.0 değerine eşit alınacaktır, n_s , sürtünme etkili kayma düzlemi sayısı, T_b , minimum bulon öneçme kuvveti, μ , A,B,C,D sınıfı yüzeyler için verilen ya da deneysel olarak belirlenen ortalama sürtünme katsayısı, h_f , besleme levhası katsayısıdır.

Deneysel modelde kullanılacak sürtünmeli sönümleyicide istenilen optimum kayma kuvvetini elde etmek için uygulanması gereken öngerilme kuvvetinin hesaplarında D_u ve h_f değerleri 1 olarak alınmıştır. Sürtünme yüzeylerinde herhangi bir işlem uygulanmadığı için, sürtünme katsayısı, μ , 0,2 olarak seçilmiştir. Yukarıda verilen denklem tek bulon için geçerlidir sönüm düzeneğinde 2 adet bulon kullanılacağından bu değer 2 ile çarpılmalıdır.

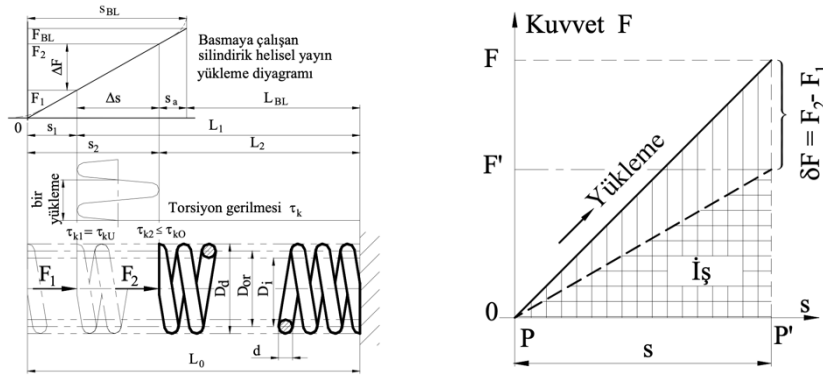
$$65N = F_d = R_n = \mu * D_u * h_f * T_b * n_s * 2 \quad (2)$$

Denklem 2'den bulona uygulanması gereken bulon öneçme kuvveti 82 N olarak hesaplanmıştır. Öneçme değeri sürtünmeli sönümleyici bulonlarına helisel bası yayı vasıtasıyla uygulanacaktır (Şekil 3).



Şekil 3. Helisel Bası Yayları (Hocaoğlu, 2015)

Helisel bası yayları, bir F kuvvetiyle zorlandıkları zaman rijitlikleriyle ters orantılı öteleme gerçekleştirirler. Yaya uygulanan öteleme miktarı, ilgili kattaki sönümleyicide uygulanacak öneçme kuvvetiyle doğru orantılı olmalıdır (Şekil 4).



Şekil 4. Bası Yayı Rijitlik Hesabı Grafiği (Kutay, 2010)

Bası yayının rijitliği Denklem 3'teki gibi hesaplanmaktadır. Denklem 3'te $k_{baskı}$, yay sabitini, d , yay telinin çapını, D , yay halka (ortalama) çapını, D_i , yay halka iç çapını, G , torsiyonel elastiklik modülünü, N , yay sarım sayısını, N_e , etkin yay sarım sayısını, D_d , yay halka dış çapını ifade etmektedir.

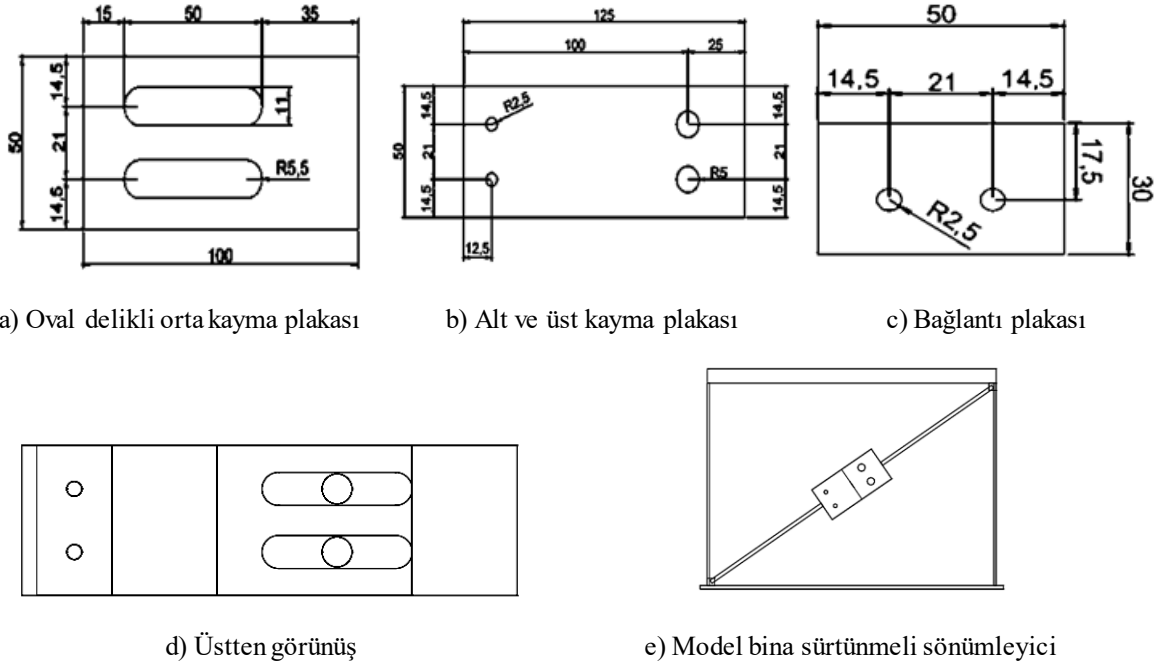
$$k_{baskı} = \frac{d^4 * G}{8 * N_e * D^3} \quad (3)$$

Tek katlı deneysel modelde kullanılacak sürtünmeli sönümleyicide kullanılacak yayım rijitlik hesabında kullanılan değerler ve yaya ait rijitlik Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yayım Rijitlik Hesabında Kullanılan Değerler

Terim	Değer
d	1,4 mm
$(D_i + D_d)/2 = D$	11,2
D_i	10,5
G	80,000 N/mm ²
N	10
$N_e (N-2)$	8
D_d	11,9
$k_{baskı}$	3,417 N/mm

Sürtünmeli sönümleyici imalatında S235 çeliği kullanılmıştır. Sönümleyicilerde kullanılacak bulon çapları, sürtünmeli sönümleyicilerde kayma gerçekleştiği anda bulonda meydana gelen kesme sebebiyle sönümleyicide dayanım kaybı olmayacak şekilde seçilmiştir. Sürtünmeli sönümleyici tasarımında slot (yarık) uzunlukları, ilgili katta oluşabilecek deplasman değerlerinden fazla olacak şekilde (yaklaşık 2 katı) tasarlanmıştır. Sürtünmeli sönümleyicilerin imalatında kullanılan parçalara ait detaylar Şekil 5’te verilmiştir.

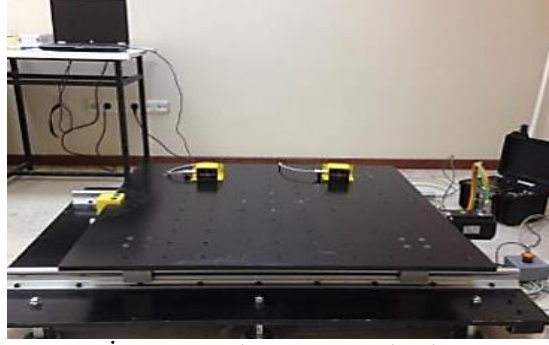


Şekil 5. Sürtünmeli Sönümleyicinin Parçaları ve Detayları

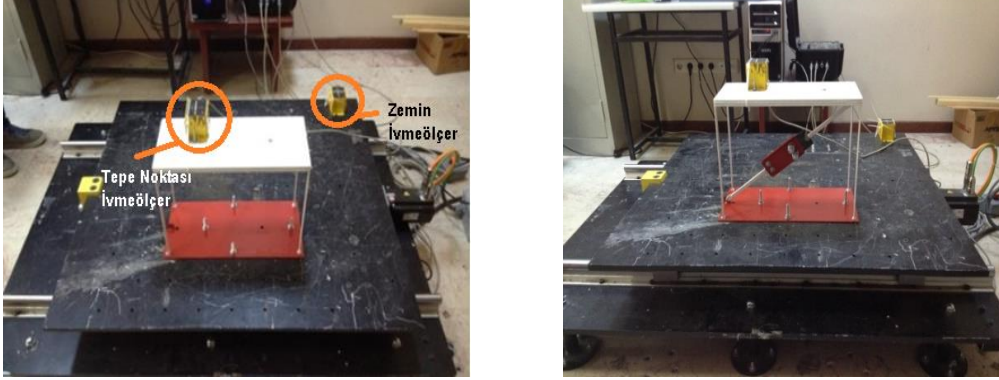
Sarsma Tablası Deneyleri

Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen sönümleyicili ve sönümleyicisiz model binaya sarsma tablası kullanılarak deprem ivme kayıtları etki ettirilmiştir. 1x1m çelik rijit bir plaka ve bu plakaya tek eksende hareket veren 3 adet hidrolik pistondan oluşan sarsma tablası, maksimum 2.5 kN’luk yatay kuvvet uygulayabilmekte tek eksende ± 100 mm hareket edebilmektedir. Hidrolik pistonlara hareket, bir servo motor sürücü ile sağlanmaktadır. Bilgisayara bağlı kontrol ünitesi sayesinde 1-10 Hz aralığında kayıtlar, sarsma tablasına monte edilmiş bir sisteme uygulanmaktadır. Bina titreşimlerini ölçmek için ivmeölçerler (Sensebox 7021/7022/7023+ ve 7031/7032/7033) kullanılmıştır. Bu ivmeölçerler, ultra düşük gürültülü, kuvvet/elektro-dinamik geri beslemeli sensörlerdir (Şekil 6).

Deneysel kısımda model binanın sönümleyicili ve sönümleyicisiz sürtünmeli sönümleyicinin bina deprem davranışına etkisini araştırmak ayrıca Sap2000 modellerinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla sarsma tablası kullanılarak deprem kayıtları etki ettirilmiştir (Şekil 7). Model doğrulamadaki asıl amaç sönümleyicinin Sap2000’de doğru bir şekilde modellenip modellenmediğini kontrol etmektir.

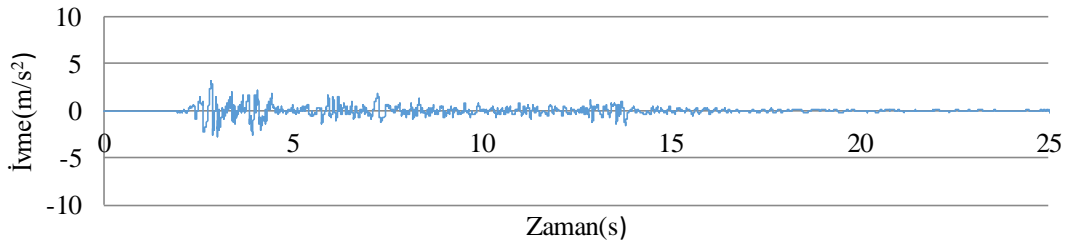


Şekil 6. Deprem İvme Kayıtlarının Uygulandığı Sarsma Tablası

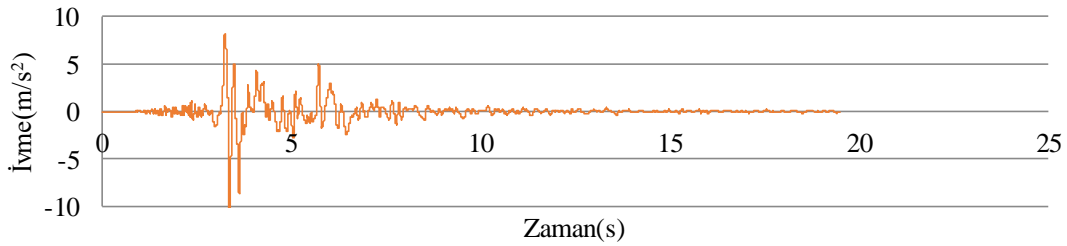


Şekil 5. Sönümleyicisiz ve Sönümleyicili Model Binanın Sarsma Tablası Deneyi

Sarsma tablasında binaya etki ettirilen deprem kayıtlarından biri maksimum ivmesi 0,3g olan Kuvvetli Yer Hareketi 1 (KYH-1) ve diğeri maksimum ivmesi 1g olan Kuvvetli Yer Hareketi 2 (KYH-2) depremidir (Şekil 8).



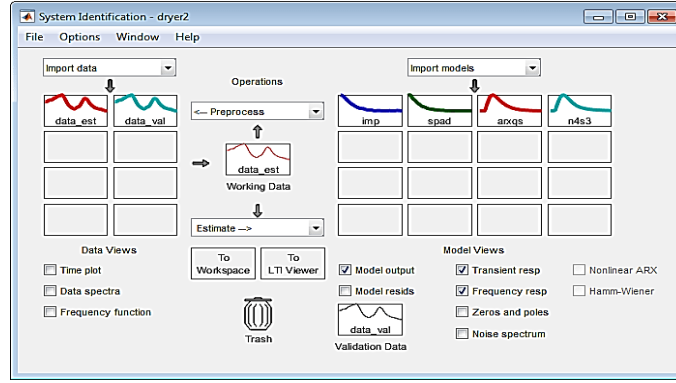
a) KYH-1 İvme-Zaman Grafiği



b) KYH-2 İvme-Zaman Grafiği

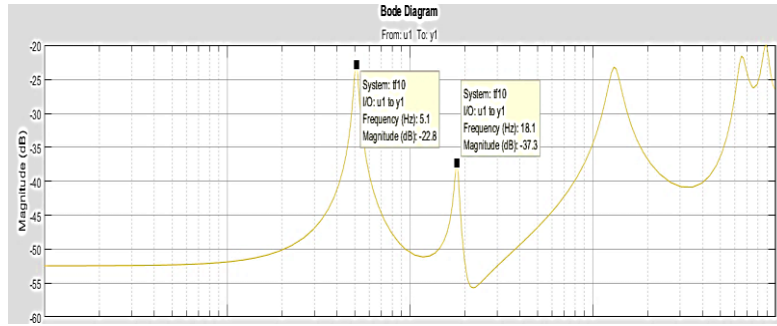
Şekil 6. Sarsma Tablası Deneylerinde Kullanılan İvme Kayıtları

Frekans verilerinin elde edilmesi kısmında kullanılan deneysel modal analiz yönteminde etki fonksiyonu olarak, model binadan beklenen frekans değerine yakın, farklı frekanslarda sinüzoidal kuvvetler kullanılmıştır. Bu kuvvetler sonucunda oluşan tepki parametreleri kullanılarak deneysel modellerin özelliklerini temsil eden transfer fonksiyonları elde edilmiş, daha sonra binanın dinamik davranış özelliklerini veren FRF grafiği elde edilmiştir. FRF grafiğini elde etmek için Şekil 9'da arayüzü verilen MATLAB System Identification Toolbox programı kullanılmıştır.

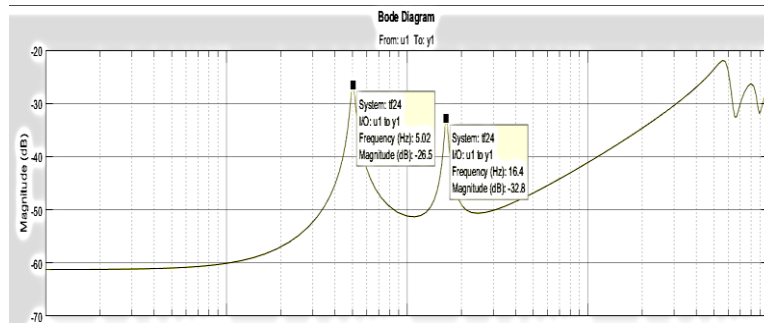


Şekil 7. MATLAB System Identification Toolbox Programı Arayüzü

Sürtünlü sönümleyicinin bina deprem davranışına etkisi, binanın frekans değişimi ve tepe noktasındaki deplasman değişimi incelenerek yapılacaktır. Bu amaçla ilk olarak sönümleyicisiz modelin Sap2000 ve deneysel modal analiz sonucunda elde edilen frekans ve yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılacak ve Sap2000 modelinin doğruluğu kontrol edilecektir. KYH-1 ve KYH-2 deprem ivme kayıtları kullanılarak bina tepesinden elde edilen ivme kayıtları MATLAB programında işlenerek binanın frekans içeriği elde edilmiştir (Şekil 10).



a) KYH-1 deprem ivme kaydı sonucu



b) KYH-2 deprem ivme kaydı sonucu

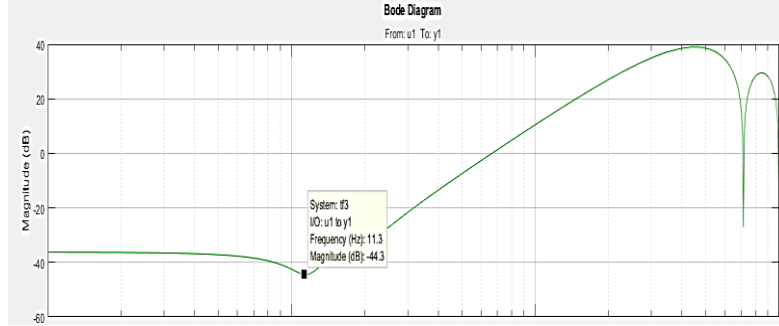
Şekil 8. Sönümleyicisiz Binanın Deneysel Modal Analiz Sonucu Elde Edilen FRF Grafikleri

Binanın 1. hakim periyodu deneysel olarak Şekil 9’da verilen bode diyagramından her iki deprem ivme kaydı için 5,1 Hz olarak belirlenmiştir. Yerdeğiştirme değeri ise binanın üstüne yerleştirilen ivmeölçerlerden elde edilen ivme kayıtları kullanılarak bulunmuştur. Sap2000 programında tasarlanan bina nümerik modelinden modal ve Zaman Tanım Alanında analiz sonucunda frekans ve bina tepe noktasında oluşan yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Zaman Tanım Alanında analizde KYH-1 ve KYH-1 deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Deneysel ve nümerik sonuçlar Tablo 3’te karşılaştırılmıştır.

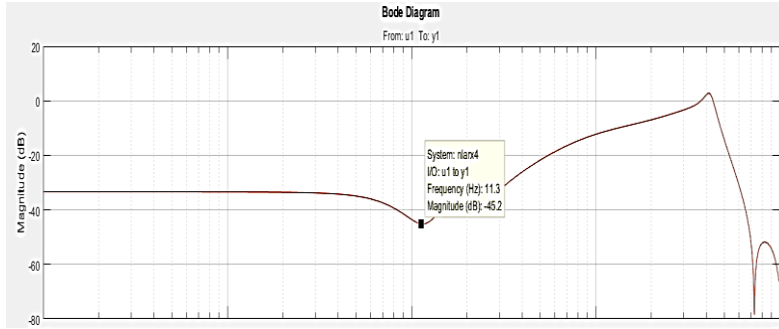
Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında sürtünlü sönümleyicili sistem incelenmiştir. Sarsma tablasında KYH-1 ve KYH-2 deprem ivme kayıtları etki ettirilerek binanın frekans ve tepe yerdeğiştirmesi parametreleri deneysel olarak elde edilmiştir (Şekil 11).

Tablo 3. Sönümleyicisiz Model Binanın Deneysel ve Nümerik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deprem	Frekans (Hz)		Yerdeğiştirme (mm)		Hata Oranı (%)	
	Deneysel Model	Nümerik Model	Deneysel Model	Nümerik Model	Frekans	Yerdeğiştirme
KYH-1	5,10	5,12	10,85	9,90	0,46	8,90
KYH-2			33,00	34,20		3,60



a) KYH-1 deprem ivme kaydı sonucu



b) KYH-2 deprem ivme kaydı sonucu

Şekil 9. Sönümleyicili Bina Deneysel Modal Analiz Sonucu Elde Edilen FRF Grafikleri

Aynı parametreler sönümleyici parametreleri girilerek oluşturulan nümerik model için Sap2000'de gerçekleştirilen modal ve Zaman Tanım Alanında analiz sonucunda elde edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Sürtümlü sönümleyicilerin SAP2000'de tanımlanmaları 'Link/Support Property Data' kısmından yapılmıştır. Link/Support type olarak Plastic (Wen) seçilmiştir.

Tablo 4. Sönümleyicili Model Binanın Deneysel ve Nümerik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deprem	Frekans (Hz)		Yerdeğiştirme (mm)		Hata Oranı (%)	
	Deneysel Model	Nümerik Model	Deneysel Model	Nümerik Model	Frekans	Yerdeğiştirme
KYH-1	11,30	10,48	1,99	1,80	7,30	8,9
KYH-2			9,90	8,82		11

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sürtümlü sönümleyicinin model binanın deprem davranışına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada deneysel ve nümerik model sonuçları incelendiğinde, sönümleyicisiz binada frekans değerleri açısından % 0,5 fark oluşmuştur. Bina tepede yerdeğiştirmesi değerlerinde ise KYH-1 deprem etkisi altında %8,9 KYH-2 deprem etkisi altında ise %3,6 fark meydana gelmiştir. Sönümleyicili binada ise frekans değerleri açısından %7, yerdeğiştirmede ise KYH-1 deprem etkisinde %8,9 KYH-2'de ise %11'lik fark meydana gelmiştir. Binanın kütle ve rijitliğini ifade eden frekans uyumu iki model arasında yüksek oranda sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Sap2000 nümerik modelinin gerçek modeli temsil ettiğini göstermektedir.

Sönümleyicili ve sönümleyicisiz sistem karşılaştırmasında ise deneysel model sonuçları dikkate alındığında frekans açısından %121,5 fark oluşmuştur. Sönümleyicili bina sönümleyicisize oranla iki kat daha rijit hale gelmiştir. Yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde ise KYH-1 depreminde %81,7 KYH-2 depreminde ise %70'lik bir azalma olmuştur. Deprem maksimum ivmesine bağlı olmakla birlikte yerdeğiştirmede yüksek oranda azalma meydana gelmiştir.

Sürtünlü sönümleyicilerin kullanıldığı model binada rijitliği arttırdığını ve deprem etkisiyle binanın tepe noktasında oluşan yerdeğiştirmeyi önemli ölçüde azalttığını söylemek mümkündür. Yapılan çalışmada tek açıklıklı tek katlı bina modeli kullanılmıştır. Binanın kat adedinin ve açıklığının artırılması, sönümleyicilerin farklı kat ve açıklıklara konumlandırılması sönümleyiciler hakkında farklı bilgilerin elde edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Aiken, I.D., Nims, D., Whittaker, A., Kelly, J.M. (1993). Testing Of Passive Energy Dissipation Systems, *Earthquake Spectra*, 9 (3), 335-370.
- Akpınar, E., Özenir, A., Akanji, S. T. (2021). Tipik Betonarme Bir Hastane Yapısının Güçlendirilmesinde Betonarme Perde Ve Sürtünlü Sönümleyici Güçlendirme Alternatiflerinin Karşılaştırılması, *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 32*, 928-939.
- Ayazoğlu, R. (2015). Sürtünmeye Dayalı Sönümleyiciler İle Bağlı Betonarme Perde Duvarlı Yüksek Binaların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, E., Boru, E. (2020). Betonarme Bir Çerçevenin Farklı Yerleşim Düzenlerine Sahip Merkezi Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi, *Academic Platform Journal Of Engineering And Science*, 8 (2), 286-294.
- Boru, E., Aydın, E. (2022). The Effect Of Different Steel Brace Types On Reinforced Concrete Frame System Retrofit, *Türk Doğa Ve Fen Dergisi*, 11 (2), 118-124.
- Constantinou, M. C., Symans, M. D. (1992). Experimental And Analytical Investigation Of Seismic Response Of Structures With Supplemental Fluid Viscous Dampers, National Center For Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-92-0032.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapımına Dair Esaslar, Ankara.
- Deringöl, A. H. (2013). Effect Of Friction Dampers On Seismic Performance Of Buildings, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Ercan, E., Nuhoğlu, A. (2005). Taban İzolatörlü Ve Pasif Enerji Sönümleyicili Yapıların Dinamik Davranışı", Deprem Sempozyumu, Kocaeli, ss. 512-520, 23-25.
- Ersin, S. (2017). Tipik Betonarme Yapıların Perde veya Sürtünme Sönümleyici Eklenecek Güçlendirilmesinin Yapı Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Ewins, D. J. (1984). Modal Testing; Theory and Practice, John Wiley & Sons Inc., Newyork, ABD.
- Filiatrault, A., Cherry, S. (1986). Seismic Tests Of Friction-Damped Steel Frames, Third Conference On Dynamic Response Of Structures, ASCE, Los Angeles, USA.
- Fitzgerald T. F., Anagnos, T., Goodson, M., Zsutty, T. (1989). Slotted Bolted Connections In Aseismic Design For Concentrically Braced Connections, *Earthquake Spectra*, 5 (2), 383-391.
- Hocaoglu, H. (2015). Kalip Yayları İçin Yorulma Deney Cihazı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kutay, M.G. (2010). Elastik Yaylar, Ders Notları.
- Naimi, S., Waheb, M.H. (2019). Deprem Etkisindeki Yapıların Sismik Taban İzolasyonu Ve Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemleri İle Karma Korunması, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (1), 499-516.
- Pall, A. S. (1979). Limited Slip Bolted Joints : A Device To Control The Seismic Response Of Large Panel Structures, Doktora Tezi, Concordia University, Kanada.

- Pasquin, C., Leboeuf, N., Pall, T. (2002). Friction Dampers For Seismic Rehabilitation Of Eaton Building, Montreal, Proceedings, *Annu. Conf. - Can. Soc. Civ. Eng.*, 2002, 1771–1780.
- Popov, E., Grigorian, C. And Yang, T. (1995). Developments In Seismic Structural Analysis And Design, *Engineering Structures*, 17 (3), 187- 197.
- Soong, T. T., Dargush, F. (1997). Passive Energy Dissipation Systems In Structural Engineering, *Journal of Structural Control*, 6 (1)1, 172.
- Suk, R. (2019). Mafsal Özellikli Sürtünme Tipi Sismik Sönümleyici, Doktora Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Türker, T. (2005). Çelik Çerçeve Sistemlerin Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Vaseghi, J., Navaei, S., Navayinia, B., Roshantabari F. (2009). A Parametric Assessment Of Friction Damper In Eccentric Braced Frame, World Academy of Science, *Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 3 (10), 361-365.
- Wang, Y., Zhou, Z., Zhang, L., Xie, Q. (2021). Quantification Of Higher Mode Effects Of Steel Frame And Control Method Using Dual Self-Centering Variable Friction Damper Brace, *Engineering Structures*, 240, 112368.
- Zhang, M., Wang, D. (2019). Seismic Response Analysis Of Frame With Friction Damper, *Engineering Computations*, 36 (7), 2220–2239.
- Zhou, X. And Peng, L. (2009). A New Type Of Damper With Friction, *Earthquake Engineering And Engineering Vibration*, 8 (4), 507-520.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 10.08.2022
Kabul Tarihi : 13.12.2022

Received Date : 10.08.2022
Accepted Date : 13.12.2022

PROBLEMS OF TEXTILE DYEHOUSES: FROM EMPLOYEE'S PERSPECTIVE

TEKSTİL BOYAHANELERİNİN SORUNLARI: ÇALIŞAN BAKIŞ AÇISIYLA

Hüseyin ÖZDEMİR¹ (ORCID: 0000-0002-0783-0563)

¹ Gaziantep Üniversitesi, Faculty of Fine Arts, Textile and Fashion Design Department, Gaziantep, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hüseyin ÖZDEMİR, hozdemir@gantep.edu.tr

ABSTRACT

Basic components of the textile industry; are yarn, weaving, knitting, finishing, and clothing production technologies. Among these areas of textile, the dyehouses create big problems for both the employees and the environment. Because of in dyehouses, many aqueous processes which are prepared with chemical substances are used for bleaching, dyeing, and finishing processes of the fabric. Some of these chemicals used in these processes threaten the health of dyehouse employees. The fact that dyehouse employees cannot receive regular health care also reveals this threat ($\bar{X}= 2.63$). In addition, the damage caused by dyehouses to the environment is also very important for the future of living spaces. Despite all these disadvantages, dyehouses are indispensable areas of the textile industry. For this reason, dyehouses are places that need to be examined carefully due to their versatile importance. In this study, it is aimed to determine the current conditions of the dyehouses and to give suggestions for their problems and their solutions. For this purpose, the opinions and suggestions of 156 dyehouse employees in 10 finishing enterprises located in Gaziantep Organized Industrial Zone on the current situation were analyzed.

Keywords: Dyehouse, textile, environment, dyehouse employee, dyehouse problems, health.

ÖZET

Tekstil sektörünün temel bileşenleri; iplik, dokuma, örme, terbiye ve giyim üretim teknolojileridir. Tekstil bu alanları içerisinde hem çalışanlara hem de çevreye büyük problem üreten boyahanelerdir. Çünkü boyahanelerde kumaşın ağartılması, boyanması ve bitim işlemleri için kimyasal maddelerle hazırlanmış çok sayıda sulu işlem yapılmaktadır. Bu işlemlerde kullanılan kimyasal maddelerin bazıları boyahane çalışanlarının sağlığını tehdit etmektedir. Boyahane çalışanlarının düzenli sağlık hizmeti alamaması da bu tehditi ortaya koymaktadır ($\bar{X}= 2,63$). Ayrıca boyahanelerin çevreye verdiği zararlar da yaşam alanlarının geleceği bakımından oldukça önemlidir. Tüm bu dezavantajlarına rağmen boyahaneler tekstil sektörünün vazgeçilmez bir alanıdır. Bu nedenle boyahaneler çok yönlü önemi nedeniyle dikkatle incelenmesi gereken yerlerdir. Bu çalışmada, boyahanelerin mevcut durumlarını tespit ederek, sorunları ve bu sorunların çözümüne yönelik öneriler verilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Gaziantep Organize Sanayi Bölgesinde yer alan 10 terbiye işletmesinde 156 boyahane çalışanının mevcut durumuyla ilgili görüşleri ve önerileri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyahane, tekstil, çevre, boyahane çalışanları, boyahanedeki sorunlar, sağlık.

INTRODUCTION

The textile manufacturing industry is old and technologically complex among all industries. Dyehouses, which are an important branch of the textile industry, are mostly small and medium-sized enterprises and they cause many problems. These problems are caused by the chemicals used. Because these chemical processes in dyehouses mostly damage living spaces. Some of the chemical processes carried out in dyehouses are aqueous processes such as bleaching and dyeing. Chemical wastes used in these processes cause significant environmental degradation and human diseases. For example, approximately 40% of the colorants used in the world contain chlorine, which is known to be carcinogenic. In addition, it is possible to see the side effects of the colorants used, such as allergic reactions and infant deaths. (Kaur, 2016; Mia et al., 2019; Parvin, 2020)

Since the production line in dyehouses harms human life and the environment, there is a need for technological production methods that use fewer chemicals. In addition, reducing the damage caused by dyehouses to the environment should be supported by preventive laws to be adopted by countries. (Alam et al., 2020) However, these preventive laws are not effective in countries like Bangladesh, where there are many dyehouses. Because it has been determined that most of the dyehouses do not comply with the existing rules. (Kant, 2012) In recent years, under the pressure of environmental organizations, the governments of the countries have entered into new searches due to the damage caused by the dyehouses to the environment and human health. One of these pursuits is to encourage the use of natural dyes in dyeing. Natural dyes are a good alternative for dyeing processes since they are non-toxic and do not harm the environment and human health. (Kaur et al., 2017) Other advantages of natural dyes; It is cheap, easily obtained, easily decomposed in nature, and abundantly available. (Yaseen&Scholz, 2019) In addition, the wide color range of natural dyes is an advantage for dyehouses. (Ozdemir, 2014) For example, in a dyeing process with plants grown in the temperate Austrian climate, more than 60% of the fastness tests of the dyes were acceptable, and it was determined that natural dyes were ecologically advantageous when compared with dyeings made with synthetic dyes. (Prelog&Tavcer, 2017) Despite all these advantages, the use of natural dyes is very limited. The use of chemical dyes poses serious concerns in terms of sustainable eco-textiles. Because it is used in chemical dyeing; Wastewater of chemicals such as sulfur, naphthol, vat, nitrate, acetic acid, soaps, chromium, copper, arsenic, lead, cadmium, mercury, nickel, and cobalt poison the World. (Tuncel&Kaygusuz, 2014) For example, dyes such as metal complexes used in the dyeing of fibers such as wool, polyamide, and silk release heavy metal ions into the environment. (Julkapli et al., 2014) In addition, in wet processes such as pre-finishing, bleaching, and mercerization, which are pre-treatment processes before dyeing, toxic, carcinogenic, and allergic chemicals are used. (Gaeta&Fedele, 1991; Shamey&Zhao, 2014) Dyehouses are responsible for a significant part of environmental problems in the world. Therefore, environmental approaches are needed for sustainable production. One of these approaches is the cationization process of light anionic normal cotton with cationic agents. It has been experimentally investigated that clear dyeing wastewater is obtained in cationic cotton dyeing and saving from chemical substances is achieved. In another approach, cotton, polyester, polyacrylonitrile, polyamide, and wool fibers were dyed with cleaned dyehouse wastewater and positive results were obtained from dyeing processes. (Milczarek&Szczecińska, 2006)

Water is the main source of life for our world. Dyehouses are the sector that consumes this valuable resource the most and pollutes the most. Dyehouses consume large amounts of water (200 m³/tonne) and approximately 90% of it comes out as wastewater. This situation is not sustainable. For this reason, dyehouses should take precautions regarding water conservation and pollution control. Some of these measures are the reuse of wastewater, the need to adjust both the color and pH of the wastewater. It is also possible to use some biological methods. (Bechtolda et al., 2003; Samuel et al., 2004; Choudhury, 2014; Saxena et al., 2016; Gulumser, 2016; Sözen et al., 2019; Alayunt& Tasgin, 2019)

The coloring process in the textile industry makes the product more attractive. Synthetic dyes are mostly used in the coloring process. However, the chemical structures of these dyes cause serious damage to the environment. The wastewater generated after the dyeing processes of the dyehouses with these synthetic dyes must be released to nature after the necessary procedures are carried out in the treatment plants. (Hassan&Carr, 2018; Fröse et al., 2019) In addition, automation of dye consumption according to fiber saturation value can reduce the burden of treatment plants. (Santra et al., 2019) In recent years, some innovative studies have been carried out on this subject. Significant gains have been achieved in the use of water, auxiliary chemicals, and energy in dyehouses. In these studies, energy-saving is realized in the form of reuse of hot water, and the depreciation period of the process is calculated as 18-30 months. In addition, systems in the form of specially designed membranes, physicochemical, biological, and sand filters are also used in the cleaning of wastewater. (Yıldırım et al., ; Vajnhandl&Valh, 2014) Another approach is to monitor the amount of water used in dyehouses and the amount of pollution caused by it experimentally. (Chen et

al., 2017 Dyehouse managers need to develop environmental standards and take precautions. (Khan& Malik, 2013; Santos et al., 2016)

As the welfare level rises, fiber consumption increases worldwide. Increased fiber consumption means more dyeing and more pollution. This pollution affects life in less developed countries where production is more common. (Hessel et al., 2007) To reduce this effect, it is necessary to use less or recyclable water, chemicals, and energy used in the dyeing process. (Özdemir&Bozok, 2020) For example, in 1980-1995, as a result of the increase in the consumption of textiles in the United States, environmental pollution has increased significantly. Society put pressure on the government against this increase and wanted it to take precautions. (Ilyas et al., 2019) Thus, dyehouses started to use less water, fewer chemicals, and less energy in their production. (Rahman et al., 2020)

The textile sector makes a significant contribution to the economy of developing countries. For this reason, it does not seem possible for countries to exit this sector. However, this contribution also brings with it negativities. For example, textile has an important place in the country's economy in Pakistan. However, the damage caused by the dyehouses to the environment has reached serious dimensions. This situation poses a potential health hazard not only for the environment but also for the workers working in this line of business. For example, 30 textile workers and 30 office workers aged between 18-57 in 15 textile enterprises in the Dhaka region were screened for health and it was seen that the workers were at serious risk. Again, to improve the working conditions of the workers working in textile companies operating in Poland and Sweden, training on occupational risks was provided and it was aimed to reduce occupational risks. As a result of the training, changes were made in the work organization, and occupational risks at workstations were reduced. (Rather et al., 2019; Lellis et al., 2019; Bathrinath et al., 2020) Another risk seen in dyehouse is work accidents. These accidents occur due to inadequate lighting, ventilation, high levels of noise and dust. (Hatch&Maibach, 2000)

Chemicals used in dyehouses are very harmful to human health. For example, eczema, urticaria, and respiratory tract diseases caused by reactive dyes were seen in 5 workers aged 24-52 between 1977-1987. For this reason, the structure and properties of the dyes used in dyehouses should be known and harmful dyes should not be used. (Estlander, 1988; Mondal et al., 2017)

As the damages caused by finishing enterprises both on the environment and human health have reached serious dimensions, this has made it important to examine the current status and problems of these enterprises. In this study opinions of workers employed at textile dyehouses operating in Gaziantep have been taken with regards to the current status of dyehouses, relevant problems, and solutions of these problems. Data relating to the study were analyzed with SPSS 25 statistics program. With this study, solution proposals have been presented by revealing the current status and problems of this important working area in the textile sector with regards to minimization of damages caused by enterprises on environment and solution of these problems. In addition, in this pandemic period, where environmental concerns are rapidly increasing in the world, the healthy operation of dyehouses is important in terms of providing a better environment for future generations.

METHOD

The research is a quantitative study, and it is a descriptive study using a survey model, one of the quantitative research methods. A survey researcher is the one that includes the processes of reporting the findings obtained by determining the research problem, the target audience, and data collection tools to determine the participant's views on a subject or event. (Frankel& Wallen, 2006) Therefore, this research was designed as a survey study to determine the current status of the dye houses, the problems encountered and the solution suggested for the problems in Gaziantep Industrial Zone.

Research Sample

The sample of the research consists of 156 employees of 10 dyehouses located in the Gaziantep Industrial Zone. The dyehouses included in the research sample were determined by a simple random sampling method. A total of 250 questionnaires were distributed, 156 of theirs returned.

The demographic characteristics of the participants in this study group were given in Table 1.

Table 1. Demographic Characteristics of The Participants (N=156).

Demographic characteristics		n	%
The entry year of the workplace in the sector	Between 1981-2000	43	27.6
	2001 - ---	113	72.4
	Between 0-50	39	25
Labor force	Between 51-100	24	15.4
	Between 101-200	46	29.5
	201 and higher	47	30.1
Working position	Dyehouse manager	9	5.8
	Technician	45	28,8
	Other employees	102	65.4
Daily production capacity	1-10 tonne	4	2.6
	11-20 tonne	35	22.4
	21-30 tonne	115	73.7
	31 tonne and higher	2	1.3
Dyestuff procurement	Domestic	91	58.3
	Abroad	44	28.2
	Domestic and	21	13.5
Chemical substance procurement	Domestic	136	87.2
	Abroad	9	5.8
	Domestic and	11	7.1
	Abroad		

Data Collection Instruments

The research data were collected with a survey prepared by the researcher, which included 24 items and two open-ended questions. The prepared survey consists of 3 sections; demographic characteristics, survey items, and open-ended questions. While writing the survey items, detailed literature was reviewed and interviews were made with workers in the sector. In line with the literature review and preliminary interviews, an item pool of 30 items was prepared. For the validity and understandability of the items, 5 subject field specialists, 5 workers of the related sector read the items and gave opinions. After this process, the survey was reorganized and 24 items and two open-ended questions were included. The scaling of the survey included from 5 to 1 (5: I completely agree, 1: I do not agree at all). To determine the reliability of the prepared questionnaire, the calculation was made with the Cronbach's alpha analysis in the SPSS 25. At the end of the calculation, it was concluded that the questionnaire was reliable with a value of .91.

Data Analysis

The research data was analysed using SPSS 25 statistics program. Frequency analysis, which is among the descriptive statistics, was used in the analysis of demographic variables. The mean and standard deviation values of the answers given to the questionnaire items were calculated. Normality distribution analysis was performed to analyse whether the statistical analysis to be applied to the data set was parametric or non-parametric tests. As a result of the normality distribution analysis, it was concluded that the skewness (-.315) and kurtosis (.158) coefficients were between ± 1 values. The normality distribution curve for the analysis result is shown in Figure 1. According to the results of the normality test, independent samples t-test was used for two-group comparisons of independent variables, and one-way ANOVA test was used for comparisons between more than two groups. The answers to the open-ended questions were analysed with the use of content analysis and the results were presented with visuals. Content analysis is a type of analysis that focuses on the variety, frequency, or repetition of the answers given to the research questions (İşçi and Öztekin, 2018). In this context, the frequency of repetition of the words or phrases was specified while presenting the data.

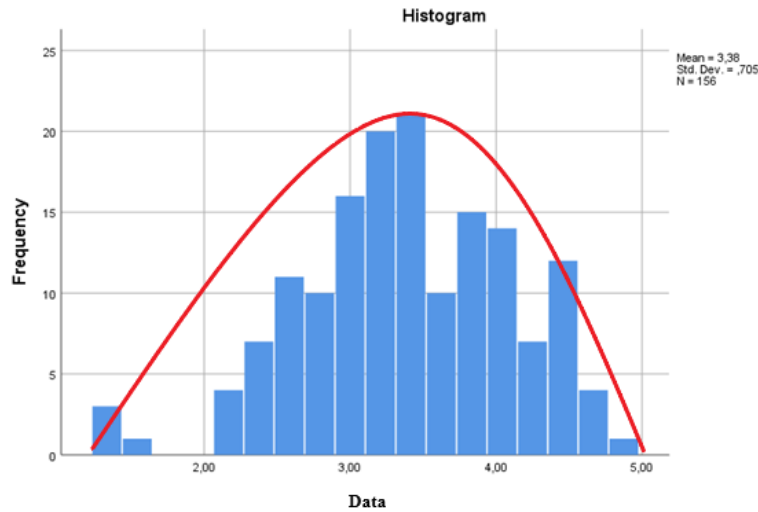


Figure 1. Normality Distribution Curve.

RESULTS AND DISCUSSION

Findings Regarding the Questionnaire Items

While Turkey has a very long history with regards to the dye industry, it is seen that studies relating to the current status of dyehouses and their problems are limited and even very few as being insignificant. Based on the fact that human sources, being the most important basic inputs in enterprises, would provide the most reliable information about work and work conditions, an average of answers given by dyehouse workers to questionnaire items relating to the current status of dyehouses is given in Table 2.

Table 2. Questionnaire Items Score an Average of Participants.

Item no	Items	n	\bar{X}	Ss
1	The dyehouse department is technologically sufficient.	156	3.19	1.12
2	The ventilation conditions of the dyehouse department are sufficient for human health	156	2.90	1.33
3	The ventilation conditions of the dyehouse department are sufficient for work.	156	2.95	1.11
4	Dyehouse department employees are provided with adequate training regarding their work.	156	2.69	1.01
5	The number of people working in the dyehouse department is sufficient for the job.	156	3.32	1.11
6	The working capacity of the dyehouse department is sufficient	156	3.07	1.24
7	The wastes of the dyehouse department are handled appropriately.	156	3.68	1.14
8	The chemicals used in the dyehouse department are suitable for eco-textile.	156	3.60	1.23
9	Qualified personnel is employed in the dyehouse department.	156	3.39	1.18
10	Necessary inspections are carried out on time and by the procedure in the dyehouse department.	156	3.30	1.29
11	The dyehouse department uses raw materials that threaten human and environmental health.	156	3.29	1.30
12	The physical conditions of the dyehouse department are sufficient (floor, working area size, etc.)	156	3.32	1.08

13	The temperature conditions of the dyehouse department will not disturb the employee, so the air conditioning conditions should be ideal.	156	2.78	1.31
14	The lighting conditions of the dyehouse department are as they should be.	156	3.66	1.22
15	The dyeing place and the sample workplace are separated from each other and are not negatively affecting employee productivity.	156	3.58	1.34
16	The machinery and equipment used in the dyehouse department are sufficient.	156	3.51	1.22
17	Necessary protective measures have been taken for the employee in the dyehouse department.	156	3.66	1.25
18	It is suitable for settlement work in the dyehouse department.	156	3.80	1.10
19	The electrical accent in the dyehouse department is structured in a way that does not threaten work safety.	156	3.98*	1.13
20	All kinds of materials used in the dyehouse department are stored under suitable conditions.	156	3.88	1.08
21	The order and cleanliness of the dyehouse department are sufficient.	156	3.42	1.23
22	Warning and warning signs in the dyehouse department are sufficient.	156	3.96	1.12
23	The maintenance and repair of the work equipment in the dyehouse department are carried out regularly.	156	3.50	1.30
24	Health services are regularly provided to employees of the dyehouse department.	156	2.63*	1.25

As it is seen in Table 1, arithmetical averages of answers given to each item relating to the current status of dyehouses by participants give the lowest value regarding expression in the 24th item stating “Regular health services are provided to workers at dyehouse department.” ($\bar{X}= 2.63$) and it gives the highest value regarding expression in 19th item stating “Electrical fixtures in dyehouse department have been structured in a way not to threaten occupational safety.” ($\bar{X}=3.98$).

Quantitative Findings Relating to The Variable of Entrance Year of The Workplace in The Sector

Entrance year in the sector bears importance as it is the indicator of how many years enterprises are operating in the sector and it is important to ensure settled organizations of enterprises and hence, findings of whether opinions of participants regarding the current status of textile dyehouses showed a significant difference concerning entrance years of enterprises in the sector or not have been analyzed. Analysis results are given in Table 3.

Table 3. T-test Results About The Relationship Between Opinion Scores Relating to the Current Status of Dyehouses and Variable of the Entry Year of The Place Of Work in The Sector.

Variable	Entrance year in the sector	n	\bar{X}	Ss	Sd	t	p	d
Current status of dyehouses	Between 1981-2000	43	3.20	.70	154	2.22	.02*	.03
	The year 2001 and afterward	113	3.57	.69				

* $p<0,05$

According to Table 3, there is a statistically meaningful difference between participant opinions and variable of entrance year of enterprises to the sector ($t_{(154)}=,2.22, p<.05$), and it is seen that this difference coming out is in favor of enterprises starting to operate after the year 2001. ($\bar{X}=3.20, \bar{X}=3.57$). While this result shows that there is a statistically significant difference, it does not provide information about the size of the difference. The effect size for the independent sample t-test has been calculated with Cohen’s *d* formula. (Green& Salkind, 2005) They purported that *d* value between .02-.05 points to a small level of effect size, while those between .05-.08 to medium level effect

and .08 and above to the high level of effect sizes. Based on these expressions, it was reached to the conclusion that the effect which occurred ($d=.03$) had a small level of effect.

Quantitative Findings Relating to Total Labor Force Variable

The importance of the workforce, which is among the human factors, is very important for job simplification and operational efficiency. The findings regarding whether the opinions of textile dyehouses regarding their current situation show a significant difference according to the labor force variable are included in Table 4.

Table 4. Variance Analysis (ANOVA) Results Regarding the Relationship Between Opinions Scores About the Current Status of Dyehouses and Total Labor Force Variable.

Variable	Labor force	n	\bar{X}	Ss	Variance source	KT	Df	KO	F	p
Current status of dyehouses	0-50	39	3.37	.56	Between groups	3.05	3	1.01	2.09	.10
	51-100	24	3.46	.60						
	101-200	46	3.53	.70	Within-group	73.87	152	.48		
	201 and higher	47	3.18	.82						
Total		156	3.37	.70		76.93	155			

* $p < 0,05$

According to Table 4, there is no significant difference between the opinions of participants regarding the current status of textile dyehouses and the labor force variable ($F_{(3-152)}=2.09$; $p > .05$)

Quantitative Findings Relating to Working Position Variable

Based on the opinion that work positions of people working at enterprises can affect their perceptions relating to the work, finding of whether opinions relating with the current status of textile dyehouses showed a significant difference concerning working position variable or not has been analyzed. Analysis results are given in Table 5.

Table 5. Variance Analysis (ANOVA) Results Relate to the Relationship Between Opinion Scores About The Current Status of Dyehouses and the Working Position Variable.

Value	Working position	n	\bar{X}	Ss	Variance source	KT	Df	KO	F	p	Scheffe	η^2
Current status of dyehouses	Dyehouse manager (A)	9	3.87	.50	Between groups	6.13	2	3.15	6.84	.001	A-B B-C	.07
	Technician (B)	45	3.59	.58								
	Other employee (C)	102	3.23	.72	Within-group	70.61	153	.46				
Total		156	3.37	.70		76.93	155					

* $p < 0,05$

According to Table 5, there is a significant difference between the opinions of participants about the current status of textile dyehouses and the working position variable ($F_{(2-153)}=6.84$; $p<.05$). According to analysis results of the Scheffe test conducted to find the source of this difference, it is seen that this difference is between dyehouse managers and other workers and technicians and other workers. The effect size of this difference coming out statistically in single directional variance analysis is calculated with the eta-square (η^2) formula. Effect size calculated as a result of the test shows that this difference is at the medium level ($\eta^2=.07$).

Quantitative Findings of Daily Production Capacity Variable

For enterprises, to increase sales amount, it is also required to increase daily production capacity. Increasing daily production capacity in an unplanned way causes various negative situations to come out. In this regard, the finding of whether opinions regarding the current status of textile dyehouses showed a significant difference with regards to the daily production capacity variable or not has been analyzed. Analysis results are shown in Table 6.

Table 6. Variance Analysis (ANOVA) Results About The Relationship Between Opinion Scores Relating To The Current Status of Dyehouses and Daily Production Capacity Variable.

Value	Daily production	n	\bar{X}	Ss	Variance source	KT	Df	KO	F	p	Scheffe	η^2
Current status of dyehouses	1-10 tonne (A)	4	4.02	.18	Between groups	6.37	3	2.12	4.57	.004	A-D	
	11-20 tonne (B)	35	3.47	.74								
	21-30 tonne (C)	115	3.35	.66	Within-group	70.55	152	.46			C-D	.08
	31 tonne and higher (D)	2	1.91	.82								
Total		156	3.37	.70		76.93	155					

* $p<0,05$

According to Table 6, there is a significant difference between the opinions of participants about the current status of dyehouses and the daily production capacity variable ($F_{(3-152)}=4.57$; $p<.05$). According to analysis results of Scheffe test conducted to find the source of this difference coming out, it is seen that this difference is seen between 1-10 ton and 31 ton and above, 11-20 ton and 31 ton and above, 21-30 ton and 31 ton and above. The effect size of difference coming out statistically in single directional variance analysis is calculated with the eta-square (η^2) formula. Effect size calculated as a result of the test shows that this difference is at a high level ($\eta^2=.08$).

Quantitative Findings of Dyestuff Procurement Place Variable

At the workplaces dealing with dyes, the probability that the dyestuff being used will endanger human health is higher concerning those working in other types of enterprises. This situation can be reflected positively or negatively in the evaluation opinions of people working at dyehouses with regard to their working environments. Finding of whether opinions about the current status of textile dyehouses showed a significant difference concerning dye procurement place variable of enterprises or not has been analyzed. Analysis results are shown in Table 7.

Table 7. Variance Analysis (ANOVA) Results About The Relationship Between Opinion Scores Relating to the Current Status of Dyehouses and the Dyestuff Procurement Place Variable.

Variable	Dyestuff procurement	n	\bar{X}	Ss	Variance source	KT	Df	KO	F	p
Current status of dyehouses	Domestic	91	3.37	.65	Between groups	.305	2	.15	4,79	.30
	Abroad	44	3.42	.80						
	Domestic + Abroad	21	3.48	.71	Within-group	76.62	153	.50		
Total		156	3.37	.70		76.93	155			

*p<0,05

According to Table 7, there is no significant difference between the opinions of participants about the current status of textile dyehouses and the dyestuff procurement place variable ($F_{(2-153)}=.30$; $p>.05$).

Quantitative Findings Regarding Chemical Substance Procurement Place Variable

Textile finishing is the most important actor in the Turkish Textile and Garment Industry and the dye industry being the underlying one has an indispensable value. In addition to being environmentally sensitive and making energy and water savings within the frame of sustainable competition terms, it is required for textile dye enterprises to use less harmful chemical substances and to realize waste load mitigation studies. Finding of whether opinions relating with the current status of textile dyehouses show the difference concerning variable of chemical substance procurement place of enterprises or not has been analyzed. Analysis results are shown in Table 8

Table 8. Variance Analysis (ANOVA) Results About The Relationship Between Opinion Scores Relating To The Current Status of Dyehouses and Variable of Chemical Substance Procurement Place.

Value	Chemical substance procurement	n	\bar{X}	Ss	Variance source	KT	Df	KO	F	p	Scheffe	η^2
Current status of dyehouses	Domestic (A)	136	3.31	.69	Between groups	4.53	2	2.26	4,79	.01	A-B	.05
	Abroad (B)	9	3.83	.66								
	Domestic + Abroad (C)	11	3.80	.55	Within-group	72.39	153	.47				
Total		156	3.37	.70		76.93	155					

*p<0,05

According to Table 8, there is a significant difference between the opinions of participants regarding the current status of textile dyehouses and variable of chemical substance procurement place ($F_{(2-153)}=4.79$; $p<.05$). According to analysis results of Scheffe test conducted to find the source of this difference emerging, it is seen that this difference is between groups whose chemical substance procurement place is in domestic country and abroad. In single directional variance analysis, the effect size of statistically significant difference is calculated with the eta-square (η^2) formula. Effect size calculated as a result of the test shows that this difference is at the medium level ($\eta^2=.05$).

Findings Relating to Problems and Solutions Faced at the Dyehouse

The textile finishing industry is a private industrial branch aiming to change and develop features of textile products according to the area of usage, gaining quality and value addition to the product, being constituted of dyeing, printing, and finishing processes. Our company is the biggest textile finishing industry in Europe with its production capacity. (ISO report, 2020) While the Covid-19 pandemic which has influenced all the world has negatively affected various sectors throughout the world, finishing enterprises were also affected by this negativity. However, we can state that Turkey is in a better position concerning production capacity and export opportunities when compared with other world countries. Opinions of those working in this business branch having an important place in Europe concerning the production capacity concerning problems experienced in working places and their solutions are given in Figure 2 and Figure 3.

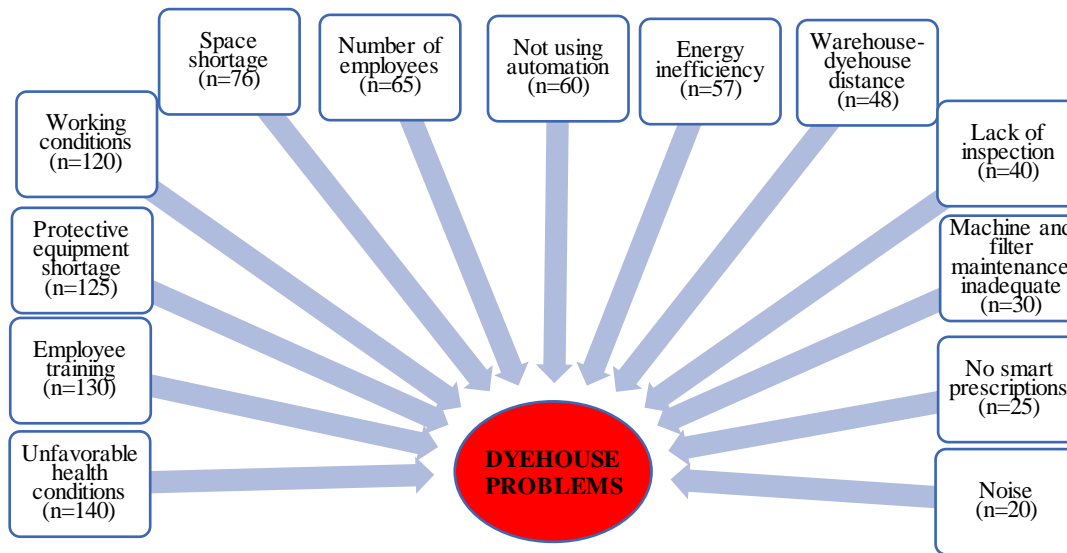


Figure 2. Problems According to Dyehouse Employees.

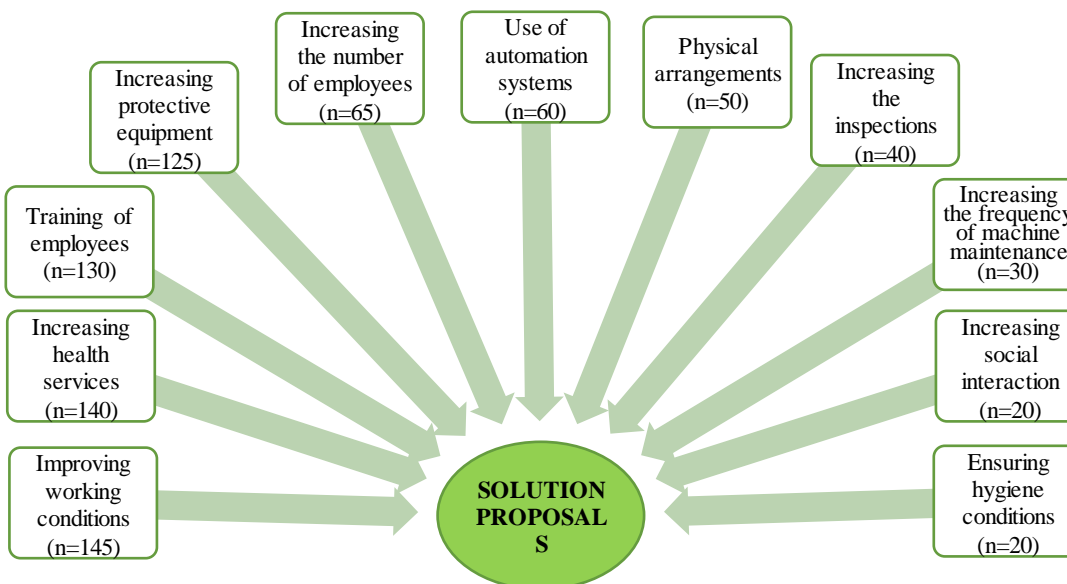


Figure 3. Solution Suggestions of Dyehouse Employees.

CONCLUSION

There are various problems in textile dyehouses. While these problems can arise from the nature of processes realized in dyehouses, they can also arise from the system. Chemical wet processes that are used quite significantly at textile dyehouses and waste coming out constitute a serious problem. As per the general conclusion obtained from answers given to items in the questionnaire, workers have stated that regular health service is not provided to them concerning chemicals and relevant processes and they have mentioned the insufficiency of training relating to the work. Another result obtained from the research is that the perception of workers concerning settlement orders in dyehouses is higher than other questionnaire items.

When research results are reviewed, it is seen that there is a significant difference between variables of entrance year of enterprises in the sector, working position of worker, daily production capacity and chemical substance procurement place and the opinions of participants.

As per the answers given by participants to the open-ended question of “What kind of problems are there at your workplace, apart from those stated in questionnaire items?”, in a way to support answers given to questionnaire items, it was mentioned about problems such as unhealthy working conditions, the inadequacy of training given to workers during recruitment and working process, insufficiency of protective equipment, non-usage of automation systems, physical organization deficiency originating from distances between warehouse and dyehouse, and non-existence of smart receipt application. Again as per the answers given to open-ended questions, it was determined that problems involved by workers in dyehouse were related to the inadequacy of health conditions and that those with which dyehouse manager and technicians were involved were related with work realization processes and worker training. The fact that participants did not make emphasis on damages given to the environment, reveals that workers are not interested in damages given to the environment by dyehouse. According to the research outcome,

It is seen that there is a deficiency of systematic working organization starting from machine settlement plan until production processing plan. It is seen that workers were neither informed about the structure of chemical substances nor the risks associated with the unwanted reaction occurring as a result of usage. Storage of chemical substances and they're being carried during usage in textile dyehouses bear big risks. It is important to realize periodical health controls of workers and to make it become a standard to use protective equipment while working. Dyehouses have a big amount of wastewaters. Although purification of these wastewaters is highly costly, it is required to be done with the enterprise's means or through a central facility.

The major amount of the problems observed in textile dyehouses in high numbers can be resolved with training and low costs. Training of workers can be done with notification meetings to be realized periodically. Dyehouse working conditions can be improved by creating an organizational scheme and applying it. It can be ensured for the facility to operate efficiently as a result of periodical maintenance works of the repair and maintenance team at the machine park.

Dyehouses are departments requiring special interest in the textile industry. Problems in these departments involve both workers and living areas. For production to be sustainable, it is required for traditional production methods to be supported with technological and ecological alternatives. Studies relating to the usage of natural dyes as an alternative to synthetic dyes and the application of dyeing processes realized in low-temperature levels by using less amount of water should be emphasized.

AUTHOR CONTRIBUTION STATEMENT

Author 1 contributed to the creation of the idea, to collect data to carry out analyzes, review the literature, evaluate the results, and examine the results.

ETHICS COMMITTEE APPROVAL

To make the study within the scope of research ethics, Gaziantep University Social and Human Sciences Ethics Committee gave the necessary permission at its first meeting on 23.12. 2020.

REFERENCES

- Alam, S.M.M., Islam, S., & Akter, S. (2020). Reviewing the sustainability of natural dyes. *Adv Res Text Eng.* 5(2), 1-6.
- Alayunt, N.O., & Tasgin, S. (2019). Examination of serum oxidant-antioxidant levels of workers at dyehouses of textile sector in Denizli's industrial estate. *Medicine Science*, 8(4), 836-840.
- Bathrinath, S., Bhalaji, R.K.A., & Saravanasankar, S. (2020). Risk analysis in textile industries using AHP-TOPSIS. *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.722>.
- Bechtolda, T., Turcanua, A., Ganglbergerb, E., & Geissler, S. (2003). Natural dyes in modern textile dyehouses — how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future? *Journal of Cleaner Production*, 11, 499–509.
- Chen, L., Wang, L., Wu, X., & Ding, X. (2017). A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 143, 1137-1143.
- Choudhury, A.K.R. (2014). Environmental impacts of the textile industry and its assessment through life cycle assessment. *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, 1-39.
- Estlander, T. (1988). Allergic dermatoses and respiratory diseases from reactive dyes. *Contact Dermatitis*, 18(5), 290-297.
- Frankel, J.R., & Wallen, N.E. (2006). How to design and evaluate research in education. NY: McGraw-Hill.
- Fröse, A., Schmidtke, K., Sukmann, T., Junger, I.J., & Ehrmann A. (2019). Application of natural dyes on diverse textile materials. *Optik*, 181, 215-219.
- Gaeta, S.N., & Fedele, U. (1991). Recovery of water and auxiliary chemicals from effluents of textile dye houses. *Desalination*, 83(1), 183-194.
- Green, S.B., & Salkind, N.J. (2005). Using SPSS for windows and macintosh: Analysing and understanding data” 4th edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Gulumser, T. (2016). Comparison between the naturally colored cotton fabric and white cotton fabric in the manner of processes in the dyehouse. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(3), 287-294.
- Hassan, M.M., & Carr, C.M. (2018). A critical review on recent advancements of the removal of reactive dyes from dyehouse effluent by ion-exchange adsorbents. *Chemosphere*, 209, 201-219.
- Hatch, K.L., & Maibach, H.I. (2000). Textile dye allergic contact dermatitis prevalence. *Contact Dermatitis*, 42(4), 187-195.
- Hessel, C., Allegre, C., Maiseu, M., Charbit, F., & Moulin, P. (2007). Guidelines and legislation for dye house effluents. *Journal of Environmental Management*, 83(2), 171-180.
- Ilyas, M., Ahmad, W., Khan, H., Yousaf, S., Yasir, M., & Khan, A. (2019). Environmental and health impacts of industrial wastewater effluents in Pakistan: a review. *Reviews on Environmental Health*, 34(2), <https://doi.org/10.1515/reveh-2018-0078>.
- İstanbul Sanayi Odası, Tekstil İmalatı Sanayi Raporu, (2020) file:///C:/Users/csgblocaladmin/Downloads/Tekstil_Raporu (Erişim tarihi: 01.12.20).
- Julkapli, N., Bagheri, S., Abd, H., & Sharifah, B. (2014). Recent advances in heterogeneous photocatalytic decolorization of synthetic dyes. *Scientific World Journal*, DOI: 10.1155/2014/692307.
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*. 4(1), 22-26.
- Kaur, B., Arora, R., & Chanchal. (2017). Wet processing of textiles: An eco-friendly approach. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*. 4(1), 13-15.
- Kaur, B.C. (2016). Environmental and health concerns of the textile industry. *IJCSEIERD*, 6(6), 13-26.

- Khan, S., Malik, A. (2013). Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater. *Environmental Deterioration and Human Health*, 55-71.
- Lellis, B., Polonio, C.Z.F., Pamphile, J.A., & Polonio, J.C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275-290.
- Mia, R., Selim, M., Shamim, A.M., Chowdhury, M., Sultana, S., Armin, M., Hossain, M., Akter, R., De, S., & Naznin H. (2019). Review on various types of the pollution problem in textile dyeing & printing industries of Bangladesh and recommendation for mitigation. *J Textile Eng Fashion Technol*. 5(4), 220–226.
- Milczarek, M., & Szczecińska, K. (2006). Workers' active involvement in the improvement of occupational safety and health in a textile enterprise a case study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 12(1), 69-77.
- İşçi, R., & Öztekin, Ö. (2018). Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber. *Nobel Yayınevi*, 3, 161-199.
- Mondal, P., Bakshi, S., & Bose, D. (2017). Study of environmental issues in textile industries and recent wastewater treatment technology. *World Scientific News*, 61(2), 98-109.
- Özdemir, H. (2014). Cationized and normal cotton with various dye-stuffs comparison of dyeing results. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 14-22.
- Özdemir, H., & Bozok, F. (2020). Dyeing of wool yarn with natural dyes of *Lactarius deliciosus* and *L. sanguifluus* from Turkey. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 30(4), 638244.
- Parvin, F., Islam, S., Urmy, Z., Ahmed, S., & Islam, A.S. (2020). A study on the solutions of environment pollutions and worker's health problems caused by textile manufacturing operations. *Biomed J Sci & Tech Res*, 28(4), 21831-21844.
- Prelog, K., & Tavcer, P.F. (2017). Wastewater treatment in dyehouse using flocculation method and water re-use. *Textiles*, 60(2), 137-151.
- Rahman, T., Faisal, A.R., & Khanam, T. (2020). Recurrent Indoor Environmental Pollution and Its Impact on Health and Oxidative Stress of the Textile Workers in Bangladesh". *Environmental Health Insights*, 14, 1–7.
- Rather, L.J., Jameel, S., Dar, A.O., Ganie, S.A., Bhat, K.A., & Mohammad, F. (2019). Advances in the sustainable technologies for water conservation in textile industries. *Water in Textiles and Fashion*, 175-194.
- Samuel, B., Moorea, S.B., & Ausley, L.W. (2004). Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies, and benefits. *Journal of Cleaner Production*, 12, 585-601.
- Santos, S.C.R., Oliveira, A.F.M., & Boaventura, R.A.R. (2016). Bentonitic clay as adsorbent for the decolorization of dyehouse effluents". *Journal of Cleaner Production*, 126, 667-676.
- Santra, B., Kar, S., Ghosh, S., & Majumdar, S. (2019). An Integrated Process Development for Treatment of Textile Effluent Involving Ceramic Membrane-Driven Ultrafiltration and Biosorption. *Wastewater Recycling and Management*, 75-84.
- Saxena, S., Raja, A.S.M., & Arputhara, A. (2016). Challenges in sustainable wet processing of textiles". *Textiles and Clothing Sustainability*, 43-79.
- Shamey, R., & Zhao, X. (2014). Introduction to dyeing and dyehouse automation. *Modeling, Simulation, and Control of The Dyeing Process*, 30, 1-30.
- Sözen, S., Dulkadiroglu, H., Yucel, A.B., Insela, G., & Orhon, D. (2019). Pollutant footprint analysis for wastewater management in textile dye houses processing different fabrics. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94, 1330–1340.
- Tuncal, T., & Kaygusuz, T. (2014). Treatment of dyehouse effluents using sequential combinations of electrochemical oxidation, membrane separation, and activated sludge. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(2), 472-481.

Vajnhandl, S., & Valh, J.V. (2014). The status of water reuse in European textile sector. *Journal of Environmental Management*, 141, 29-35.

Yaseen, D.A., & Scholz, M. (2019). Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1193–1226.

Yıldırım, F.F., Hasçelik, B., Yumru, Ş., & Palamutcu, S. (2019). Analysis of water consumption and potential savings in a cotton textile dyehouse in Denizli, Turkey. *Water in Textiles and Fashion*, 115-134.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 22.08.2022
Kabul Tarihi : 24.01.2023

Received Date : 22.08.2022
Accepted Date : 24.01.2023

AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ SAF Si TOZU ORTAMINDA KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF COATABLE OF AZ91 MAGNESIUM ALLOY IN PURE Si POWDER

*Onur AVCI*¹ (ORCID: 0000-0003-1046-4354)
*Tunahan Hakkı KARACA*¹ (ORCID: 0000-0001-9088-4417)
*Tuna AYDOĞMUŞ*² (ORCID: 0000-0002-8736-2949)
*Bünyamin ÇİÇEK*³ (ORCID: 0000-0002-6603-7178)

¹Hitit Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye

²Hitit Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Çorum, Türkiye

³Hitit Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Çorum, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Bünyamin ÇİÇEK, bunyamincicek@hitit.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Mg alaşımlarının kullanım alanlarını desteklemek amacıyla yeni bir yöntem ile kaplama işlemi yapılmıştır. AZ91 Mg alaşımı ile hazırlanan numuneler saf Si tozu içerisinde farklı sıcaklıklarda bekletilmiştir. Mg-Si faz diyagramı esas alınarak sıcaklıklar 400°C, 450°C ve 500°C olarak belirlenmiştir. Numuneler belirlenen sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat bekletilmiştir. Bu aşamada yüzeyde Mg-Si arasında yeni bir fazın oluşması sağlanmıştır. Yüzeyde oluşan kaplama SEM, EDX ve sertlik testleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak AZ91 alaşımına uygulanan kaplama işlemi ile 500°C/6 saat şartlarında yaklaşık 20 µm bir kaplama tabakası oluşmuştur. EDX analizinde fazın ve geçiş bölgelerinin elementel durumları incelenmiştir. Sertlik testi Vickers türünde uygulanmıştır. AZ91 alaşımının kaplamasız numunesine göre sertlik yaklaşık %90 artış göstermiştir. Böylece Mg alaşımlarında yüzeyde fazların oluştuğu kaplama yöntemleri uygulanabilir sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mg alaşımları, AZ91, sertlik, kaplama.

ABSTRACT

In this study, a new method of coating was carried out in order to support the usage areas of Mg alloys. Samples prepared with AZ91 Mg alloy were kept in pure Si powder at different temperatures. Based on the Mg-Si phase diagram, temperatures were determined as 400°C, 450°C and 500°C. The samples were kept at the determined temperatures for 2, 4 and 6 hours. At this stage, a new phase was formed between Mg-Si on the surface. The coating formed on the surface was examined by SEM, EDX and hardness tests. As a result, with the coating process applied to the AZ91 alloy, a coating layer of approximately 20 µm was formed at 500°C/6 hours. Elemental states of the phase and transition zones were investigated in EDX analysis. Hardness test was applied in Vickers type. Compared to the uncoated sample of the AZ91 alloy, the hardness increased by about 90%. Thus, it was concluded that coating methods in which phases form on the surface can be applied in Mg alloys.

Keywords: Mg alloys, AZ91, hardness, coating.

GİRİŞ

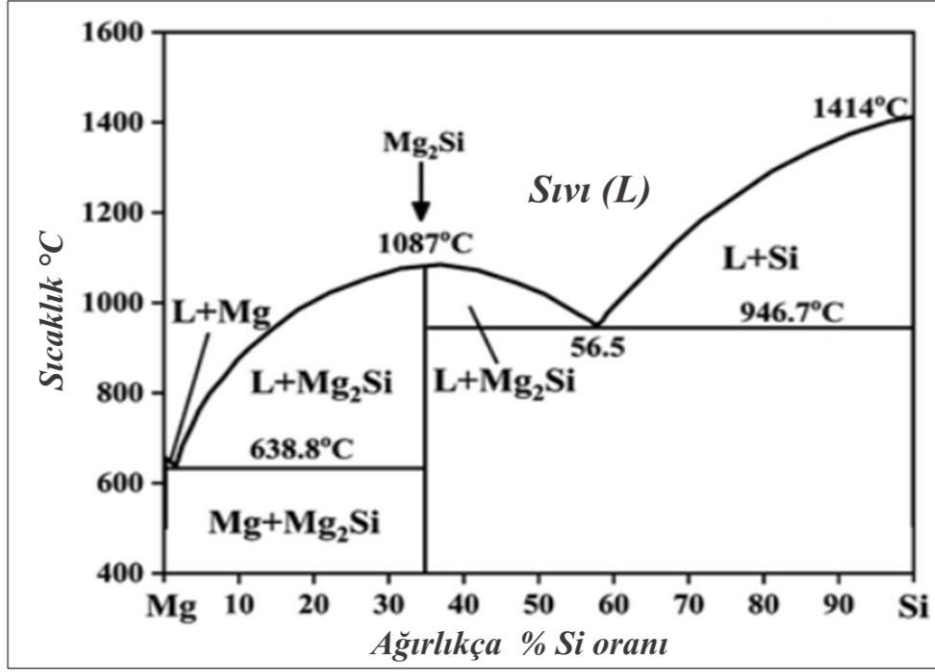
Yenilikçi hafif malzemeler ile ağırlık tasarrufunun kritik olduğu otomotiv, savunma, biyo ve havacılık sektörlerinde kullanılan malzemelerin yapısal özelliklerinden taviz vermeden büyük oranda özellikleri iyileştirilebilmektedir. Magnezyumun (Mg) kullanımında en önemli etken yoğunluğudur. Mg hakkında ilk bilmemiz gereken gerçekten çok hafif bir metal olduğudur. Hatta yapısal uygulamalar için kullandığımız metal ve alaşımlar içinde en hafif olduğu söylenebilir. Mg diğer metaller ile karşılaştırıldığında yoğunluğu oldukça düşük olduğu için çoğu yapısal uygulamalarda tercih edilir. Buna ek olarak mükemmel dökülebilirlik, kaynak yapılabilme, yüksek korozyon direnci (alaşım) ve yüksek ısı iletkenlik özellikleri ise diğer avantajlardır (Froes vd., 1998; Mordike & Ebert, 2001; Bamberger & Dehm, 2008; Asadi vd., 2012; Elen vd., 2019).

Saf Mg diğer saf metaller gibi korozyon, sertlik, çekme gibi testlerde başarılı sonuçlar vermemektedir. Mg bu aşamada yan elementlerle faz diyagramlarına bağlı kalarak alaşım haline getirilmektedir. Mg ile Alüminyum (Al) arasında oluşturulan Mg alaşımları birçok testte kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Bunun yanı sıra üçüncü ve/veya dördüncü elementler eklenerek birçok yönden iyileştirilmiş alaşımlar elde edilmektedir. Mg alaşımına eklenen elementlerin baş harfleri veya bazı kısaltma harfleri kullanılarak Mg alaşımları isimlendirilmektedir. Örneğin %9 Al ve %1 Çinko (Zn) içeren bir Mg alaşımı AZ91 olarak isimlendirilir (Polmear, 1996; Froes vd., 1998; Lee vd., 2000; Atrens vd., 2020).

Mg ile diğer elementler arasında farklı bileşikler oluşabilmektedir. Mg-Al arasında intermetalik yapılar oluşurken Mg ile Silisyum (Si) gibi elementler arasında seramik temelli fazlar oluşabilmektedir. Mg-Al arasında uygun şartlarda ve oranlarda $Mg_{17}Al_{12}$ fazı izlenebilmektedir. Mg_2Si fazı ise Mg-Si arasında oluşabilen seramik bir partiküldür. İntermetalik ve partiküller Mg alaşımlarına ciddi özellikler kazandırmaktadır. Öyle ki intermetalikler korozyon testinde galvanik yapı göstererek alaşımın korozyon direncini yaklaşık 400 kat kadar arttırabilmektedir (Çiçek & Sun, 2012; Kannan vd., 2012). Seramik esaslı yapılar ise Mg alaşımının hacimsel sertliğini 10 kat kadar yukarıya çıkarmaktadır. Böylece alaşımlama sırasında oluşan yeni fazlar Mg alaşımlarının özelliklerini değiştirebilmektedir (Nave vd., 2000; Bamberger & Dehm, 2008; Zhao vd., 2008; Çiçek & Sun, 2012; Çiçek vd., 2013; Zengin vd., 2019; Atrens vd., 2020).

Kaplama malzemelere ciddi özellikler kazandıran bir yüzey işlemidir. Nano seviyede kaplama kalınlığından mm seviyesindeki kaplama kalınlığına kadar birçok kaplama seviyesi türü vardır. Buhar biriktirme, borlama, boya vb. her yüzey işlemi kaplamanın birer alt başlığını oluşturmaktadır. Kaplamalar ana malzeme ile tepkimeye girebilirken bazı kaplamalar sadece yüzeye adhesif olarak yapışabilmektedir. Borlama, nitrüleme gibi kaplama türlerinde kaplama ürünü ile ana malzeme arasında bir kimyasal bağ oluşabilmektedir. Bu kaplama türlerinde kaplama elementleri malzeme içerisine difüze ederek yeni bileşikler meydana getirmektedir. Böylece malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirmektedirler (Buchтік vd., 2019; Wei vd., 2021; Akbarzadeh vd., 2022).

Bu çalışmada AZ91 Mg alaşımı daha önce uygulanmayan bir yöntemde Si ile kaplanmaya çalışılmıştır. Alaşım X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF) ile analiz edilmiştir. Kutu borlama veya nitrüleme gibi bir yöntemle benzer şekilde yüzeyi temizlenmiş AZ91 alaşımı saf Si tozu ile doldurulmuş kapalı bir kaptaki belirli sıcaklık ve sürelerde bekletilmiştir. Si tozu saflık ve tane boyutu açısından incelenmiştir. Mg-Si faz diyagramında ortaya çıkan Mg_2Si fazı yüzeyde oluşturulmaya çalışılmıştır. Deneyler sonucunda $500^{\circ}C / 6$ saat şartlarında uygulanan işlemde Mg_2Si fazının varlığı en yüksek düzeyde izlenmiştir. İncelemeler taramalı elektron mikroskopunda (SEM) yapılmıştır. Ayrıca kaplama ve ara yüzey kimyasal yapısı enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) ile SEM içerisinde incelenmiştir. Ayrıca malzeme yüzeyine Vickers yöntemi ile (0,25kg) sertlik testi uygulanmıştır. Böylece kaplama sonucunda oluşan fazın temel özelliklere etkisi incelenmiştir. Çalışmanın temel prensibinde yer alan Mg-Si faz denge diyagramı Şekil 1'de verilmiştir (Seth vd., 2020).

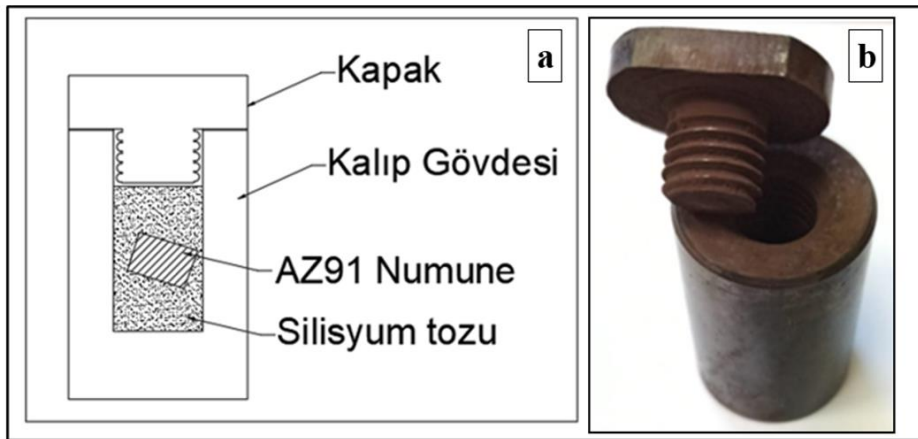


Şekil 1. Mg-Si Faz Denge Diyagramı

MALZEME VE METHOD

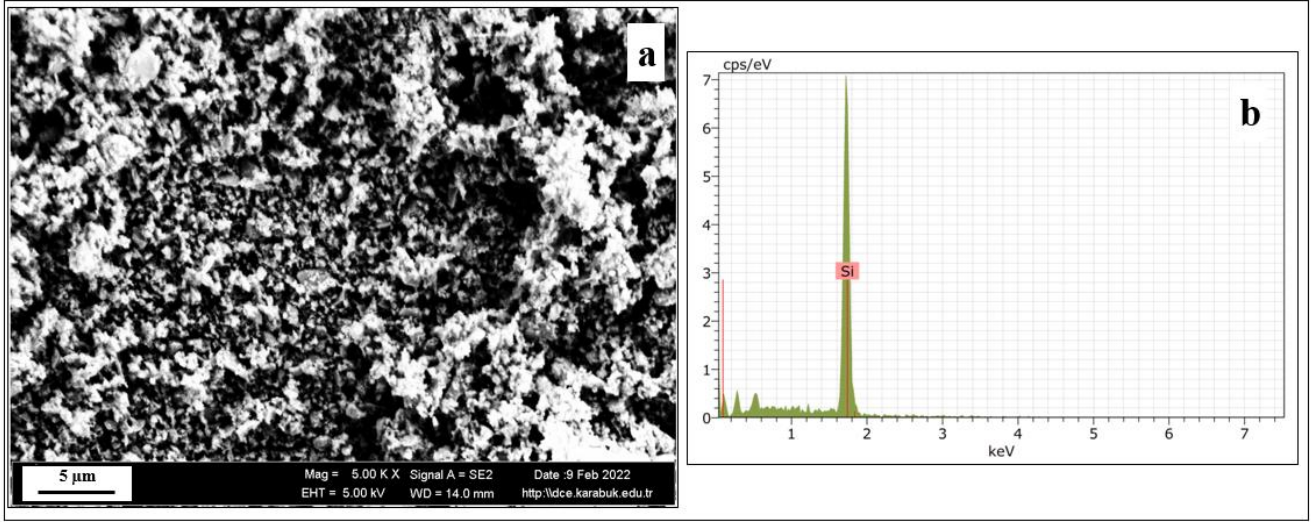
Deneyde kullanılacak AZ91 alaşımı külçe halinde Eczacıbaşı Esan firmasından temin edilmiştir. Deneyler öncesinde külçe malzemelere 350°C/12 saat şartlarında homojenleştirme yapılmıştır. Temel alaşıma deneyler öncesinde doğrulama için XRF analizi uygulanmıştır. XRF deneyi Rigaku Primus II marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alaşım deneyler öncesinde SEM (Carl Zeiss Ultra Plus) ortamında inceleme yapılmıştır. SEM incelemesi karbon bant üzerine yapıştırılan malzemelerin yüksek büyütmede görüntülenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Toz hammaddenin incelemesinde Kaplama ürünü olarak altın (Au) yüzey kaplaması kullanılmıştır. Yüzey kaplama işlemi Q150R Rotary-Pumped Sputter Coater marka cihazda yapılmıştır. Si kaplama yapılan numunelerin incelenmesinde ise yan yüzey 1200 mesh zımpara ile zımparalanmıştır ve 1 µm alümina süspansiyon ile parlatma yapılmıştır. Herhangi bir dağlama işlemi uygulanmamıştır. EDX (Gemini Fesem) analizinde ise alan tarama yöntemiyle element taraması yapılmıştır.

Alaşım yaklaşık Ø6 x 8 mm silindirler halinde torna tezgâhında numune haline getirilmiştir. Tüm yüzeyler 2000 mesh zımpara ile temizlenmiş ve numuneler metanol ile yıkanmıştır. 100°C sıcaklıkta 24 saat kurutma sonrasında numuneler Şekil 2'de verilen kalıp ile kaplama işlemine alınmıştır. Kaplama sırasında numuneler tamamıyla Si tozu içerisine daldırılmış ve kalıp kapağı kapalı olarak deneyler yapılmıştır. Kaplama sırasında kullanılan kalıp çok kez kullanıldığında ölçüsel bir değişim olmaması için 4140 kalite çelik malzemeden üretilmiştir.



Şekil 2. Fırın Kalıbı Çizimi (a) ve (b) Gerçek Görüntüsü

Deney sırasında kullanılan saf Si tozu Nanografi firmasından satın alınmıştır. Si tozu %99,95 saflıkta olup ortalama 1-3 µm tane büyüklüğüne sahiptir. Si tozuna ait SEM görüntüsü ve EDX analizi Şekil 3'te verilmiştir. EDX analizinde izlenen 1 keV altındaki pikler kaplama ürününden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. Si Tozu SEM Görüntüsü (a) ve (b) EDX Analizi

Kalıp, numuneler ve Si tozu Şekil 2'de gösterilen şekilde Tablo 1'de verilen şartlarda fırında bekletilmiştir. Isıtma hızı 20°C/dakika olarak uygulanmıştır. Variş sıcaklığında tabloda belirtilen sürelerde bekletilmiştir. Deney sonrasında fırın kapatılmış ve oda sıcaklığına kadar serbest soğuması beklenmiştir. Kaplama deneyleri Şekil 4'te verilen ısıl işlem fırınında yapılmıştır. Kaplamalar sırasında çelik kalıp (Şekil 2) kapalı olarak kullanılmıştır. Bu yüzden fırında bir inert ortam kullanılmamıştır. Oksijen temasının minimum seviyede olması için numuneler tamamen Si tozu içerisine hapsedilmiştir.

Kaplama deneyleri sonrasında numuneler hassas kesim ile kesilerek yan yüzeylerinden kaplama kalınlıkları SEM ortamında incelenmiştir. Her deneyde Si tozu yenilenmiş ve kalıp metanol ile temizlenerek kurutulmuştur.

Tablo 1. Kaplama Sıcaklıkları ve Süreleri

Alt Alaşım	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
AZ91	400	2
		4
		6
AZ91	450	2
		4
		6
AZ91	500	2
		4
		6

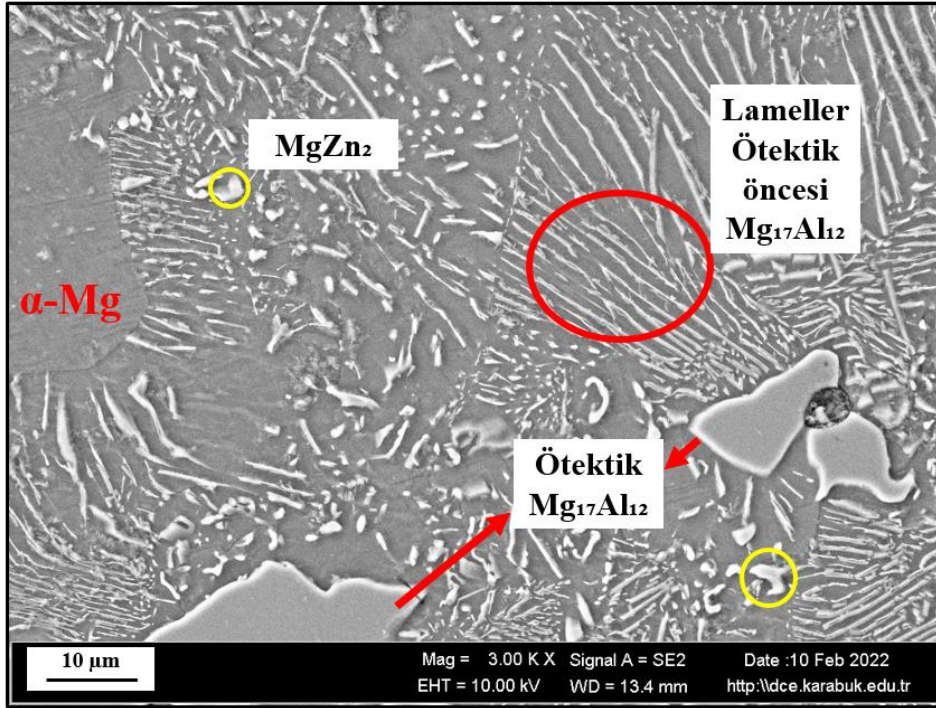
Numuneler kaplama işlemi sonrasında 0,25 kg yük altında mikro sertlik testine tabi tutulmuştur. Baskı süresi 10 sn olarak uygulanmıştır. Ölçümlerde Qness marka Vickers mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. Sonuçlar 5 başarılı ölçümün ortalaması alınarak rapor edilmiştir. Ölçüm noktaları arasında en az 5 mm mesafe oranı takip edilmiştir.



Şekil 4. Kaplamada Kullanılan Isıl İşlem Fırını

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kaplama sürecinde alt ana malzeme olan AZ91 alaşımına ait temel mikro yapı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Ana Malzeme AZ91 Alaşımının Temel Mikro Yapısı

AZ91 alaşımında bulunan Mg ve Al elementleri intermetalik yapılar sergilemektedir. Bu intermetalik yapılar alaşımda tane yapısında bulunmaktadır. Mikro yapıda α -Mg üzerinde lamelli yapıda ötektik öncesi ve partiküller şeklinde ötektik $Mg_{17}Al_{12}$ fazı izlenmektedir. Ayrıca $MgZn_2$ fazının partikül şekli gösterilmiştir. AZ91 alaşımı mikro yapı görüntüsü literatürdeki mikro yapılarıyla tutarlılık göstermektedir (Guangyin vd., 2001; Zhao vd., 2008).

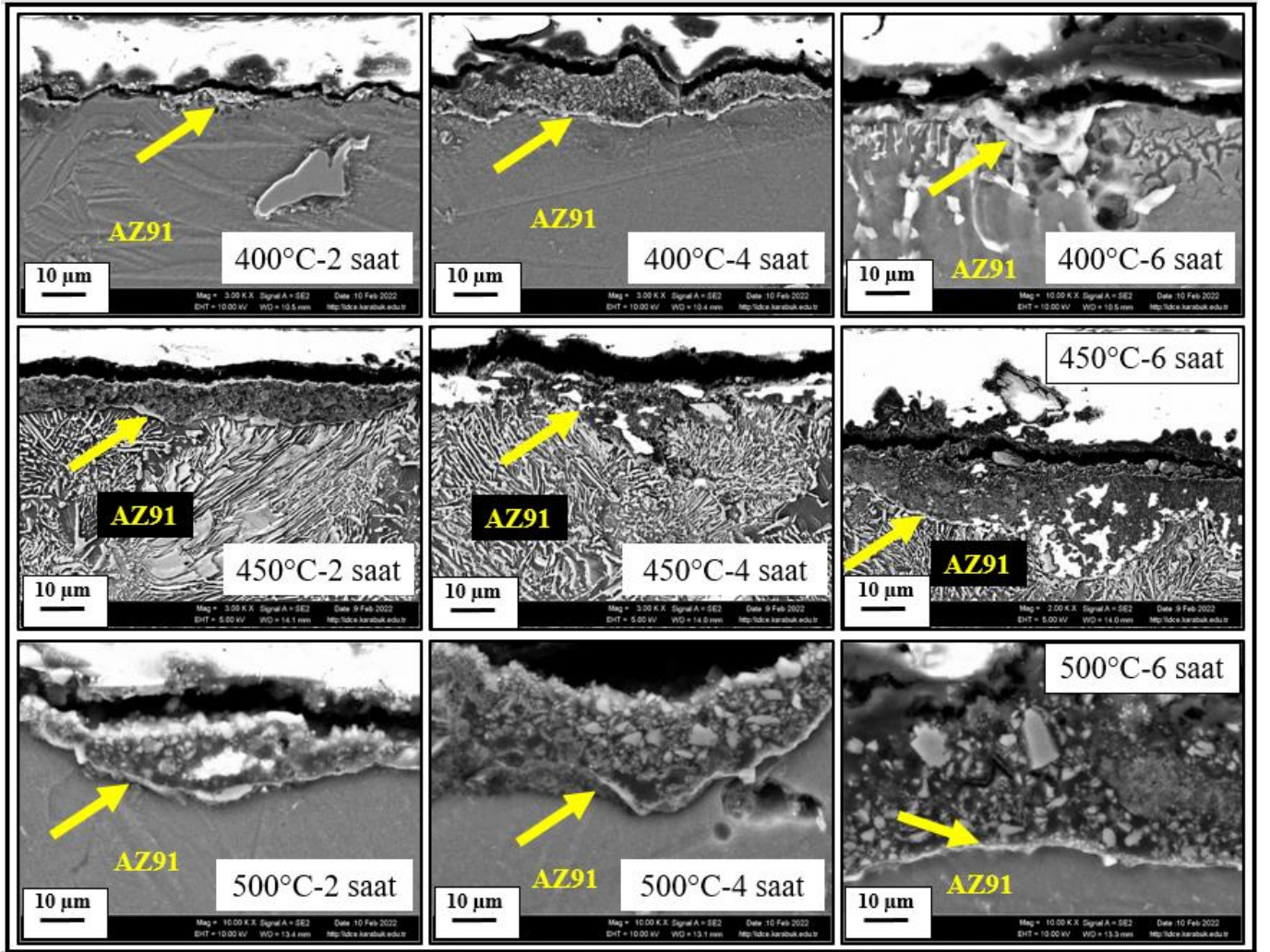
Alaşım XRF analizi ile incelenmiş ve analiz Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de verilen değerlere göre Mg-Al-Zn alaşım elementleri % ağırlıkça oranları AZ91 alaşımını karşılayacak miktarda tespit edilmiştir. Mg-Al-Zn dışındaki harici elementlerin oranı ise % ağırlıkça 0,063 seviyesindedir. Harici elementlerin alaşımın döküm yöntemi ile üretimi sırasında hammaddenin ingot yapılarından ve/veya cüruf yapıcı flakslardan kaynaklandığı söylenebilir. Bu oran alaşımın faz dengesi için ihmal edilebilir seviyededir.

Tablo 2. AZ91 Alaşımı XRF Analizi

Elementler (% ağırlıkça)	N	
AZ91	Al	8,991
	Si	0,001
	Zn	1,052
	Ca	0,025
	Pb	0,001
	Sn	0,021
	Fe	0,015
	Mg	89,894

Bu çalışmada kullanılan saf Si tozu deneyler öncesinde analiz edilmiştir. Şekil 3b grafiğinde saf Si piki yanında düşük oranda pikler izlenmektedir. Si tozundan görüntü alma aşamasında SEM ortamında iletkenliğin artırılması için tutturma aşamasında karbon bant ve yüzey kaplaması kullanılmıştır. EDX analizinde Si dışındaki pikler bahsedilen harici yapılardan meydana gelmiştir.

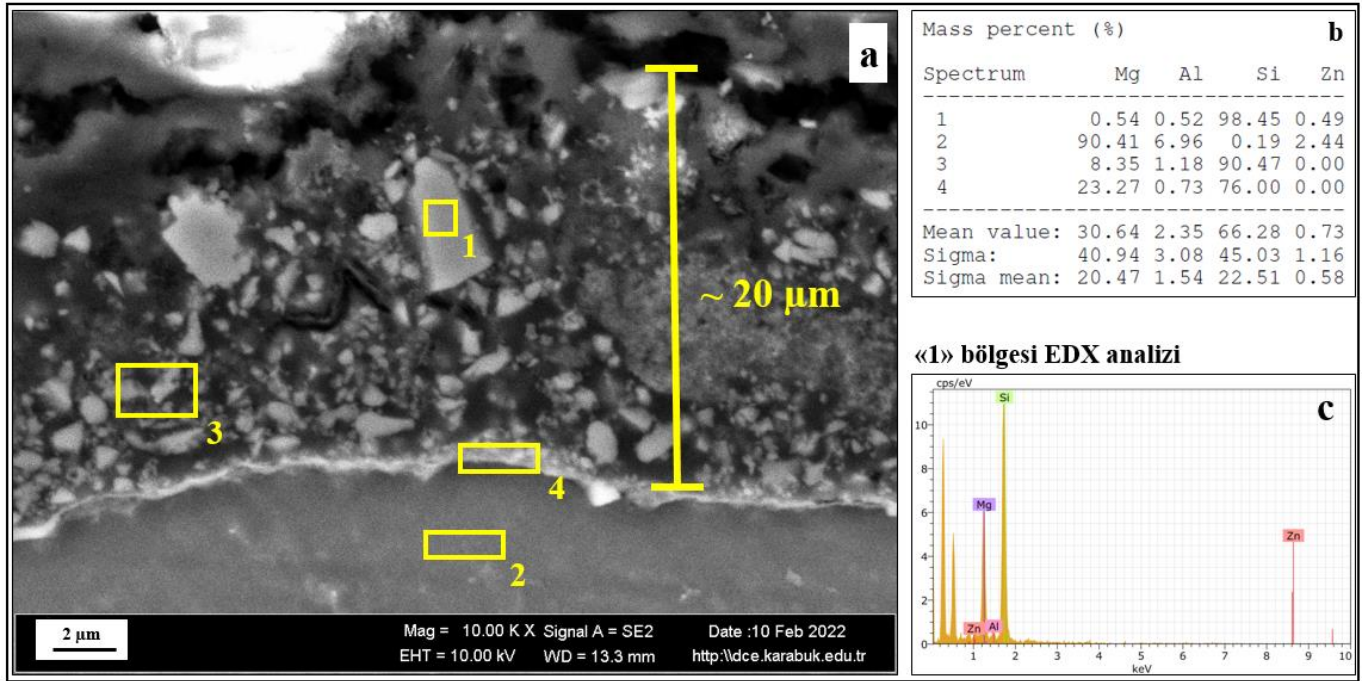
Kaplama sürecinde saf Si tozu içerisinde belirli sürelerde ve farklı sıcaklıklarda bekletilen numunelerden elde edilen SEM resimleri Şekil 6'da izlenmektedir. Resimde AZ91 alaşımı işaretlenmiş ve kaplama-malzeme sınırları sarı oklarla gösterilmiştir.



Şekil 6. Kaplama İşlemi Sonrası Numune Yüzey SEM Görüntüleri

En düşük sıcaklık olan 400°C ve 2 saat numunesinde 1-2 µm kadar bir tabaka izlenmektedir. En yüksek sıcaklık 500°C sıcaklık ve 6 saat şartlarında ise tabaka kalınlığı yaklaşık 20 µm (Şekil 7) olarak görülmektedir. Bu kısımda kaplama kalınlığının en yüksek olduğu numuneden (500°C/6saat) alınan EDX analizleri ise Şekil 7'de verilmiştir.

Kaplama bölgesi, ara sınır ve ana malzeme elementel olarak incelenmiştir. Ana malzemenin % ağırlıkça oranı AZ91 alaşımının elementel miktarlarını karşılamaktadır. Ara yüzeyde ise Mg-Si yoğunluğu izlenmiştir. Kaplama malzemesi ise yüksek oranda Si elementinden oluşmaktadır. Mg-Si arasında oluşan Mg₂Si fazı genelde sert ve keskin köşeli partikül şeklinde oluşmaktadır (Bamberger & Dehm, 2008; Çiçek vd., 2013; Seth vd., 2020). SEM resimleri bu aşamayı desteklemektedir.



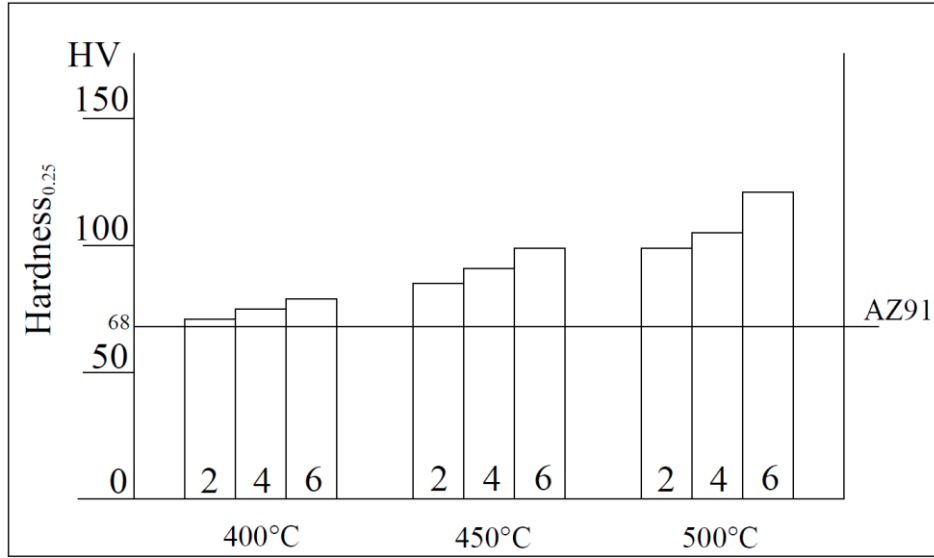
Şekil 7. 500°C / 6 Saat Deney Şartlarında Kaplama Katmanı (A), (B) % Ağırlıkça Oranlar ve (C) EDX Analizi

Mg alaşımı ile Si arasında incelemeler sonucunda yeni fazların oluştuğu görülmektedir. Literatür desteği ile Mg-Si arasındaki fazlar incelendiğinde Mg₂Si fazı köşeli düzensiz prizmatik bir görüntü sergilediği bilinmektedir (Li vd., 2010; Çiçek vd., 2013; Seth vd., 2020; Zhu vd., 2021). Böylece yüzeyde bu fazın oluştuğu söylenebilir. Bu sonuç verilen (Şekil 7b ve 7c) EDX analizi ile desteklenmiştir. EDX analizinde Mg ve Si pikleri haricinde tespit edilen kuvvetli pikler iletkenlik için uygulanan yüzey kaplamasından kaynaklanmaktadır.

Son olarak numune yüzeylerinden alınan sertlik testi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca Tablo 3'te verilen sonuçlar daha iyi takip edilmesi adına grafik olarak Şekil 8'de görselleştirilmiştir.

Tablo 3. Kaplama Sıcaklığı ve Sürelerine Bağlı Sertlik Sonuçları

Alaşım	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Sertlik HV _{0,25}
AZ91	İşlemsiz		68 ±4
		2	71 ±6
	400	4	75 ±5
		6	79 ±3
		2	85 ±8
AZ91	450	4	91 ±4
		6	99 ±7
		2	99 ±6
	500	4	105 ±8
		6	121 ±5



Şekil 8. Sertlik Sonuçları Grafiği

Sertlik testi sonuçları incelendiğinde ana malzeme sertliği AZ91 alaşımı için bilinen seviyededir (Cáceres vd., 2005; Faraji vd., 2011). Kaplama süreci sonrasında yüzeyde oluşan yeni yapı sertliği artan süre ve sıcaklık etkisiyle arttırmaktadır. Mg₂Si fazının 800-1000 HV seviyesindeki yüksek sertliği alaşımın yüzey sertliğini arttırmıştır (Bamberger & Dehm, 2008; Çiçek vd., 2013). Sertlik yaklaşık %90 kadar artış göstermiştir. Böylece kaplamanın varlığı SEM görüntüleri (Şekil 7) ve sertlik sonuçları (Şekil 8) ile desteklenmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada daha önce uygulanmayan bir yöntemle AZ91 Mg alaşımının kaplanabilme durumu incelenmiştir. AZ91 alaşımının saf Si tozunda belirli süre ve sıcaklıkta bekletilmesi ile bir kaplama tabakası elde edilmiştir.

1. Çalışma kapsamında uygulanan şartlarda yaklaşık 20 µm ile en kalın kaplama tabakası 500°C / 6 saat şartlarında gerçekleşmiştir.
2. SEM ve EDX incelemeleri ile yüzeydeki kaplamanın ara sınır bölgesinde Mg₂Si fazının oluştuğu düşünülmektedir. Böylece literatürde bilinen borlama ve nitrürleme gibi yüzey sertleştirme işlemlerine benzer bir süreç ile kaplama elde edilmiştir.
3. Kaplanan AZ91 alaşımının sertliği ise yaklaşık %90 artış göstererek 121 HV seviyesine ulaşmıştır.

Sonuç olarak AZ91 alaşımının yüzey kaplama ürünü olan Si ile tepkimeye girdiği ve yüzeyin sertleştiği görülmüştür. Böylece Mg ile faz oluşturabilen elementlerin faz diyagramları çerçevesinde Mg yüzeyine kaplanabilirliği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-B projeleri kapsamında desteklenmiştir (Proje No: 1139B412100611). Ayrıca 2209-B sanayi destekçisi olarak Hitit Üniversitesi Teknokent Ar-Ge firması 4D Makine ve Teknoloji firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akbarzadeh, F. Z., Ghomi, E. R., & Ramakrishna, S. (2022). Improving the corrosion behavior of magnesium alloys with a focus on AZ91 Mg alloy intended for biomedical application by microstructure modification and coating. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 09544119221105705. doi:<https://doi.org/10.1177/09544119221105705>
- Asadi, P., Givi, M., Rastgoo, A., Akbari, M., Zakeri, V., & Rasouli, S. (2012). Predicting the grain size and hardness of AZ91/SiC nanocomposite by artificial neural networks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 63(9), 1095-1107. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-012-3972-z>
- Atrens, A., Shi, Z., Mehreen, S. U., Johnston, S., Song, G.-L., Chen, X., & Pan, F. (2020). Review of Mg alloy corrosion rates. *Journal of magnesium and alloys*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.08.002>
- Bamberger, M., & Dehm, G. (2008). Trends in the development of new Mg alloys. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 38, 505-533. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.020408.133717>
- Buchtík, M., Krystýnová, M., Másilko, J., & Wasserbauer, J. (2019). The effect of heat treatment on properties of Ni-P coatings deposited on a AZ91 magnesium alloy. *Coatings*, 9(7), 461. doi:<https://doi.org/10.3390/coatings9070461>
- Cáceres, C., Griffiths, J., Pakdel, A., & Davidson, C. (2005). Microhardness mapping and the hardness-yield strength relationship in high-pressure diecast magnesium alloy AZ91. *Materials Science and Engineering: A*, 402(1-2), 258-268. doi:<https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.04.042>
- Çiçek, B., Ahlatçı, H., & Sun, Y. (2013). Wear behaviours of Pb added Mg-Al-Si composites reinforced with in situ Mg₂Si particles. *Materials & Design*, 50, 929-935. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.097>
- Çiçek, B., & Sun, Y. (2012). A study on the mechanical and corrosion properties of lead added magnesium alloys. *MATER DESIGN*, 37, 369-372. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.01.029>
- Elen, L., Türen, Y., & Koç, E. (2019). AZ91 Mg alaşımına farklı oranlarda Sb ilavesi ile katılma hızının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), 451-463. doi:<https://doi.org/10.29137/umagd.507264>
- Faraji, G., Dastani, O., & Mousavi, S. (2011). Effect of process parameters on microstructure and micro-hardness of AZ91/Al₂O₃ surface composite produced by FSP. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(9), 1583-1590. doi:<https://doi.org/10.1007/s11665-010-9812-0>
- Froes, F., Eliezer, D., & Aghion, E. (1998). The science, technology, and applications of magnesium. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 50(9), 30-34. doi:<https://doi.org/10.1007/s11837-998-0411-6>
- Guangyin, Y., Yangshan, S., & Wenjiang, D. (2001). Effects of bismuth and antimony additions on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 308(1-2), 38-44. doi:[https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)02043-8](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)02043-8)
- Kannan, M. B., Koc, E., & Unal, M. (2012). Biodegradability of β -Mg₁₇Al₁₂ phase in simulated body fluid. *Materials letters*, 82, 54-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.05.047>
- Lee, Y., Dahle, A., & St John, D. (2000). The role of solute in grain refinement of magnesium. *Metallurgical and Materials transactions A*, 31A(11), 2895-2906. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02830349>
- Li, Q., Zhao, Y.-Z., Luo, Q., Chen, S.-L., Zhang, J.-Y., & Chou, K.-C. (2010). Experimental study and phase diagram calculation in Al-Zn-Mg-Si quaternary system. *Journal of alloys and compounds*, 501(2), 282-290. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.04.089>
- Mordike, B., & Ebert, T. (2001). Magnesium: properties-applications-potential. *Mater Sci Eng A*, 302(1), 37-45. doi:[https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)01351-4](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)01351-4)
- Nave, M., Dahle, A., & St John, D. (2000). The effect of solidification rate on the structure of magnesium-aluminum eutectic grains. *International Journal of Cast Metals Research*, 13(1), 1-7. doi:<https://doi.org/10.1080/13640461.2000.11819383>
- Polmear, I. (1996). Recent developments in light alloys. *Materials Transactions*, 37(1), 12-31. doi:<https://doi.org/10.2320/matertrans1989.37.12>

Seth, P. P., Parkash, O., & Kumar, D. (2020). Structure and mechanical behavior of in situ developed Mg₂Si phase in magnesium and aluminum alloys—a review. *RSC advances*, 10(61), 37327-37345. doi:<https://doi.org/10.1039/D0RA02744H>

Wei, C., Guangxin, W., & Jieyu, Z. (2021). Design and properties of Al-10Si-xZn-yMg alloy for hot dip coating. *Surface and Coatings Technology*, 416, 127134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127134>

Zengin, H., Turen, Y., & Elen, L. (2019). A comparative study on microstructure, mechanical and tribological properties of A4, AE41, AS41 and AJ41 magnesium alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(8), 4647-4657. doi:<https://doi.org/10.1007/s11665-019-04223-8>

Zhao, M.-C., Liu, M., Song, G., & Atrens, A. (2008). Influence of the β -phase morphology on the corrosion of the Mg alloy AZ91. *Corrosion Science*, 50(7), 1939-1953. doi:<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.04.010>

Zhu, L., Qiu, F., Zou, Q., Han, X., Shu, S.-L., Yang, H.-Y., & Jiang, Q.-C. (2021). Multiscale design of α -Al, eutectic silicon and Mg₂Si phases in Al-Si-Mg alloy manipulated by in situ nanosized crystals. *Materials Science and Engineering: A*, 802, 140627. doi:<https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140627>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :05.09.2022
Kabul Tarihi : 04.10.2022

Received Date : 05.09.2022
Accepted Date : 04.10.2022

CITRUS DISEASE CLASSIFICATION WITH TRANSFER LEARNING AND CNN BASED MODELS

TRANSFER ÖĞRENME VE CNN TABANLI MODELLER İLE NARENCİYE HASTALIĞI SINIFLANDIRMASI

Halit ÇETİNER¹ (ORCID: 0000-0001-7794-2555)

¹Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Halit ÇETİNER, halitcetiner@isparta.edu.tr

ABSTRACT

In recent years, image processing and deep learning have been widely used in the detection and classification of plant diseases. These uses offer great opportunities for the early detection of plant diseases in agriculture. Early detection of the disease is essential to prevent disease symptoms from spreading to intact leaves and to reduce crop damage. For the stated reasons, a deep learning model with three different approaches has been proposed and used for the classification of diseases that are most common in citrus leaves and affect citrus export to a great extent. Training and test data used in the proposed model are separated according to the K-fold 5 value. For this reason, the average of the performance values obtained according to the K-fold 5 value is presented in the study. As a result of the experimental studies, with the fine-tuned DenseNet201 model, which is the first model, an accuracy rate of 0.95 was achieved. In the second model, with the proposed 21-layer CNN model, an accuracy rate of 0.99 was achieved. The third model is defined to show the progress of the proposed DenseNet201 model over the basic DenseNet201 model. With the CNN method recommended for the classification of citrus grades, Blackspot (citrus black spot (CBS)), canker (citrus bacterial cancer (CBC)), greening (huanglongbing (HLB)), and (healthy) Healthy) 100%, 100%, 98% and 100% rates have been reached.

Keywords: Citrus disease, convolutional neural network, deep learning, transfer learning

ÖZET

Son yıllarda görüntü işleme ve derin öğrenme bitki hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanımlar, tarım alanında bitki hastalıklarının erken tespiti için büyük fırsatlar sunmaktadır. Hastalığın erken tespiti, hastalık belirtilerinin sağlam yapraklara yayılmasını engellemek ve mahsule zarar vermesini azaltabilmek için gereklidir. Belirtilen sebeplerden dolayı narenciye yapraklarında en sık görülen ve narenciye ihracatını büyük ölçüde etkileyen hastalıkların sınıflandırılması için üç farklı yaklaşımla derin öğrenme modeli önerilmiş ve kullanılmıştır. Önerilen modellerde kullanılan eğitim ve test verileri K-fold 5 değerine göre ayrılmıştır. Bu nedenle çalışmada K-fold 5 değerine göre elde edilen performans değerlerinin ortalaması sunulmuştur. Deneysel çalışmalar neticesinde birinci model olan ince ayarlı DenseNet201 modeli kullanarak 0.95 doğruluk oranına ulaşılmıştır. İkinci modelde ise önerilen 21 katmanlı CNN modeli ile 0.99 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Üçüncü model ise önerilen DenseNet201 modelinin temel DenseNet201 modeline göre ilerlemesini göstermek için tanımlanmıştır. Önerilen CNN yöntemi ile Blackspot (citrus siyah nokta (CBS)), canker (citrus bakteriyel kanseri (CBC)), greening (huanglongbing (HLB)) ve (sağlıklı) Healthy adlı sınıflara sahip olan narenciye bitkisine ait görüntüler sırasıyla %100, %100, %98 ve %100 sınıflandırma oranlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Narenciye hastalığı, konvolüsyonel sinir ağı, derin öğrenme, transfer öğrenme

INTRODUCTION

One of the most important economic values of Anatolia is agriculture. Agriculture has a significant impact on the strength of the economy. The efficient use of agricultural land and the highest yield in existing areas depend on technological development. It has become a necessity to obtain more products from agricultural areas due to reasons such as global warming and population increases in societies. To overcome this necessity, it is necessary to follow the technological developments closely and apply them to the field. The application of these technological developments in the field of agriculture, moreover, it is necessary to make new technological developments applicable. Otherwise, as a result of intensive exploitation of water and soil resources, the consumption of fertilizers and pesticides increases. This causes environmental pollution and harmful emissions to increase at a high rate. Disproportionate fertilization and irregular consumption of pesticides penetrate the water beds and damage these resources. The resulting damages cause poisoning of animals benefiting from groundwater and deterioration of human health. For these reasons, in line with technological developments, precision agriculture approaches not only help to control the damages mentioned but also are effective in reducing costs and pollution. In addition, algorithms are necessary that include deep learning and image processing approaches to detect and identify crop pests and diseases quickly, automatically, cheaper and accurately.

Deep learning and image processing approaches are one of the active research areas used in the classification of plant diseases. While image processing is actively used in the preprocessing stage, which is one of the machine learning methods, deep learning is a machine learning subset that is actively used in feature extraction, selection, rotation, and classification layers (Too et al., 2019). In recent years, there have been great developments in computer vision applications developed using Convolutional Neural Networks (CNN), which is one of the deep learning architectural models. CNN architectures are created that can perform the feature extraction step with filters in the convolution phase and the feature selection step with maximum or minimum pooling in the pooling layer. Some of these architectures are DenseNets (Huang et al., 2017), Inception V4 (Szegedy et al., 2017), Google Inception V3 (Szegedy et al., 2016), and Microsoft ResNet (He et al., 2016). Although similar, different architectures have been developed under these architectural titles. These deep networks may have different problems such as gradient distortion and over-learning in the education process. For these reasons, when the number of steps exceeds the maximum value, distortions and decreases in training and accuracy rates occur. In addition, there are problems arising from the uneven distribution of the data to be given as input to the input layer in model training. Optimization techniques such as transfer learning (Khanramaki, Askari Asli-Ardeh, and Kozegar, 2021), jump links (He et al., 2016), optimization strategies (S. Sun et al., 2019), and batch normalization (BN) (Ioffe and Szegedy, 2015) have been developed to solve many of the problems mentioned.

When the literature is examined, fungal, bacterial, and viral diseases are experienced not only in citrus but also in various plants such as cucumber (Agarwal, Gupta, and Biswas, 2021; Kianat et al., 2021; S. Zhang et al., 2019), rice (Chen et al., 2021; Sun et al., 2021; Shrivastava et al., 2019), maize (Yu et al., 2014), tomato (Abbas et al., 2021; Ferentinos, 2018). If the desired success rates are achieved, the study made specifically for citrus can be easily applied to other plant species. In this regard, in this study a deep learning-based CNN models have been developed to classify the most common types of plant diseases accurately and on time, with deep learning approaches that have solved their problems. The results of the proposed models are intended to serve as a useful tool in disease classification for plant breeders. Citrus fruit, which is of great economic importance, was preferred for the examination of plant diseases (Dutt, El Mohtar, and Wang, 2020). One of the main reasons why it is preferred is that citrus production is affected by different diseases and pests. As a result of the effects, significant yield and quality losses are experienced. To prevent economic losses, the most common diseases in citrus production should be prevented. These diseases are Black Spot (citrus black spot (CBC)), canker (citrus bacterial cancer (CBC)), greening (huanglongbing (HLB)) respectively (Tran et al., 2017). It is important to detect citrus leaves in a timely and accurate manner, especially with HLB-type disease, also known as dragon disease. The main reason why it is important is that there is no cure for HLB-type disease. Since there is no treatment, all trees infected with this disease must be cut to avoid infecting other healthy trees (National Academies of Sciences and Medicine, 2018). CBC disease, which has a bacterial pathogen called *Xanthomonas citri* subsp (Garita-Cambronero et al., 2019), is a worldwide disease that is frequently encountered in citrus production (Syed-Ab-Rahman, Hesamian, and Prasad, 2021). Although the spread of CBC disease varies in different weather conditions, it spreads more quickly in humid and rainy climate conditions (Martins et al., 2020). Early symptoms of this disease include brown lesions and blister formations in different areas of the tree (de Carvalho et al., 2014). These symptoms are generally seen before the ripening period of the citrus fruit. Finally, the disease caused by the fungal pathogen *Phyllosticta citricarpa* is CBS, a citrus leaf disease. CBS disease

is more common in citrus producing regions with hot summers than in regions with cold climates (Martínez-Minaya et al., 2015). Different lesions and freckle spots are seen on the branches of the trees that have this disease, apart from the leaves. This situation affects both the quality and yield of fruits and causes false melanosis production (Guarnaccia et al., 2019). These diseases cause great financial losses due to reasons such as being unsuitable for consumption as a result of loss of quality and efficiency and export restrictions. Reducing the financial losses of producers and marketers due to the problems specified with the CNN-based models carried out is among our primary goals. The increase in research and application areas in deep learning and image processing provides an opportunity to transfer the knowledge gained in these fields to agricultural fields (da Costa, Figueroa, and Fracaroli, 2020; Turkoglu, Hanbay, and Sengur, 2019; S. Zhang, Huang, and Zhang, 2019; Z. Zhang et al., 2019; Liu et al., 2018). To seize this opportunity, architectural models created by layers such as deep learning-based convolution, BN, pooling, dropout, and fully connected (FC) layers are used. In addition to the frequently used model, deep learning architectural models created by fine-tuning with transfer learning techniques are also used. With both models, it is possible to detect citrus diseases in a timely and error-free manner. At the same time, with these models, it is possible that the disease can be prevented by detecting it at an early stage. In this context, three different models have been developed for the timely and effective detection of citrus leaf diseases, both models being defined. The results obtained from these three separate models are presented in detail in the proposed methods section. With these proposed models, a system has been developed for the identification, detection, and classification of citrus leaf diseases for citrus producers and growers. Performance comparisons were made in the Adaptive Moment Estimation (Adam) optimization method of three different models, basic DenseNet201, the proposed DenseNet201 and the proposed CNN model, in the developed systems. When the performance results are examined, especially the proposed CNN method gives better results than other models. A more detailed analysis is presented by giving the performance measurements of the result in the form of a confusion matrix and an F1 score.

The main contributions to the literature were presented in the study for the detection of leaf disease of citrus plants.

- Image preprocessing steps have been performed that can detect diseased areas on citrus leaves.
- A model has been developed with three different approaches for the classification of diseases that are most common in citrus leaves and affect citrus export to a great extent. Training and test data used in the developed model are separated according to the K-fold 5 value. All of the proposed and basic models were trained with Adam optimization method and training parameters while making comparisons. Here, by ensuring that the conditions are the same, it is proved whether the proposed model is successful or not. For this reason, the average of the performance values obtained according to the K-fold 5 value is presented in the study.
 - Using the fine-tuned proposed DenseNet201 model suggested in the first model, an accuracy rate of 0.95 was achieved.
 - The basic DenseNet201 model, on the other hand, reached an average accuracy of 0.88%.
 - There was a 7% accuracy difference between the basic DenseNet201 model and the proposed DenseNet201 model.
 - Using the proposed CNN model suggested in the third model, 0.96 accuracy was achieved.
- This system has been proposed to help make accurate and fast diagnoses of disease categories with high similarity between classes, with models developed to prevent polluting the nature with wrong and unnecessary pesticides.
- Citrus production is expected to increase with the realization of early disease diagnosis in the agricultural sector.

The next sections of the article are planned as follows. In the section named Materials and Methods, a detailed explanation of the data set and methods used in this study is given. The details and performance results of the models to be used in citrus disease classification are presented in the section named Proposed method. In the last part, called Conclusion, the article is concluded.

MATERIAL AND METHOD

Material

The performances of the architectural models proposed in this study were tested on a publicly available dataset containing leaf images of citrus plants (Kaggle, 2020). In the data set tested, there are images of citrus leaf diseases named HLB, CBS, and CBC. There are two different groups in the dataset, training and testing. In both groups, there are different numbers of images belonging to four classes: HLB, CBS, CBC, and healthy.



Figure 1. Class Distributions of Citrus Images in the Dataset

In Figure 1, the names and numerical distributions of the class groups belonging to the data set used in this article are shown. The numbers in these class distributions show the total number of training and testing for the relevant class. Pre-processing was performed on the image data sets to prepare the data for the training modeling process. After preprocessing, the image is resized to 64x64. After these processes, the image density is standardized. To make the lighting differences in the images more visible, a conversion to the HSV color space has been performed. Afterward, the images are converted to grayscale images and given as input to the Otsu method. After the Otsu method, binary images were obtained and only the regions with leaves were determined. After determining the relevant area regions, each image is labeled according to class groups. Label numbers assigned to CBS, CBC, HLB, and Healthy classes are defined by numbers 0 through 3, respectively. In addition to these, very basic data augmentation operations such as rotation and zooming were carried out to eliminate data imbalances between classes after preprocessing in the data preparation process. Data augmentation was done to deal with the uneven distribution per class by oversampling classes with a small number of images. Data augmentation was applied to all experimental results obtained.

DenseNet201

One of the deep learning architecture groups that are frequently used today is DenseNet (Huang et al., 2017) architecture. There are varieties of DenseNet architectures such as DenseNet121, DenseNet169, DenseNet201. The DenseNet201 architecture is preferred in the application (Chouhan et al., 2020). DenseNet includes four dense blocks and three transition layers. Dense blocks have 3x3 and 1x1 convolution sets. The 3x3 and 1x1 convolutions in the 4 dense blocks here repeat 6, 12, 24, and 16 times. There is a transition layer between the two dense layers. Within a dense block, each convolution layer is feed-forwardly connected to another convolution layer. The transition layer consists of batch normalization, 1x1 convolution, and 2x2 mean pooling with a stride value of 2.

To put it in terms of the equation;

$$x_n = H_n(x_{n-1}) \quad (1)$$

In DenseNet architectures, the input layers are combined with the output layers, but both layers are not combined. For this reason, Equation 2 occurs when Equation 1 is reconstructed.

$$x_n = H_n([x_0, \dots, x_{n-1}]) \quad (2)$$

In Equation 2, while the feature map in the n. the layer is shown as x_n , the other feature maps are shown as x_0, \dots, x_{n-1} according to the layer order. H_n defined in Equation 2, consists of the combination of BN, ReLU, and convolution layers consisting of 3x3 filters.

Hyperparameter Setting

The set of parameters that will affect the learning of the three models used in this study is called a hyperparameter. These parameters are image size, number of epochs, number of batches, optimization method, learning rate, and editor parameters. In all training and testing processes, the image size is 64x64 with three channels. The number of steps used in the training process of the models was determined as 50 and the number of sections as 32. Adam method was used as optimization method. A value of 1e-4 was determined as the learning rate. The delay stops of the optimization method were determined by dividing the learning rate by the number of steps. The specified parameters

have gained certainty as a result of several experimental studies. In this article, it is tried to prove whether the proposed model is successful by keeping the optimization algorithm and training parameters the same.

Performance Evaluation Metrics

Experimental studies were performed in CUDA version 11.4 with Keras library using Tensorflow-GPU. At the same time, experimental studies were carried out in spyder environment using Python 3.9 language, Tensorflow 2.5 and Keras 2.4.3. The models used in this article were run on a GPU unit with a graphics card of the NVIDIA GeForce RTX 3060 version. Accuracy, precision, F-score, and recall measurement formulas were used to evaluate the performance of the proposed method.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} \quad (3)$$

In Equation 3 and beyond, TP defines the number of samples of correctly classified leaves, while FP defines the number of samples of leaves that can be misclassified. TN defines the number of leaf samples correctly classified from other classes. FN is the number of leaves misclassified in other classes under observation. The ratio of the correctly predicted leaf class to the total number of positive leaves classified as positive in Equation 4 is called recall. The recall formula determines the correct classes that the model finds. The higher the recall, the higher the number of correctly classified leaves. The leaf class that is incorrectly found in the recall equation is not taken into account. However, recall results should be obtained to understand whether all positive leaves in the model are classified correctly.

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (4)$$

Precision is defined as the ratio of TP and the total number of leaves predicted as positive. If some of the negative leaves are classified as positive, it is necessary to obtain a result from the precision equation to determine this. The precision formula is given in Equation 5.

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (5)$$

The F1 score is the weighted harmonic mean of the results obtained from the precision and recall equations. The equation presented in Equation 6 is used to measure the balance between precision and recall. If the F1 score is close to one, it means that it creates a model with a low number of false positives and negatives.

$$\text{F1} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (6)$$

All of the specified performance measurement values were used to accurately evaluate the performance of the methods proposed in this study. In addition to the performance measurements used, the accuracy and loss results are given graphically with binary drawings. At the same time, the confusion matrix obtained from the models is presented under each model title. Different training and testing processes were carried out with three different models, namely, the basic DenseNet201, the proposed DenseNet201, and the proposed CNN method. The results of each model are given according to Equations 3-6.

THE PROPOSED METHODS

In this section, the results obtained from the model after the model used or proposed are presented at the end of this section, the comparisons of the models used and proposed and the results of comparisons obtained with different studies using the same data set in the literature are given.

DenseNet201 Model and Performance Results

To accurately compare the performance results of the proposed DenseNet201 model, the transfer learning technique was applied to the basic DenseNet201 model. The basic DenseNet201 model was created by fine-tuning four dense blocks and three transition layers. Results were obtained by using the DenseNet201 model layers on the citrus leaf dataset.

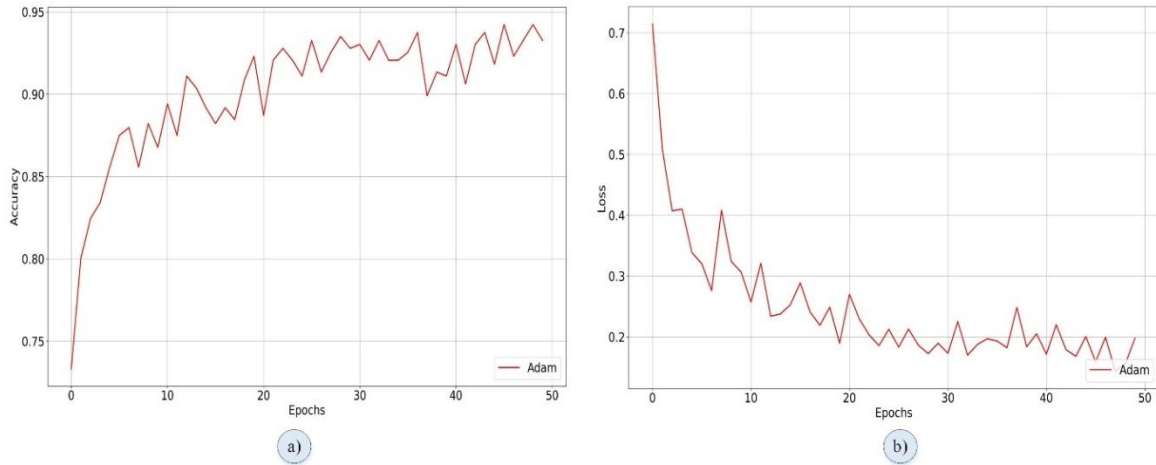


Figure 2. DenseNet201 a) Training Accuracy, b) Loss Graph

Although DenseNet201 training accuracy and loss graphs are shown in Figure 2, the test results obtained are presented in Figure 3.

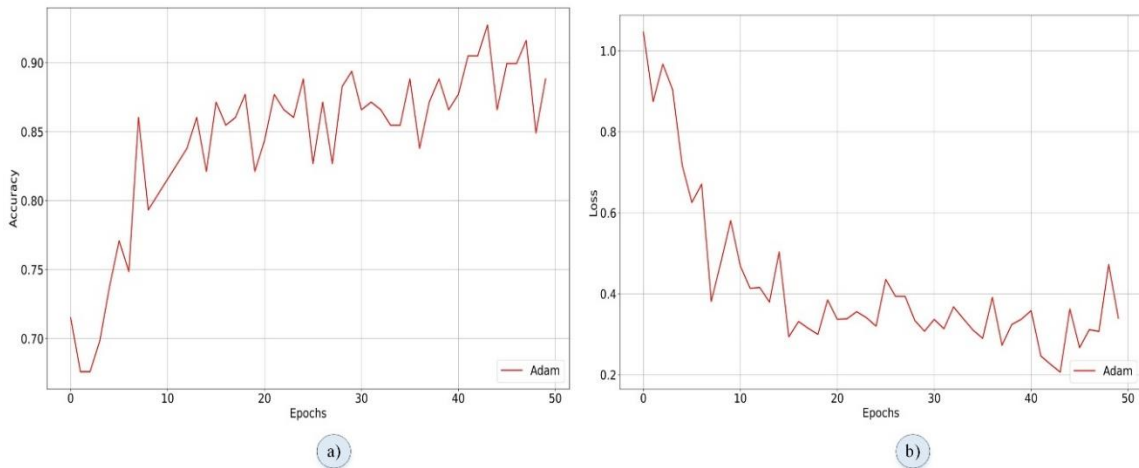


Figure 3. DenseNet201 a) Validation Accuracy, b) Loss Graph

The results in Table 1 are presented to examine the results of the test procedures given in Figure 3 in more detail. A detailed representation of the results in Table 1 is presented in Figure 4. DenseNet201 model gave a good result in terms of accuracy performance criterion, except for canker and healthy classes.

Predict	blackspot	45 25.42%				45 100% 0.00%
	canker		43 24.29%	10 5.65%		53 81.13% 18.87%
	greening			60 33.90%	7 3.95%	67 89.13% 10.43%
	healthy				10 5.65%	12 80.00% 16.67%
	sum_col	45 100% 0.00%	45 89.13% 4.44%	70 85.71% 14.29%	17 88.89% 41.18%	177 89.27% 10.73%
		blackspot	canker	greening	healthy	sum_lin
		Actual				

Figure 4. Confusion Matrix of Basic DenseNet201 Method

In the results in Table 1, not only the accuracy rate, but also precision, recall, F1 score, and accuracy measurement results are given to evaluate the performance of the basic DenseNet201 model. The Basic DenseNet201 model did not give a good result in terms of precision, recall and F1 score performance measures, except for the blackspot class.

Table 1. Transfer Learning Performance Results with the DenseNet201 Model

Optimization Method	Class	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
Adam	Blackspot	1.00	1.00	1.00	1.00
Adam	Canker	0.81	0.86	0.84	0.81
Adam	Greening	0.91	0.84	0.87	0.90
Adam	Healthy	0.84	0.88	0.86	0.84
Adam average					0.88

The Proposed DenseNet201 Model and Performance Results

The proposed DenseNet201 model is shown in Figure 5 to identify citrus leaf diseases accurately and quickly, just in time. Experimental studies have been carried out in order to make an accurate comparison of the proposed models with the basic model. The proposed DenseNet201 model was created by fine-tuning the basic four dense blocks and three transition layers and adding the following layers on top of these layers. The layers added on top of the basic layers were connected one after the other as 1 BN, 1 Dense and 1 dropout layer. After these blocks, the global maximum average layer, fully connected layer, and classifier layers with softmax activation function were created. With the created classifier, four different categories of citrus were classified.

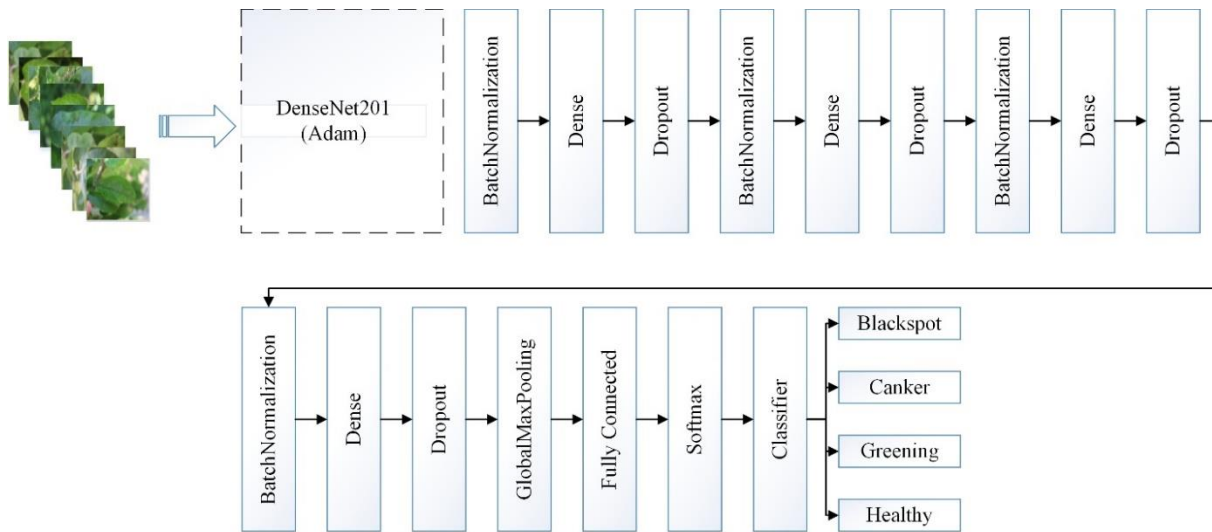


Figure 5. The Proposed DenseNet201 Model

The training accuracy and loss graphs obtained using the model given in Figure 5 are given in detail in Figure 6a and Figure 6b, respectively. When the basic DenseNet model is compared with the proposed DenseNet model, the training results are similar, while the validation results are higher (Figure 7).

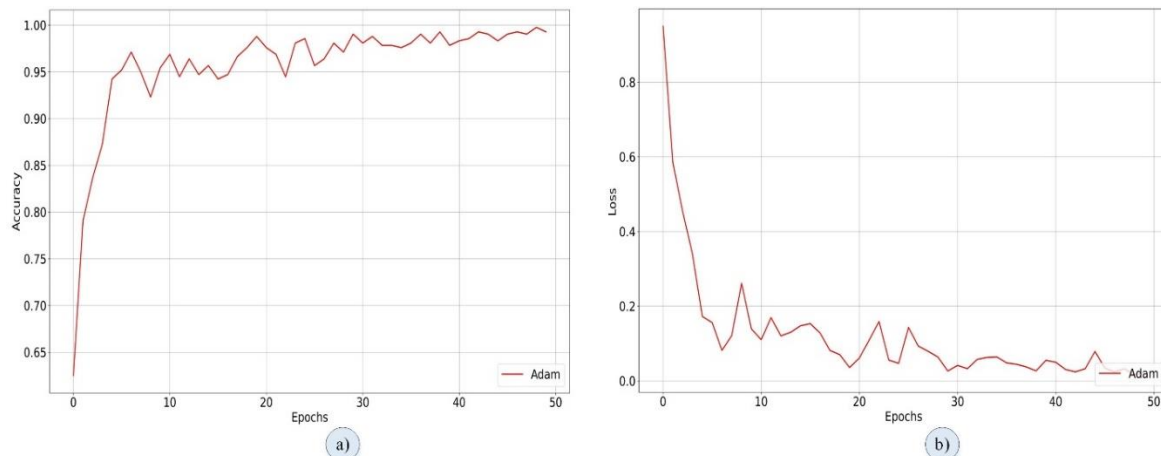


Figure 6. The Proposed DenseNet201 Model a) Training Accuracy, b) Loss Graph

In Figure 7, the test results obtained are presented. The proposed DenseNet201 model gave a fluctuating graphical result in training and test results. The results obtained graphically show that if the test accuracy is high, the number of losses is low.

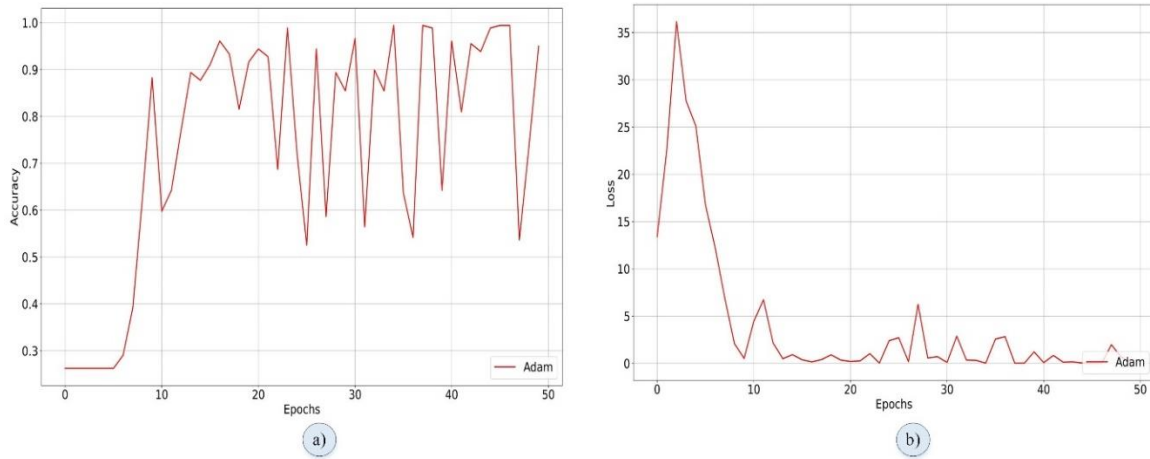


Figure 7. The Proposed DenseNet201 Model a) Test Accuracy, b) Loss Graph

The results in Table 2 are presented to examine the results of the test procedures given in Figure 7 in more detail. When Table 2 is examined, the trained proposed DenseNet201 model reached an average of 95% accuracy. When Figure 8 is examined, it is seen that while there are 9 errors in the Adam method. The Proposed DenseNet201 model has achieved a high accuracy rate in all classes other than the canker class. The Proposed DenseNet201 model has reached a success rate of over 90% in terms of F1 score performance criteria. The Proposed DenseNet201 model gave a good result in terms of recall performance criteria, except for the greening class. The Proposed DenseNet201 model gave a good result in terms of precision performance criteria, except for the canker class.

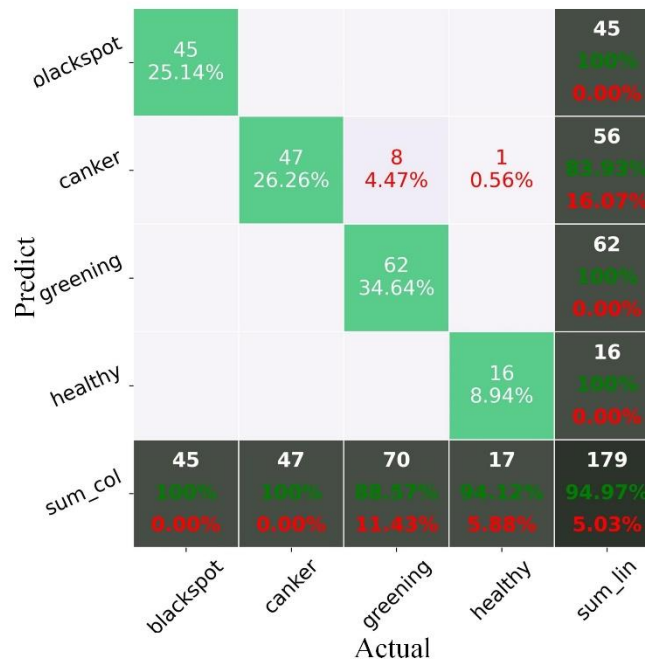


Figure 8. The Confusion Matrix of the Proposed DenseNet201 Model

Table 2. The Proposed DenseNet201 Model Performance Results

Optimization Method	Class	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
Adam	Blackspot	1.00	1.00	1.00	1.00
Adam	Canker	0.84	1.00	0.91	0.83
Adam	Greening	1.00	0.89	0.94	1.00
Adam	Healthy	1.00	0.94	0.97	1.00
Adam average					0.95

The Proposed CNN Model and Performance Results

The proposed CNN model is shown in Figure 9. In the proposed model, three convolution layers with the same padding value and ReLU activation function consisting of 32 3x3 filters are used. After each convolution layer, 1 maximum pooling and BN of 1x1 size were used. After three Conv-Max-BN blocks, a Flatten, 1 Dense layer with ReLU activation function, 1 batch normalization, 1 Dropout, 1 Dense layer with ReLU activation function, 1 batch normalization, 1 Dense layer with ReLU activation function, 1 batch normalization, 1 dropout, 1 fully connected layer, 1 classifier layer with softmax activation function are used. In general, the layer order of the proposed model is as specified.

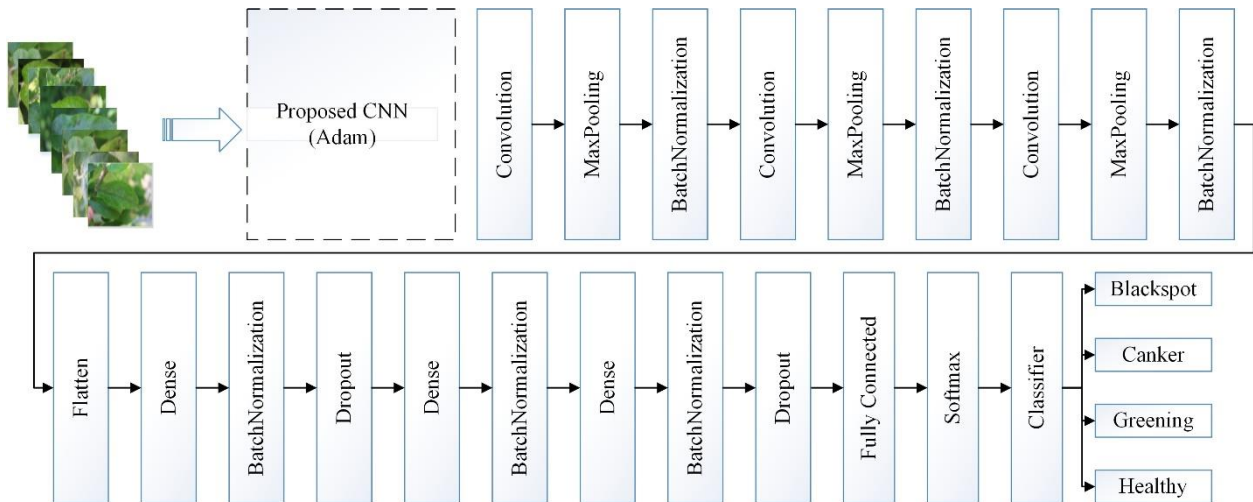
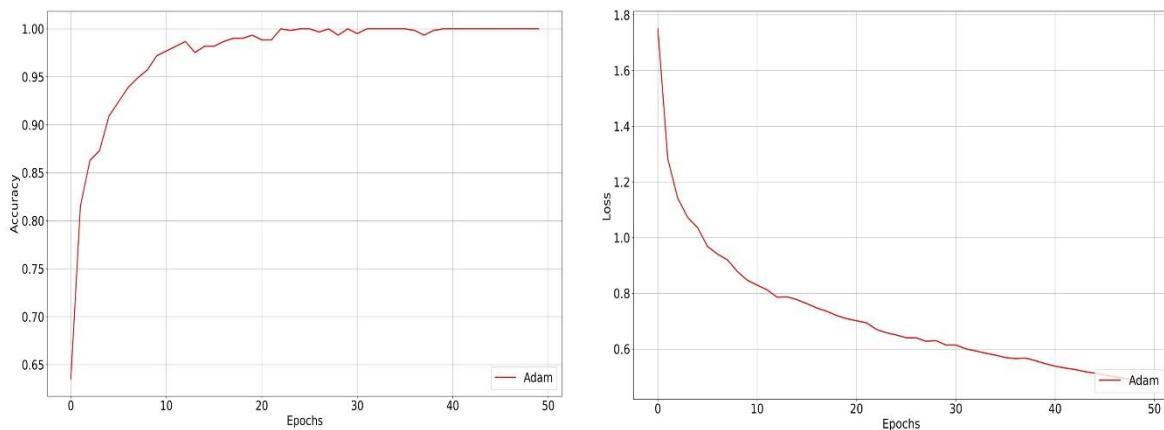


Figure 9. The Proposed CNN Model

Contrary to other models, the performance results obtained according to the K-fold 5 value in the proposed CNN model are also given. When the data set is divided into training and testing according to the K-fold 5 value, the accuracy and loss results obtained for each fold section are presented in Table 3. Accuracy between 94.15% and 99.44% was achieved with the Proposed CNN model.

Table 3. Performance Results of the Proposed CNN Model according to K-fold Values

Optimization Method	K-fold	Accuracy	Loss
Adam	1	94.15	0.66
Adam	2	99.44	0.87
Adam	3	96.07	0.56
Adam	4	95.42	0.65
Adam	5	96.07	0.54



a)

b)

Figure 10. With Adam, a) Proposed CNN Training Accuracy Graphs, b) Proposed CNN Loss Graphs

The results for the performance of the proposed CNN model were tested. During the test process, five different results were obtained according to the K-fold process. From these results, the graphs of the highest result are presented. K-fold 2 was selected. According to the specified choice, the obtained results of the training performance, are given in Figure 10. A very high accuracy rate was obtained with the proposed CNN model. Accordingly, the loss value has been less. At this point, testing and evaluation can be done with another optimization method.

In Figure 11, the test results obtained of the proposed CNN model are shown. As in the training part, a high accuracy rate was obtained in the test part. Accordingly, the loss value is less.

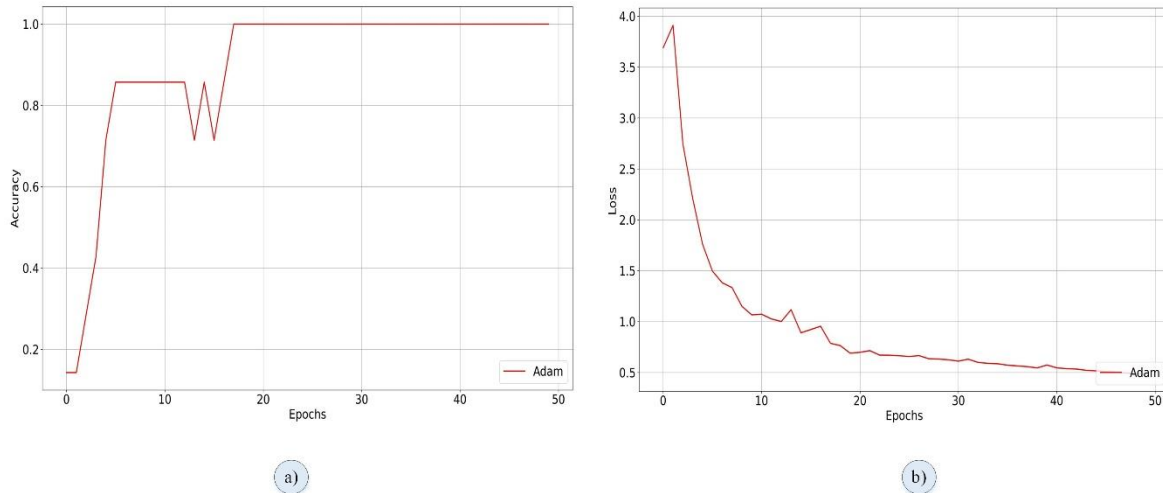


Figure 11. a) Proposed CNN Test Accuracy Graph, b) Proposed CNN Loss Graph

The training, test accuracy, and loss graphs of the model proposed in Figure 9 are given in Figures 10 and 11. In addition, confusion matrices have been created to examine the performance results of test data not used in training in more detail. These created matrices are shown in Figure 12. When Figure 12 is evaluated, accuracy rates on the basis of classes are seen. At the same time, with Figure 12, it is seen in detail how many mistakes were made in which classes and correct determinations were made. The precision, recall, F1 score, and accuracy values are presented in Table 4 to interpret the results correctly.

	blackspot				45 100% 0.00%
	canker	46 25.70%			46 100% 0.00%
Predict	greening	1 0.56%	70 39.11%		71 98.30% 1.41%
	healthy			17 9.50%	17 100% 0.00%
	sum_col	45 100% 0.00%	47 87.87% 2.13%	70 100% 0.00%	17 100% 0.00%
				sum_lin	179 99.44% 0.56%
			Actual		

Figure 12. The Confusion Matrix of the Proposed CNN Method

Basic DenseNet201, proposed DenseNet201 and proposed CNN models were examined using performance metrics. According to the performance results obtained, the proposed CNN model gave better results. The Proposed DenseNet201 model gave a better result than the basic DenseNet201 model.

Table 4. Proposed CNN Performance Results

Optimization Method	Class	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
Adam	Blackspot	1.00	1.00	1.00	1.00
Adam	Canker	1.00	0.91	0.96	1.00
Adam	Greening	0.98	1.00	0.97	0.98
Adam	Healthy	1.00	0.98	1.00	1.00
Adam average					0.99

Discussion

In the basic model, 19 errors were taken. In the proposed DenseNet201 model, there were 9 errors. Finally, 1 and 2 errors occurred each in the proposed CNN method. When three different models were evaluated in a publicly available dataset called Citrus Leaves Prepared using the same parameters, it was observed that the proposed CNN model gave better results than other models. The proposed DenseNet201 model, on the other hand, gives a much better result than the basic model, which includes four dense blocks and three transition layers. At the same time, although the number of trainable parameters was zero in this model, the number of non-trainable parameters was determined as 18,321,984. As a result of the study, the model with the least number of losses is defined as the most successful model.

In addition to the results given above, performance comparisons were made with different studies conducted on the same or similar data sets. Doğan and Türkoğlu (2018) use transfer learning-based deep learning algorithms named AlexNet, GoogleNet, VGG16, VGG19, ResNet50 to classify plant leaves with high accuracy. Although a different plant data set from the used data set was used, the accuracy results were also examined since the classification process was carried out. AlexNet, GoogleNet, VGG16, VGG19, ResNet50 based models have achieved an accuracy success rate of 97.77%-99.72%. Wu et al. (2007) classified 32 kinds of plants using probabilistic neural network with a success rate of over 90%. Kulkarni et al. (2013) classified it with a Radial basis probabilistic neural network using distinctive vessel, color and texture features obtained from zernike moments. As a result of this classification process, a 93.82% success rate was classified in the Flavia leaf data set. Similar to Kulkarni et al.'s study, there are (Aakif and Khan 2015; Zhao et al., 2015; Lee and Hong 2013) different plant classification studies.

When the performance results given in Table 2 and 4 are examined, it is seen that a model as successful as those in other studies has been proposed. Both proposed methods gave a very good result in the CBS class. In the HLB class, the proposed method gave as successful results as the models compared. In the CBC class, if the desired result cannot be obtained in the proposed DenseNet201 model, the CNN method is as successful as the compared models. The overall success rates of both methods are satisfactory. In addition, the models of DenseNet201 and CNN methods given in Figures 5 and 9 have fewer layers and computational costs. Due to the specified features, it can work in real-time systems. The effect of the convolution layer in the model is high in achieving the stated successes. High distinctiveness features are extracted by applying the convolution layer to the leafy area. In addition to these, using the K-fold 5 value in the application, different results are presented each time the application is run. It is ensured that the proposed models give a stable result.

CONCLUSIONS

Plant diseases are an agricultural problem that reduces agricultural yield, quality, and production, and causes economic damage by directly affecting export figures. Plant diseases and pests that cause this problem affect the citrus plant widely. In this study, it has been tried to help solve these problems in citrus plants by using image processing and deep learning architectures, which offer great opportunities in the field of agriculture. For this purpose, three different models were used to classify the most common diseases in citrus leaves, which cause great harm to companies and individuals engaged in agriculture. Two of them represent the proposed model. Another one shows the percentage difference of the proposed DenseNet201 model from the basic DenseNet201 model. In the first of the proposed models, a 21-layer architecture is proposed in addition to the fine-tuned, basic DenseNet201 model layers. 95% success rates were achieved. It gave a superior result from the studies in all classes except the CBC

disease class. In the second proposed model, the proposed CNN architecture is a 21-layer architecture. With this proposed CNN architecture, success rate of 99% was achieved in Adam method. The proposed CNN and DenseNet201 method proved its performance by providing a close and superior success to the studies made on the same or similar data sets. CNN and DenseNet201 architectures, which are recommended for stating strong reasons, can work in real-time systems because of their lightweight and few layers.

REFERENCES

- Aakif, Aimen, and Muhammad Faisal Khan. (2015). Automatic Classification of Plants Based on Their Leaves. *Biosystems Engineering* 139: 66–75. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511015001373>.
- Abbas, Amreen, Sweta Jain, Mahesh Gour, and Swetha Vankudothu. (2021). Tomato Plant Disease Detection Using Transfer Learning with C-GAN Synthetic Images. *Computers and Electronics in Agriculture* 187: 106279. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921002969>.
- Agarwal, Mohit, Suneet Gupta, and K K Biswas. (2021). A New Conv2D Model with Modified ReLU Activation Function for Identification of Disease Type and Severity in Cucumber Plant. *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 30: 100473. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210537920301967>.
- de Carvalho, Sérgio Alves, de Carvalho Nunes, William Mário, Belasque, José, Machado, Marcos Antonio, Croce-Filho, José, Bock, Clive H, and Abdo, Zaid. (2014). Comparison of Resistance to Asiatic Citrus Canker Among Different Genotypes of Citrus in a Long-Term Canker-Resistance Field Screening Experiment in Brazil. *Plant Disease* 99(2): 207–18. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-14-0384-RE>.
- Chen, Junde, Defu Zhang, Adnan Zeb, and Yaser A Nanehkaran. (2021). Identification of Rice Plant Diseases Using Lightweight Attention Networks. *Expert Systems with Applications* 169: 114514. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417420311581>.
- Chouhan, Vikash, Singh, Sanjay K, Khamparia, Aditya, Gupta, Deepak, Tiwari, Prayag, Moreira, Catarina, Damaševičius, Robertas, and de Albuquerque, Victor Hugo C. (2020). A Novel Transfer Learning Based Approach for Pneumonia Detection in Chest X-Ray Images. *Applied Sciences* 10(2): 1-17. <https://doi.org/10.3390/app10020559>.
- da Costa, Arthur Z, Hugo E H Figueroa, and Juliana A Fracarolli. (2020). Computer Vision Based Detection of External Defects on Tomatoes Using Deep Learning. *Biosystems Engineering* 190: 131–44. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511019309109>.
- Dogan, F, and I Türkoglu. (2018). Derin Öğrenme Algoritmalarının Yaprak Sınıflandırma Başarımlarının Karsılaştırılması. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences* 1(1): 10–21.
- Dutt, Manjul, Chooa El Mohtar, and Nian Wang. (2020). Biotechnological Approaches for the Resistance to Citrus Diseases. *Springer, Cham*, 245–57. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15308-3_14.
- Ferentinos, Konstantinos P. (2018). Deep Learning Models for Plant Disease Detection and Diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture* 145: 311–18.
- Garita-Cambronero, Jerson, Sena-Vélez, Marta, Ferragud, Elisa, Sabuquillo, Pilar, Redondo, Cristina, and Cubero, Jaime. (2019). Xanthomonas Citri Subsp. Citri and Xanthomonas Arboricola Pv. Pruni: Comparative Analysis of Two Pathogens Producing Similar Symptoms in Different Host Plants. *PloS one* 14(7): e0219797.
- Guarnaccia, Vladimiro, Gehrman, Thies, Silva-Junior, Geraldo J, Fourie, Paul H, Haridas, Sajeet, Vu, Duong, Spatafora, Joseph, Martin, Francis M, Robert, Vincent, Grigoriev, Igor V, Groenewald, Johannes Z, and Crous, Pedro W. (2019). Phyllosticta Citricarpa and Sister Species of Global Importance to Citrus. *Molecular Plant Pathology* 20(12): 1619–35. <https://doi.org/10.1111/mpp.12861>.
- He, Kaiming, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, and Jian Sun. (2016). Identity Mappings in Deep Residual Networks. In European Conference on Computer Vision, Springer, 630–45.
- Huang, Gao, Zhuang Liu, Laurens Van Der Maaten, and Kilian Q Weinberger. (2017). Densely Connected Convolutional Networks. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, , 4700–4708.
- Ioffe, Sergey, and Christian Szegedy. (2015). Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift. In International Conference on Machine Learning, PMLR, 448–56.

- Kaggle. (2020). Citrus Leaves Prepared. <https://www.kaggle.com/dtrilsbeek/citrus-leaves-prepared>.
- Khanramaki, Morteza, Ezzatollah Askari Asli-Ardeh, and Ehsan Kozegar. (2021). Citrus Pests Classification Using an Ensemble of Deep Learning Models. *Computers and Electronics in Agriculture* 186: 106192. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816992100209X>.
- Kianat, Jaweria, Khan, Muhammad Attique, Sharif, Muhammad, Akram, Tallha, Rehman, Amjad, and Saba, Tanzila. (2021). A Joint Framework of Feature Reduction and Robust Feature Selection for Cucumber Leaf Diseases Recognition. *Optik* 240: 166566. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402621002904>.
- Kulkarni, A H, Dr H.M.Rai, Krishna Jahagirdar, and P.S.Upparamani. (2013). A Leaf Recognition Technique for Plant Classification Using RBPNN and Zernike Moments. *Journal of Computer-Mediated Communication* 2: 984–88.
- Lee, Kuebum, and K.-S Hong. (2013). An Implementation of Leaf Recognition System Using Leaf Vein and Shape. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology* 5: 57–65.
- Liu, Bin, Yun Zhang, DongJian He, and Yuxiang Li. (2018). Identification of Apple Leaf Diseases Based on Deep Convolutional Neural Networks. *Symmetry* 10(1): 11. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/identification-apple-leaf-diseases-based-on-deep/docview/2002782281/se-2?accountid=204829>.
- Martínez-Minaya, Joaquín, David Conesa, Antonio López-Quílez, and Antonio Vicent. (2015). Climatic Distribution of Citrus Black Spot Caused by *Phyllosticta Citricarpa*. A Historical Analysis of Disease Spread in South Africa. *European Journal of Plant Pathology* 143(1): 69–83. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0666-z>.
- Martins, Paula Maria Moreira, Maxuel de Oliveira Andrade, Celso Eduardo Benedetti, and Alessandra Alves de Souza. (2020). *Xanthomonas Citri* Subsp. *Citri*: Host Interaction and Control Strategies. *Tropical Plant Pathology* 45(3): 213–36. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00376-3>.
- National Academies of Sciences and Medicine, Engineering. (2018). A Review of the Citrus Greening Research and Development Efforts Supported by the Citrus Research and Development Foundation. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://www.nap.edu/catalog/25026>.
- Shrivastava, V.~K., M.~K. Pradhan, S Minz, and M.~P. Thakur. (2019). Rice Plant Disease Classification Using Transfer Learning of Deep Convolution Neural Network. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 423: 631–35.
- Sun, Hao, Zhai, Lihongi Teng, Feng, Li, Zhihong, and Zhang, Zuxin. (2021). QRgls1.06, a Major QTL Conferring Resistance to Gray Leaf Spot Disease in Maize. *The Crop Journal* 9(2): 342–50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514120301215>.
- Sun, Shiliang, Zehui Cao, Han Zhu, and Jing Zhao. (2019). A Survey of Optimization Methods from a Machine Learning Perspective. *IEEE transactions on cybernetics* 50(8): 3668–81.
- Syed-Ab-Rahman, Sharifah Farhana, Mohammad Hesam Hesamian, and Mukesh Prasad. (2021). Citrus Disease Detection and Classification Using End-to-End Anchor-Based Deep Learning Model. *Applied Intelligence* 52: 927–938. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02452-w>.
- Szegedy, Christian, Vanhoucke, Vincent, Loffe, Sergey, Shlens, Jonathon, and Wojna, Zbigniew. (2016). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2818–2826, <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>.
- Szegedy, Christian, Sergey Ioffe, Vincent Vanhoucke, and Alexander A Alemi. (2016). Inception-v4, Inception-Resnet and the Impact of Residual Connections on Learning. In Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence 1–12. <https://arxiv.org/abs/1602.07261>.
- Too, Edna Chebet, Li Yujian, Sam Njuki, and Liu Yingchun. (2019). A Comparative Study of Fine-Tuning Deep Learning Models for Plant Disease Identification. *Computers and Electronics in Agriculture* 161: 272–79.
- Tran, Nga T, Miles, Andrew K., Dietzgen, Ralf G., Dewdney, Megan M., Zhang, Ke, Rollins Jeffrey A., and Drenth, Andre. (2017). Sexual Reproduction in the Citrus Black Spot Pathogen, *Phyllosticta Citricarpa*. *Phytopathology*® 107(6): 732–39.
- Turkoglu, Muammer, Davut Hanbay, and Abdulkadir Sengur. (2019). Multi-Model LSTM-Based Convolutional Neural Networks for Detection of Apple Diseases and Pests. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized*

Computing 13: 3335–3345. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01591-w>.

Wu, S G, Bao, Forrest Sheng, Xu, Eric You, Wang, Yu-Xuan, Chang, Yi-Fan, and Xiang, Qiao-Liang. (2007). A Leaf Recognition Algorithm for Plant Classification Using Probabilistic Neural Network. In 2007 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 11–16.

Yu, Cui, Zhang Ai-hong, Ren Ai-jun, and Miao Hong-qin. (2014). Types of Maize Virus Diseases and Progress in Virus Identification Techniques in China. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)* 21(1): 75–83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100681041460026X>.

Zhang, Shanwen, Zhang, Subing, Zhang, Chuanlei, Wang, Xianfeng, and Shi, Yun. (2019). Cucumber Leaf Disease Identification with Global Pooling Dilated Convolutional Neural Network. *Computers and Electronics in Agriculture* 162: 422–30. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918317976>.

Zhang, Shanwen, Wenzhun Huang, and Chuanlei Zhang. (2019). Three-Channel Convolutional Neural Networks for Vegetable Leaf Disease Recognition. *Cognitive Systems Research* 53: 31–41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389041717303236>.

Zhang, Ziqiang, Hui Liu, Zhijun Meng, and Jingping Chen. (2019). Deep Learning-Based Automatic Recognition Network of Agricultural Machinery Images. *Computers and Electronics in Agriculture* 166: 104978. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919308117>.

Zhao, Zhong-Qiu, Ma, Lin Hai, Cheung, Yiu-ming, Wu, Xindong, Tang, Yuanyan, and Chen, Chun Lung Philip. (2015). ApLeaf: An Efficient Android-Based Plant Leaf Identification System. *Neurocomputing* 151: 1112–19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231214013368>.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 08.09.2022
Kabul Tarihi : 24.10.2022

Received Date :08.09.2022
Accepted Date : 24.10.2022

SEASONAL ASSESSMENT OF RUN-OF-RIVER HYDROELECTRIC POWER PLANT RAMP EVENTS

NEHİR TİPİ HİDROELEKTRİK GÜÇ SANTRALLERİNİN RAMPA OLAYLARININ MEVSİMSSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

İsrafil KARADÖL^{1*} (ORCID: 0000-0002-9239-0565)

Fatma AVLİ FIRIŞ² (ORCID: 0000-0003-4879-1932)

Mustafa ŞEKKELİ² (ORCID: 0000-0002-1641-3243)

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Bölümü, Kilis, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İsrafil KARADÖL, israfilkaradol@kilis.edu.tr

ABSTRACT

This study aims to seasonally examine run-of-river type hydroelectric power plants' ramp rates (generation changes) (RoRHPP). Turkey RoRHPP generations were obtained for this objective between 01 December 2020 and 01 December 2021. Obtained data are hourly resolution and belong to 560 plants. The total installed power of the plants used in work is 7897.06 MW. This study used histogram fields to examine ramp rates of 5%, 7.5%, and 10% of the installed power in 1, 3, and 6-hour periods. As a result of the investigations, the cumulative histogram areas of the ramps of 5% and above in 6 hours temporal periods of the spring, summer, autumn, and winter seasons were calculated as 39430.94, 22117.72, 17811.76, and 34914.32, respectively. When these ramps are evaluated according to their directions, the histogram areas of positive ramp (generation increase) in spring, summer, autumn, and winter are 20052.1, 10945.74, 9095.8, and 17303.19, respectively. The histogram areas of the negative ramps (reduction of generation) in spring, summer, autumn, and winter are 19378.84, 11171.98, 8715.96, and 17611.13, respectively. According to all these results, ramp events in Turkey's RoRHPP productions occurred the most in the spring. In addition, It was also concluded that positive ramp events occurred more in all seasons.

Keywords: Ramp rate, run-of-river hydroelectric power, renewable energy.

ÖZET

Bu çalışma, nehir tipi hidroelektrik santrallerinin (NHES) rampa oranlarını (üretim değişimlerini) mevsimsel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla öncelikle 01 Aralık 2020 ile 01 Aralık 2021 tarihleri arasında Türkiye NHES verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler saatlik çözünürlükte olup 560 tesise aittir. Çalışmada kullanılan santrallerin toplam kurulu gücü 7897,06 MW'dır. Bu çalışmada, 1, 3 ve 6 saatlik periyotlarda kurulu gücün %5, %7,5 ve %10'luk rampa oranlarını incelemek için histogram alanları kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinin 6 saatlik zaman dilimlerinde %5 ve üzerindeki rampaların kümülatif histogram alanları sırasıyla 39430.94, 22117.72, 17811.76 ve 34914.32 olarak hesaplanmıştır. Bu rampalar yönlerine göre değerlendirildiğinde ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış aylarında pozitif rampa (jenerasyon artışı) histogram alanları sırasıyla 20052.1, 10945.74, 9095,8 ve 17303.19'dur. Negatif rampaların (üretim azalması) ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış aylarında histogram alanları sırasıyla 19378.84, 11171.98, 8715.96 ve 17611.13'tür. Tüm bu sonuçlara göre Türkiye'nin NHES üretimlerinde rampa olayları en çok bahar mevsiminde meydana geldi. Ayrıca olumlu rampa olaylarının her mevsimde daha fazla meydana geldiği sonucuna da ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rampa oranı, nehir tipi hidroelektrik santrali, yenilenebilir enerji.

INTRODUCTION

Energy production from hydroelectric power plants is standard throughout Turkey, and dam-type and run-of-river hydroelectric power plants are spread throughout the country. Many natural factors, such as the dispersion of water resources in the country, the flow rate, mountain or valley slopes, and geological conditions, determine the type of hydroelectric power plants with or without storage (river type). In addition to these natural factors, technical and financial reasons such as the purpose of use and the cost of energy transmission lines can also be decisive (Andritz Hydro, 2015; REN21, 2021). In streams with high flow, rivers on rivers, or on the branches of large streams, hydraulic energy can be utilized in-stream type power plants, generally without storage, with slope. Non-storage hydroelectric power plants use moving water resources such as streams, waves, and tides. However, the common usage area is rivers. In-stream power plants, namely run-of-river hydroelectric power plants, water is dropped onto the turbine by gaining speed with the help of a channel or tunnel without a dam or storage. The kinetic energy of the water fell on the turbine is converted into electrical energy by the turbine-generator system (Süme & Fırat, 2020).

Run-of-river hydroelectric power plants (RoRHPP) are generally small power generation power plants. In mountainous and rugged regions where it isn't easy to transport energy, river-type hydroelectric power plants provide advantages over other types of energy generation. Run-of-river hydroelectric power plants with a short construction period and low establishment cost relieve the interconnected system's load and prevent energy losses in long transmission lines (Dalcalı et al., 2012).

As of February 2022, there are 603 registered run-of-river hydroelectric power plants in Turkey (*Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları*, n.d.). The damage to the natural life of run-of-river HPPs is much less than that of storage-type HPPs. These power plants are increasing daily due to their low establishment costs, regionally applicable, and nature-friendly nature. However, the unpredictability of RoRHPP generation and the Spatio-temporal variation of generation make it challenging to integrate these resources into the grid (Kayahan, 2019; Liu et al., 2019).

A summary of the literature examining the generation variability in renewable energy sources is given in detail below; Frate et al. compared the performance of flywheels and li-ion batteries in reducing ramp rates of power produced by the wind turbine. They concluded that flywheels outperform batteries in cost (Frate et al., 2019). Different optimization methods minimize ramp events in wind power plants (Dorado-Moreno et al., 2020) and (Li & Gu, 2020). In this way, it has been concluded that ramp events seen in energy generation can be minimized. In (Kim & Kim, 2019; Martins et al., 2019; Özyön & Aydın, 2013) and (Datta, 2013), various optimization methods have been proposed to reduce the ramp events in the grid operating system. In (Chen et al., 2017) and (De La Parra et al., 2015) aims to reduce the ramp events in PV energy generation using different storage and control units. According to the literature review, studies in the field of ramp rate are generally on wind and solar energy. It has been observed that there is very little literature on Nhes production. For this reason, Turkey's RoRHPP ramp rates were investigated in this study.

This study examined ramp events of plant generations to predict seasonal changes in run-of-river hydroelectric power plant generation. For this purpose, firstly, Turkey's average RoRHPP generation was obtained in a one-year period, hourly resolution. The data obtained are divided according to seasonal periods such as spring, summer, autumn, and winter. The ramp events in the generation of the plant were examined according to their formation (negative-positive), size (5%, 7.5%, and 10% of the installed power), and frequency (frequency) in 1, 3, and 6-hour periods. The obtained results are presented in detail in the following sections.

The study consists of 4 parts. In the first part, general information about the investigation was given, and the literature reviews in this field were presented in detail. The second part presents the technical information of the dataset and RoRHPPs used in the study. In addition, the ramp ratio is defined in this section, and its mathematical equation is given. The third section shows seasonal ramp rates of RoRHPP productions in different temporal periods. In the fourth and last chapter, the results obtained in the study were interpreted, and the ramp characteristics of Turkish RoRHPP productions were obtained according to the seasons.

MATERIAL AND METHOD

Technical Overview Of RoRHPPs

The way of obtaining hydroelectric energy; is explained in two ways: by forming a dam by collecting and storing water in a pond and by using only the flow rate of streams without dams. In-stream power plants, water is dropped onto the turbine by gaining speed with the help of a channel or tunnel without a dam or storage. The kinetic energy

of the water that falls on the turbine is converted into electrical energy by the turbine-generator system. Images from different perspectives of a RoRHPP are seen in Figure 1.



Figure 1. View Of The Run-Of-River Hydroelectric Power Plant From Different Angles

Turbines used in hydraulic systems can be classified according to their head, turbine output powers, the condition of the turbine shaft, the water's flow direction, and the effect of the water. Hydraulic turbines can be classified as impulse and reaction type turbines according to their intended use. Impact turbines; Pelton, Turgo, Banki type turbines are reaction type turbines; Kaplan and Francis turbines. In impact-type turbines, the blades are not in the water, and the water brought through the pipe/channel is transferred to the turbine in spraying; the turbine is operated by creating a rotational force. Reaction-type turbines rotate faster than impact turbines at the same head and flow. These turbines, which are more difficult to manufacture, are more complex than impact turbines, so they are less preferred in hydroelectric power plants with small power. Its efficiency is high in high-flow power plants and streams (Emir et al., 2014; European Small Hydropower Association - ESHA, 2004; Temiz, 2015). Since there is no water storage in river-type power plants, the production of electrical energy is produced because there is sufficient water from the river. These power plants; can work independently from the grid or in connection with the grid. Regarding the selection of turbines and generators in river-type hydroelectric power plants, Factors such as water flow, fall height, slope, size of the power plant to be established, and project installed power calculations are practical (Yıldız, 2015). The power produced in the power plants is calculated with the help of Equation 1 (Dalcı et al., 2012).

$$P = \eta . H . Q . \gamma \quad (1)$$

In the equation, P stands for turbine power (W), η total efficiency, H head (m), Q flow rate (m^3/s) and γ specific weight of water. According to Equation 1, hydroelectric power is linearly proportional to the flow and head of the water. To evaluate the hydroelectric energy potential obtained from the water flow, it is necessary to know the changes that may occur in the water flow rate during the year and the amount of thought that can be obtained (Sangal et al., 2013).

The most determining factors in the selection of turbines used in hydroelectric power plants are the hydraulic head and, the volume per unit time, the flow rate of the water that will pass through the turbine. The speed of the turbine or generator is an essential criterion in the turbine type selection. Whether the turbine can be operated under partial flow conditions is another criterion. All turbines have power-speed and efficiency-speed characteristics. $H = 1$ m functional hydroelectric head and $Q = 1$ m^3/s volumetric flow rate and selected operating cycle (n), geometrically similar to the main turbine rotor to be manufactured in the project design of the turbine. The specific speed n_s of a

working model turbine rotor determines the turbine dimensions. After the specified number of revolutions is determined, the turbine is designed using certain empirical formulas and ns. The specific number of revolutions can be calculated by Equation 2 (Bilgili et al., 2018; Kougias et al., 2016).

$$n_s = \frac{n\sqrt{Px1.358}}{H^{5/4}} \quad (2)$$

Minimizing the speed variation between the turbine and the generator is necessary. In this, different turbine types should be used for the other heads. The speed of a turbine decreases in direct proportion to the square root of the head. For this reason, fast turbines are used in places with small heads (Özdemir, 2012). Table 1 shows the usage range of turbine types according to the hydraulic head, and Table 2 shows the specific speed values of turbine types.

Table 1. Turbine Types According To Hydraulic Head (Kougias et al., 2016)

Turbine type	Head range
Kaplan	2<H<40
Francis	10<H<350
Pelton	50<H<1300
Crossflow	3<H<250
Turgo	50<H<250

Table 2. Classification Of Turbines By Specific Speed (Kougias et al., 2016)

Turbine Type	Specific Speed (ns)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Crossflow	20-80
Francis	80-400
Kaplan	340-1000

Considering the values in Table 2 for run-of-river type hydroelectric power plants, it will be appropriate to use Pelton, Turgo, and Crossflow type turbines in places with low specific speeds. Francis turbines can also be used in run-of-river type hydroelectric power plants where the speed is higher. Since the rotation speed of the turbine changes in direct proportion to the square root ratio of the height at which the water falls into the turbine, in the literature, in hydroelectric power plants below 10 meters head in general, a low head is considered, and reaction turbines are selected. It is appropriate to use impact turbines in power plants that are planned to be operated with higher heads (Mercan, 2014).

Technical Data Of RoRHPPs

Hydroelectric power plants are the most widely used renewable energy sources globally. The total hydroelectric capacity of the world is approximately 1300 GW as of 2020, and hydroelectric power plants provide 19% of the world's electrical energy (Laghari et al., 2013; Villarreal et al., 2019).

Run-of-river HEPPs have much less damage to natural life than storage-type HEPPs. The low establishment costs, regional applicability, and nature-friendly nature increase the number of such power plants daily. According to the February 2022 installed power reports received from TEİAŞ Load Dispatch Department, the total installed power of Turkey is 99890.1 MW. The total installed capacity of dam and run-of-river type hydroelectric power plants is 31502 MW, constituting 31% of the total installed power (Anon n.d.). Run-of-river type hydroelectric power plants comprise 7897.06 MW of hydroelectric energy resources and a total of 603.

The study examined seasonal ramp events of the generation of run-of-river type hydroelectric power plants. For this purpose, first of all, the entire RoRHPP generations in Turkey between 01 December 2020 and 01 December 2021 were obtained through the YEKDEM transparency platform. Obtained generation data are seasonally divided and shown in Figure 2.

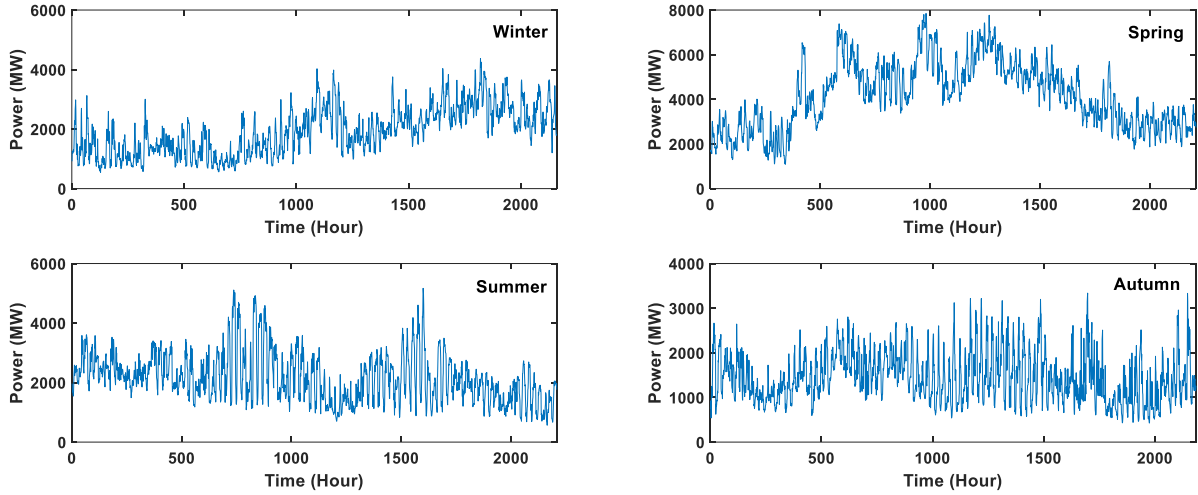


Figure 2. Seasonal RoRHPP Generation

Some statistical properties of generation data divided according to seasons are given in Table 3. According to these data, the highest average generation and standard deviation are seen in the spring season. The lowest standard deviation and middle generation occurred in the autumn season. The standard deviation in the autumn season generation is 37% of the standard deviation seen in the spring season generation. This shows that the highest generation variability occurs in the spring season. When the differences between the maximum and minimum generations in seasonal periods are examined, the differences in winter, spring, summer, and autumn are calculated as 3826.21, 6759, 4601, and 2909.6, respectively.

Table 3. Some Statistical Properties Of RoRHPP Generation Data

	Winter	Spring	Summer	Autumn
Standard Deviation	789.06	1482.46	821.68	552.5
Mean	1923.47	4175.33	2167.63	1450.7
Maximum	4371.82	7847.02	5167.21	3336.97
Minimum	545.61	1088.12	566.41	427.31
Time Period	01.12.2020-28.02.2021	01.03.2021-31.05.2021	01.06.2021-31.08.2021	01.09.2021-30.11.2021
Data Number	2160	2208	2208	2018
Installed Power	7897.06MW			

Ramp Rate

When run-of-river hydroelectric power plant generation is evaluated temporally, it is assessed that they have a variable structure (Ueckerdt et al., 2015). Different temporal periods also show other generation characteristics (Karadöl et al., 2020). The high variability of RoRHPP generation over time causes many problems in terms of a grid's flexibility, security, and operating costs (Dorado-Moreno et al., 2020; Zhao et al., 2017). Because to tolerate the sudden generation increases seen in RoRHPP generation by the grid operator, online plant generation should be reduced, or methods such as load shedding are used. In opposite situations, to tolerate the instantaneous generation drops by the grid operator, online plant generation will be increased, or new plants will be used (González-Aparicio & Zucker, 2015; Teleke et al., 2010). Generation increases and decreases were seen in RoRHPP generations are defined as positive and negative ramps, respectively. However, not all generation changes are defined as ramps in the literature. For a generation change of any plant to be described as a ramp, this change must be 5% or more of the plant's installed capacity (Frate et al., 2019). The study examined the changes over 5%, 7.5%, and 10% of the total installed power to define the ramps of RoRHPP generation. The ramp size in any period of the plant generations was obtained using Equation 3 (Frate et al., 2019).

$$\Delta P_i = p(i) - p(i + t) \quad \begin{matrix} \Delta P = \{\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n\} \\ i = (1, 2, \dots, n) \quad n \in N \\ t = (1, 3, 6) \end{matrix} \quad (3)$$

ΔP_i given in the equation shows the ramp size (power change amount) at the time i , $p(i)$ shows the plant generation at the i . hour, t the temporal period, and n the hourly resolution plant generation time. ΔP given in Equation 2 defines the ramp set for plant generation in all temporal periods. The characterization of ramp rates is shown in Figure 3.

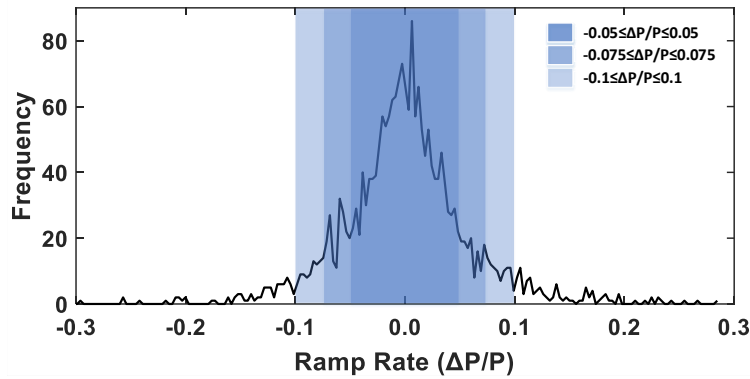


Figure 3. The Characterization Of Ramp Rates

A histogram graph of the ΔP cluster is created to determine the frequency and size of ramp events in RoRHPP generation. Cumulative ramp sizes are determined according to the seasons by calculating the areas over 5%, 7.5%, and 10% of the installed power in the histogram graphics.

RESULTS

In recent years, hydroelectric energy has had an essential share in the energy produced by renewable energy sources. Increasing energy demand and the destructive effect of traditional energy sources on the environment encourage the use of hydroelectric power. However, hydroelectric energy is divided into storable (dam) and non-storable (RoRHPP). While storable HPP generation can be controlled, RoRHPP generations cannot be controlled. Because RoRHPPs have random and unpredictable generation characteristics. For this reason, large-scale integration of RoRHPP generation into the grid causes technical and economic problems. This study investigated the formation time (season), sizes, and frequencies of RoRHPP generation ramps. As a result of the investigations, the ramp histogram graphs in 1, 3, and 6-hour periods are given in Figure 4, Figure 5, and Figure 6, respectively.

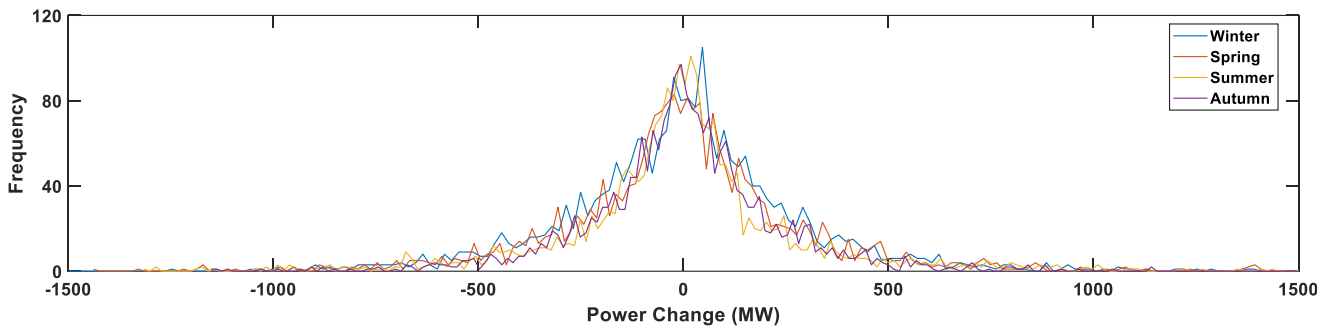


Figure 4. Histogram Of Ramp Frequencies In A 1-Hour Period

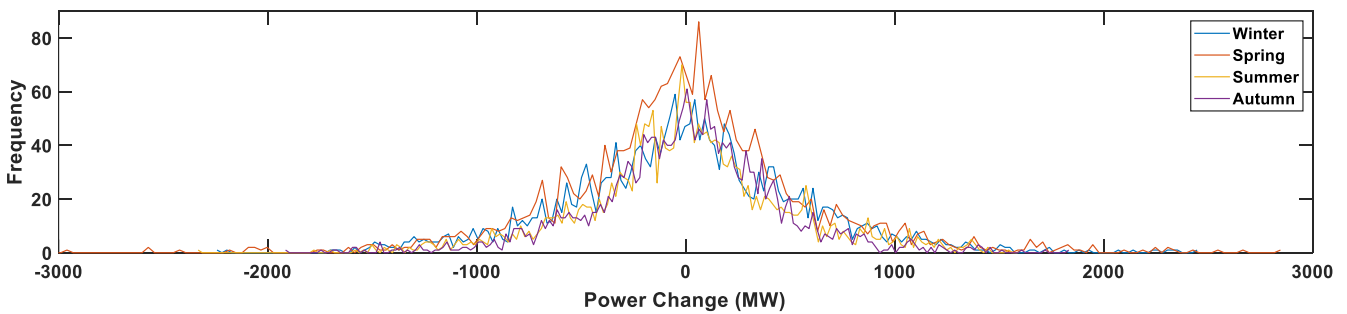


Figure 5. Histogram Of Ramp Frequencies In A 3-Hour Period

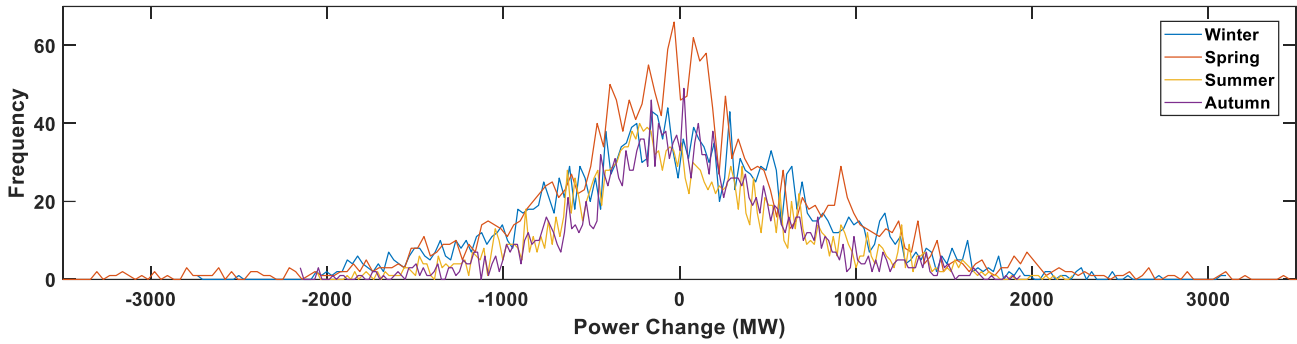


Figure 6. Histogram Of Ramp Frequencies In A 6-Hour Period

The cumulative areas of negative and positive ramps of 5% (394 MW) and above in 1, 3, and 6-hour periods are given in Table 4. According to these data, the difference between the cumulative areas of negative and positive ramps in 1 and 3-hour periods is shallow in the winter and spring seasons. However, when we evaluated for the 6 hours, the ramps with the highest cumulative area were seen in the spring season. The lowest positive and negative cumulative area was observed in autumn in the same temporal period.

Table 4. Cumulative Areas of Ramps of 5% and Above

Over 5 %	Winter		Spring		Summer		Autumn	
	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive
1 hour	2350.45	2114.53	2029.62	2100.42	1673.51	1751.51	1051.46	990.02
3 hour	10108.24	9872.62	11655.53	10712.91	6567.92	6953.68	5516.79	5036.66
6 hour	17611.13	17303.19	19378.84	20052.1	11171.98	10945.74	8715.96	9095.8

The cumulative areas of negative and positive ramps of 7.5% (591 MW) and above in 1, 3, and 6-hour periods are given in Table 5. According to these data, the smallest negative and positive cumulative ramp areas in the 1 hour were seen in the autumn season. In the 3 and 6 hours period, the ramps with the most negative and positive cumulative areas were observed in the spring season.

Table 5. Cumulative Areas Of Ramps Of 7.5% And Above

Over 7.5%	Winter		Spring		Summer		Autumn	
	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive
1 hour	725.23	830.08	676.54	826	730.38	907.66	279.93	355.04
3 hour	5725.65	5819.9	6957.41	6897.56	3402.65	3768.64	2636.01	2428.89
6 hour	12009.59	11950.93	13756.25	15321.11	6399.38	7541.36	5276.8	5656.64

The cumulative areas of negative and positive ramps of 10% (789 MW) and above in 1, 3, and 6-hour periods are given in Table 6. According to these data, the smallest negative and positive cumulative ramp areas in the 1 hour were seen in the autumn season. In the 3 and 6 hours period, the ramps with the most negative and positive cumulative areas were observed in the spring season.

Table 6. Cumulative Areas Of Ramps Of 10% And Above

Over 10%	Winter		Spring		Summer		Autumn	
	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive
1 hour	209.7	375.72	291.06	291.06	304.91	347.46	116.07	95.58
3 hour	3204.47	2968.85	3441.3	4054.74	1879.37	2176.11	1167.37	1063.81
6 hour	7918.41	8109.03	9134.44	11317.97	3986.14	4998.84	2946.38	3120.9

Total cumulative areas according to different ramp sizes in different temporal periods are given in Figure 5. In the figure, blue, grey, and yellow represent the cumulative areas over a 1, 3, and 6-hour period, respectively. According to the ramp formation powers, the cumulative areas above 5%, 7.5%, and 10% are on the left, middle, and right.

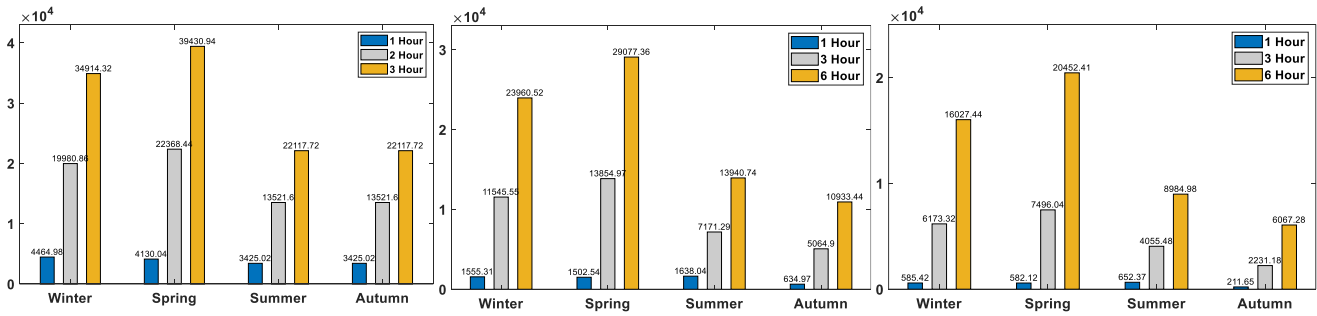


Figure 7. Total Cumulative Areas

CONCLUSION

This study aims to examine the seasonal ramp rates of the river-type hydroelectric power plant in Turkey. Because knowing the time and size of the ramps in plant generation provides excellent advantages in grid operation plans. For this purpose, the average hourly production of Turkey's 560 run-of-river hydroelectric power plants was used in the study. According to the generation of these plants, ramp events over 5%, 7.5%, and 10% compared to the installed power in 1, 3, and 6-hour periods were examined. For the investigation, 2021 plant generations were used, and these generations were evaluated seasonally. As a result of the evaluations, negative ramps are seen too much in ramp events of 5% and above compared to the installed power, while positive ramps are seen too much in ramp events over 7.5% and 10%. The lowest cumulative area in the histogram graphs of ramp events in 1-hour temporal periods was in the autumn season. The cumulative histogram area of the ramp events over 5%, 7.5%, and 10% of the installed power in 3 and 6-hour periods was seen the most in the spring season. The spring season was followed by winter, summer, and autumn seasons. According to these results, it is predicted that the effects of these resources on the grid integration can be minimized by taking precautions according to the occurrence directions, time, and size of the ramp events seen in RoRHPP generation. In further studies, hybrid optimization methods can determine plant clusters with minimum ramp events. In this way, ramp events in new plants can be minimized.

REFERENCES

- Andritz Hydro. (2015). Mini compact hydro. <https://www.andritz.com/resource/blob/33256/4cc3cf70a02bca500e3c8e0915b31c03/hy-mini-compact-brochure-en-data.pdf>
- Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları. (n.d.). Retrieved April 26, 2022, from <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>
- Bilgili, M., Bilirgen, H., Ozbek, A., Ekinci, F., & Demirdelen, T. (2018). The role of hydropower installations for sustainable energy development in Turkey and the world. *Renewable Energy*, 126, 755–764. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.089>
- Chen, X., Du, Y., & Wen, H. (2017). Forecasting based power ramp-rate control for PV systems without energy storage. 2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia, IFEEC - ECCE Asia 2017, 733–738. <https://doi.org/10.1109/IFEEC.2017.7992130>
- Dalcalı, A., Çelik, E., & Arslan, S. (2012). Mikro ve mini hidroelektrik santralleri için mikrodenetleyici tabanlı mikrodenetleyici tabanlı bir elektronik governor sisteminin tasarımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 130–135.
- Datta, D. (2013). Unit commitment problem with ramp rate constraint using a binary-real-coded genetic algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 13(9), 3873–3883. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.05.002>
- De La Parra, I., Marcos, J., García, M., & Marroyo, L. (2015). Control strategies to use the minimum energy storage requirement for PV power ramp-rate control. *Solar Energy*, 111, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.038>
- Dorado-Moreno, M., Navarin, N., Gutiérrez, P. A., Prieto, L., Sperduti, A., Salcedo-Sanz, S., & Hervás-Martínez, C. (2020). Multi-task learning for the prediction of wind power ramp events with deep neural networks. *Neural Networks*, 123, 401–411. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.12.017>
- Emir, A., Bozkuş, Z., & Yanmaz, A. M. (2014). Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerin Bilgisayar Destekli Ön

Tasarımı. İMO Teknik Dergi, 6925–6942.

European Small Hydropower Association - ESHA. (2004). Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. European Small Hydropower Association, 296. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.172.1731&rep=rep1&type=pdf>

Frate, G. F., Cherubini, P., Tacconelli, C., Micangeli, A., Ferrari, L., & Desideri, U. (2019). Ramp rate abatement for wind power plants: A techno-economic analysis. *Applied Energy*, 254(August), 113600. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113600>

González-Aparicio, I., & Zucker, A. (2015). Impact of wind power uncertainty forecasting on the market integration of wind energy in Spain. *Applied Energy*, 159, 334–349. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.104>

Karadol, İ., Yıldız, C., & Şekkeli, M. (2020). Türkiye’de RES Üretimlerindeki Rampa Olaylarının Minimize Edilmesi için Bölgesel Tesis Konumu Belirleyen Yeni Bir Optimizasyon Modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(4), 959–971. <https://doi.org/10.29109/gujsc.711743>

Kayahan, İ. (2019). Optimal Bidding and Real-Time Operation Strategies for Wind and Pumped Hydro Storage Systems Using Stochastic Programming and Model Predictive Control. In *YÖK Tez Merkezi* (Vol. 8, Issue 5).

Kim, M. J., & Kim, T. S. (2019). Integration of compressed air energy storage and gas turbine to improve the ramp rate. *Applied Energy*, 247(April), 363–373. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.046>

Kougias, I., Szabó, S., Monforti-Ferrario, F., Huld, T., & Bódis, K. (2016). A methodology for optimization of the complementarity between small-hydropower plants and solar PV systems. *Renewable Energy*, 87, 1023–1030. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.073>

Laghari, J. A., Mokhlis, H., Bakar, A. H. A., & Mohammad, H. (2013). A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 279–293. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.002>

Li, G., & Gu, C. (2020). Economic Dispatch of Combined Heat and Power Energy Systems Using Electric Boiler to Accommodate Wind Power. *IEEE Access*, 8, 41288–41297. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2968583>

Liu, G., Zhou, J., Jia, B., He, F., Yang, Y., & Sun, N. (2019). Advance short-term wind energy quality assessment based on instantaneous standard deviation and variogram of wind speed by a hybrid method. *Applied Energy*, 238(January), 643–667. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.105>

Martins, J., Spataru, S., Sera, D., Stroe, D. I., & Lashab, A. (2019). Comparative study of ramp-rate control algorithms for PV with energy storage systems. *Energies*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/en12071342>

Mercan, B. (2014). Orta Ölçekli Hidroelektrik Enerji Tesislerinin İncelenmesi için Örnek Bir Çalışma- Bağışlı Regülatörü ve Hes. In *İstanbul Teknik Üniversitesi /Enerji Enstitüsü* (Vol. 1). <http://www.springer.com/series/15440%0Apapers://ae99785b-2213-416d-aa7e-3a12880cc9b9/Paper/p18311>

Özdemir, M. T. (2012). Çok Küçük Hidroelektrik Santrallerde Akıllı Denetleyici Destekli Aktif ve Reaktif Güç Kontrolü.

Özyön, S., & Aydın, D. (2013). Incremental artificial bee colony with local search to economic dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operating zones. *Energy Conversion and Management*, 65, 397–407. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.005>

REN21. (2021). Renewables 2021 Global Status Report. In *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf%0Ahttp://www.ren21.net/resources/publications/

Sangal, S., Garg, A., & Kumar, D. (2013). Review of Optimal Selection of Turbines for Hydroelectric Projects. *Review of Optimal Selection of Turbines for Hydroelectric Projects*, 3(3), 424–430.

Süme, V., & Fırat, S. S. (2020). Hidroelektrik Santraller ve Rize İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 1–15.

Teleke, S., Baran, M. E., Bhattacharya, S., & Huang, A. (2010). Validation of battery energy storage control for wind farm dispatching. *IEEE PES General Meeting, PES 2010*, 24(3), 725–732. <https://doi.org/10.1109/PES.2010.5589640>

Temiz, A. (2015). Nehir Tipi Hidroelektrik Enerji Santrali Uygulamaları. In III. Enerji Verimliliği Günleri.

Ueckerdt, F., Brecha, R., & Luderer, G. (2015). Analyzing major challenges of wind and solar variability in power systems. *Renewable Energy*, 81, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.002>

Villarreal, J. L. S., Avalos, P. G., Galvan Gonzalez, S. R., & Dominguez Mota, F. J. (2019). Estimate electrical potential of municipal wastewater through a micro-hydroelectric plant. 2018 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2018, Ropec, 7–12. <https://doi.org/10.1109/ROPEC.2018.8661411>

Yıldız, V. (2015). Numerical simulation model of run of river hydropower plants: concepts, numerical modeling, turbine system and selection, and design optimization.

Zhao, J., Abedi, S., He, M., Du, P., Sharma, S., & Blevins, B. (2017). Quantifying Risk of Wind Power Ramps in ERCOT. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(6), 4970–4971. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2678761>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 13.09.2022
Kabul Tarihi : 30.11.2022

Received Date : 13.09.2022
Accepted Date : 30.11.2022

2048 OYUNU İÇİN FARKLI ALGORİTMALARIN PERFORMANS ANALİZİ

PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS ALGORITHMS FOR THE 2048 GAME

Sabri AYLIK^{1*}(ORCID: 0000-0001-9204-6927)
Hüseyin HAKLI²(ORCID: 0000-0001-5019-071X)

^{1,2}Necmettin Erbakan Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Sabri AYLIK, sabri.aylik@hotmail.com

ÖZET

2048, 4x4 ızgara üzerinde oynanan hücre kaydırmalı bir oyundur. 2048 oyunu kısa bir süre içerisinde insanlar arasında yayılarak önemli bir oynanma süresine sahip oldu. Popülerliğinin yanında, aksiyon sayısının az olmasına rağmen oluşabilecek çok fazla durumun bulunması nedeniyle yapay zeka araştırmacılarının dikkatini çekti. Tüm ihtimaller dikkate alındığında oyun tahtası üzerinde oluşabilecek durum sayısının 12^{16} olması ve oyundaki stokastik yapı dikkate alındığında oyunun zorluk derecesi görülmektedir. Literatürde 2048 oyunu üzerine uygulama içeren çalışmalar iki farklı yaklaşım altında değerlendirilmektedir. Bunlar öğrenme tabanlı yöntemler ve arama tabanlı yöntemlerdir. Bu çalışmada bu iki yöntem için en temel algoritmalar belirlendi. Arama tabanlı yöntemler olarak Derin Öncelikli Arama (Depth First Search - DFS) ve Monte Carlo Ağaç Arama (Monte Carlo Tree Search - MCTS) seçilirken, öğrenme tabanlı yöntem olarak Q-Öğrenme (Q-Learning) kullanıldı. Ayrıca algoritmalar budama ve rulet tekerliği gibi farklı teknikler ile uygulandı. Algoritmaların analizleri yapılırken skor ve maksimum karo metrikleri dikkate alındı. Skor metriği dikkate alındığında en başarılı algoritma DFS olurken, maksimum karo dikkate alındığında en başarılı yöntemin MCTS algoritması olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: 2048 oyunu, pekiştirmeli öğrenme, derin öncelikli arama, Monte Carlo ağaç arama, algoritma analizi

ABSTRACT

2048 is a cell shift game played on a 4x4 grid. The 2048 game spread among people quickly and had a significant playing time. In addition to its popularity, it attracted the attention of artificial intelligence researchers since many situations can occur despite the small number of actions. The number of situations that can occur on the game board is 12^{16} ; considering all the possibilities and the stochastic structure in the game are taken into account, the game's difficulty level is seen. In the literature, studies that include the implementation of the 2048 game can be evaluated mainly under two approaches. These are learning-based methods and search-based methods. In this study, basic algorithms for these two approaches have been determined. Q-Learning was used as a learning-based method when using Deep Priority Search (DFS) and Monte Carlo Tree Search (MCTS) as search-based methods. In addition, algorithms were applied with different techniques, such as pruning and the roulette wheel. Scores and maximum diamonds metrics were taken into account when analyzing algorithms. The most successful algorithm was DFS by score metric, while the MCTS algorithm was the most successful method under the maximum tile.

Keywords: 2048 game, reinforcement learning, depth-first search, Monte Carlo tree search, algorithm analysis

GİRİŞ

Günlük hayatta yaşamın nerdeyse her alanına girmiş olan yapay zekanın oyun sektörüne ilk adımları satranç oyunu üzerine oldu. 1950'lerden başlayarak birçok araştırmacının çalışmaları ve son yıllarda IBM'in vermiş olduğu destek sonucunda satranç alanında başarıya ulaşıldı (Newborn, 2000). Geliştirilen Deep Blue yapay zekası, dünya şampiyonu Garry Kasparov'u yapılan maçta yenmeyi başardı (Campbell et al., 2002). Deep Blue birçok bilgisayar bilimcisinin geliştirmiş olduğu arama algoritmalarını birleştirdi ve kazanmasının sebebi olarak ise bu durum gösterildi. Arama işlemi için en iyi oyuncuların eski oyun bilgileri kullanılarak bir veritabanı oluşturuldu. Oluşturulmuş olan bu veritabanında aramalar gerçekleştirerek en iyi hamle tespit edildi (Newborn, 2000). Yapay zeka araştırmacıları satranç alanında başarılı olduktan sonra daha zorlu bir oyun olan Go oyununa yöneldi. Go oyununun zor olmasının sebebi ise 10^{700} adet oyun durumu içermesiydi (Wang et al., 2016). Bu zorluk yapay zeka araştırmacılarının dikkatini çekmeyi başardı ve oyun üzerinde çalışmalar artış gösterdi. Yapılan çalışmalar sonucunda Deep Mind şirketinin 2016 yılında geliştirdiği AlphaGo programı 18 kez dünya Go şampiyonu olan Lee Sedol'u 5 maçlık seride 4:1 skor ile yenmeyi başardı (Siau and Wang, 2018; Wang et al., 2016). Lee Sedol'u yenmeyi başaran AlphaGo, uzman insanların oyunlarından danışmanlı öğrenme ve kendi kendine oynanan oyunlardan pekiştirmeli öğrenme tarafından eğitilen derin sinir ağlarının Monte Carlo Ağaç Arama yöntemi ile birleştirilmesi sonucunda oluşturulan bir bilgisayardı (Yu, 2016).

Araştırmacılar klasik oyunlarda başarı elde ettikten sonra bilgisayar oyunları üzerinde çalışmalar gerçekleştirmeye başladılar. Bu oyunlardan biri de 2048 oyunu oldu. 2048 oyunu, Gabriele Cirulli tarafından 2014 yılında bir Github projesi olarak geliştirildi. Oyunun yapımcısına göre yayınlandığı ilk haftada 2048 oyunu, 500 yıldan fazla oynama süresine sahipti (Jaśkowski, 2018). Devam eden iki hafta sonunda ise oyunun oynanma süresi 3000 yılı (Yeh et al., 2017). Bu kadar çok oynanmasının sebebi insanlar üzerinde bağımlılık oluşturması olarak tespit edildi. Oyunun kazanma kurallarının basit olmasına rağmen oyunu kazanabilmenin zor olması bu bağımlılığın önemli bir sebebi olarak görüldü. Oyun sadece zaman geçirmek isteyen insanların ilgisini çekmedi. Aynı zamanda yapay zeka araştırmacılarının da ilgisini çekmeği başardı ve yapay zeka ile ilgilenen insanların test ortamı olarak kullanılmaya başlandı (Matsuzaki, 2017).

2048 oyunu için kullanılacak yöntemler hakkında yapay zeka araştırmacıları arasında ortak bir karar alınmadı. Bunun sebebi araştırmacıların bir kısmı bunun bir öğrenme problemi (pekiştirmeli öğrenme, yapay sinir ağları, N-Tuple, vb) olduğunu savunmakta (Kondo and Matsuzaki, 2019; Boris and Goran, 2017) iken diğer araştırmacılar ise bunun bir arama problemi (Minimax, Expectimax, Averaged Depth Limited Search, Breath First Search, vb) olduğunu öne sürdüler (Nie et al., n.d.; Rodgers and Levine, n.d.). Bu alanda son çalışmalarda 2048 oyununun daha çok öğrenme problemi olarak değerlendirildiği görüldü. 2022 yılında Weikai ve Kiminori oyunu bir öğrenme problemi olarak değerlendirerek Derin Sinir Ağları (Deep Neural Networks - DNN) yöntemini kullandılar. DNN yönteminin kullanma sebebi olarak ise AlphaStar, AlphaGo, DeepStack vb. bilgisayar oyunlarındaki başarısını ve gelişimini belirttiler (Weikai and Kiminori, n.d.). Sauren Ağustos 2022'de yayımlanan tez çalışmasında 2048 oyunu için iyileştirilmiş bir pekiştirmeli öğrenme yöntemi sundu. Önerilen sistemde pekiştirmeli öğrenmenin güvenliği garanti etmek için kullanılan koruma (shielding) yönteminden faydalandı ve açgözlü/stratejisiz ajanlara göre performansı belirgin şekilde iyileştirdi (Sauren K, Jansen N, and Strüber D, 2022). Bu konuda farklı çalışmalar bulunmasına ve artış göstermesine rağmen yayına dönüşmesi konusunda aynı artış görülemedi. Bu makalede ise temel algoritmaların performans durumlarını görebilmek için hem öğrenme tabanlı hem de arama tabanlı yöntemler kullanıldı. Öğrenme tabanlı yöntem olarak Q-öğrenme yöntemi belirlenirken, arama tabanlı yöntemlerden DFS ve MCTS algoritmaları kullanıldı.

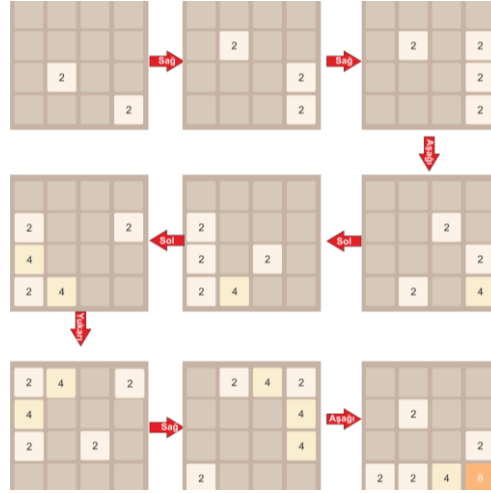
Bu çalışmada 2048 oyunu için DFS, MCTS ve Q-öğrenme algoritmalarının uygulanması ve sonuçlarının analizi yapıldı. Çalışma şu bölümlere ayrılmaktadır: Bölüm 2'de Materyal ve Metot, Bölüm 3'te 2048 Oyunu için uygulamalar ve Bölüm 4'te Bulgular ve Tartışma olarak sunuldu.

MATERYAL VE METOT

2048 Oyunu

2048 oyunu 4x4 ızgara üzerinde oynanan bir oyundur. Izgara üzerindeki her hücre ya boş ya da 2'nin bir üs kuvveti (2, 4, 8, 16 vb.) değerine sahip olmalıdır. Oyun farklı iki hücreye rastgele şekilde 2 veya 4 değerlerinden biri atanarak başlamaktadır. Kullanıcı dört farklı yönden (yukarı, aşağı, sol, sağ) birini seçmektedir. Sonrasında boş olmayan tüm hücreler seçilen yönde köşeye veya diğer boş olmayan hücrelerden birine çarpıncaya kadar kayar. Seçilen yön

doğrultusunda aynı değere sahip olan iki hücre çarpırsa bu hücrelerin değerleri toplanır ve köşeye daha yakın olan hücreye atanır. Bu işlem oyun tahtası üzerinde boş hücre kalmayınca kadar devam eder. Oyunun amacı hücreleri birleştirerek en yüksek hücre değerine sahip olmaktır. Şekil 1’de oyunun yapısı ve durumlar arası geçişleri gösteren bir görsel sunulmaktadır.



Şekil 1. Oyunun Yapısı

Oyun içerisinde temel metrik maksimum karo değeridir. Ayrıca maksimum karo değeri dışında oyunda yapılan geçişlerden elde edilen ‘skor’ adında bir metrik daha vardır. Bu skor değeri Algoritma 1’de verilen algoritma ile hesaplanmaktadır (Cirulli, 2014).

Algoritma 1. Oyun tahtasında skor değerinin hesaplanması

Girdi: *değerler*

Çıktı: Skor

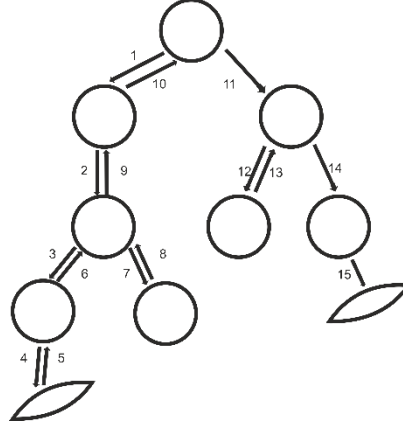
```
1 for satır=1 to 4 do
2     for sutun 1 to 4 do
3         derece = log(değerler[satır][sutun],2)
4         toplam_skor += (değerler [satır][ sutun]*(derece-1))
5     endfor
6 endfor
```

Skor ve maksimum karo arasında bir orantı bulunmasına rağmen değişim miktarı aynı seviyede ilerlememektedir. Örneğin iki farklı oyun tahtası durumunu ele alalım: Bunlardan birinde sadece bir adet 128 değeri bulunsun, diğerinde ise dört karo 64 değerine sahip olsun. Bu iki durum için ilk durumda maksimum karo değeri 128 olacaktır. İkinci durum için maksimum karo değeri 64 olacaktır. Fakat ilk durumun skor değeri 768 olurken ikinci durumun skor değeri 1280 olacaktır. Ayrıca maksimum karo metriğinde eşitlik durumu çok sıklıkla gerçekleşirken, skor metrikleri genellikle farklı olmakta ve durumlar arası daha net değerlendirme yapabilmek adına skor metriği avantaj sağlamaktadır. Bu sebeple performansların analizi için maksimum karonun yanında skor metriği de kullanılmıştır.

Derin Öncelikli Arama (Depth First Search)

Derinlik Öncelikli Arama (Depth First Search) bir ağaç tabanlı arama algoritmasıdır. Oluşabilecek tüm durumların tespit edilmesi ve en iyi durumun seçilmesi işleminde kullanılır. Derinlik tabanlı olarak çalışan bu algorithmada derinlik değeri arttıkça elde edilecek sonuçlarda doğrusal olarak artmaktadır. Ama derinlik değerinin artması işlem yükünü de arttırmaktadır. Bu sebeple zamansal olarak olumsuz etkilemektedir. Yukarıda belirtilenler dikkate alındığında derinlik değerinin seçilmesinde bu iki metrik dikkate alınmalıdır.

DFS yöntemi Şekil 2’de görüldüğü üzere önce bir durum için belirtilen derinliğe iner ve sonra diğer duruma geçer. Bu şekilde her durum için arama işlemini gerçekleştirmiş olur.



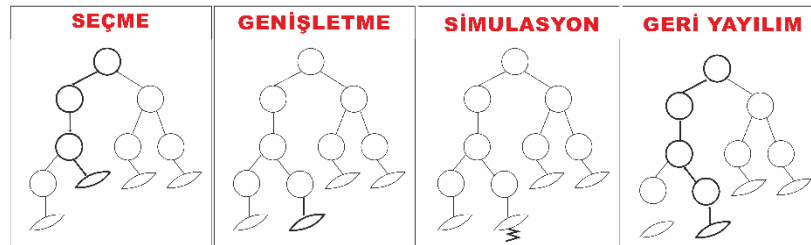
Şekil 2. DFS Çalışma Prensibi

Monte Carlo Ağaç Arama (Monte Carlo Tree Search)

Monte Carlo yöntemi, sayısal algoritmalar içinde uzun bir geçmişe sahiptir ve ayrıca çeşitli yapay zeka oyun oynama algoritmalarında, özellikle Scrabble ve Bridge gibi kusurlu bilgi oyunlarında önemli başarılarla sahiptir. Monte Carlo Ağaç Arama (Monte Carlo Tree Search) algoritması yapılabilecek eylemler sonucunda oluşabilecek durumları simüle ederek karar uzayını tespit ettikten sonra bu uzay üzerinde rastgele örnekler alır ve sonuçlara göre bir arama ağacı oluşturarak belirli bir alanda optimal kararları bulmayı amaçlamaktadır (Browne et al., 2012). Şekil 3, MCTS yönteminin çalışma prensibini göstermektedir.

Algoritma önceden tanımlı bir hesaplama maliyetine (derinlik, zaman, bellek) ulaşmaya kadar yinelemeli olarak bir arama ağacı oluşturur. Bu noktada arama işlemi duraklatılır. En iyi performansı gösteren eylem tespit edilir. Yukarıda anlatılan işlemler algoritmanın 4 farklı aşamasında gerçekleşir. Şekil 3'te görsel olarak verilen algoritmanın aşamaları şu şekilde anlatılabilir:

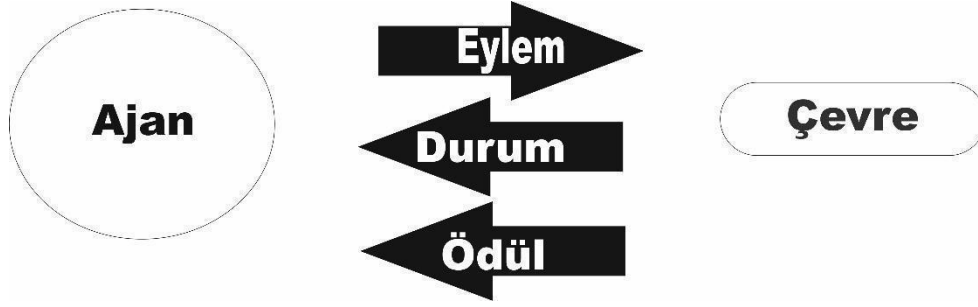
1. Seçim: Kök düğümden başlayarak en uygun düğüme ulaşılan kadar ağaçtan aşağı inmek için bir çocuk seçme politikası belirlenir.
2. Genişletme: Mevcut eylemlere göre ağacı genişletmek için bir (veya daha fazla) alt düğüm okunur.
3. Simülasyon: Yeni düğümlerden bir simülasyon, bir sonuca ulaşmak için varsayılan politikaya göre çalıştırılır.
4. Geri yayılım: Simülasyon sonucu, istatistiklerini güncellemek için seçilen düğüm aracılığıyla "yedeklenir" (yani geri yayılır).



Şekil 3. MCTS Çalışma Prensibi

Q-öğrenme (Q-Learning)

Pekiştirmeli öğrenme hayvan psikologlarının makine öğrenimi alanına kazandırdıkları bir yöntemdir (Mehta, 2014). Pekiştirmeli öğrenmede diğer makine öğrenimi yöntemlerindeki gibi girdi ve çıktı çifti istenmemektedir. Model kendi tecrübeleri ile öğrenme işlemi gerçekleştirir. En iyi sonuçları bulmak için yaptığı hamlelerden ödül ve cezalar elde eder. Q-öğrenme yaşam döngüsü Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Q-öğrenme Yaşam Döngüsü

Q-öğrenme yönteminde yapılacak hamlenin seçimi aşamasında Denklem (1)'de belirtilen Belman denklemi kullanılmıştır. Bu denklemden modelin kendi kendine öğrenmesi aşamasında eylemlerin seçilmesi için yararlanılmaktadır. Oluşabilecek durumlar arasında analiz yapılır ve maksimum değeri veren eylem seçilerek işlem tekrarlanır.

$$V(s) = \max_a (R(s,a) + \gamma V(s')) \quad (1)$$

Denklem (1)'de $V(s)$ belirli bir s durumunun değerini ifade ederken, $R(s,a)$ ise s durumunda a eylemi gerçekleştirildikten sonra alınan ödülü temsil etmektedir. s' sonraki durumu ifade ederken, $V(s')$ ise s durumunda a eylemi gerçekleştirildikten sonra oluşacak durumun değerini göstermektedir. Azaltma katsayısı γ ile durum geçişinden elde edilen ödüllerin etkisi kontrol edilmektedir.

Q-öğrenme, en temel pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinden biridir. Pekiştirmeli öğrenme bir ajanın değişen çevre koşullarında nasıl davranacağını öğrendiği önemli bir tekniktir. Markov karar süreci pekiştirmeli öğrenmede ajanın değişen çevreye karşı yaptığı davranışların ödül ceza sistemi ile modellenmesidir.

Q-öğrenme mevcut verilerden mümkün olan en yüksek faydayı sağlayacak şekilde politikalar çıkarmayı amaçlamaktadır. Q-öğrenme öğrenme işlemi gerçekleştirmek için matematiksel bir arka plan kullanır. Ajan çevre ile etkileşimde bulunarak deneyim toplamakta ve sonrasında elde edilen veriler ile politikayı geliştirmeyi amaçlamaktadır (Levine et al., 2020).

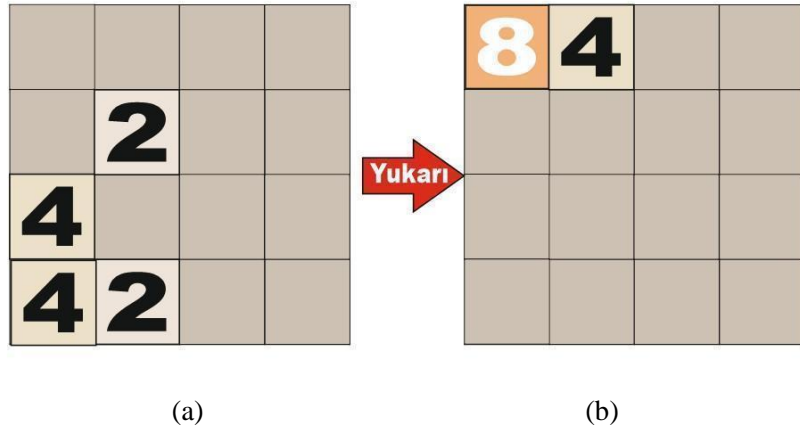
2048 OYUNU İÇİN ALGORİTMALARIN UYGULANMASI

Derin Öncelikli Arama (Depth First Search) Algoritmasının Uygulanması

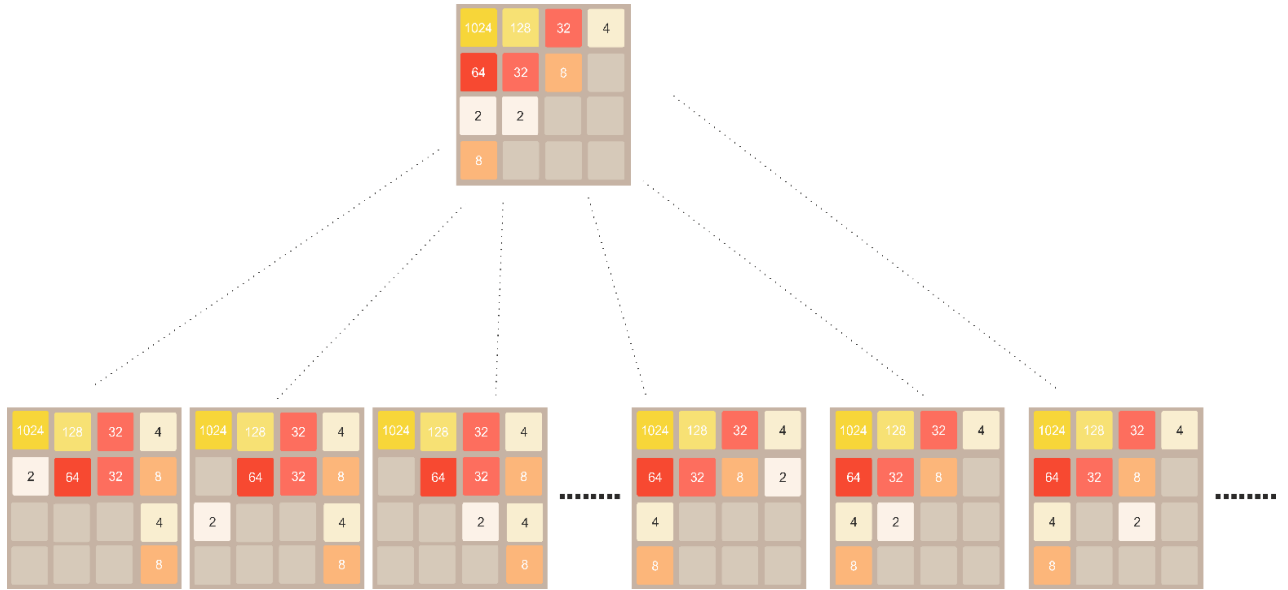
DFS algoritması ağaç tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde kök ve yapraklar bulunmaktadır. 2048 oyunu dikkate alındığında mevcut durum kökü oluştururken hamle sonrasında oluşabilecek durumlar yaprakları temsil etmektedir.

Arama ağacı oluşturulurken oyunda yapılabilecek dört hamle bulunmasına rağmen ağaç üzerinde oluşacak yaprak sayısı oyundaki stokastik durumdan dolayı bundan çok daha fazla olmaktadır. Bu durum Şekil 6 üzerinde açık bir şekilde görülebilmektedir. Ağaç üzerindeki bir kökten oluşacak yaprak sayısı hamle sonrasında oyun tahtası üzerindeki boş karo sayısı kadardır. Şekil 5 üzerinde de gösterildiği üzere Şekil 5.a'nın kök olduğu varsayarsak yapılan hamle sonrasında oluşan oyun tahtasında 14 adet boş karo olduğundan mevcut kökten oluşacak 14 yaprak bulunmaktadır. DFS algoritmasının diğer bir parametresi derinlik değeridir. Bu değer ağacın kaç hamle sonrasına kadar arama yapacağını belirler. Örneğin derinlik değeri 3 olan bir arama işleminde DFS algoritması 3 hamle boyunca oluşabilecek tüm durumları ağaç üzerinde oluşturur. Belirtilen derinlik değerine ulaşınca arama işlemini durdurur. Seçim işlemini gerçekleştirir.

Seçim işlemi yapılırken en optimal seçimi elde edilecek skor değerine göre yapmaktadır. Ağaç üzerindeki yapraklar (oluşabilecek durumlar) arasında en optimal durum belirlenir. Seçilen yaprağın sahip olduğu yön hamle yönü olarak seçilmiş olmaktadır. Şekil 6'da DFS yönteminde bir derinlikli ağaç yapısındaki muhtemel yapraklar gösterilmektedir.



Şekil 5. Boş Karo Sayısının Tespiti



Şekil 6. DFS Üzerinde Yaprakların Oluşması

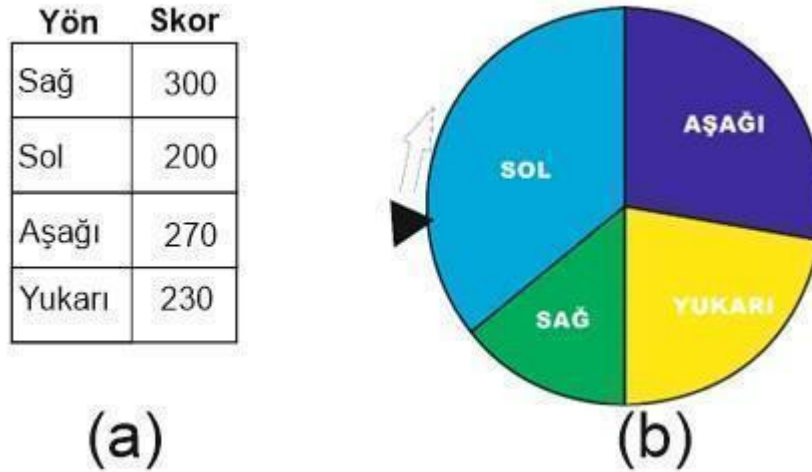
Monte Carlo Ağaç Arama (Monte Carlo Tree Search) Algoritmasının Uygulanması

MCTS temelde DFS algoritmasına benzer bir şekilde çalışmaktadır. MCTS algoritmasının DFS algoritmasından farkı ağaç yapraklarının genişletilmesi kısmında gerçekleşmektedir. Bu algoritma tıpkı DFS gibi bir arama ağacı oluşturmaktadır. Bu ağacın farkı derinlik değerindedir. DFS üzerindeki her yaprağın derinlik değeri eşit derecede iken MCTS algoritmasında yaprakların derinlik değerleri farklı olabilmektedir.

MCTS algoritmasında ilk adım arama ağacı üzerinde bir yaprak düğümü seçmektir. Başlangıçta her düğüm için sıfır değeri atanmaktadır. Yaprak düğümü seçilirken düğümlere atanmış olan bu değer dikkate alınmaktadır. Seçim yapıldıktan sonra seçilen düğüm kök kabul edilerek, bu kökün yaprakları oluşturulur. Bu sayede arama ağacı genişletilmiş olmaktadır. Sonrasında seçilmiş olan yaprak düğümünün skor değeri baz alınarak kök düğümünden seçilen yaprak düğümüne izlenen yoldaki tüm düğümlere bir değer atanmaktadır. Bu değer düğümün bulunduğu derinlik ile ters orantılı olarak paylaşılır.

Oyunun stokastik durumunu elimine etmek için MCTS ile birlikte rulet tekerleği yöntemi de kullanılmıştır. Rulet tekerleği karar uzayındaki sınıfların bulunma olasılıkları ile seçilme olasılıklarını doğru orantılı olduğunu varsayarak seçim gerçekleştiren bir algoritmadır. Rulet tekerleği yöntemi genellikle genetik ve evrimsel algoritmalarda kullanılır. Bunun sebebi mevcut arama yöntemlerinde N bireyden birini seçme işlemi $O(N)$ karmaşıklıkta yapılmaktadır. Fakat bu işlem yerine rulet tekerleği kullanılarak $O(1)$ karmaşıklık ile gerçekleştirilmektedir.

(Lipowski and Lipowska, 2011). Rulet tekerleği yöntemi ile başarılı oyunlarda en çok hangi eylemlerin kullanıldığını dikkate alınmakta ve bu eylemlerin seçilme olasılığı artırılarak MCTS ile beraber kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Jacobsen, Greve, and Togelius, 2014; Tong, n.d.). Rulet tekerleği yönteminin uygulanması Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil 7.a'da yapılan hamlelere karşılık elde edilecek skor değerleri mevcuttur. Şekil 7.b'de bu skor değerlerine ait oluşturulan rulet tekerleği bulunmaktadır. Şekil 7.a'da değer ne kadar yüksek ise o hamlenin şekil 7.b'de seçilme olasılığı o kadar yüksek olmaktadır. Hamle seçimi için tüm yönlere ait skor değerleri toplanır. Ardından sıfır ile toplam değer arasında rastgele bir sayı üretilir. Bu sayı hangi yönün bulunduğu aralığa düşerse o yön hamle yönü olarak seçilmektedir.



Şekil 7. Rulet Tekerleği Yönteminin Uygulanması

Q-öğrenme (Q-Learning) Algoritmasının Uygulanması

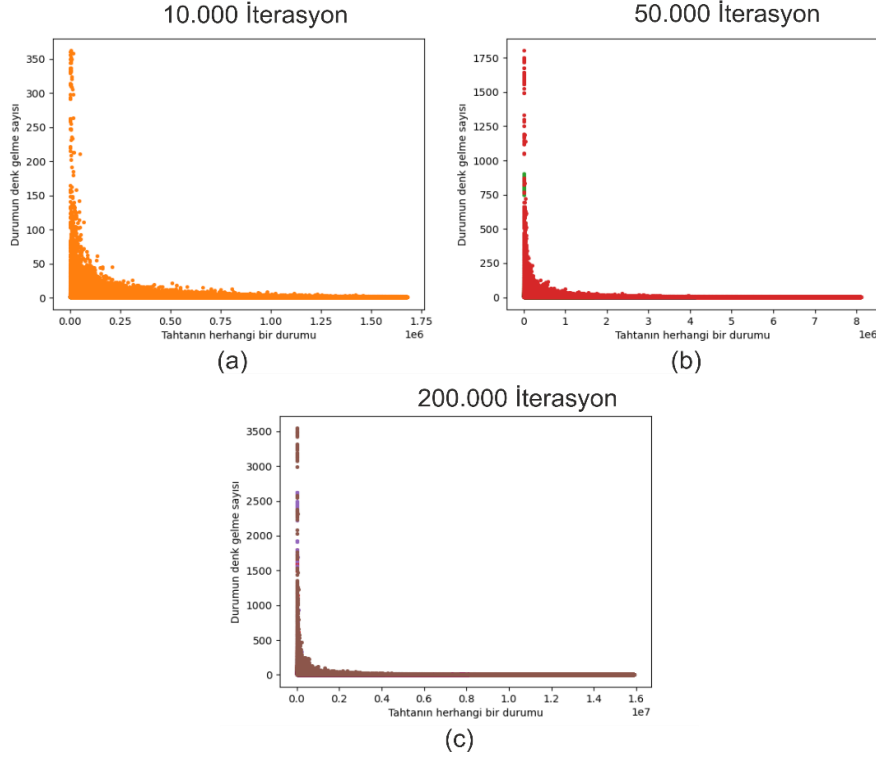
Q-öğrenme modelinin geliştirilmesi için durumlar ve eylemler arasında bir ödül sisteminin bulunması gerekmektedir. 2048 Oyunu için bu sistem eylem sonucunda oyun tahtasından elde edilecek skora göre yapılmaktadır. 2048 oyunu kendi kendine oynatılmaya başlanmaktadır. Yapılacak eylem seçilirken eylem sonrasında oluşan durumlar dikkate alınarak dört farklı yönden biri seçilmektedir. Bu işlem yapılabilecek hamle kalmayınca kadar devam etmektedir. Oyun sonlandıktan sonra elde edilen skor değeri daha önce belirlenmiş olan γ ile çarpılarak azaltılmaktadır. Bu değer in amacı oyun boyunca yapılan tüm hamleler arasından ilk hamlelerin daha yüksek ödül almasını sağlamaktadır. Böylece ilk hamleden son hamleye doğru azaltılarak ödüller verilmektedir. Verilen ödül değeri başlangıç hamleleri için daha yüksek olurken sonraki hamleler için daha küçük olmaktadır.

Oluşturulan ödül sistemi kayıt altına alınarak öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu sayede herhangi bir durum için farklı ödül değerleri verilerek en optimal ödül değerine ulaşması amaçlanmaktadır. Bu sebeple oyun 2×10^5 iterasyon ile eğitildi. Eğitim işlemi tamamlandıktan sonra oyun kaydedilmiş veriler doğrultusunda kararlar almaktadır. Böylece herhangi bir durum için hamle seçimi yapılırken en yüksek ödül değerine sahip olan yön hareket yönü olarak seçilmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Q-öğrenme yönteminin eğitilmesi aşamasında farklı öğrenme ve azaltma parametre değerlerinin kullanılmasına ve artırılan iterasyon sayısına rağmen istenen başarıya ulaşamadığı görülmüştür. Bunun sebebi oyun tahtası üzerinde keşfedilecek çok fazla durumun olmasıdır. Öğrenme sürecinde oynatılan 2×10^5 oyuna rağmen model kayda değer bir öğrenme gerçekleştirilememiştir.

Oyun tahtası üzerinde oluşabilecek 12^{16} farklı durum bulunmaktadır. Oynatılan 2×10^5 oyunda sadece 16×10^6 durum tespit edilebilmiştir. Eldeki veriler tespit edilebilen durumların sayısının ne kadar az olduğunu göstermektedir. Bu sebepten dolayı model öğrenmeyi başaramamıştır. Şekil 8 oynatılan oyun sayısına karşılık oyun tahtası üzerindeki durumların denk gelme sayılarını göstermektedir. İterasyon sayısının artırılmasının keşfedilmemiş durumlara yeterli miktarda etkisi bulunmamıştır.

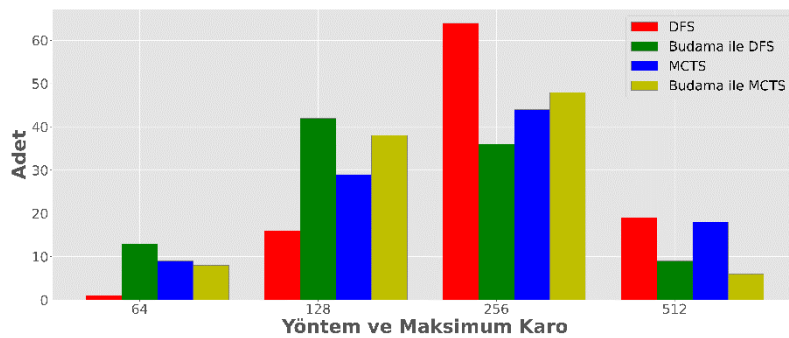


Şekil 8. Durumlar ve Denk Gelme Sayıları

Ağaç tabanlı modellerde herhangi bir eğitim durumu olmadığından geliştirilen modelden doğrudan sonuçlar alınabilmektedir. Ağaç tabanlı arama yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için tüm yöntemlerde yer alan derinlik parametresinin belirlenmesi gerekmektedir. Derinlik değeri, işlem yükünün durumu da değerlendirilerek 3 olarak belirlenmiştir. Derinlik değeri belirlendikten sonra her yöntem 100 kez çalıştırıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen metrikler dikkate alınarak karşılaştırılmıştır:

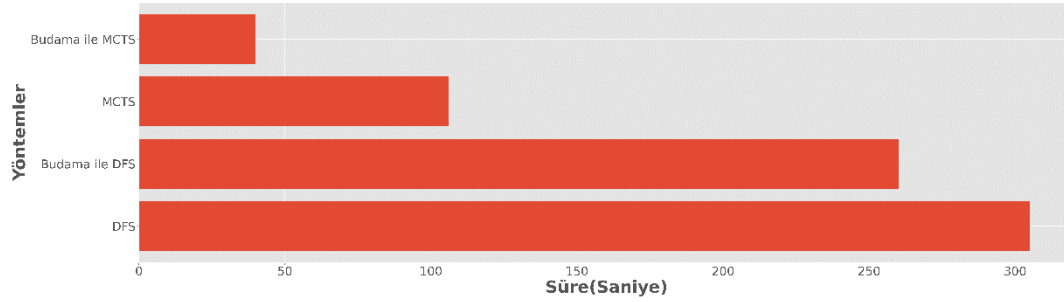
- Maksimum karo
- Zaman
- Skor
- Ortalama Hamle

Şekil 9’de maksimum karo değerine ait sonuçlar gösterilmiştir. Grafiğin yatay eksenini ulaşabilecek maksimum karoları, dikey eksenini yatay eksenindeki değere ulaşma adedini, yatay eksen üzerindeki farklı renkler ise yöntemleri ifade etmektedir. Şekil 9 incelendiğinde, elde edilen maksimum karo değeri 512 için en iyi yöntemlerin DFS ve MCTS olduğu görülmektedir. Bu yöntemlere uygulanan budama işlemlerinin başarı performansını olumsuz yönde etkilediğini gözlenmektedir. Yapılan işlemin olumsuz bir sonucu olmasına rağmen kullanılmasının sebebi iş yükünü azaltmasıdır. Böylece Şekil 10’da verilen grafikte görüldüğü üzere zamandan kazanç sağlamaktadır.



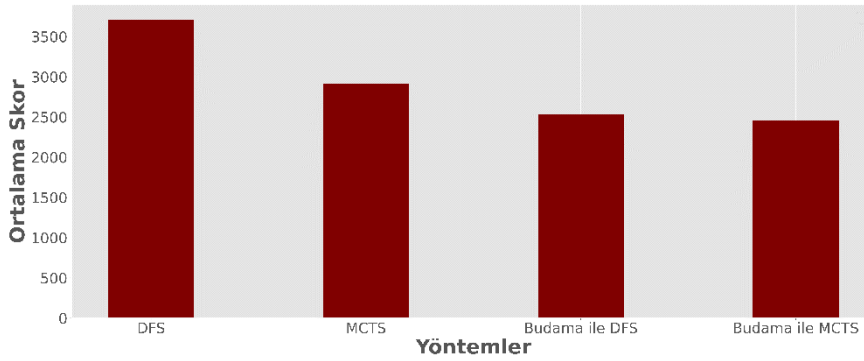
Şekil 9. Maksimum Karo Adet Grafiği

Şekil 10, yöntemlerin oynatılan 100 oyun için kaydedilen oyun sürelerinin ortalamasını göstermektedir. Bu doğrultuda Şekil 9’de en iyi başarıyı elde etmiş olan DFS yöntemi zaman göz önüne alındığında en kötü sonucu veren yöntem olduğu görülmektedir. Buna karşın Şekil 9’de en kötü başarıyı veren Budama ile MCTS ise oyun süresi dikkate alındığında diğer durumlara göre daha ön plana çıkmaktadır.



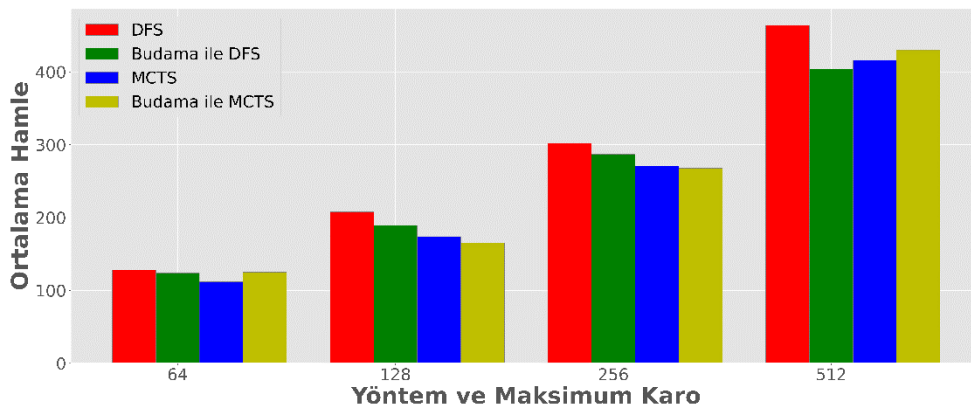
Şekil 10. Yöntemler Ortalama Oyun Süreleri

Oyundaki diğer bir başarı kriteri olan skor değeri dikkate alındığında Şekil 11’deki sonuçlar elde edilmiştir. Tablodaki sonuçlara bakıldığında aslında Şekil 9’deki sonuçlar ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Başka bir deyişle yöntemin elde ettiği maksimum karo değeri ne kadar yüksek ise o yöntem maksimum skor değerinde o derece yüksek başarı göstermektedir.



Şekil 11.Yöntemler ve Ortalama Skor

Şekil 12’de yöntemlerin elde ettikleri maksimum karo değerine göre ortalama hamle sayılarının grafiği verilmiştir. Bu grafiğe bakarak elde edilecek olan maksimum karo değeri için yapılacak olan hamle sayısının kullanılan yöntemle bağlı olmadığı sonucu çıkarılabilir. Çünkü farklı yöntemlerin aynı maksimum karoya ulaşmak için yaptıkları hamle sayıları arasında dikkate değer bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 12.Yöntemlerin Maksimum Karoya Göre Ortalama Hamle Sayısı

Giriş bölümünde verilen çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların ön işlem kısmında gerçekleştirdiği adımlar, kullanılan karmaşık ve ağır öğrenme süreçleri, bu süreçler için gerekli olan donanım ihtiyaçlarının karşılanamaması, aynı çalışma ortamının sunulmaması vb. durumları nedeniyle literatürde sunulan diğer yöntemler ile çalışmada verilen yöntemlerin aynı şartlar altında karşılaştırılması mümkün olmamaktadır. Ayrıca literatürde bulunan çalışmalarda da bu durum görülmüştür. Çalışmalar sadece kendi kullandıkları yöntemler için bir karşılaştırma sunabilmiş ve farklı çalışmalarda yer alan yöntemler ile karşılaştırma yapamamıştır.

Bu çalışmada ise ekstra bir donanım gerekmeden kişisel bir bilgisayar üzerinden 2048 oyunu temel öğrenme ve arama algoritmaları ile uygulanmış ve bu algoritmaların farklı metriklere göre performans karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlere uygulanan budama işlemlerinin başarı performansını olumsuz yönde etkilediğini gözlenmektedir. Yapılan işlemin olumsuz bir sonucu olmasına rağmen kullanılmasının sebebi iş yükünü azaltmasıdır. Böylece Şekil 10 'da verilen grafikte görüldüğü üzere zamandan kazanç sağlanmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada 2048 oyunu için farklı algoritmalar kullanılarak optimal bir şekilde oynanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda DFS, MCTS ve Q-öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan algoritmaların test edilmesi için her bir yöntem 100 defa çalıştırılmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılmasında zaman, skor, maksimum karo değeri ve hamle sayısı şeklinde dört farklı metrik kullanılmıştır. Öğrenme tabanlı Q-öğrenme algoritması, yüksek sayıda oyun tekrara rağmen olası durumların sadece küçük bir bölümünü gözlemleyebilmiş ve öğrenme sürecinde yetersiz kalmıştır. Arama tabanlı yöntemler skor ve maksimum karo metriklerinde iyi başarı gösterirken zaman metriği dikkate alındığında iyi sonuçlar verememiştir. Arama tabanlı yöntemlerde zaman metriği göz ardı edildiğinde en başarılı yöntem DFS olarak belirlenmiştir. Ağaç tabanlı algoritmalarda daha yüksek derinlik değerlerinin kullanılması daha etkili skor değerlerine ulaşabilmeyi mümkün kılmaktadır. Ağaç tabanlı yöntemlerde kullanılan budama işlemini daha farklı biçimlerde kullanmak iş yükünden ve zamandan kazanç sağlanabilmektedir.

Gelecek çalışmalar için, kullanılan arama algoritmaları farklı yöntemler ile desteklenerek performans iyileştirmeleri yapılabilir ve budama yönteminin zaman konusundaki avantajından yararlanmak için farklı budama yöntemleri test edilebilir. Ayrıca dinamik ve değişken sayıda derinlik değerleri kullanılarak zaman, bellek ve performans değerlendirmeleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Boris, T., & Goran, S. (2017). Evolving neural network to play game 2048. *24th Telecommunications Forum, TELFOR 2016*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2016.7818911>
- Browne, C. B., Powley, E., Whitehouse, D., Lucas, S. M., Cowling, P. I., Rohlfshagen, P., ... Colton, S. (2012, March). A survey of Monte Carlo tree search methods. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Vol. 4, pp. 1–43. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2012.2186810>
- Campbell, M., Hoane, A. J., & Hsu, F.-H. (2002). Deep Blue. In *Artificial Intelligence* (Vol. 134).
- Cirulli G. (2014). The Creator of the 2048 Game . https://github.com/gabrielecirulli/2048_improving_reinforcement_learning_performance. (n.d.).
- Jacobsen, E. J., Greve, R., & Togelius, J. (2014). Monte mario: Platforming with MCTS. *GECCO 2014 - Proceedings of the 2014 Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 293–300. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2576768.2598392>
- Jaśkowski, W. (2018). Mastering 2048 with delayed temporal coherence learning, multistage weight promotion, redundant encoding, and carousel shaping. *IEEE Transactions on Games*, 10(1), 3–14. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2017.2651887>
- Kondo, N., & Matsuzaki, K. (2019). Playing game 2048 with deep convolutional neural networks trained by supervised learning. *Journal of Information Processing*, 27, 340–347. <https://doi.org/10.2197/ipsjip.27.340>
- Levine, S., Kumar, A., Tucker, G., & Fu, J. (2020). *Offline Reinforcement Learning: Tutorial, Review, and Perspectives on Open Problems*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2005.01643>
- Lipowski, A., & Lipowska, D. (2011). *Roulette-wheel selection via stochastic acceptance*. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.12.004>

- Matsuzaki, K. (2017). Systematic selection of N-tuple networks with consideration of interinfluence for game 2048. *TAAI 2016 - 2016 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, Proceedings*, 186–193. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/TAAI.2016.7880154>
- Mehta, R. (2014). *2048 is (PSPACE) Hard, but Sometimes Easy*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1408.6315>
- Newborn, M. (2000). Deep Blue's contribution to AI. In *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* (Vol. 28).
- Nie, Y., Hou, W., & An, Y. (n.d.). *AI Plays 2048*.
- Rodgers, P., & Levine, J. (n.d.). *An Investigation into 2048 AI Strategies*. Retrieved from <http://www.veewo.com/games/>
- Sauren K, Jansen N, and Strüber D. (2022). Improving Reinforcement Learning Performance in 2048 Using Expert Knowledge.
- Siau, K., & Wang, W. (2018). *Building Trust in Artificial Intelligence, Machine Learning, and Robotics Supply Chain Management View project*. Retrieved from www.cutter.com
- Tong, S. (n.d.). *Roulette Wheel Selection Game Player*. Retrieved from https://digitalcommons.macalester.edu/mathcs_honors/30
- Wang, F. Y., Zhang, J. J., Zheng, X., Wang, X., Yuan, Y., Dai, X., ... Yang, L. (2016). Where does AlphaGo go: From church-turing thesis to AlphaGo thesis and beyond. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 3(2), 113–120. <https://doi.org/10.1109/JAS.2016.7471613>
- Weikai, W., & Kiminori, M. (n.d.). *Improving DNN-based 2048 Players with Global Embedding*. Retrieved from <https://github.com/wwk1397/Improving-DNN->
- Yeh, Kun Hao, I. Chen Wu, Chu Hsuan Hsueh, Chia Chuan Chang, Chao Chin Liang, and Han Chiang. (2017). "Multistage Temporal Difference Learning for 2048-like Games." *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* 9(4):369–80. doi: 10.1109/TCIAIG.2016.2593710.
- Yu, Haofeng. (2016). From Deep Blue to DeepMind: What AlphaGo Tells Us.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 13.09.2022
Kabul Tarihi : 17.10.2022

Received Date : 13.09.2022
Accepted Date : 17.10.2022

HELİSEL KANATLI BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE HAVA TARAFI ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜMÜNÜN SAYISAL ANALİZİ

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE AIR-SIDE HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP WITH HELICAL FINNED-TUBE HEAT EXCHANGERS

Murat GÖRELİ (ORCID: 0000-0003-0261-8579)
*İ. Gökhan AKSOY** (ORCID: 0000-0002-8798-5847)

İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İ. Gökhan AKSOY, gokhan.aksoy@inonu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada helisel kanatlı borulu bir ısı değiştiricisinin Ansys-Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programında sayısal çözümü yapılmıştır. Sayısal çözümde akışkan giriş sıcaklığı ve boru dış yüzey sıcaklığı sabit tanımlanmış, akışkan olarak da dış ortam havası kullanılmıştır. Analizlerde kanat yüksekliği, boru çapı, kanat kalınlığı ve kanat adımı değiştirilerek 5000-20000 Re sayısı aralığında hesaplanan giriş hızlarıyla, elde edilen çıkış sıcaklıkları ve basınç düşümüne göre Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü incelenmiştir. Değişken parametrelerden boru çapı ve kanat adımının artması ısı transfer etkisini artırırken, kanat yüksekliğinin ve kanat kalınlığının artması ise ısı transfer etkisinin azalttığı görülmüştür. Ayrıca, kanat kalınlığı ve kanat adımının artması sürtünme etkisini artırırken, boru çapı ve kanat yüksekliğinin artması ise sürtünme etkisinin azaldığı görülmüştür. Sayısal analizin doğrulaması literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmış ve sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Helisel kanat, ısı değiştiricisi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

ABSTRACT

In this study, numerical analysis of a helical finned tube heat exchanger was performed in the Ansys-Fluent computational fluid dynamics (CFD) package program. In the numerical analysis, fluid inlet temperature and pipe outer surface temperature was defined as constant and surrounding air was used as a fluid. In the analysis, Nusselt number and friction factor were investigated according to the inlet velocities calculated in the range of 5000-20000 Re number, obtained outlet temperatures and pressure drop by changing the fin height, pipe diameter, fin thickness and fin pitch. It has been seen that increasing the pipe diameter, fin pitch increases the heat transfer, besides increasing the fin height and fin thickness decreases the heat transfer. In addition, it has been observed the fin thickness and fin pitch increases the friction factor, besides increasing the pipe diameter and fin height decreases friction factor. The verification of numerical results was done by compared the experimental results in the literature and a good agreement was observed between results.

Keywords: Helical fin, heat exchanger, computational fluid dynamics

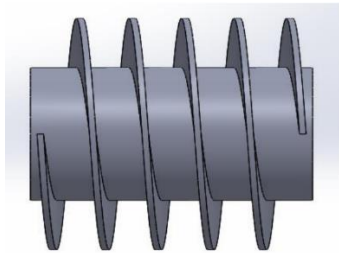
GİRİŞ

Isı değiştiricileri farklı sıcaklıklarda olan akışkanları katı bir cidar boyunca birbirinden ayrılıp aralarında ısı geçişi sağlayan sistemlerdir. Günümüzde yaygın olarak kanatlı borulu ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Çapraz akışlı ısı değiştiricileri şeklinde de ifade edilen bu ısı değiştiricilerinde, sıvı akışkan boru içerisinden geçerken, gaz akışkan ise kanatlı boru yüzeyden geçmektedir. Kanat geometrisi, kanat yüksekliği, kanat kalınlığı, kanat adımı ve boru sıra sayısı gibi birçok parametre ısıl performansı etkilemektedir. Bu parametreleri dikkate alan deneysel ve sayısal çalışma literatürde mevcuttur. L ayaklı spiral kanatlı-borulu ısı değiştiricisinin hava tarafı ısı taşınım katsayısı, Nusselt sayısı, Colburn ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısına bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca, Colburn ve sürtünme faktörünü veren bağıntılar elde edilmiştir (Kırtepe, 2014). Farklı Reynolds sayılarında spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisi deneysel olarak yapılan çalışmada Colburn faktörü ve sürtünme faktörü incelenmiştir (Pongsoi et al., 2012b). 3500-13000 Reynolds sayılarında L ayaklı spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisinin hava tarafındaki performansı deney olarak incelemiştir (Pongsoi et al., 2012a). Spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisinin hava giriş hızı, suyun kütledebisi, suyun giriş sıcaklığı ve kanat hatvesi değiştirilerek deneysel olarak optimum kanat hatvesi belirlenmeye çalışılmıştır (Pongsoi et al., 2012c). Farklı Reynolds sayılarında L ayaklı spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisi kanat adımının değiştirilmesini ısı transfer performansına ve sürtünme karakteristiğine etkisi deneysel olarak incelemiştir (Pongsoi et al., 2013). Plaka tipli ısı değiştiricisinde kanatların levha yüzeyine yerleştirilmesiyle Fluent programıyla ısı geçiş etkisi incelenmiştir (Karabulut, 2011). Kanatlı boru tipi ısı değiştiricisi sayısal modellemesi yapılarak performans bakımından uygun kanat geometri tespiti yapmıştır (Çorak, 2010). İç içe çift borulu ısı değiştiricisine yerleştirilmiş çeşitli kanat yapısını Fluent programıyla ısı geçiş etkisini sayısal olarak incelemiştir (Kayataş, 2003). Kaydırılmış sıra ile düzgün sıralı dizilişe sahip dairesel kanatlı boru demetlerinin kanat arası mesafe değişimiyle Fluent programıyla ısı transferi ve basınç düşümü etkisi incelenmiştir (Mon and Gross, 2004). Düz kanatlı borulu ısı değiştiricisinde farklı kanat geometrileri kullanarak Fluent programıyla basınç düşümü ve ısı geçişi sayısal olarak incelemiştir (Erek et al., 2005). Kanatlı borulu ısı değiştiricisinde kanat açıları değiştirilerek basınç düşümü ve ısı geçişi Fluent programıyla sayısal olarak incelemiştir (Şahin et al., 2007). Helisel sarıllı kanatlı borulu ısı değiştiricisinin havanın giriş sıcaklığı sabit tutularak suyun giriş sıcaklığı, kütledebisi ve havanın debisini değiştirerek ısı geçiş etkisi deneysel olarak incelenmiştir (Srisawad and Wongwises, 2009). Çalışmada kullanılan farklı boru demetleri olan spiral kanatlı boru demetlerinde ısı geçiş ve basınç düşümü deneysel olarak incelenmiştir (Naess, 2010). Spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisinde kanat adımı ve kanat malzemesinin hava tarafına olan ısıl performansı deneysel olarak incelenmiştir (Pongsoi et al., 2011).

Bu çalışmada, helisel kanatlı borulu bir çapraz akışlı ısı değiştiricisinin ısı ve akış performansı sayısal olarak incelenmiştir. Değişken parametre olarak kanat yüksekliği, boru çapı, kanat kalınlığı ve kanat adımı dikkate alınarak, 5000-20000 Re sayısı aralığında Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

DEĞİŞKEN PARAMETRELER

Şekil 1'de akış ortamında helisel kanatlı boru gösterilmiştir. Şekil 2'de ise akış ortamında helisel kanat boru demetinin perspektif görünümü verilmiştir. Boru demeti kaydırılmış olarak düzenlenmiş olup, akış yönünde 4 sıradan oluşmaktadır. Sayısal hesaplamalarda boru yüzey sıcaklığı sabit alınarak sadece boru demetindeki dışarıda olan hava akışı dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Helisel Kanatlı Boru



Şekil 2. Helisel Kanatlı Boru Demeti

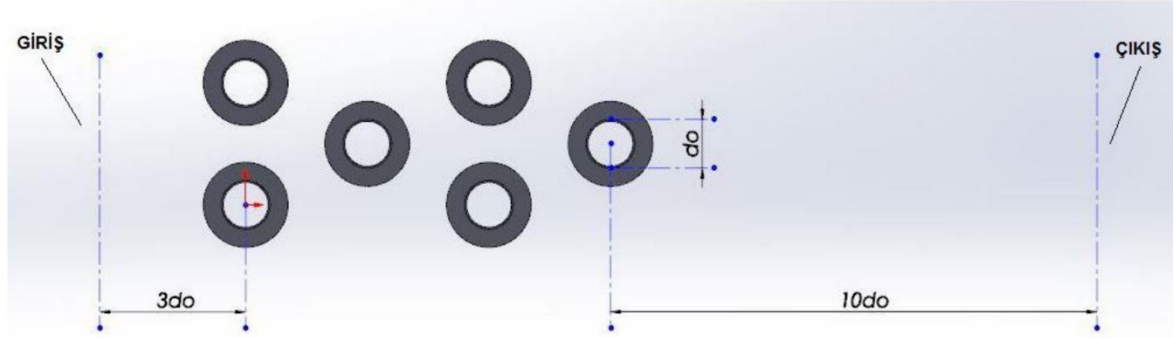
Sayısal hesaplamada dikkate alınan kanat adımı, kanat yüksekliği, kanat kalınlığı ve boru çapı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Geometri için Belirlenen Parametreler

Değişken Parametreler			
f_p (mm)	h (mm)	f_i (mm)	d_o (mm)
2,5	5	0,4	21,0
4,5	10	1,0	26,9
8,0	16	1,2	34,0

SAYISAL MODELLEME

Sayısal çalışmada Ansys-Fluent programı kullanılarak üç boyutlu analiz yapılmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi hava girişi $3d_o$, çıkış ise $10d_o$ mesafeden tanımlanmıştır. Yakınsama kriterleri için programdaki varsayılan değerler dikkate alınmıştır. Parametrelere bağlı olarak yapılan analizler yaklaşık 5-6 saat sürmüştür.



Şekil 3. Sayısal Modellemede Hava Giriş ve Çıkışı

Isı ve Akış Denklemleri

Üç boyutlu akış modelinde hava akımı için kullanılan süreklilik ile Navier-Stokes denklemi aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{ij} - \overline{\rho u'_i u'_j}) \quad (2)$$

Viskoz kayma gerilmesi:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (3)$$

Akış boyunca entalpi ve kinetik enerjinin hesaplaması için kullanılan Reynolds ortalamalı enerji denklemi:

$$\frac{\partial(\rho h_{total})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i h_{total})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_j h} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(u_i (\tau_{ij} - \overline{\rho u'_i u'_j}) \right) \quad (4)$$

burada h_{total} ile k sırasıyla,

$$h_{total} = h + \frac{1}{2} u^2 + k, \quad k = \frac{1}{2} \overline{u_i^2}$$

ifadeleri ile tanımlanır.

Türbülans Model

Bu tür çalışmalarda genel olarak iki farklı türbülans modeli kullanılmaktadır. Bunlar RNG (Renormalization Group) k-ε türbülans modeli ile SST (Shear Stress Transport) k-ε türbülans modelleridir. Yaptığımız çalışmada RNG k-ε türbülans modelinden elde edilen sonuçlar deneysel verilere daha yakın çıktığından bu türbülans modeli seçilmiştir.

Termofiziksel Özellikler

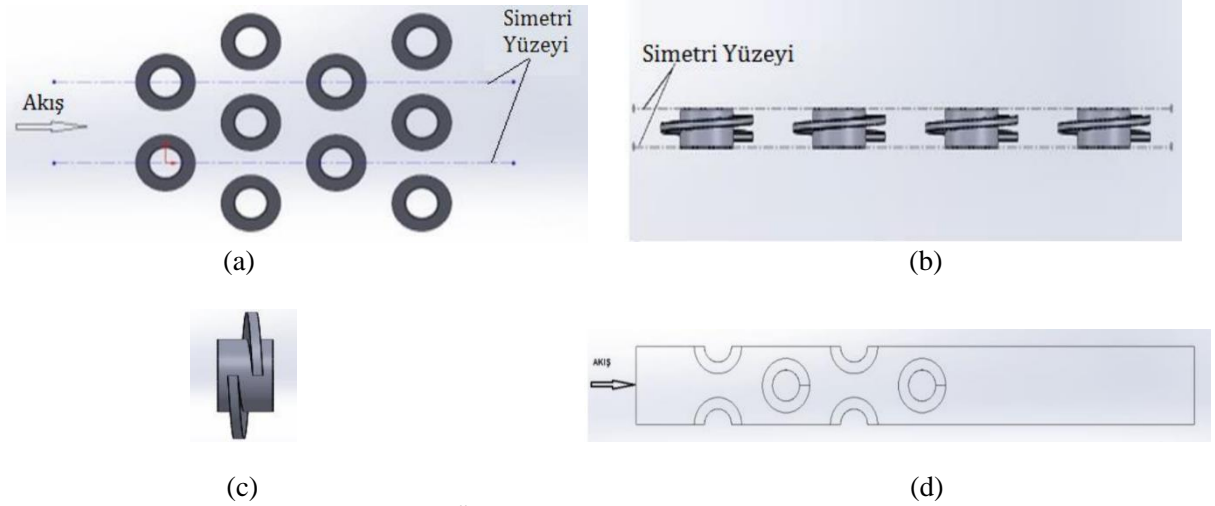
Yapılan çalışmalarda akışkan olarak hava kullanılmıştır. Havanın özelliklerini belirlemek için Tablo 2’de sıcaklığa bağlı verilen özellikler kullanılmış ve ara sıcaklık değerleri için Excel’de hazırlanan interpolasyon formülüyle gerekli özellikler alınmıştır.

Tablo 2. Havanın Özellikleri (Çengel, 2015)

T(°C)	ρ [kg/m ³]	c_p [kJ/kg.K]	k[W/m.K]	μ [k/m.s]x10 ⁵
15	1,225	1007	0,02476	1,802
20	1,204	1007	0,02514	1,825
25	1,184	1007	0,02551	1,849
30	1,164	1007	0,02588	1,872
35	1,145	1007	0,02625	1,895

Sınır Şartları

Akışkan için hız girişi, çıkış için basınç çıkış sınır şartı tanımlanmıştır. Çıkış basıncı olarak atmosfer basıncı alınmıştır. Boru yüzey sıcaklığı sabit olarak kabul edilmiş olup 373 K olarak alınmış, havanın giriş sıcaklığı 293 K olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmaya benzer durumlarda da sabit yüzey sıcaklıkları tanımlanmıştır. Kanat yüzeyi ise iletim-taşınım sınır şartı (via System Coupling) seçilmiştir. Analiz süresi kısaltmak için Şekil 4(a-b)’de gösterildiği gibi simetri yüzeyleri tanımlanarak simetri sınır koşulu seçilmiştir. Simetri yüzeyi Şekil 4(c)’de verildiği gibi tek kanat adımı (360°) olacak şekilde çizilmiş ve tasarıma uygun HAD modeli Şekil 4(d)’de gösterilmiştir.



Şekil 4. HAD Modelinin Simetri Durumu (a) Üstten Görünüş (b) Yandan Görünüş (c) Tek Kanat Formu (d) HAD Modeli

Hesaplama Yöntemi

Reynolds sayısı maksimum akış hızı dikkate alınarak,

$$Re = \frac{\rho u_{max} d_o}{\mu} \quad (5)$$

ifadesinden bulunur. Burada, u_{max} minimum akış alanındaki akışkan hızı, d_o boru dış çapı, ρ ve μ ise akışkanın ortalama sıcaklıktaki yoğunluğu ve dinamik viskozitesidir.

Toplam ısı transferi, logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve toplam ısı transfer katsayısı sırasıyla,

$$Q_{top} = \dot{m} c_p (T_{c2} - T_{c1}), \quad \Delta T_{ln} = \frac{(T_w - T_{c1}) - (T_w - T_{c2})}{\ln\left(\frac{T_w - T_{c1}}{T_w - T_{c2}}\right)}, \quad U = \frac{Q_{top}}{A_{top} \Delta T_{ln}} \quad (6)$$

ifade edilir. Burada, \dot{m} akışkanın kütledebisi, c_p akışkanın özgül ısı, T_{c1} ve T_{c2} sırasıyla akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, T_w boru yüzey sıcaklığı, A_{top} toplam ısı transfer yüzey alanıdır.

Toplam yüzey verimi,

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A_o} (1 - \eta_f) \quad (7)$$

ifade edilir. Burada, A_f toplam kanat yüzey alanı, A_o toplam ısı transfer alanı, η_f kanat verimidir. Kanat verimi ifadesi (Çengel, 2015) kaynaktan referans alınmıştır.

Toplam ısı direnci,

$$\frac{1}{UA_o} = \frac{1}{h_i A_i} + R_t + \frac{1}{\eta_o h_o A_o} \quad (8)$$

ifade edilir. Burada eşitliğin sağındaki ilk terim boru içi akışkanın ısı taşınım direnci, ikinci terim borunun ısı iletim direnci ve son terim ise borunun dışındaki kanatlı yüzeyin ısı taşınım direncidir. Boru dış yüzeyi sabit sıcaklık kabul edildiğinden, boru içi ısı taşınım direnci ve borunun ısı iletim direnci ihmal edilebilir. Bu durumda toplam ısı direnci,

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\eta_o h_o} \quad (9)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Nusselt sayısı Denklem 10'da ifade edilmiştir.

$$Nu = \frac{h_o d_o}{k_{hava}} \quad (10)$$

burada, k_{hava} havanın ısı iletim katsayısıdır.

Akışkan ve boru arasındaki etkileşime bağlı olarak bir borudaki akışkanın basınç kaybını temsil eden f sürtünme faktörü Denklem 11'de verilmiştir (Pongsoi et al., 2012c).

$$f = \frac{A_{min} \rho}{A_o} \left[\frac{2\Delta P}{G_C^2} \right] \quad ve \quad G_C = \frac{\dot{m}}{A_{min}} \quad (11)$$

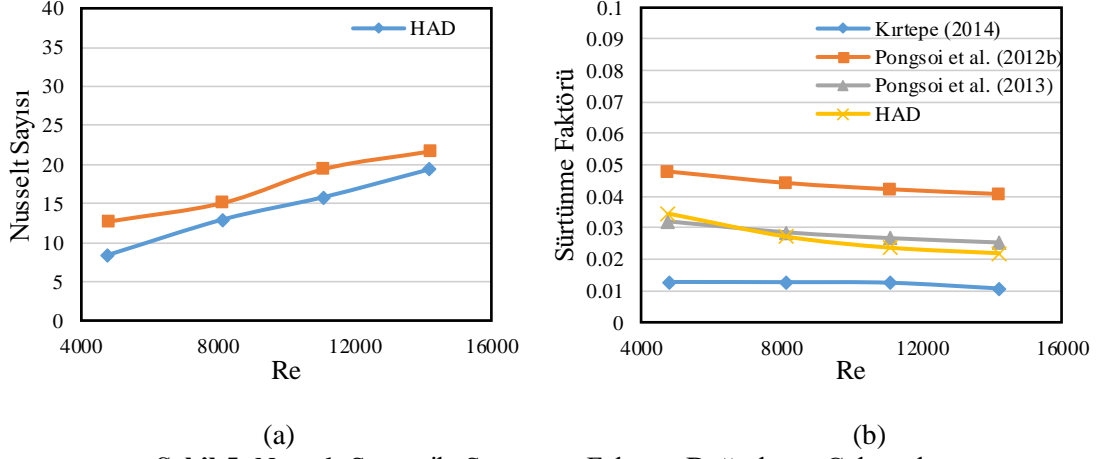
burada, A_{min} minimum akış alanı, A_o toplam yüzey alanı, G_C kütle akısı, ΔP basınç düşümü ve \dot{m} kütleli debidir.

Sayısal analizlerde geometrik parametrelere bağlı olarak 5000 ile 20000 aralığındaki Re sayılarında ısı taşınım katsayısı ve sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Sayısal analizlerde akışkanın giriş hızı Re sayısından maksimum hız çekilerek kütlenin korunumu denkleminde hesaplanmıştır. Isı taşınım katsayısı hesabında ise, sayısal analiz sonucu elde edilen akışkanın çıkış sıcaklığı ve kütleli debisi okunmuştur. Akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları dikkate alınarak ortalama akışkan sıcaklığı hesaplanmış ve bu değere göre akışkanın termofiziksel özellikleri Tablo 2' den interpolasyon ile bulunmuştur. Denklem 6'da verilen formüller kullanılarak, toplam ısı transferi, logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve toplam ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır. Kanat verimi (η_f) hesaplanarak, Denklem 7' den toplam yüzey verimi (η_o) ve Denklem 9'dan ise hava tarafı ısı taşınım katsayısı (h_o) hesaplanmıştır. Son işlem olarak Denklem 10 kullanılarak Nu sayısı bulunmuştur. Sürtünme faktörü ise sayısal analizden bulunan basınç düşümü (ΔP) kullanılarak Denklem 11'de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

TARTIŞMA

Doğrulama Çalışması

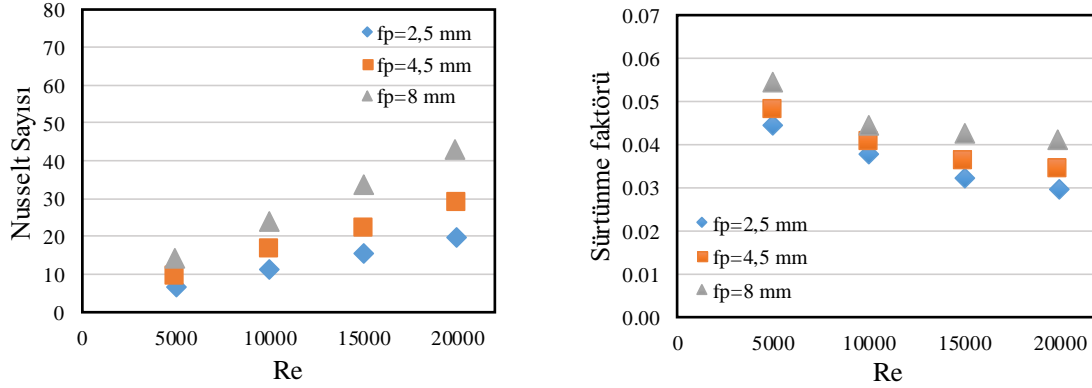
Helisel kanatlı boru demetleri için elde edilen sayısal sonuçlar doğrulama çalışması amacıyla Şekil 5 (a-b)' de gösterildiği gibi literatürdeki deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Re sayısının ortalama 14200 değerinde sayısal analizde hesaplanan Nusselt sayısı deneysel sonuca (Kırtepe, 2014) %10' luk bir hata miktarı ile yaklaşmıştır. Sürtünme katsayısı ise deneysel sonuca (Pongsoi et al., 2013) %13' lük bir hata miktarı ile yakınsamış, ayrıca diğer deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçların arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Nusselt Sayısı ile Sürtünme Faktörü Doğrulama Çalışmaları

Kanat Adımının Etkisi (f_p)

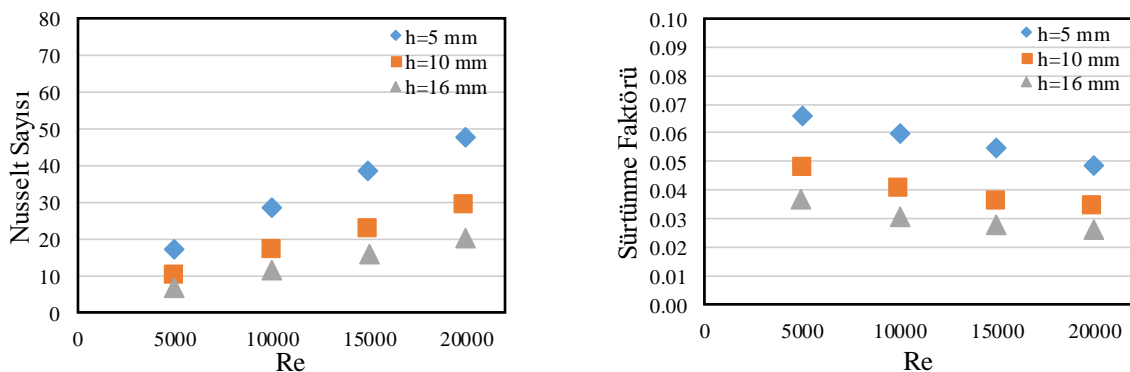
Şekil 6'da üç farklı kanat adımı için Re sayısına bağlı Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün değişimi gösterilmiştir. Sayısal analizlerde Tablo 1'in 2. satırındaki kanat adımı dışındaki diğer parametreler sabit alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Kanat adımının belli bir değeri için Re sayısının artması ile ısı performansının arttığı buna ters olarak da sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca, belli bir Re sayısı için kanat adımının artması ile Nu sayısı ve sürtünme faktörünün arttığı görülmüştür.



Şekil 6. Kanat Adımının Etkisi

Kanat Yüksekliğinin Etkisi (h)

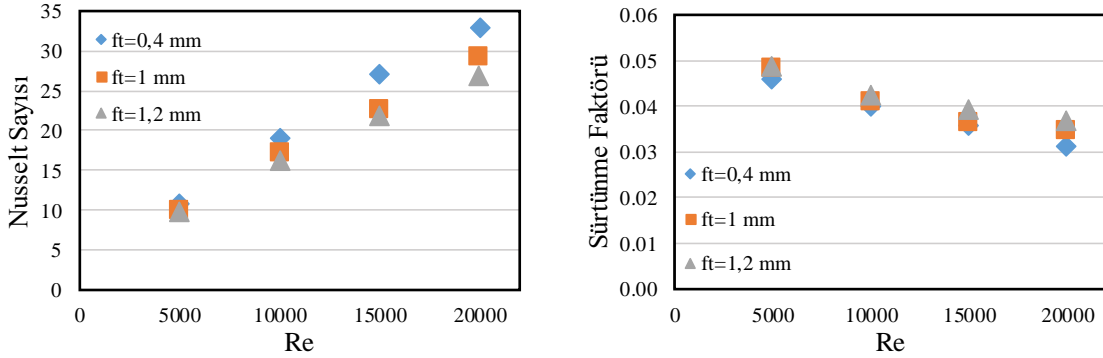
Şekil 7'de üç farklı kanat yüksekliği için Re sayısına bağlı Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün değişimi gösterilmiştir. Tablo 1'in 2. satırındaki kanat yüksekliği dışındaki diğer parametreler sabit alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Kanat yüksekliğinin belli bir değeri için Re sayısının artması ile ısı performansının arttığı buna bağlı olarak da sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Re sayısının belli bir değeri için kanat yüksekliğinin azalması ile Nu sayısı ve sürtünme faktörünün arttığı görülmüştür.



Şekil 7. Kanat Yüksekliğinin Etkisi

Kanat Kalınlığının Etkisi (f_t)

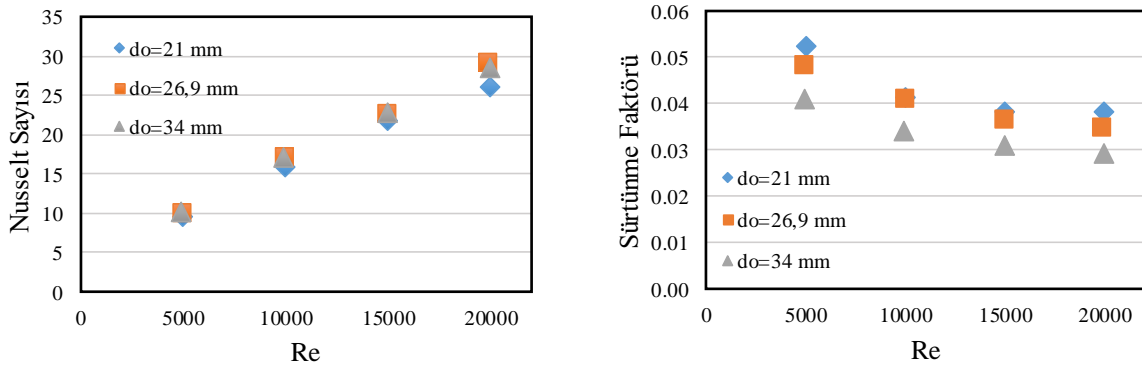
Şekil 8'de üç farklı kanat kalınlığı için Re sayısına bağlı Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün değişimi gösterilmiştir. Tablo 1'in 2. satırındaki kanat kalınlığı dışındaki diğer parametreler sabit alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Kanat kalınlığının belli bir değeri için Re sayısının artması ile ısı performansının arttığı buna bağlı olarak da sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Re sayısının belli bir değeri için kanat kalınlığının azalması ile Nu sayısı arttığı ve sürtünme faktörünün azaldığı görülmüştür.



Şekil 8. Kanat Kalınlığının Etkisi

Boru Çapının Etkisi (d_o)

Üç farklı boru çapına göre Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Tablo 1'in 2. satırındaki boru çapı dışındaki diğer parametreler sabit alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Boru çapının belli bir değeri için Re sayısının artması ile ısı performansının arttığı buna bağlı olarak da sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Re sayısının belli bir değeri için boru çapının artması ile Nu sayısının çok az miktarda arttığı ve sürtünme faktörünün azaldığı görülmüştür.



Şekil 9. Boru Çapının Etkisi

SONUÇLAR

Helisel kanatlı borulu ısı değiştiricisinin hava tarafı ısı transferi ve basınç düşümü geometrik parametrelere bağlı olarak sayısal analizi yapılmıştır. Geometrik parametrelerin değişiminin ısı transferi ve basınç düşümü üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Geometrik parametrelerin değişimi sonucu Nu sayısı ve sürtünme faktörünün değişimi Re sayısına bağlı olarak grafiklerde gösterilmiştir. Sonuç olarak:

- Tüm değişken parametrelerde Re sayısının artması ile ısı transferi artmış, sürtünme faktörü ise azalmıştır.
- Boru çapının artması ısı transferini artıran ancak sürtünmeyi azaltan bir etkiye sahip olmaktadır.
- Kanat yüksekliğinin artması ısı transfer etkisinin ve sürtünme faktörünün azaltıcı yönde etkisi olmaktadır.
- Kanat adınının artması ısı transfer etkisini ve sürtünme faktörünün artmasına neden olmaktadır.
- Kanat kalınlığındaki artış ısı transfer etkisini azalttığı, sürtünme etkisinin de artmasına neden olmaktadır.

Yapılan sayısal çalışma ile literatürdeki deneysel çalışmalar doğrulanmış olup, deneysel çalışmada olmayan değişken parametrelerin farklı değerleri için ısı transferi ve sürtünme faktörüne etkisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel çalışmalara katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Çengel, Y. (2015). Ghajar, A.J., Isı ve Kütle Transferi, Esaslar ve Uygulamalar, Vedat Tanyıldızı, İhsan Dağtekin (Çev.). Ankara: Palme Yayıncılık.
- Çorak, A. (2010). Kanatçıklı Isı Değiştiricilerinin Isıl Performanslarının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri 82s.
- Erek, A., Özerdem, B., Bilir, L. & İken, Z. (2005). Effect of geometrical parameters on heat transfer and pressure drop characteristics of plate fin and tube heat exchangers, *Applied Thermal Engineering*, 25, 2421-2431.
- Karabulut, Ö.O. (2011). Kanatçıklı Yüzeylerde Isı Aktarımının Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas 139s.
- Kayataş, N. (2003). İç İç Borulu Isı Değiştiricisinde Isı Transferinin İyileştirilmesinin Nümerik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri 93s.
- Kırtepe, E. (2014). Kanatlı Dairesel Borularda Isı Transfer Etkinliğinin İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Mon, M.S. & Gross, U. (2004). Numerical study of fin-spacing effects in annular-finned tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 1953-1964.
- Naess, E. (2010). Experimental investigation of heat transfer and pressure drop in serrated-fin tube bundles with staggered tube layouts, *Applied Thermal Engineering*, 30, 1531-1537.
- Pongsoi, P., Pikulkajorn, S., Wang, C.C. & Wongwises, S. (2011). Effect of fin pitches on the air-side performance of crimped spiral fin-and-tube heat exchangers with a multipass parallel and counter cross-flow configuration, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 2234-2240.
- Pongsoi, P., Pikulkajorn, S., Wang, C.C. & Wongwises, S. (2012b). Effect of number of tube rows on the air-side performance of crimped spiral fin-and-tube heat exchanger with a multipass parallel and counter cross flow configuration, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 1403-1411.
- Pongsoi, P., Pikulkajorn, S. & Wongwises, S. (2012a). Experimental study on the air-side performance of a multipass parallel and counter cross-flow L-footed spiral fin-and-tube heat exchanger, *Heat Transfer Engineering*, 33(15), 1251-1263.
- Pongsoi, P., Pikulkajorn, S. & Wongwises, S. (2012c). Effect of fin pitches on the optimum heat transfer performance of crimped spiral fin-and-tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 6555-6566.
- Pongsoi, P., Promoppatum, P., Pikulkajorn, S. & Wongwises, S. (2013). Effect of fin pitches on the air-side performance of L-footed spiral fin-and tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 59, 75-82.
- Srisawad, K. & Wongwises, S. (2009). Heat transfer characteristics of a new helically coiled crimped spiral finned tube heat exchanger, *Heat Mass Transfer*, 45, 381-391.
- Şahin, H.M., Dal, A.R. & Baysal, E. (2007). 3-D Numerical study on the correlation between variable inclined fin angles and thermal behavior in plate fin-tube heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1806-1816.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 14.09.2022
Kabul Tarihi : 19.11.2022

Received Date : 14.09.2022
Accepted Date : 19.11.2022

DHGUP TABANLI BEYİN-BİLGİSAYAR ARAYÜZLERİ İÇİN ALT UZAY KEŞFİ

SUBSPACE DISCOVERY FOR SSVEP BASED BRAIN-COMPUTER INTERFACES

*Abdullah Kutay CANKI*¹ (ORCID: 0000-0002-4485-6826)
Hüseyin ÖZKAN^{1*} (ORCID: 0000-0002-5539-9085)

¹ Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hüseyin ÖZKAN, huseyin.ozkan@sabanciuniv.edu

ÖZET

Bu makalede, günümüz modern uygulamalarında hızla artan veri miktarı ve boyutlarının sebep olduğu algoritma eğitme sorunlarının çözümüne yönelik, kompakt veri özneteliklerinin öğrenilmesi amacıyla bir boyut indirgeme metodu önerilmiştir. Verinin boyutu yüksek olsa da, genellikle taşıdığı bilgi daha düşük boyutlu alt uzaylarda yaşar. Çalışmamızda, böyle alt uzayların bir kümesel birleşimi burada geliştirdiğimiz yenilikçi bir ileri beslemeli sinir ağı ile algoritmik öğrenilmiştir. İlaveten, bu bağlamdaki sınıflandırma problemleri üzerinde durduk. Metodumuzun performansı öncelikle kendi oluşturduğumuz bir yapay veri seti üzerinde incelenmiştir. Sonrasında ise, durağan hal görsel uyarılmış potansiyel (DHGUP) tabanlı beyin-bilgisayar arayüzü (BBA) heceletici sistemleri için sıkça kullanılan genel kullanıma açık bir veri seti üzerinde metodumuz test edilmiştir. Sonuçlar, metodumuzun alt uzayları başarıyla bulabildiğini ve diğer DHGUP BBA heceletici hedef karakter tanıma metodlarından makul zaman aralıklarında daha iyi bir performans (0,8 saniye sinyal uzunluğunda 156 bit/dk'lık veri aktarım hızı) verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alt uzay öğrenimi, boyut indirgeme, beyin-bilgisayar arayüzü, sınıflandırma, yapay sinir ağı

ABSTRACT

In this paper, a dimensionality reduction method is proposed for the learning of compact data features in order to mitigate the algorithm training issues caused by the increasing data size and dimensionalities in today's modern applications. Although the dimension of data is high, most of the information typically lives in lower dimensional subspaces. In our study, a set combination of such subspaces is algorithmically learned by a novel feed forward neural network that we develop here. Additionally, we consider classification problems in this context. The performance of our method is first evaluated on a synthetic dataset that we generated. Afterwards, our method is tested on a publicly open and widely used steady state visually evoked potentials (SSVEP)-based brain-computer interface (BCI) speller system dataset. The results reveal that our method successfully finds the subspaces and delivers a superior performance (156 bit/min information transfer rate at 0,8 seconds of signal length) than other SSVEP BCI speller target character recognition methods in reasonable time intervals.

Keywords: Subspace learning, dimensionality reduction, brain-computer interface, classification, neural network

GİRİŞ

Son yıllardaki teknolojik gelişmelerden dolayı günümüz modern mühendislik uygulamalarında her gün giderek artan miktar ve boyutlarda veri üretilmektedir. Böyle büyük veriler matematikte tensör olarak adlandırılan diziler ile yüksek boyutlu bir uzayda temsil edilirler (Kolda ve Bader, 2009). Boyutluluk probleminden (İng: curse of dimensionality) dolayı bu uzayda çalışmak hem istatistiki öğrenme açısından zordur, hem de yüksek hesaplama gücü gerektirir. Bu nedenle verimli bir işlem için verilerdeki kompakt özneliklerin öğrenilmesi büyük bir önem arz eder (Lu, Plataniotis ve Venetsanopoulos, 2013). Bu tensör verileri yüksek boyutlu uzayda genellikle rastgele yer almazlar; daha ziyade bir alt uzay ile sınırlıdır. Bu nedenle boyut indirgeme teknikleri ile yüksek boyutlu verilerin düşük boyutlu bir uzaya (kompakt öznelikler), yani bir alt uzaya, eşlenişi öğrenilmeye çalışılır (Ghods, 2006). Bu teknikler, hedef uygulama hakkındaki bilgilerin çoğunu korumayı amaçlarken yüksek boyutlu veriyi düşük boyutlu bir temsile dönüştürme girişimleridir. Bunlar özetle alt uzay öğrenme metotlarıdır.

Biz bu çalışmamızda, biri yüksek boyutta diğeri yine yüksek boyutta ama özünde düşük boyutlu birden fazla alt uzayda yaşayan olmak üzere, iki ayrı sınıftan meydana gelen bir veriyi önerdiğimiz yenilikçi bir metot ile birden fazla sayıda düşük boyutlu alt uzaylara ayırdık. Amaç bu alt uzayları tespit etmek suretiyle daha etkin bir sınıflandırma yapmaktır. Bunu başarmak için, ilk katmanlarında alt uzayları öğrenen sonraki katmanlarında ise sınıflandırma yapan ileri beslemeli bir sinir ağı geliştirdik ve bu ağı yine önerdiğimiz bir yitim fonksiyonuyla eldeki etiketli veriyi kullanarak eğittik. Bir sentetik veri seti oluşturarak metodumuzun performansını ve alt uzay öğrenme yeteneğini test ettik. İlave olarak metodumuzu, doğası gereği alt uzay öğrenme yapısına uygun gerçek bir uygulama olan durağan hal görsel uyarılmış potansiyel (DHGUP) ve Electroencephalogram (EEG) tabanlı beyin-bilgisayar arayüzü (BBA) heceletici sistemlerindeki (DHGUP EEG BBA heceletici sistemlerin bir tanıtımı için bkz. Guney, Oblokulov ve Ozkan, 2022) hedef karakter tanıma problemine uyguladık. Yaptığımız deneylerde, önerdiğimiz metodumuzun, alt uzayları başarıyla bulabildiği ve karşılaştırılan DHGUP EEG BBA heceletici literatür rakip yaklaşımlarına göre daha yüksek bir performans (0,8 saniye sinyal uzunluğunda 156 bit/dk'lık veri aktarım hızı alınmıştır) verdiği gözlemlenmiştir.

Boyut indirgeme yöntemlerinin belki de en bilineni temel bileşen analizidir (TBA, İng: PCA) (Abdi ve Williams, 2010). Bu yöntemde, üzerindeki varyansın maksimal olduğu birbirine dik ve büyüklükleri bir olan vektörlerin tanımladığı alt uzay bulunur. Bu sayede, verinin boyutu enerjide minimal bir kayıpla indirgenir. TBA yöntemi aynı zamanda doğrusal bir geri çatım hata minimizasyonu yöntemidir, aynı işlem doğrusal olmayan bir şekilde de yapılabilir. Örneğin, veri örnekleri arasındaki uzaklık bir Gauss çekirdek benzerliği üzerinden (ters orantılı olarak) ölçülürse, çekirdek-TBA yöntemi ortaya çıkar (Kim ve Klabjan, 2019). Öte yandan, veri örneklerinin doğrudan bir temsiline olmadığı ancak ikili uzaklıklarının bilindiği durumlarda çok-boyutlu ölçekleme (ÇBÖ, İng: multi-dimensional scaling, MDS) (Saeed vd., 2018) ile bu uzaklıkların mümkün mertebe korunduğu istenilen boyuttaki bir uzaya eşleşme yapılabilir. Esasında veri örnekleri arasındaki ikili uzaklık ölçümünü veya da ikili benzerliği, eldeki uygulamaya göre değiştirdikçe farklı bir doğrusal olmayan boyut indirgemesi meydana gelir. Örneğin, her veri noktası için en yakın komşuluklara bakıldığında yerel yöntemler (Liu, Zhang ve Gu, 2016) veya kurulan bir çizgenin köşeleri arasındaki en kısa uzaklık ÇBÖ kapsamında kullanıldığında ise isomap (Zhang vd., 2018a) elde edilir. Doğrusal olmayan (eğer ki uygun doğrusal olmayan düğüm aktivasyonları tercih edilirse) oto kodlayıcı metodunda (Zhai vd., 2018) ise, geri çatım hata minimizasyonu yaklaşımı ileri beslemeli kodlayıcı ve çözücü iki sinir ağının uç uca eklenmesi suretiyle uygulanır. Oto kodlayıcılarda olduğu gibi düşük boyutlu özneliğin doğrudan doğruya kendisini bulmak yerine, onun bir olasılık dağılımını bulup oradan örneklemek yoluna gidilirse de değişken (İng: variational) oto kodlayıcılar ortaya çıkar (Kingma ve Welling, 2019). Tüm bu yöntemlerde, doğrusal olsun veya olmasın, esasında tek bir alt uzay vardır. Bizim burada sunduğumuz yöntemin kurgusu ise tek değil çok sayıda alt uzayın bir küme birleşimi üzerinedir. Sınıflandırma sırasında aktif olan alt uzay bulunup oradan gelen bilgi üzerine durulur. Böyle bir özellik burada bahsedilen bilindik yöntemlerde yoktur. Bu sebepten sunulan çalışmamız tüm bu yöntemlerden daha temelden çok farklıdır.

Bilindiği üzere BBA'lar insanlar için yeni ve gelişmekte olan bir beyin-bilgisayar iletişim kanalı olması nedeniyle artan bir ilgi görmektedir (Rezeika vd., 2018). BBA'ların görece daha eskiye dayanan trendlerini ve uygulama alanlarını takip için Lebedev ve Nicolelis'in (2006) çalışması incelenebilir. BBA heceleticiler özellikle ciddi motor güçlükleri olan hastalar (örneğin ALS: amyotrofik lateral skleroz, felç ve omurilik hasarı) için onların iletişim kurmalarına yardımcı olmalarından dolayı oldukça önemlidir. DHGUP sinyalleri ise beynin görsel olarak titreşen objelere verdiği tepkiler olup genellikle EEG vasıtasıyla ölçülür. Bu tepki sinyallerinde görsel objenin titreşim frekansı ve onun harmonikleri baskındır (Rezeika vd., 2018). Dolayısıyla, Fourier spektrumundaki taban vektörleri

gibi sinüzoidal alt uzaylarda yaşayan bu DHGUP EEG sinyallerinin yapısı yukarıda bahsettiğimiz alt uzayların küme birleşimini öğrenme probleminin yapısı ile tam uyuşur.

DHGUP EEG BBA heceletici sistemlerde, kullanıcı (örneğin bir ALS hastası) her bir karakterin farklı bir frekansla titreştiği bir karakter matrisini gösteren bir bilgisayar ekranı önüne belirli bir mesafede konumlandırılır ve kullanıcı heceletmek istediği karaktere odaklanır. Temel amaç bir yandan alınan DHGUP EEG sinyali üzerinden hedef karakteri (kullanıcının odaklandığı karakteri) tahmin ederken bir yandan da doğruluk ortalaması ve sinyal süresi arasındaki dengeye dikkat ederek en yüksek veri aktarım hızını elde etmektir. Her hedef karakter, alınan sinyalde başka bir alt uzayı aktive eder. Bu sebepten tüm hedef karakterlerden gelen tüm veri düşünüldüğünde tek bir alt uzay değil çok sayıda alt uzayların bir küme birleşimi söz konusudur. Bu da bizim bu makalede çözdüğümüz makine öğrenmesi problemi ile bire bir uyumludur. DHGUP EEG tabanlı BBA heceletici sistemlerin bir tanıtımı için yakınlardaki bir derin sinir ağı çalışması (Guney vd., 2022) incelenebilir.

Literatürde önerilmiş birçok DHGUP EEG BBA heceletici hedef karakter tahmin tekniği bulunmakla beraber, burada bizim önerdiğimiz metoda yakın ve ilgili olanları kısaca belirtelim. Kanonik korelasyon analizi kullanan bir çalışmada önerilen KKA yöntemi (Lin vd., 2006), alınan DHGUP EEG sinyalindeki baskın olan Fourier sinüzoid tabanını saptamayı hedefler. Herhangi bir karakter için ilgili frekansın kendisinden ve harmoniklerinden oluşmuş bir şablon sinyal grubu ile alınan sinyal arasındaki korelasyon EEG kanalları ve şablon sinyalleri birleştirmeleri üzerinden maksimize edilir. Bu işlem karakter matrisindeki her bir karakter için tekrarlandıktan sonra, en büyük korelasyonu veren karakter hedef karakter olarak tahmin edilir. KKA yönteminin bir uzantısı olan tt-KKA (Yuan vd., 2015) yönteminde, başka kişilerin DHGUP EEG BBA heceletici verilerinden üretilmiş ilave bir şablon sinyal grubu elde edilir ve mevcutta sinyalleri test edilen kişiye transfer edilir. Bu transfer bir öncül bilgi aktarımıdır ve performansı artırmak için kullanılır. Bir diğer KKA uzantısı olan genişletilmiş-KKA (Wang vd., 2014) yönteminde, performans artışı için mevcutta sinyalleri test edilen kişinin önceden var olan kendi verilerinden oluşan bir eğitim setinden şablon sinyaller üretilir ve eldeki test rutinine bu bilgi aktarılır. Dikkat edilirse orijinal KKA yöntemi ne başkasının geçmiş ne de kişinin kendi geçmiş verilerinden transfer kullanır. KORRPA (Zhang vd., 2018b) yöntemi de genişletilmiş-KKA'ya benzer şekilde kişinin kendi geçmiş verilerinden bir şablon oluşturur ancak farklı olarak kişinin test edilen her sinyali için ayrı bir EEG kanal kombinasyonu değil hep aynı ve ortak bir kombinasyon bulur ve kullanır. Bahsedilen bu teknikler, hedef karakter tahmin doğruluğunun yanı sıra veri aktarım hızı (Wolpaw vd., 2002) maksimizasyonunu esas alırlar. Bu teknikler, sonuç itibarıyla Fourier sinüzoidal alt uzaylarını gerek sentetik/referans verilerden gerekse kişinin kendi verilerinden yola çıkarak dolaylı veya doğrudan incelediklerinden, bizim burada sunduğumuz yöntemimiz ile ilgilidir. Öte yandan, bizim yöntemimiz sinir ağı ve makine öğrenmesi tabanlı olduğundan bu bahsedilen tekniklerden hem yöntemsel ve hem kurgusal olarak son derece farklıdır. Metodumuzun bu DHGUP EEG BAA heceletici hedef karakter tanıma problemi üzerindeki performansını herkesin kullanımına açık benchmark (Wang vd., 2016) veri seti üzerinde test ettik ve burada bahsedilen literatür teknikleriyle karşılaştırdık. Metodumuzun, bu literatür tekniklerine göre daha yüksek bir veri aktarım hızına (0,8 saniye sinyal uzunluğunda 156 bit/dk) ulaştığı gözlemlenmiştir.

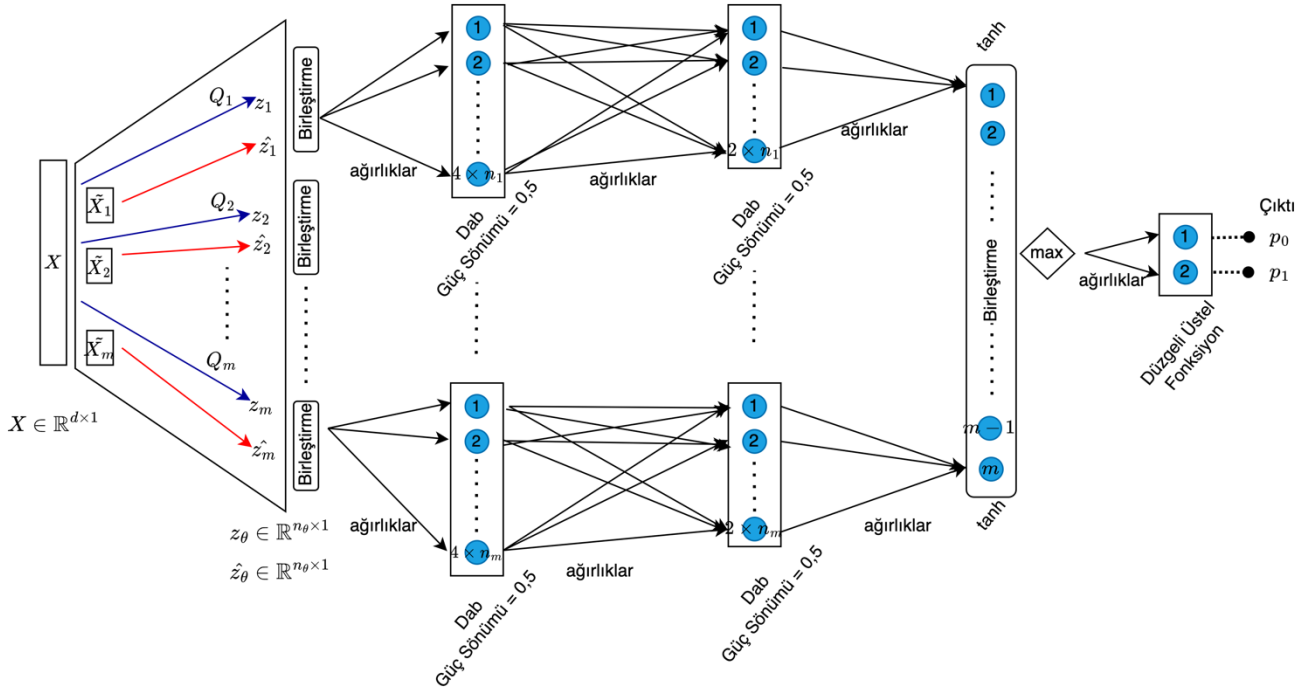
PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada, normalde yüksek boyutlu olan 2 sınıflı bir verinin düşük boyutlu alt uzaylarının tespit edilerek sınıflandırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Problemi ikili bileşik hipotez test yöntemiyle, H_0 ve H_1 iki hipotez olmak üzere (hipotezler rastgele değişken $\theta \in \{0, 1, 2, 3, \dots, u\}$ ile parametrize edilir), kurgulamaktayız:

$$H_0 : \theta = 0 \quad (\text{Sınıf 0: Hedef yok}), \quad (1)$$

$$H_1 : \theta = \{1, 2, 3, \dots, u\} \quad (\text{Sınıf 1: Hedef var}). \quad (2)$$

Bu iki sınıfa ait gözlemler çok değişkenli rastgele gözlem olan $X \in \mathcal{R}^{dx1}$ 'in $\{P_\theta(x)\}_{\theta=0}^u$ olasılık dağılımlarından gelir. H_0 ve H_1 için önsel olasılıklar $\pi_0 = P(\theta = 0)$ ve $\pi_1 = P(\theta > 0)$ olarak belirtilir. Dikkat edilirse $\theta = 0$ için yüksek boyutta normal olarak yaşayan veri hipotezi (sınıf 0: Hedef sinyal yok) elde edilirken; $\theta > 0$ için ise yine yüksek boyutta ama u adet özünde düşük boyutlu doğrusal alt uzayın küme birleşiminde yaşayan veri hipotezi (sınıf 1: Hedef sinyal var) elde edilir. Amacımız, alt uzayların düşük boyutlu veri özniteliklerini çıkarmak, yüksek boyutta öğrenme zorluklarının üstesinden gelmek ve böylelikle etkin bir sınıflandırmayı başarmaktır.



Şekil 1. Önerdiğimiz Alt Uzak İzdüşüm Modeli İleri Beslemeli Bir Sinir Ağıdır.

Bir alt uzay $S_\theta \subset \mathbb{R}^{dx1}$ ($1 \leq \theta \leq u$ için $n_\theta < d$ boyutlu olmak üzere), ortonormal ($Q'_\theta Q_\theta = I$) taban seti $Q_\theta \in \mathbb{R}^{dxn_\theta}$ tarafından temsil edilen düşük boyutlu bir kümedir ve $S_\theta = \{x_\theta = Q_\theta z_\theta : z_\theta \in \mathbb{R}^{n_\theta \times 1}\}$ olarak formülize edilebilir. Buradaki trnak işareti matris devriğini (İng: transpose) gösterir, z_θ ise ilgili alt uzayın kompakt veri öznelik vektörüdür. Bir gözlem x 'in S_θ üzerine ortogonal izdüşümü $x_\theta = Q_\theta z_\theta$ ve ilgili kompakt öznelik $z_\theta = Q'_\theta x$ olarak gösterilmek üzere bu setin tümleyeni $\tilde{x}_\theta = \tilde{Q}_\theta \tilde{z}_\theta = x - x_\theta$ ve $\tilde{z}_\theta = \tilde{Q}'_\theta x$ 'dir. Görüleceği üzere $d \times d$ boyutlu matris $[Q_\theta | \tilde{Q}_\theta]$ genel gözlem uzayı \mathbb{R}^{dx1} için bir ortonormal tam küme oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak her alt uzay S_θ bir olasılık yoğunluğu p_θ 'ya ($0 \leq \theta \leq u$) denk düşmektedir. Vurgulanması gereken bir diğer nokta ise, bu formülasyonda alt uzayların birbirine ortogonal olma zorunluluğu yoktur. Bu sayede daha güçlü bir veri kaynağı modellenmesi elde edilir.

YÖNTEM

Tanımlanan problemin çözümü için bir alt uzay izdüşüm modeli üzerinden ikili sınıflandırma yapan bir ileri beslemeli sinir ağı öneriyoruz (Şekil 1). Modelimiz istatistiki özdeşçe dağılmış bağımsız gözlemlerden oluşan bir set veri $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N$ ile eğitilir: x_i ve y_i sırasıyla, i 'nci veriyi ($x_i \in \mathbb{R}^{dx1}$) ve o verinin etiketini ($y_i \in \{0,1\}$) temsil etmektedir; N ise gözlem sayısıdır. Eğitim sürecinde taban vektör setleri Q_θ 'ların kestirilmesiyle alt uzaylar ve ilgili kompakt öznelikler bulunur, sinir ağıımızın ileriki katman parametrelerinin kestirilmesiyle de etkin bir sınıflandırma her bir veri noktası için aktif olan alt uzaya göre yapılır.

Önerdiğimiz alt uzay izdüşüm modeli Şekil 1'de görüldüğü üzere 1 adet alt uzay izdüşüm katmanı (yamuk çerçeve içinde), 4 adet tam bağlantılı sinir ağı katmanı, 2 adet birleştirme katmanı ve 1 adet maksimum bulma katmanından oluşur. Veri içerisindeki gizli alt uzay sayısı u 'yu genellikle bilemeyeceğimizden, m adet alt uzay tabanı ile modelimizi ilklendirdik. Burada tercihen $u \leq m$ olmalıdır; m 'nin u 'dan çok büyük olması eğitim sürecinde fazla olan alt uzay tabanları elimine edildiğinden model için bir problem teşkil etmez ancak modelin eğitim sürecini yavaşlatır. Birinci alt uzay izdüşüm katmanında daha önce belirtildiği gibi, bir gözlem x 'in alt uzay S_θ 'nın üzerine olan izdüşümü $z_\theta = Q'_\theta x$ hesaplanır (şekilde mavi ok ile gösterilmiştir).

Bu modelde, $1 \leq \theta \leq m$ aralığında $Q_\theta \in \mathbb{R}^{dxn_\theta}$ ve $z_\theta \in \mathbb{R}^{n_\theta \times 1}$ olmak üzere alt uzay boyutu n_θ kullanıcı tarafından ilklendirilmiş olup çevreleyen genel gözlem uzayı boyutu d 'den küçüktür. Tamamlayıcı bölümde (şekilde kırmızı ok ile gösterilmiştir) ise, $\tilde{x}_\theta = \tilde{Q}_\theta \tilde{z}_\theta = x - x_\theta$ ve $x_\theta = Q_\theta z_\theta$ olduğundan dolayı \tilde{x}_θ şu şekilde bulunur:

$$\tilde{x}_\theta = x - Q_\theta z_\theta = x - Q_\theta Q_\theta' x. \quad (3)$$

Bir yitim fonksiyonunun yardımıyla önerdiğimiz sinir ağı eğitilir ve bu süreçte \tilde{x}_θ kullanılarak z_θ kestirilir ve sonucu $\hat{z}_\theta \in \mathcal{R}^{n_\theta \times 1}$ olarak gösterilir. Bu katmanın sonunda z_θ ve \hat{z}_θ birleştirilerek $[z_\theta; \hat{z}_\theta] \in \mathcal{R}^{2n_\theta \times 1}$ elde edilir. Burada \tilde{x}_θ kullanılarak z_θ 'nin tahmin edilmesinin ve bu tahminin devamındaki katmanlarda kullanılmasının sebebi, \hat{z}_θ 'nin verinin hangi sınıfa ait olacağına dair ayırt edici özellikler içerebilmesidir. Eğer veri bir alt uzayda yaşıyorsa (sınıf 1'e aitse) \tilde{x}_θ tamamlayıcı kısım z_θ hakkında bilgi içermezken; veri sınıf 0'a ait ise \tilde{x}_θ bu durumda z_θ hakkında bilgi içerir ve \tilde{x}_θ kullanılarak z_θ tahmin edilebilir.

Modelin ikinci katmanında birinci katmandan gelen çıktılar ayrı ayrı olacak şekilde ağırlıkları rastgele ilklendirilmiş 3 katmanlı tam bağlantılı sinir ağlarına beslenir. İkinci ve üçüncü katmanlardan sonra doğrultmaçlı aktivasyon birimi (Dab) (İng: ReLu) uygulanır. Hemen sonrasında, aşırı öğrenmeyi önlemek için 0,5 olasılıklı seyreltme (İng: dropout) vardır. Dördüncü katmanın sonunda ise her alt uzaya karşılık tek düğüme (İng: node) ulaşılmış olup burada tanh aktivasyonu uygulanır ve arkasından düğümler birleştirilir. Devamında ise, aktif alt uzayı tespit etmek ve sınıflandırmayı sadece bu aktif alt uzaya dayandırmak için bir maksimize katmanı kullanılır. En son kullanılan katman ise MATLAB gerçekleştirmesinin 2 farklı sınıf için 2 farklı düğüm istemesinden kaynaklanmaktadır. Son katmanın sonrasında, olasılıksal yorumlanabilir bir çıktı alabilmek için eşiksiz en büyük fonksiyon (İng: softmax) kullanılır. Burada sınıf 0'a ait olan düğümün çıktısını p_0 , sınıf 1'e ait olan düğümün çıktısını ise p_1 olarak isimlendirmekteyiz ($p_0 + p_1 = 1$ olmak üzere). Bir gözlem için hangi düğüme ait çıktı daha büyük ise o sınıflandırma kararıdır. Örneğin, $p_1 > p_0$ ise veri örneği sınıf 1'a ait demektir. Vurgulamak isteriz ki, önerdiğimiz bu sinir ağının eğitilmesiyle, (i) ilgili tüm alt uzaylar ilk katmandaki Q_θ 'ların kestirimleri üzerinden belirlenir, (ii) bir veri örneği hangi alt uzaydan geliyorsa sadece o alt uzayın çıktıları maksimizasyon katmanını geçip aktifleşeceğinden dolayı böylelikle aktif alt uzay tespit edilir ve (iii) sınıflandırma sadece aktif alt uzaya göre yapıldığından ilgili kompakt öznitelikler z_θ elde edilir.

Ağ Eniyilemesinde Kullanılan Yitim

Şekil 1'deki alt uzay izdüşüm sinir ağı modelimizi eğitmek için aşağıda belirtilen 2 parçalı bir yitim fonksiyonu kullandık:

$$Yitim = \mathcal{CE}([p_0, p_1]) + \lambda(1 - \gamma) \sum_{\theta=0}^m ||\hat{z}_\theta - z_\theta||^2. \quad (4)$$

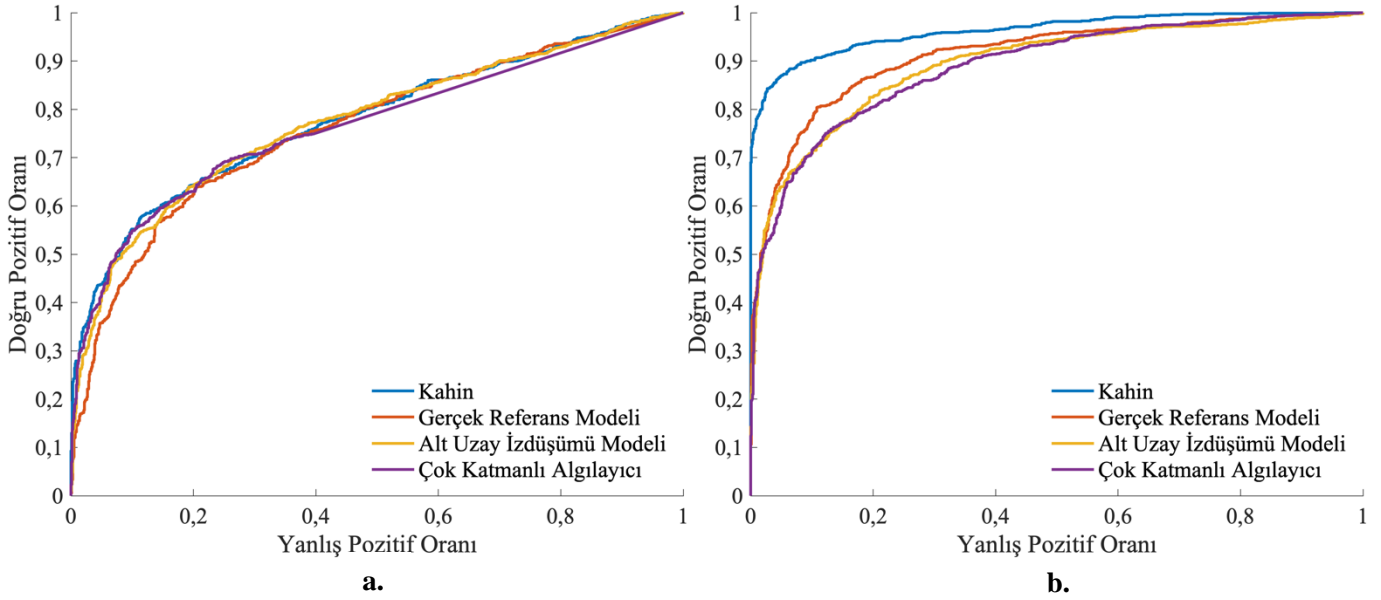
Bu yitim fonksiyonunun ilk terimi çapraz entropi olup yüksek olasılığa sahip ama yanlış olan tahminleri cezalandırır. İkinci terim ise ortalama karesel hata yöntemiyle verinin etiketi yalnızca 0 olduğu durumda yitim üretir; bunun nedeni ise \hat{z}_θ 'nin z_θ hakkında sadece etiket 0 olduğunda bilgi içermesidir. Buradaki λ parametresi, bu iki terim arasındaki dengeyi ayarlayan bir eniyileme ağırlığı olarak model eğitimi sırasında aktive olan ve kullanılan alt uzay sayısını belirlemede yardımcıdır.

PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

Deneysel performans ölçümlerimizde, öncelikle, metodumuzun alt uzay öğrenme yeteneğini ve bunun sonuçlar üzerine etkisini gözlemleyebilmek için kendi ürettiğimiz bir yapay veri seti kullanılmıştır. Sonrasında, asıl amacımız olan DHGUP EEG BBA heceletici sistemleri üzerinde test etmek için literatürde yaygın olarak kullanılan benchmark veri setine (Wang vd., 2016) geçilmiştir.

Yapay Veri Seti Üzerinde Bulgular

Bu kısımda, iki farklı boyuta sahip iki adet veri seti iki sınıflı (0 ve 1) toplamda 6000 adet veri örneği ($N = 6000$) içerecek şekilde oluşturulmuştur. Problem tanımını bölümünde açıklanan kaynak istatistiklerine göre, sınıf 1'e ait veriler her biri 1000 örnek olmak üzere 3 farklı düşük boyutlu alt uzayda bulunur. Detayları aşağıda açıklanan ve Tablo 1'de özetlenen 2 boyutlu ($d = 2$) veri seti sonuçları görselleştirme amacıyla oluşturulmuşken, 30 boyutlu ($d = 30$) veri seti ise modelin yüksek boyuttaki etkilerini görmek amacıyla kullanılmıştır. Her iki veri seti (VS) de MATLAB ortamında oluşturulmuştur ve simülasyonlarımızda kullandığımız prosedür ve parametre ayarlamaları şöyledir: Veri boyutu (VS I: $d = 2$ ve VS II: $d = 30$), adedi (VS I ve II: 6000) ve alt uzay sayısı (VS I ve II: 3)

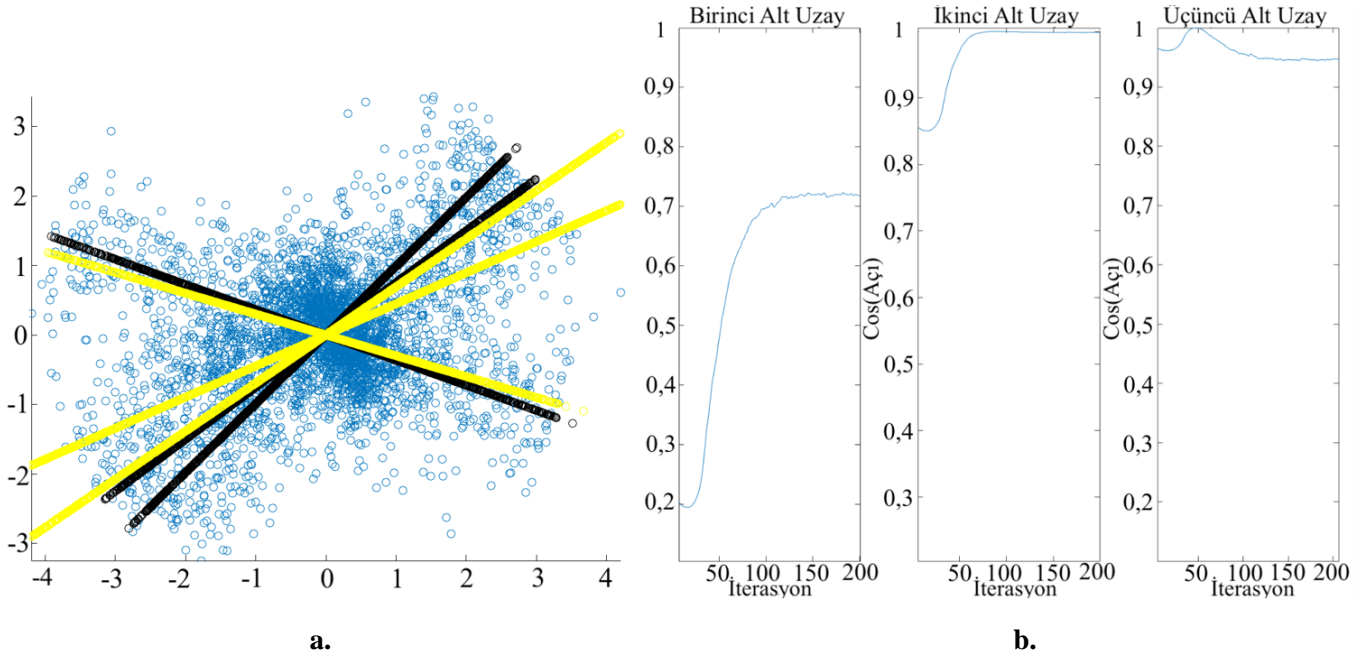


Şekil 2. İki $d = 2$ Boyutlu (a.) ve Otuz $d = 30$ Boyutlu (b.) Veri Setlerine Ait AİK Eğrileri Gösterilmektedir.

belirlendikten sonra alt uzay boyutları, bir başka deyişle alt uzay taban vektör sayıları, (VS I, her bir alt uzay için sırasıyla $n = 1, 1, 1$ ve VS II: $n = 3, 3, 3$) seçilmiştir. Taban vektörleri 0 ortalamalı ve 1 varyanslı Gauss dağılımından rasgele örneklendikten sonra, Gram-Schmidt yöntemiyle ortonormal hale getirilmiştir. Her iki veri setinde de, sınıf 0 önseli için 0.9 olasılığı ve sınıf 1 önseli için ise 0.1 olasılığı tercih edilmiştir. Önseller görselleştirme içindir. Eğitim aşamasında iki sınıf için eşit sayıda veri kullanılmış olup test aşamasında ise alıcı işlem karakteristiği üzerinden tüm önseller taranmıştır (Şekil 2). Veri çeşitliliğini sağlayabilmek için sınıf 0 verisi için 3 bileşenli bir Gauss karışım modeli takip edilmiştir. Her bir bileşen merkezinin, her bir boyutunda $[-1, 1]$ arasında birörnek alındıktan sonra, uzunluğu 1'e normalize edilmiştir. Her bir bileşenin kovaryansı ise birim matrisi parametre alan ve serbestlik derecesi veri boyutuna eşit olan Wishart dağılımından üretilmiştir. Karışım önselleri eşittir ($q_k = 1/3$). Böyle 3000 adet sınıf 0 (alt uzay bulunmayan) verisi üretilmiştir. Kalan 3000 adet sınıf 1 verisi (alt uzay bulunan) ise 1000'er adet her bir alt uzaya dağıtılmıştır. Özetle, önce yine sınıf 0 verisi gibi üretilir, sonrasında herhangi bir veri noktasının ilgili alt uzaya yansıyan bileşeni silinip onun yerine o bileşenin minimum ve maksimum değerleri arasında birörnek dağılımlı yeni veri üretilip o bileşen üzerine yazılır. Bu tüm veri noktaları için tamamlanınca sınıf 1 verisi ortaya çıkar. Bu tarif ettiğimiz prosedür her iki veri seti için (VS I: $d = 2$ ve VS II: $d = 30$) de aynı şekilde takip edilmiştir. Örneğin, Şekil 3 a'da, mavi noktalar iki boyutlu veriyi, siyah çizgiler bir boyutlu üç tane gerçek alt uzayı ve sarı çizgiler ise modelimizin bulunduğu alt uzayları gösterir. İki veri setinin de üçte birlik kısmı test için kalanı eğitim için kullanıldı. Her iki veri seti için de, algoritma eğitimi adam (adaptif moment tahmini) optimizasyonu (Zhang, 2018) ile sağlandı. Öğrenim hızı 10^{-3} olarak başlatılmış ve durgunlaştıkça 0,10 oranında azaltılmıştır. Her bir iterasyonda 128 veri kullanıldı.

Tablo 1. Veri Setlerinin Detayları

Parametreler	Veri Seti 1	Veri Seti 2
Boyutu (d)	2	30
Alt uzay boyutu (n)	1, 1, 1	3, 3, 3
Alt uzay veri sayısı	1000	1000
Tüm veri sayısı	6000	6000
Önseller π_0 / π_1	0,9/0,1	0,9/0,1



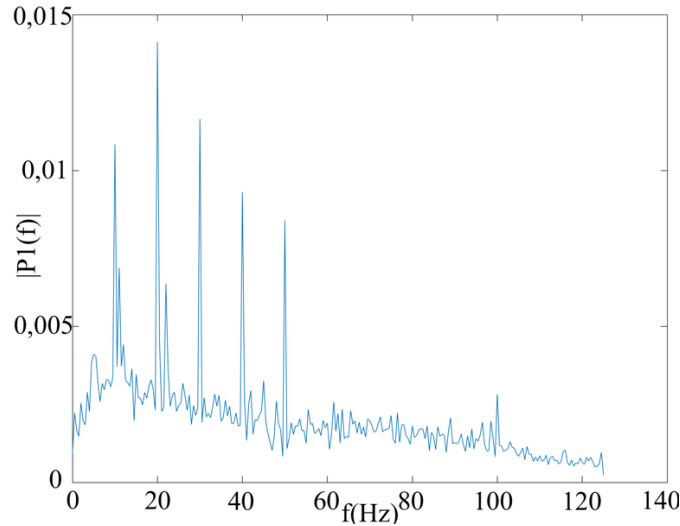
Şekil 3. a. Mavi Noktalar İki Boyutlu Veriyi, Siyah Çizgiler Bir Boyutlu Üç Tane Gerçek Alt Uzayı ve Sarı Çizgiler ise Modelimizin Bulduğu Alt Uzayları Gösterir. **b.** Gerçek ve Bizim Bulduğumuz Alt Uzaylar Arasındaki Açıların Kosinüsüdür.

Performans metrikleri olarak literatürde sıkça kullanılan alıcı işlem karakteristiği (AİK) eğrileri (Şekil 2) ve bu eğriler altında kalan alan (EAA) değerleri tercih edilmiştir. Burada kahin olarak belirtilen sonuçlar ikili hipotez testimiz konseptinde (gerçekte bilinmesi mümkün olmayan ama bu yapay veri setini biz ürettiğimiz için bilebildiğimiz) olasılık dağılımları $\{P_{\theta}(x)\}_{\theta=0}^u$ kullanılarak elde edilmiş bu veri setleri için olabilecek en yüksek doğruluk sonuçlarıdır. Gerçek referans modeli ise yapay veri setinde gerçek referans alt uzay tabanları bilindiğinden, modelde Q_{θ} ve \tilde{Q}_{θ} 'ya doğrudan bu tabanların yerleştirilmesi ile bulunan doğruluk sonuçlarıdır. Çok katmanlı algılayıcı ise alt uzay tabanı öğrenme becerisi olmayan bir 3 katmanlı ileri beslemeli sinir ağıdır. Şekil 2'deki AİK eğrilerimize göre, alt uzay izdüşüm modelimiz gerçek referans modelimiz kadar iyi sonuç vermese de ona yaklaşmıştır. İki veri seti için de metodumuz başarılı bir şekilde gerçek alt uzay sayısına yakınsamıştır. Alt uzay izdüşüm modelimiz ile çok katmanlı algılayıcı arasında önemli bir fark gözlemlenmese de Tablo 2'de verilen EAA skorlarına göre her iki veri seti için de önerdiğimiz alt uzay izdüşüm modeli daha iyi bir performans üretmiştir. Referans modelimiz ise çok katmanlı algılayıcıya göre net olarak üstündür. Kahin ile aradaki farklara bakıldığında, boyut yükseldikçe problemin zorlaştığı ancak gerçek referans modelimizin etkinliğinin de çok katmanlı algılayıcıya göre arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Veri Setleri İçin EAA Skorları

Modeller	EAA Skoru	EAA Skoru
	($d = 2$)	($d = 30$)
Kahin	0,7771	0,9627
Referans Modeli	0,7744	0,9128
Alt Uzay İzdüşüm	0,7738	0,8954
Çok Katmanlı Algılayıcı	0,7660	0,8876

Önemle vurgulamak isteriz ki, önerdiğimiz alt uzay izdüşüm modeli, verideki düşük boyutlu alt uzayları ve öz niteliklerini tespit etme kabiliyetine sahiptir. Çok katmanlı algılayıcının ise böyle bir kabiliyeti olmadığından bizim modelimiz daha üstündür. Bunun doğrulanması için ürettiğimiz Şekil 3'te (sol) $d = 2$ veri seti için gerçek alt uzaylar (siyah çizgiler) ve bizim modelimizin tespit ettiği alt uzaylar (sarı çizgi) gösterilmiş olup birbirlerine yakındırlar. Şekil 3'ün sağ tarafında ise, eğitim süresince gerçek alt uzay tabanları ve modelimizin alt uzay



Şekil 4. Eğitim Sonrası Bulunan Alt Uzaylara Ait Harmoniklerin Fourier Genliklerinin Ortalamasını Gösterir.

tabanları arasındaki açının kosinüsü artmıştır, yani bulduğumuz alt uzaylar ile gerçek alt uzaylar arasındaki açı hedeflendiği üzere başarılı bir şekilde azaltılabilmektedir. Özellikle iki alt uzay tam olarak tutturulmuş, kalan bir tanesine ise tam tutturulmasa da yaklaşılmıştır. Bunun sebebi, iki gerçek alt uzayın birbirine çok yakın olmasıyla bunlardan bir tanesini tam tutturan hazırda diğerini de yeteri kadar temsil edebilir. Dolayısıyla, o diğerini tutturması gereken alt uzayımıza gereklilik zayıfladığından onun eğitim süreci zora girmiştir. Bu bir limitasyon olarak düşünülebilir. Bütün alt uzayların tam olarak tutturulabilmesi için gerçek alt uzaylar arasında belirli bir açısal ayrılmanın en az olması gerektiğini öngörüyoruz. Bu durum bir gelecek çalışması olarak değerlendirilebilir.

DHGUP EEG BBA Heceletici Benchmark Veri Seti Üzerinde Bulgular

Benchmark veri seti (Wang vd., 2016), bir katılımcının, 5x8'lik her birinin ayrı frekanslarla titreştiği 40 karakterden oluşan bir matriste seçilen bir karaktere bilgisayar ekranında odaklandığı sırada 64 EEG elektrotundan (kanalından) veri toplanmasıyla kaydedilmiş olup, literatürde kullanılan en popüler veri setlerinden biridir. Toplam 35 katılımcı olup, 40 sınıfın (26 karakter, 10 rakam, 4 sembol) titreşim frekansları 8 Hz'den 15,8 Hz'e kadar 0,2 Hz aralıklarla değişmektedir. Her katılımcı için 6 blok veri kaydedilmiştir. Çalışmamızda katılımcılara ait ilk 5 blok eğitim, son blok ise test amaçlı kullanılmıştır.

İkili sınıflandırma yapan metodumuzu 40 sınıf içeren bu veri setinde çok sınıf sınıflandırma amacıyla kullanabilmek için hata düzeltme çıktı kodları (Dietterich ve Bakiri, 1994) yapısını kullandık. Hata düzeltme çıktı kodları (HDÇK) yönteminde öncelikle bir kod matrisi belirlenir; bu kod matrisindeki satırlar sınıfların kod kelimelerini ve sütunlar da kullanılan ikili sınıflandırıcıların hangi sınıfları birbirinden ayıracağını belirtir. Bu kod matrisindeki elemanlar +1,-1 veyahut 0'dır. Bir sütunda +1 koduna sahip olan sınıflar bir sınıf (sınıf 1), -1 koduna sahip olan sınıflar da ayrı bir sınıf (sınıf 0) olarak gruplanır; sonrasında ikili sınıflandırıcı bu grupları birbirinden ayırmayı öğrenebilmesi için eğitilir. Seçilen sütunda 0 koduna sahip sınıflar ise o sütuna karşılık olarak eğitilen sınıflandırıcının eğitimine katılmaz. Kod matrisi olarak, ikili sınıflandırıcıları sınıfları tek tek birbirinden ayırmak için eğiten, bire-karşı-bir (İng: one-vs-one) matris yapısı (sınıf sayısı x ikili sınıflandırıcı sayısı) kullanılmıştır. Dolayısıyla, matrisin her bir sütununda sadece birer adet +1 ve -1 koduna sahip sınıf bulunurken, geriye kalan sınıflar 0 koduna sahiptir. Örneğin, birinci ikili sınıflandırıcı "A" karakterini "B" karakterinden ayırmaya çalışırken, ikinci sınıflandırıcı "A" karakterini "C" karakterinden ayırma çalışır; böylece toplamda $\binom{40}{2} = 780$ adet sınıflandırıcı eğittik. Vurgulamak isteriz ki, bu sınıflandırıcıların tamamı burada önerdiğimiz yöntemimizin aynısıdır; fakat farklı karakter ikililerinden gelen verilerle eğitildiklerinden çıktıları farklılaşmıştır.

Ayrıca, bu sınıflandırıcıların her biri önceki bir çalışmada (Güney vd., 2022) etkinliği gösterilen iki adımlı eğitim stratejisi kullanılarak eğitilmiştir. Öncelikle her bir sınıflandırıcı bütün katılımcılardan gelen eğitim verileriyle eğitilir, sonrasında, her bir kullanıcının kendisine ait verisi ile beraber sınıflandırıcının o katılımcıya göre ince ayarı yapılır. Böylece, her bir kullanıcıya özel 780 adet sınıflandırıcı elde edilmiştir. İki adımlı eğitim stratejisi kullanılarak kişiye özel model geliştirmenin etkin olmasının sebebi EEG verisinin kişiden kişiye istatistiksel

değişkenlik göstermesidir (Guney vd., 2022; Krauledat vd., 2008; Zerafa vd., 2018). Ayrıca her bir kişinin kendisine ait veri miktarı oldukça kısıtlı olduğundan dolayı modelin etkili bir biçimde doğrudan kişiye özel eğitimi oldukça zorludur fakat iki adımlı eğitim stratejisi ile bu zorluk büyük bir ölçüde aşılmaktadır. Test aşamasında verinin hangi sınıfa ait olduğu ise şu şekilde bulunmuştur: İlk olarak her bir sınıflandırıcı o veri için tahminini yapar ve her bir sınıflandırıcının olasılıksal çıktıları oluşur. Her bir sınıf için o sınıfın kod kelimesine göre bu olasılıksal çıktılar toplanır (sınıfların '0' koduna sahip olduğu sütuna karşılık gelen ikili sınıflandırıcı çıktıları bu toplama katılmaz). Bunun sonucunda, test verisi için hangi sınıf daha yüksek toplam olasılığna sahip ise o sınıf nihai hedef karakter olarak tahmin edilir.

Benchmark veri setinin karakteristiğine uygun şekilde, modelimizdeki alt uzay tabanları Q_θ 'lar, sınıf 1'e ait karakterin titreşim frekansı f_k ile oluşturulan ve DHGUP EEG sinyallerinin yaşadığı alt uzayları temsil eden ve aynı zamanda kanonik korelasyon analizi (KKA) yönteminde (Lin vd., 2006) de kullanılan yapay referans sinyal vektörü ile ilklendirilmiştir. Yapay referans sinyal vektörünün yapısı şu şekildedir:

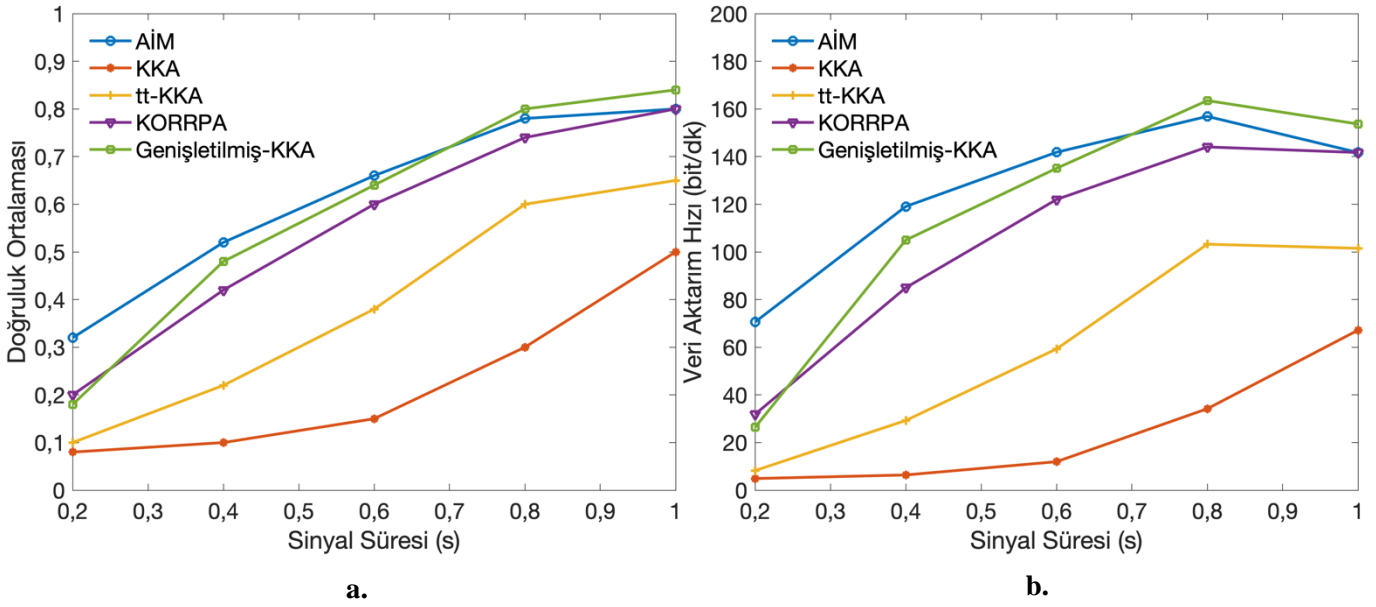
$$Y = \begin{bmatrix} \sin(2\pi f_k n) \\ \cos(2\pi f_k n) \\ \vdots \\ \sin(2\pi H f_k n) \\ \cos(2\pi H f_k n) \end{bmatrix}^T, \quad n = \frac{1}{f_s}, \frac{2}{f_s}, \dots, T. \quad (5)$$

Yukarıda T sinyalin uzunluğunu, H toplam kullanılan harmonik sayısını, f_s ise örnekleme frekansını belirtmektedir. Bu çalışmada 5 adet harmonik ($H = 5$) kullanılmıştır. Benchmark veri setinde örnekleme frekansı ise 250 Hz'dir (Wang vd., 2016).

DHGUP EEG sinyallerini sınıflandırmakta beynin oksipital bölgesinden ölçüm yapan kanalları bir arada kullanmanın etkinliği bilinmektedir (Srinivasan, Bibi ve Nunez, 2006). Bu sebeple bu çalışmada da literatürde sıkça kullanılan oksipital bölgeden toplam 9 adet Pz, PO3, PO5, PO4, PO6, POz, O1, Oz ve O2 kanalları kullanılmıştır. Bu çok kanallı veriyi modelimizde kullanabilmek için kanallardan gelen veriler bir kanal kombinasyonu ile birleştirilmiştir. Bu kanal kombinasyonu kişiye has bir şekilde bulunmuş olup, hesaplanması için Lao vd.'nin (2018) çalışmasında geliştirilen KKA tabanlı bir yöntemle başvurulmuştur. Bu yöntemde bir kişinin her bir verisi sınıflandırılır ve hedef karakter tahmini için hesaplanmış bulunan kanal kombinasyonu elde edilir. Biz de bu yolla, her bir kişinin eğitim verisi adedince kanal kombinasyonu hesapladık ve bunları bir kosinüs benzerliği üzerinden kişiye özel tek bir kombinasyona indirdik. Çalışmamızda bu kişiye özel kanal kombinasyonu hem eğitim aşamasında hem de test aşamasında çok kanallı veriyi birleştirmek için kullanılmıştır.

Metodumuzun buradaki DHGUP EEG BBA heceletici sistem hedef karakter tahmin uygulamasındaki davranışını gözlemlemek amacıyla, eğitim sonrasında, C ($f_s = 10 \text{ Hz}$) ve D ($f_s = 11 \text{ Hz}$) sınıflarının karşılaştırıldığı sınıflandırıcı bir örnek olarak ele alınmıştır. Sınıf 1 olan C'nin öğrenilmiş alt uzaylarına ait taban vektörlerinin Fourier analizleri yapılmış ve tek taraflı genlik spektrumunda bu sınıfa ait frekansın ($f_s = 10 \text{ Hz}$) kendisi ve harmonikleri Şekil 4'te sunulmuştur. Görüleceği üzere 10 Hz ve harmonikleri baskındır ve dolayısıyla metodumuz ilgili Fourier alt uzaylarını amaçlandığı üzere başarılı bir şekilde kullanabilmiştir.

Son olarak, alt uzay izdüşüm modelimizi (AİM), literatürde sıkça kullanılan KKA (Lin vd., 2006), tt-KKA (Yuan vd., 2015), genişletilmiş-KKA (Wang vd., 2014) ve KORRPA (Zhang vd., 2018b) metotları ile doğruluk ve veri aktarım hızı açılarından kıyasladık. Karşılaştırılan bu metotlardan kanonik korelasyon analizi tabanlı olan KKA, verilen bir çok kanallı EEG sinyali ile test edilen hedef frekansının harmonikleri arasındaki korelasyonu en iyi kanal ve harmonik kombinasyonlarını bulmak suretiyle enbüyütür. Bu tüm hedef frekansları için tekrarlandıktan sonra elde edilen en yüksek korelasyonu veren frekans karar frekansı olarak belirlenir ve buna tekabül eden karakter sınıflandırma sonucudur. Karşılaştırılan genişletilmiş-KKA metotunda ise kişinin kendi verilerinden elde edilen şablon sinyaller KKA metotuna eklenir, bu sayede kişiye özel adaptasyon sağlanır ve sonuçta performans geliştirilir. Öte yandan, tt-KKA metotunda ise yine KKA metotunun performansının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için mevcutta sinyalleri test edilen kişinin kendi sinyalleri değil başka kişilerin sinyallerinden elde edilmiş şablon sinyaller KKA metotuna transfer edilir. Dikkat edilirse burada hedef, mevcutta sinyalleri test edilen kişiden



Şekil 5. a. Metotların Doğruluk Ortalamaları. b. Metotların Veri Aktarım Hız Ortalamaları.

yeni sinyaller toplama yükünü ortadan kaldırmak ve kullanıcının konforunu artırmaktır. Son olarak, KKA metodundaki her bir test sinyali için ayrı ayrı bulunan en iyi kanal kombinasyonları, karşılaştırılan bir diğer metod olan KORRPA tekniğinde ise tüm test sinyalleri için tek bir en iyi kanal kombinasyonu olarak ortaklanır. Böylelikle sınıflandırma algoritması kuvvetlenir, sinyal sayısı arttıkça ortak kanal kombinasyonu daha iyi bulunur ve karakter tanıma performansı yükselir. Veri aktarım hızı (VAH); doğruluk oranı (P), sinyal süresi (T) ve toplam hedef karakter sayısının (M) bir fonksiyonu olup şu şekilde tanımlanmaktadır (Wolpaw vd., 2002):

$$VAH(P, T, M) = \left(\log_2 M + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \left[\frac{1-P}{M-1} \right] \right) \frac{60}{T}. \quad (6)$$

DHGUP EEG BBA heceletici sistemlerde ana hedef kullanıcıya hızlı ve doğru bir heceletici sağlamak olduğundan, bu hedefi ölçen veri aktarım hızı maksimize edilmelidir. Bundan dolayı en iyi sonuca $T = 0,8$ saniyede 156 bit/dk'lık bir veri aktarım hızı (Şekil 5) ile ulaştığımızı söyleyebiliriz. Şekil 5'teki sonuçlarımıza göre, önerdiğimiz alt uzay izdüşüm modeli (AIM) $T < 0,8$ saniyeleri için diğer metotlardan daha iyi bir performans sergilemiş; $T \geq 0,8$ saniye için ise sadece genişletilmiş-KKA metodu görece daha iyi bir performans vermiştir. Öte yandan, uzun süreli DHGUP EEG sinyallerinin titreşimlerden dolayı kişiyi rahatsız ettiği ve epilepsi hastalarında nöbetlere sebep olabildiği bilinmektedir. Dolayısıyla makul sinyal uzunluklarında, bizim metodumuzun karşılaştırılan diğer metotlardan daha etkili ve yüksek performanslıdır. Örneğin, $T = 0,4$ saniyede, bizim metodumuz AIM yaklaşık olarak 120 bit/dk'lık bir veri aktarım hızı sağlarken; yaklaşık olarak, KKA 5 bit/dk, genişletilmiş-KKA 105 bit/dk, tt-KKA 30 bit/dk ve KORRPA 85 bit/dk ancak sağlayabilmiştir.

SONUÇ

Günümüz mühendislik uygulamaları verileri tipik olarak yüksek boyutlu verilerdir ancak çoğunlukla da düşük boyutlu alt uzaylarda yaşarlar. Bu çalışmada önerdiğimiz yöntem 2 sınıftan oluşan yüksek boyutlu veriyi bir yitim fonksiyonu yardımıyla düşük boyutlu birden fazla alt uzaya eşleyerek sınıflandırma yapan yenilikçi bir sinir ağıdır. Öncelikle, yöntemimizin yapısına uygun olarak ürettiğimiz bir yapay veri seti ile deneyler yapılmış ve alt uzayları öğrenme etkinliği raporlanmıştır. Sonrasında, yöntemimiz DHGUP EEG BBA heceletici sistemlerindeki hedef karakter tahmini için uygulanmıştır. Literatürde sık kullanılan veri setlerinden biri olan benchmark veri seti üzerinde elde edilen sonuçlar raporlanmış ve yöntemsel olarak yakın literatür teknikleri ile karşılaştırmalar sunulmuştur. Yöntemimiz en iyi sonuca $0,8$ saniye sinyal uzunluğunda 156 bit/dk'lık bir veri aktarım hızı ile ulaşmış olup makul zaman aralıklarında karşılaştırılan tekniklerden daha iyi bir performans sergilemiştir. Önerdiğimiz yöntem alt uzay öğrenme kabiliyeti ile DHGUP EEG BBA literatürüne yaklaşımsal önemli katkılar sunmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 118E268 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdi, H. & Williams, L.J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433-459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Dietterich, T. G. & Bakiri, G. (1994). Solving multiclass learning problems via error-correcting output codes. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2(1), 263-286. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1622826.1622834>
- Ghodsı, A. (2006). Dimensionality reduction a short tutorial. Department of Statistics and Actuarial Science at Univ. of Waterloo, Ontario, Canada, 37(38). https://www.math.uwaterloo.ca/~aghodsib/courses/f06stat890/readings/tutorial_stat890.pdf
- Guney, O. B., Oblokulov, M. & Ozkan, H. (2022). A deep neural network for ssvp-based brain-computer interfaces. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 69(2), 932-944. <https://doi.org/10.1109/TBME.2021.3110440>
- Kim, C. & Klabjan, D. (2019). A simple and fast algorithm for L1-norm kernel PCA. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(8), pp.1842-1855. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2903505>
- Kingma, D.P. & Welling, M. (2019). An introduction to variational autoencoders. *Foundations and Trends in Machine Learning*, 12(4), 307-392. <http://dx.doi.org/10.1561/22000000056>
- Kolda, T. G. & Bader, B. W. (2009). Tensor decompositions and applications. *SIAM review*, 51(3), 455-500. <https://doi.org/10.1137/07070111X>
- Krauledat, M., Tangermann, M., Blankertz, B. & Müller, K. R. (2008). Towards zero training for brain-computer interfacing. *PLoS one*, 3(8), e2967. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002967>
- Lao, K. F., Wong, C. M., Wang, Z. & Wan, F. (2018, Ekim). Learning prototype spatial filters for subject-independent SSVEP-based brain-computer interface. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Japonya*, 485-490.
- Lebedev, M. A. & Nicolelis, M. A. (2006). Brain-machine interfaces: past, present and future. *Trends in Neurosciences*, 29(9), 536-546. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.07.004>
- Lin, Z., Zhang, C., Wu, W. & Gao, X. (2006). Frequency recognition based on canonical correlation analysis for SSVEP-based BCIs. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(12), 2610-2614. <https://doi.org/10.1109/TBME.2006.886577>
- Liu, F., Zhang, W. & Gu, S. (2016). Local linear Laplacian eigenmaps: A direct extension of LLE. *Pattern Recognition Letters*, 75, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2016.03.003>
- Lu, H., Plataniotis, K. N. & Venetsanopoulos, A. (2013). *Multilinear subspace learning: dimensionality reduction of multidimensional data*. CRC press, Florida ABD, 296.
- Rezeika, A., Benda, M., Stawicki, P., Gembler, F., Saboor, A. & Volosyak, I. (2018). Brain-computer interface spellers: A review. *Brain Sciences*, 8(4), 57. <https://doi.org/10.3390/brainsci8040057>
- Saeed, N., Nam, H., Haq, M.I.U. & Muhammad Saqib, D.B. (2018). A survey on multidimensional scaling. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(3), 1-25. <https://doi.org/10.1145/3178155>
- Srinivasan, R., Bibi, F. A. & Nunez, P. L. (2006). Steady-state visual evoked potentials: distributed local sources and wave-like dynamics are sensitive to flicker frequency. *Brain Topography*, 18(3), 167-187. <https://doi.org/10.1007/s10548-006-0267-4>
- Wang, Y., Nakanishi, M., Wang, Y.-T. & Jung, T.-P. (2014, Ağustos). Enhancing detection of steady-state visual evoked potentials using individual training data. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, IL ABD*, 3037-3040.

- Wang, Y., Chen, X., Gao, X. & Gao, S. (2016). A benchmark dataset for SSVEP-based brain-computer interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(10), 1746-1752.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2627556>
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G. & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767-791.
[https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3)
- Yuan, P., Chen, X., Wang, Y., Gao, X. & Gao, S. (2015). Enhancing performances of SSVEP-based brain-computer interfaces via exploiting inter-subject information. *Journal of Neural Engineering*, 12(4), 46006.
<https://doi.org/10.1088/1741-2560/12/4/046006>
- Zerafa, R., Camilleri, T., Falzon, O. & Camilleri, K. P. (2018). To train or not to train? A survey on training of feature extraction methods for SSVEP-based BCIs. *Journal of Neural Engineering*, 15(5), 51001.
<https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaca6e>
- Zhai, J., Zhang, S., Chen, J. & He, Q. (2018, Ekim). Autoencoder and its various variants. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Japonya, 415-419.
- Zhang, Y., Zhang, Z., Qin, J., Zhang, L., Li, B. & Li, F. (2018a). Semi-supervised local multi-manifold isomap by linear embedding for feature extraction. *Pattern Recognition*, 76, 662-678.
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.09.043>
- Zhang, Y., Yin, E., Li, F., Zhang, Y., Tanaka, T., Zhao, Q., Cui, Y., Xu, P., Yao, D. & Guo, D. (2018b). Two-Stage Frequency Recognition Method Based on Correlated Component Analysis for SSVEP-Based BCI. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 26(7), 1314-1323.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2018.2848222>
- Zhang, Z. (2018, Haziran). Improved adam optimizer for deep neural networks. IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS), Banff, Alberta, Kanada.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 22.09.2022
Kabul Tarihi : 08.11.2022

Received Date : 22.09.2022
Accepted Date : 08.11.2022

YUMURTA KABUĞU İÇERİĞİNİN ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMENİN YANMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİ

EFFECT OF EGG SHELLS CONTENTS ON COMBUSTION RESISTANCE OF WOOD PLASTIC COMPOSITE MATERIAL

Ferhat ÖZDEMİR^{1*} (ORCID: 0000-0002-2282-1884)

Ali Osman ÖZĞAN^{2*} (ORCID: 0000-0001-9646-1984)

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

²Iğdır Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Iğdır, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ferhat ÖZDEMİR, ferhatozd@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada odun plastik kompozit malzeme (OPK) üretiminde kullanılan yumurta kabuğu içeriğinin yanma mukavemeti üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. OPK malzeme üretimi için yumurta kabuğu, kızılçam odununu, polipropilen (PP) ve maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen (MAPP) belirli oranlarda karıştırılmıştır. Tek vidalı ekstrüder kullanılarak peletler elde edilmiştir. Daha sonra peletlerden enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak test numuneleri üretilmiştir. Üretilen test numunelerinin yanma dayanımı özellikleri belirlenmiş ve testler ilgili standartlara bağlı kalınarak yapılmıştır. OPK levhaların yanma dayanımı belirlenmesi için yanma testi (UL94), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analizi yapılmış ve homojenlik durumunun belirlenmesi için Scanning Electron Microscope (SEM) ile görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen test sonucu verilerine göre yumurta kabuğu içeriğinin kullanımının artmasına bağlı olarak test numunelerinin yanma esnasında bozunmadan kaynaklı ağırlık kayıplarında azalma olmuştur. Fakat kül miktarı artmıştır. Ayrıca test numunelerinin tutuşma sürelerinde olumlu bir gelişme olduğu, yanma süresinin de arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yumurta kabuğu, yanma, kızılçam, odun plastik kompozit

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the effect of egg shell content used in the production of wood plastic composite material (OPK) on the combustion strength. In the production of OPK material, red pine wood flour, polypropylene (PP), egg shell and polypropylene (MAPP) treated with maleic anhydride are mixed in certain proportions. Pellets were obtained using a single screw extruder. Then, test samples were produced from the pellets using an injection molding machine. The fire resistance properties of the produced test samples were determined and the tests were carried out in accordance with the relevant standards. Combustion test (UL94), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis were performed to determine the fire resistance of OPK sheets, and images were obtained with a scanning electron microscope (SEM) to determine the homogeneity status. According to the test result data obtained, there was a decrease in the weight losses of the test samples due to decomposition during combustion, due to the increase in the use of eggshell content. But the amount of ash increased. In addition, it was determined that there was a positive development in the ignition times of the test samples and the burning time increased.

Keywords: Eggshell, combustion, red pine, wood plastic composite

To Cite: ÖZDEMİR, F., & ÖZĞAN, A.O., (2023). YUMURTA KABUĞU İÇERİĞİNİN ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMENİN YANMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİ, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 98-107.

GİRİŞ

Kompozit malzemelere olan ilgi her geçen gün dahada artmaya başladı. Hem kullanım yeri açısından tercih alternatifleri oluşturması hem de daha ekonomik olması nedeniyle günümüzde oldukça talep görmektedir. Birçok farklı özelliklere sahip kompozit malzeme bulunmaktadır. Bunlardan biriside odun plastik kompozitlerdir (OPK). OPK üretimi belirli boyutlara sahip olan ahşap esaslı malzemelerin ile termoplastik reçine karışımından üretilmektedir. Termoplastik polimer içerisinde farklı oranlarda odun parçacıkları kullanılmaktadır. Kullanım yerine uygun olacak oranda ahşap parçacıkları kullanılması sakınca oluşturmamaktadır. Odun parçacıklarının OPK malzemede dolgu maddesi olarak kullanılmasının en büyük avantajları arasında yoğunluklarının düşük olması, direnç özelliklerinin yeterli olması, yalıtım için uygun olması vb. gibi birçok sebep bulunmaktadır. En önemli faktörlerden bir tanesi de kullanım oranına bağlı olarak hammadde maliyetini azaltmasıdır. Ancak avantajlarının yanı sıra bazı kullanım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar arasında odunun çalışma özelliğinden dolayı su alıp vermeye müsait olması, kimyasal içeriğinden dolayı mantar ve böcek zararlılarına karşı direncinin düşük olması ve yanmaya karşı dayanımın düşük olması en önemli dezavantajları arasında sayılabilir.

Kompozit ve OPK malzemeler birçok sektörde ve çok farklı kullanım alanlarında değerlendirilmektedir. OPK malzemelerin en çok kullanıldığı sektörler mobilya, otomotiv ve inşaat sektörüdür. Günümüzde artan odun ve işleme maliyetleri sebebiyle hem iç hem de bahçe mobilya sektöründe kullanım miktarlarında önemli artışlar bulunmaktadır. Mobilya üretiminde koltuk, kanepeler vb. birçok malzemede ayak vb. olarak, kulüp vb. aksesuar parçası olarak iç mekân mobilyasında, dış hava şartlarına uygun olması açısından ise yüzme havuzu, çatı kaplaması, dış cephe ve bank gibi bahçe mobilyasında kullanımı artmıştır. Yeterli mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması kullanım alanını genişletmektedir. OPK malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile yüzey kalitesi kullanım yeri ve amacına göre önem arz etmektedir.

Odun unu gibi birçok farklı organik ve inorganik dolgu maddesi kompozit malzemelerde kullanılmaktadır. İnorganik dolgu maddesi olarak kaolin, talk ve çinko borat (Gwon ve ark.), nanokil (Hetzer), çinko oksit ve tetrapod (Zhou et al., 2006) vb. kullanılmaktadır. Organik dolgu maddesi olarak ise birçok ağaç türü, tarımsal atık ve endüstri atıkları kullanılmaktadır (Özdemir et al, 2013, Özdemir & Özğan, 2019). Her iki dolgu maddesi kullanıldıkları OPK malzemelerin mukavemet özelliklerini ve sertlik değerlerini artırma özelliğine sahiptir. OPK malzemelerin kullanım miktarının artırılması için maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmış mika, cam, CaCO₃, wollastonite ve talk gibi değişik dolgu ve katkı maddeleri ile birçok araştırma yapılmıştır (Karrad et al. 1998; Nielsen and Landel 1994; Baral et al. 1999; Lopez et al. 2012; Demjén et al. 1998; Gan et al. 2001a, 2001b, 2001c; Pinto et al. 2001; Pastorini and Nunes 1999; Li et al. 2003; Švab et al. 2007; Meng et al. 2008; Alam et al. 2010; Huang et al. 2013; Erden et al. 2010; Mathew et al. 2017; Thio et al. 2002; Atagür et al. 2018). Ülkemizde birçok atık OPK malzeme üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Bunların arasında önemli bir miktar teşkil eden yumurta atığı ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Atık yumurta kabuğu polyster kompozit malzeme üretiminde kullanılmıştır (Borazan ve ark., 2019). Çalışmamızda hem organik hem de inorganik dolgu maddesi ile OPK üretimi düşünülmüştür. Türkiye’de yaklaşık olarak 101 bin ton yumurta atığı oluşmakta ve her yılda giderek artmaktadır. Üretilen yumurta sayısı ise 16 milyar civarındadır (URL-1).

Günümüzde birçok sektörde ciddi miktarda kullanılan ve kabuğu da işletmelere önemli bir maliyet ortaya çıkaran atık ise yumurta kabuğudur. Yumurta kabuğu her bir orta boy yumurta için 5-6 gr. kabuğa sahiptir. Kabuğun kırılma direnci >30N, kalınlığı ise 300-350 µm aralığındadır. Yumurtanın kabuk kısmı tüm ağırlığın hemen hemen %10-12’ sini oluşturmaktadır. İnce ve poroz yapıya sahip olan kabuğun asıl görevi mikrobiyal dış çevre ile yani yumurtanın içi ile dış çevre arasındaki nem ve gaz alışverişini gerçekleştirerek yumurta içeriğini dış etkenlere karşı korumaktır. (Erol, 1994). Yumurta kabuğunun yapısı kalsiyum açısından zengin olup bir yumurtada 17-2.5 gr. bulunmaktadır (Bongiorno L, 2008). Kabuğun yapısını CaCO₃ (%94-97), magnezyum (%0,2), fosfor (%0,3), ve potasyum, demir, sodyum, bakır, mangan ve diğer organik maddeler (<%2) oluşturmaktadır. Bu çalışmada hem atığın çevreye vereceği zararı azaltmak hem de işletmelere atığı bertaraf etme maliyeti oluşturan bol miktarda bulunan yumurta kabuğunun yapısını oluşturan inorganik maddeler sebebiyle yanmaya karşı önemli bir yanma mukavemeti sağlayacağı düşünülmüştür. Maliyet ve bol miktarda temin edilme kolaylığı ve sahip olduğu rengi nedeniyle OPK üretiminde kullanılması avantajlı olacaktır. Bu çalışmada polipropilen, odun unu ve yumurta kabuğu farklı oranlarda karıştırılarak OPK malzeme üreterek, dolgu maddesi olarak kullanılan yumurta kabuğu içeriğinin yanma mukavemetine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

OPK üretiminde kızılçam dan elde edilen odun unu, Polipropilen (PP), yumurta kabuğu tozu ve uyumsuzluk giderici ajan olarak da MAPP kullanılmıştır. Polimer matris İzmir PETKİM firmasından, MAPP Clariant International firmasından, odun unu Kahramanmaraş ilinde ticari faaliyet gösteren firmadan, yumurta kabuğu ise beyaz kabuklu olmak üzere marketlerde satılan yumurtalardan elde edilmiştir. Talaşlar ve yumurta kabuğu KSU Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümü laboratuvarında 60 mesh boyutuna getirilmiş ve OPK üretiminde kullanılmıştır.

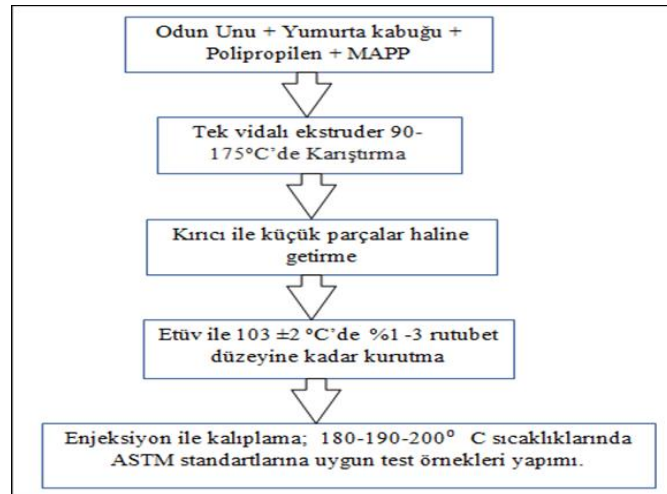
Metot

Hazırlanan karışımdan üretilen OPK malzemelerin üretim parametre değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. OPK Üretimine Ait Parametreler

Levha Kod	Odun Unu (%)	PP (%)	Yumurta Kabuğu (%)	MAPP (%)
A	30	70	0	0
B	30	65	5	0
C	30	60	10	0
D	30	55	15	0
E	30	67	0	3
F	30	62	5	3
G	30	57	10	3
H	30	52	15	3
I	0	70	30	0

Tablo 1' de kodlara göre numunelerinin karışım oranları verilmiştir. Bu oranlara bağlı olarak test numuneleri üretilmiştir. Üretimde karışımı oluşturan PP, odun unu, yumurta kabuğu ve MAPP karıştırıcı kullanılarak homojen bir hale getirilmiştir. Karışım tek vidalı ekstruder ile belirli sıcaklık aralığında (90-175 °C) karıştırılmış PP' nin erimesi ile üretilen peletler soğuk su ile muamele edilmiş fazla su uzaklaştırılmıştır. Peletler kırıcı ile daha küçük boyutlara getirilmiş karışım parçacıkları etüvde rutubet oranı %1-3 değişmez hale gelinceye kadar 103 ±2 °C'de kurutma işlemi yapılmıştır. Daha sonra bu karışım parçacıkları 180-190-200 °C sıcaklık aralığı belirlenen enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak yapılacak testlere uyumlu bir şekilde ASTM standartlarına göre belirlenen test numuneleri halinde kalıplanmıştır. Test numunelerinin üretiminde enjeksiyon makine hızı (80 mm/sn), basınç (100 bar) ve vida hızı (40 dev/dk) belirlenmiştir. Test numunelerinin üretim iş akışı Şekil 1' de verilmiştir.



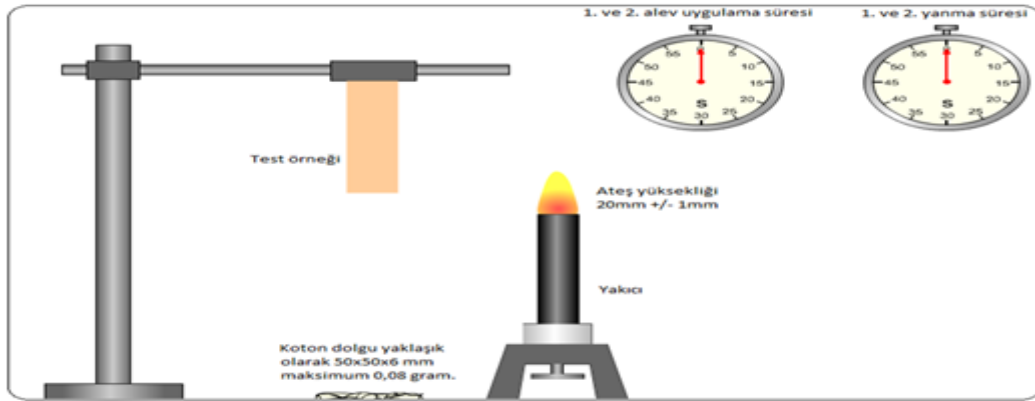
Şekil 1. Test Numuneleri Üretim İş Akış Şeması

Yanma Dayanımı Testi

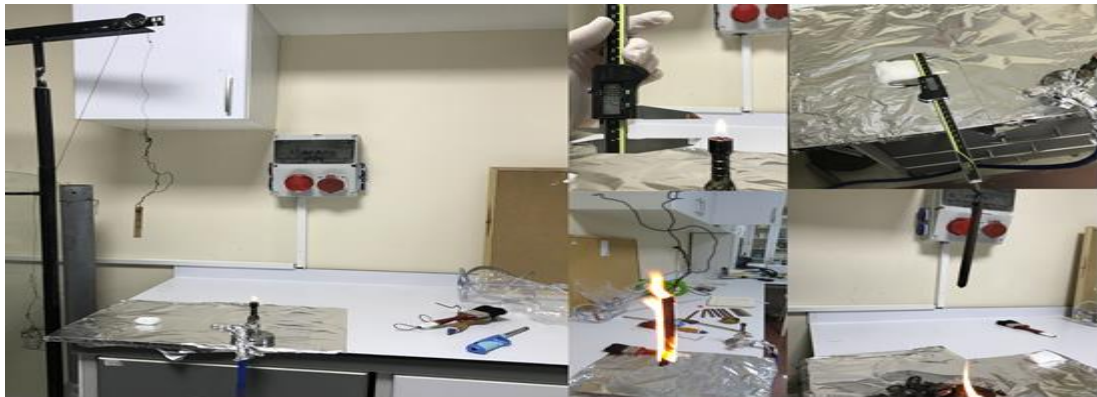
OPK test numunelerinin yanma dayanımı testi UL94 standardına uygun olarak yapılmıştır. Her test grubu için 5 tekrarlı olmak üzere 13x4x125 mm boyutlarındaki test numuneleri ilgili standarda göre alev kaynağına, belirli sürelerde maruz bırakılmıştır. Yanma dayanımı test düzeneğinde alev beki üstü ile test numunesinin arasındaki mesafe 10 mm ve alev boyu ise 20 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Test numunesi 10 sn alev kaynağına maruz bırakılır ve alev kaynağından uzaklaştırılarak alevin sönmesi için geçen süre (t1) belirlenir. Numune tekrar 2. kez yine 10 sn alev kaynağına maruz bırakılır ve oluşan alevin sönme süresi (t2) belirlenir bu arada kor görünüm süreside (t3) kaydedilir. Aynı zamanda test numunesinin yanması sebebiyle test numunesinin altına yerleştirilen pamuk üzerine eriyen damla sayısı belirlenir. Elde edilen veriler ile numunelere ait yanmanın süresi (V-0) numunenin yanma toplam süresi (V-1) ve pamuk üzerine düşen damla sayısı (V-2) tespit edilir. UL94 yanma dayanımının derecesinin belirlenmesinde uygulama şartları Şekil 2’de verilmiştir. Yanma testi ile uygulamalar ise Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Yanma Dayanımı Belirlenmesi Sınıflandırma Şartları (UL-94)

Yanma Dayanım derecesi (UL 94 V)	V-0	V-1	V-2
Test Kriterleri			
Her bir test numunesinin yanma zamanı (s) (Birinci ve ikinci alev uygulamalarından sonra)	≤10	≤30	≤30
Toplam yanma süresi(s) (10 sn alev uygulamaları)	≤50	≤250	≤250
İkinci alev uygulamasından sonra yanma ve yanma sonrası süreleri(s)	≤30	≤60	≤60
Yanan örneklerin damlaması (pamuk tutuşması)	Hayır	Hayır	Evet
Tutma kelepçesine kadar yanma (tamamen yanmış örnekler)	Hayır	Hayır	Hayır



Şekil 2. Yanmazlık Derecesi Belirleme Test Şeması



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. UL 94 Yanma Dayanımı Test Uygulaması Fotoğu

FTIR Analizi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

OPK test numunelerin FTIR analizi KSÜ-ÜSKİM de Shimadzu markalı FTIR 8400s kodlu spektrofotometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Toplamda 11 grup olan numuneler için FTIR analizi yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

UL 94 V -Yanma Direnci Test Bulguları

Yumurta kabuğu içeriğinin OPK malzemelerdeki yanma dayanımına etkisinin belirlenmesinin yanma ve tutuşma sürelerine bağlı olarak tespit edilmesi için test numunelerine UL94 V testi gerçekleştirilmiştir. OPK malzemelere uygulanan test sonucu, elde edilen veriler Tablo 3’de verilmiştir.

OPK malzemelerde yumurta kabuğu içeriğinin artmasına bağlı olarak yanma dayanımının olumlu etkilendiği görülmüştür. MAPP kullanılmayan A kodlu kontrol örneği yanma süresi 65 sn iken %15 yumurta kabuğu içeren D kodlu test numunesinin yanma süresi 125 saniyedir. Toplam yanma süresinde yine benzer bir durum söz konusu olup kontrol örneği V-1 için 328 sn iken %15 yumurta kabuğu içeriğine sahip numunedeki süre ise 637 saniyedir. Kontrol örneğinde damlama sayısı 9 iken D kodlu numunede damlama sayısı 15 olarak belirlenmiştir.

MAPP kullanılarak üretilen OPK malzemede, kullanılan yumurta kabuğu içeriğinin artması ile tutuşma süresinin geciktiği ek olarak da yanma süresinin arttığı görülmektedir. Tutuşma ve yanma sürelerinin artmasında MAPP kullanımı olumlu etkiyi artırmıştır. H kodlu numuneler bir süre sonra yandıktan sonra tamamen bir yanma olmadığı ve yanmanın bittiği gözlemlenmiştir. Yumurta içeriğinin en fazla olduğu H grubu ile PP %70 ve yumurta içeriğinin %30 olduğu I kodlu numunelerde t_1 ve t_2 tutuşturma süreleri sonunda tutuşmadığı ve yanma olayının olmadığı belirlenmiştir. Yumurta kabuğu tutuşma süresi ve yanma süresi üzerine geciktirmeye yönelik olumlu bir etki yapmıştır. Özellikle son dönemlerde yaşam alanlarında, iş yerlerinde, dış cephe kullanımını ile bahçe mobilyalarında kullanılan OPK malzemelerde yanmaya karşı direncin artırılması amaçlı yumurta kabuğunun dolgu malzemesi olarak kullanımının mümkün olduğu tespit edilmiştir. Test numunelerine ait UL94 V testi verileri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. OPK Malzemelerin Yanma Direnci Test Verileri

		V-0	V-1	V-2	Pamuğun damlayan parçalar, damlalar ile alev alması	Parçanın tamamen yanması
A	T ₁ alev alma süresi	65 (sn)	328 (sn)	9 (damla)	Evet	Evet
B	T ₁ Alev alma süresi	93 (sn)	482 (sn)	8 (damla)	Evet	Evet
C	T ₁ Alev almadı T ₂ Alev alma süresi	112 (sn)	545 (sn)	17(damla)	Evet	Evet
D	T ₁ Alev süresi 30 sn sonra söndü T ₂ (Alev alma süresi) t_1+t_2 (toplam yanma) T ₂ Alev süresi 85 sn sonra söndü	125 (sn)	637 (sn)	15(damla)	Evet	Evet
E	T ₁ Alev alma süresi	62 (sn)	358 (sn)	18 (damla)	Evet	Evet
F	T ₁ Alev almadı T ₂ (Alev alma süresi)	88 (sn)	435 (sn)	17(damla)	Evet	Evet
G	T ₁ Alev almadı T ₂ Alev sönme süresi t_3 kor görünüm 14 sn	137 (sn)	678 (sn)	16(damla)	Evet	Evet
H	T ₁ Alev almadı T ₂ Alev almadı	-	-	-	Hayır	Hayır
I	T ₁ Alev almadı T ₂ Alev almadı	-	-	-	Hayır	Hayır

*T₁: Alev alma süresi 1.uygulama, T₂: Alev alma süresi 2.uygulama, t_1+t_2 : Beş örnek için, T₁ ve T₂ yanma zamanın toplamı, t_2+t_3 : Alev sönme süresi t_2 ve sönme sonrası kor görünümün devam etme süresi t_3 .

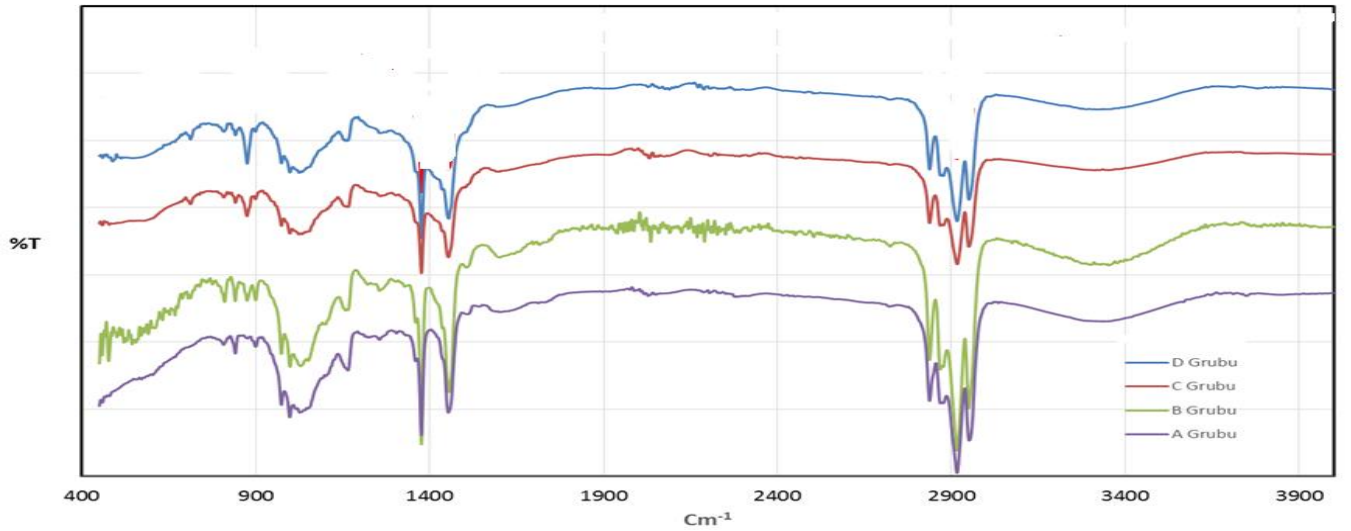
OPK malzemelerin yanma direncini artırmak için mineral madde kullanılmış ve olumlu etki yaptığı belirlenmiştir (Kurt, & Mengeloğlu, 2011; Özdemir, 2020).

FTIR- (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Analiz Değerlendirmesi

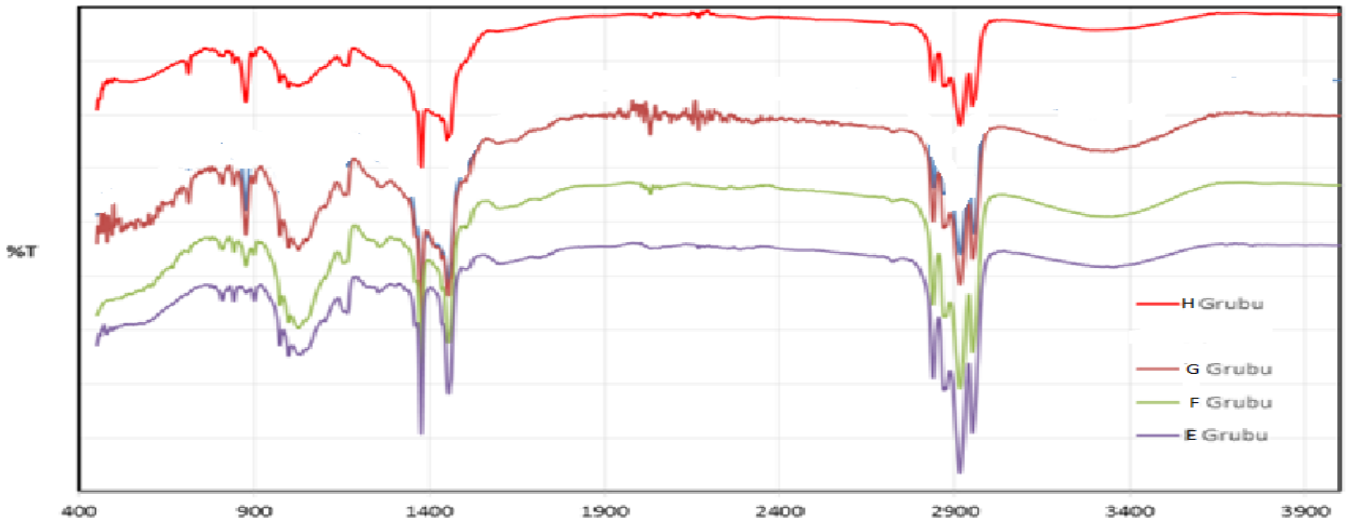
Test numunelerinin Fourier Transform Infrared Spektroskopi (FTIR) belirlenmiştir. FTIR analizi yapılması ile elde edilen spektrumlar OPK malzemenin karakterizasyonun belirlenmesi için önemli bir veri olmuştur. Test numuneleri birbirine benzer bant aralıkları sergilemişlerdir. FTIR analizi ile üretilen malzemelerin molekül oluşumunda yer alan çeşitli bağların titreşin frekanslarının ölçülmesi ve molekül oluşumunda bulunan kimyasal bağların tespit edilerek kıyaslanması yapılmıştır. Malzeme üretiminde kullanılan organik-inorganik test örneklerinin nitel ve nicel olarak belirlenmesinde ve birçok farklı bileşenin tespitinde önemlidir. Test numunelerinin FTIR analizi sonucunda fonksiyonel gruplar ve kovalent bağ yapısı ortaya konmuştur.

OPK malzemeler için FTIR spektrumunda 400-1500 cm^{-1} aralık parmak izi bölgesi olarak kabul edilir ve kompozit malzeme moleküllerinin kendine özgü karakteristik gerilme titreşimlerini gösterir. Fonksiyonel grup bölgeleri ise spektrumda 1500-4000 cm^{-1} aralığındadır.

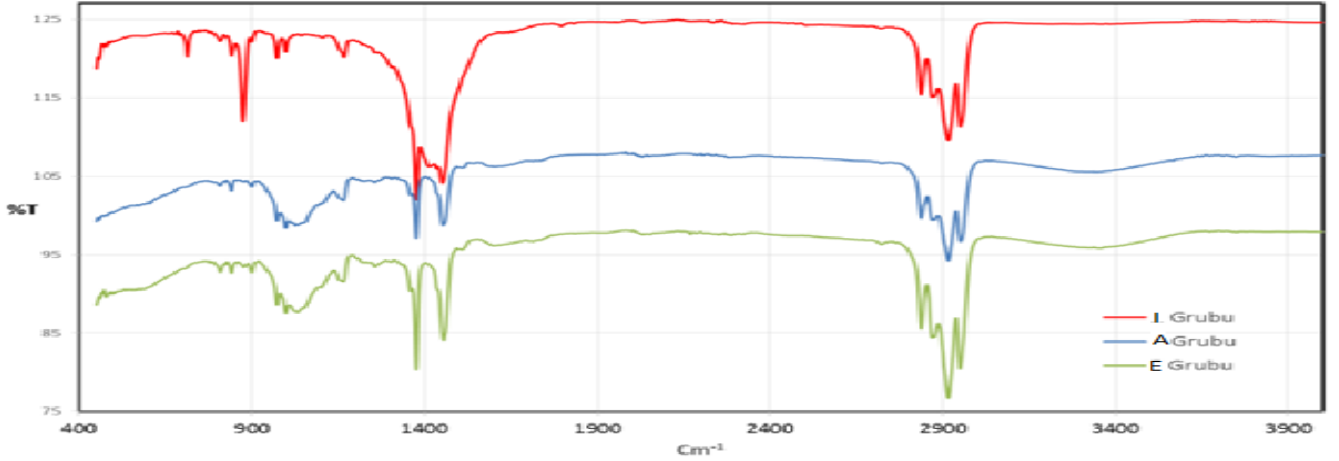
İçerisinde yumurta kabuğu, polipropilen ve odunu kullanılarak üretilen, kodları A, B, C ve D olan grupların FTIR spektrumu Şekil 4'de, aynı içeriğin içerisine MAPP ilave edilerek üretilen E, F, G ve H, gruplarının FTIR spektrumu Şekil 5'de ve kontrol örneklerinin kıyaslanabilmesi içinde A, E ve I grupları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4. A, B, C ve D Kodlu Numunelere Ait FTIR Grafiği



Şekil 5. E, F, G ve H Kodlu Numunelere ait FTIR Grafiği

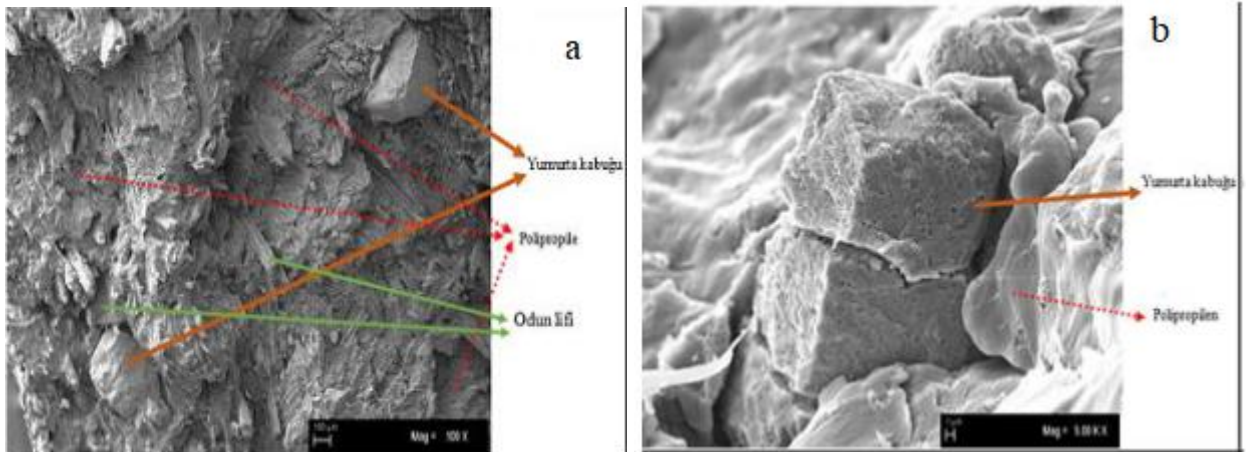


Şekil 6. A, E ve I Kodlu Numunelere ait FTIR Grafiği

FTIR analizinde üretilen OPK malzemeler içerisinde yer alan kontrol örnekleri, MAPP kullanılan ve kullanılmayan test numuneleri ayrı ayrı olmak üzere kendi aralarında olmak üzere FTIR spektralleri karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de görüldüğü üzere odununun miktarı %30 olarak sabit tutulmuştur. Buna bağlı olarak da 3400 cm⁻¹ bandında bu durum yatay bir band olarak görülmektedir (Tomak et al., 2018). Polipropilen yapısında asimetrik ve simetrik -CH₃ ve -CH₂ ihtiva eden alifatik C-H titreşimler 2800-2900 bantları arasında tespiti edilmiştir (Morent et al., 2008). PP içerisindeki C-C bağlarına ait gerilme titreşimleri ise 1400 bant civarında belirlenmiştir. MAPP kullanımına ait herhangi bir pik belirlemek mümkün olmamıştır. Çünkü reaktifler sebebiyle yoğun bant oluşumlarından dolayı görülmesinin mümkün olmadığı düşünülmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskopi (Scanning Electron Microscope- SEM) Fotosu

Belirli oranlarda dolgu maddesi olarak kullanılan yumurta kabuğunun test numuneleri içerisindeki dağılımı Taramalı Elektron Mikroskopi ile belirlenmiştir Şekil 5. Fotonun elde edilmesinde en yüksek oranda yumurta kabuğu içeren D grubu test numunelerinin enine kesiti tercih edilmiştir. Şekil 5’de polipropilen, yumurta kabuğu ve odun unu arasındaki uyum görülmektedir. Dolgu maddelerinin özellikle gözenekli yapıya sahip olanların OPK malzemenin mekanik özelliklerini olumlu etki ederken, genel olarak dolgu maddeleri OPK malzemenin mekanik, fiziksel ve yüzey özellikleri üzerine olumsuz etki ettikleri bilinmektedir (Özdemir, 2021). Taramalı Elektron Mikroskopi fotosunda polipropilen, yumurta kabuğu ve odun ununun homojen dağılımı belirlenmiştir. Dolgu maddelerinin partikül büyüklüğü de direnç özellikleri üzerine etkilidir (Akpınar vd., 2019). Yumurta kabuğunun kimyasal yapısını oluşturan önemli bileşenlerden olan kalsiyumun yanı sıra mineral maddeler ısıyı absorban etmesi sebebiyle yanmaya karşıda dayanımı artırmaktadır (Kaya & Oz, 1999). OPK malzeme bileşenlerinin birbiri ile uyumunun belirlenmesi SEM fotosu ile tespit edilmiştir (Şekil 7). SEM fotosunda odun unu, yumurta kabuğu ve polipropilen arasındaki uyum görülmektedir.



Şekil 7. OPK Malzemelerin SEM Fotosu (a-b) (Özdemir & Özğan, 2021)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen veriler göre sonuç olarak;

- OPK malzeme üretiminde kullanılan yumurta kabuğu içeriğinin artması ile malzemelerin tutuşma sürelerinde gecikme olduğu ve ayrıca yanma sürelerinin kontrol örneğine kıyasla uzadığı belirlenmiştir.
- Yanma dayanımı en yüksek olan grupların MAPP kullanılan ve %15 (V0) yumurta kabuğu içeriğine sahip grubun olduğu tespit edilmiştir.
- Yumurta kabuğu içeriğinin yanma dayanımını artırmaktadır. Son zamanlarda yaşam alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan OPK malzemelerin üretiminde yanma olayında önemli bir etken olan tutuşma ve yanma hızını azaltması nedeni ile dolgu maddesi olarak yumurta kabuğu kullanılabilirliği ortaya çıkmaktadır.
- Önemli bir atık olarak kabul edilen büyük miktardaki yumurta kabuğu atığının iyi bir geri dönüşümü ile kompozit malzeme üretiminde dolgu maddesi olarak kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- OPK üretiminde yumurta kabuğu atığı ve kullanılabilir oranının yüksek olması sebebiyle malzeme üretim maliyeti açısından ekonomik olarak katkı sağlayacağı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu makale Ali Osman ÖZĞAN'ın yüksek lisans tezinden üretilmiş olup Çukurova 7. International Scientific Researches Conference 7 -8 September 2021 / Adana, TURKEY 'de kısmen sunulmuştur. 2018/1-7 YLS nolu proje ile çalışmayı desteklediği için KSU-BAP birimine ve OPK üretimine yardımcı olduğu için Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU' na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akpınar B. A., Kuru, D. & Sert, S. (2019). Atık Yumurta Kabuğu Katkısının Polyester Kompozit Malzeme Üretimine Etkisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi *Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, 135 – 145. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.582065>.
- Atagür, M., Sarikanat, M., Uysalman, T., Polat, O., Elbeyli, İ. Y., Seki, Y., & Sever, K. (2018). Mechanical, thermal, and viscoelastic investigations on expanded perlite-filled high-density polyethylene composite, *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(8), 747–761. <https://doi.org/10.1177/0095244318765045>
- Alam, S., Habib, F., Irfan, M., Iqbal, W., & Khalid, K. (2010). Effect of orientation of glass fiber on mechanical properties of GRP composites, *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 32: 265–269. <https://doi.org/10.1177/00952443187650>
- Baral, D., De, P., & Nando, G. B. (1999). Thermal characterization of mica-filled thermoplastic polyurethane composites, *Polymer Degradation and Stability*, 65(1), 47–51. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(98\)00215-8](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(98)00215-8)
- Bongiorno L., “*Green, Greener, Greenest*”, A Perigee Book, 2008.
- Borazan, A. A., Duygu, K. U. R. U., & Süleyman, S. E. R. T. (2019). Atık Yumurta Kabuğu Katkısının Polyester Kompozit Malzeme Üretimine Etkisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, *Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 135-145. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.582065>
- Demjén, Z., Pukánszky, B., & Nagy, J. (1998). Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO₃ composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29(3), 323–329. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(97\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(97)00032-8)

- Erden, S., Sever, K., Seki, Y., and Sarikanat M. (2010). Enhancement of the mechanical properties of glass/polyester composites via matrix modification glass/polyester composite siloxane matrix modification. *Fibers and Polymers* 11: 732–737. DOI 10.1007/s12221-010-0732-2
- Gan, D., Cao, W., Song, C., & Wang, Z. (2001a). Mechanical properties and morphologies of poly (ether ketone ketone)/glass fibers/mica ternary composites. *Materials Letters*, 51(2), 120–124. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(01\)00276-2](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(01)00276-2)
- Gan, D., Lu, S., Song, C., & Wang, Z. (2001b). Mechanical properties and frictional behavior of a mica-filled poly (aryl ether ketone) composite. *European Polymer Journal*, 37(7), 1359–1365. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(01\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(01)00010-6)
- Gan, D., Lu, S., Song, C., & Wang, Z. (2001c). Physical properties of poly (ether ketone ketone)/mica composites: effect of filler content. *Materials Letters*, 48(5), 299–302. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(00\)00318-9](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(00)00318-9)
- Gwon, J. G., Lee, S. Y., Chun, S.J., Doh, G.H., & Kim J.H., (2010). Effects of chemical treatments of hybrid fillers on the physical and thermal properties of wood plastic composites. *Composites A* (2010), 1491-1497. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.06.011>
- Hetzer, M., & Kee, D., (2008) Wood/polymer/nanoclay composites, environmentally friendly sustainable technology: a review. *Chem. Eng. Res. Des.* 16:1016–1027. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2008.05.003>
- Huang, R., Kim, B.-J., Lee, S., Zhang, Y., & Wu, Q. (2013). Co-extruded wood-plastic composites with talc-filled shells: morphology, mechanical, and thermal expansion performance. *BioResources*, 8(2).
- Karrad, S., Lopez Cuesta, J., & Crespy, A. (1998). Influence of a fine talc on the properties of composites with high density polyethylene and polyethylene/polystyrene blends. *Journal of Materials Science* 33, 453–461.
- Kaya, M., & Oz, D., (1999). Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim 1999, İzmir, Türkiye.
- Kurt, R., & Mengeloğlu, F. (2011). Utilization of boron compounds as synergists with ammonium polyphosphate for flame retardant wood-polymer composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(2), 155-163. DOI 10.3906/tar-0910-508
- Li, Z., Shen, S. Y., Peng, J. R., & Yang, C. R. (2003). Mechanochemical Modification of Wollastonite and its Application to Polypropylene. *Key Engineering Materials*, 249, 409–412. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.249.409>
- Lopez, F.A., Martin, M. I., Alguacil, F.J., Alguacil, J. M., & Rincón, T. A. (2012). Centeno, and M. Romero, Thermolysis of fiber glass polyester composite and reutilization of the glass fiber residue to obtain a glass-ceramic material. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93: 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.10.003>
- Mathew M.T., Padaki N. V., Rocha, L.A., Gomes, J. R., Alagirusamy, R., Deopura, B. L., & Fanguero, R. (2007). Tribological properties of the directionally oriented warp knit GFRP composites. *Wear*, 263: 930–938. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.001>
- Meng, M.R., & Dou, Q. (2008). Effect of pimelic acid on the crystallization, morphology and mechanical properties of polypropylene/wollastonite composites. *Materials Science and Engineering: A*, 492(1-2), 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.03.048>
- Morent, R., De Geyter, N., Leys, C., Gengembreb L. & Payen, E. (2008). Comparison between XPS- and FTIR-analysis of plasma-treated polypropylene film surfaces, *Surface and Interface Analysis*, 40, 597-600. <https://doi.org/10.1002/sia.2619>

Nielsen, L.E., & Landel, R. F. (1994). Mechanical properties of polymers and composites. *New York:Marcel Dekker Textile Research Journal*, 64(11), pp.696–696.

Özdemir, F. (2020). Perlit İçeriğinin Odun Plastik Kompozitlerin Yanma Dayanımına Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(3), 852-860. <https://doi.org/10.24011/barofd.754531>

Özdemir, F. (2021). Perlit Kullanımı ile Odun Plastik Kompozitlerin Fiziksel, Mekanik ve Yüzey Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 15-23.

Özdemir, F., & Özğan, A. O. (2021). Odun plastik kompozit malzemede yumurta kabuğu kullanımının yanma dayanımına etkileri, *Cukurova 7th International Scientific Researches Conference 7-8 September 2021 / Adana, Turkey*.

Özğan, A. O. (2019). Yumurta Kabuğunun Odun Plastik Kompozit Malzemede Kullanımının Araştırılması” *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi*.

Pastorini M.T., & Nunes R.C.R. (1999). Mica as a filler for ABS/polycarbonate blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 74: 1361–1365. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19991107\)74:6<1361::AID-APP6>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19991107)74:6<1361::AID-APP6>3.0.CO;2-U)

Pinto, U. A., & Visconte, L. L. Y., & Reis Nunes, R. C. (2001). Mechanical properties of thermoplastic polyurethane elastomers with mica and aluminum trihydrate. *European Polymer Journal*, 37(9), 1935–1937. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(01\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(01)00069-6)

Švab, I., Musil, V., Šmit, I., & Makarovič, M. (2007). Mechanical properties of wollastonite-reinforced polypropylene composites modified with SEBS and SEBS-g-MA elastomers. *Polymer Engineering & Science*, 47(11), 1873–1880. <https://doi.org/10.1002/pen.20897>

Thio, Y. S., Argon, A. S., Cohen, R. E., & Weinberg, M. (2002). Toughening of isotactic polypropylene with CaCO₃ particles. *Polymer*, 43(13), 3661–3674. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00193-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00193-3)

Tomak, E. D., Ustaomer, D., Ermeş, M.A., & Yıldız, S. (2018). An investigation of surface properties of thermally modified wood during natural weathering for 48 months, *Measurement*, 127,187-197. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.102>

UL 94, 2006. Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances.

(URL-1) Yumurta kabuğundan kâğıt üretimi (2019). <https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/yumurta-kabugundan-kagit-uretildi-2366104>, erişim.26.10.2022

Zhou, Y. Li, Y., Zhong, H., Hou, J., Ding, Y. & Yang, C. (2006). Hybrid nanocrystal/polymer solar cells based on tetrapod-shaped CdSexTe1-x nanocrystals, *Nanotechnology*, 17 pp. 4041-4047. DOI 10.1088/0957-4484/17/16/008



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.09.2022
Kabul Tarihi : 24.11.2022

Received Date : 23.09.2022
Accepted Date : 24.11.2022

GİRİŞİNE GÜNEŞ PANELİ BAĞLI BİR GERİ DÖNÜŞLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ İÇİN SEÇİLEN DEKUPLAJ KAPASİTÖRÜ VOLTAJ DEĞERİNİN ÇIKIŞ GÜCÜ ÜZERİNE ETKİSİ

SIMULATION OF EFFECT ON SELECTING DECOUPLING CAPACITOR VOLTAGE VALUE ON THE OUTPUT POWER OF A FLYBACK CONVERTER FED BY A PV PANEL

Metin SALİHMUHSİN¹* (ORCID: 0000-0003-2069-9376)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Metin SALİHMUHSİN, msalihmuhsin@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada girişine bir PV panel bağlı olan bir geri dönüşlü dönüştürücü tasarımı yapılmıştır. PV panel ve dönüştürücü arasında bir dekuplaj kapasitörü yerleştirilmiştir. Kullanıcı PV panel için istediği aydınlanma ve sıcaklık koşullarını programdan girerek ayarlayabilmektedir. Panel çıkışına bağlanan dönüştürücünün durum uzayı modeli elde edilmiş, devredeki eleman değerlerinin bulunması, kararlı durum ve küçük sinyal analizleri için önceki çalışmalarımıza referanslar verilmiştir. Geliştirilen programlar Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak yazılmıştır. Çalışmanın amacı, devrede kullanılan dekuplaj kapasitörünün farklı voltaj değerleri için çıkışa aktarılan gücün verimini bulmak amacıyla simülasyonlar gerçekleştirmektir. Yapılan simülasyonlar dekuplaj kapasitörü voltaj değerinin PV panel çıkışından yüksek seçilmesi durumunda güç kaybı olmadığını, panel çıkış voltajından daha az seçilmesi durumunda ise çıkışa aktarılan güçte bariz düşüşler olduğunu göstermiştir. Kapasitör voltaj değerindeki 5 V'luk bir azalışın sistem çıkışında %29,15 güç kaybına neden olduğu rapor edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV panel simülatörü, dekuplaj kapasitörü, geri dönüşlü dönüştürücü, Matlab/Simulink.

ABSTRACT

In this study, a flyback converter is designed with a PV panel connected to its input. A decoupling capacitor is placed between the PV panel and the converter. The user can set the desired lighting and temperature conditions for the PV panel. The state space model of the converter is obtained, and references are made to our previous works for calculations of circuit parameters, steady state and small signal analysis of the same converter. The developed programs were written using Matlab/Simulink software. Simulations were carried out to see the efficiency of the power transferred to the output for different voltage values of the decoupling capacitor. The simulations have shown that if the decoupling capacitor voltage value is selected higher than the PV panel output, there is no power loss. If it is selected less than the panel output voltage, there is a clear decrease in the power transferred to the output. It is reported that a 5 V decrease in the capacitor voltage value causes 29.15% power loss at the system output.

Keywords: PV panel simulator, decoupling capacitor, flyback converter, Matlab/Simulink.

GİRİŞ

Günümüzde güneş enerjisinden, elektrik üretim santrallerinden bina çatılarında ısı ve elektrik üretimine oradan tarlalarda su pompası ile sulama yapılmasına kadar geniş bir yelpazede yararlanılmaktadır. Güneş enerjisinin yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olması ve bu kaynaktan elektrik enerjisi üretiminin nisbeten kolay bir şekilde yapılabilmesi gibi pek çok sebepten dolayı, güneş panellerinin kullanımının gelecekte artarak devam edeceği görülmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi PV (PhotoVoltaic) hücresi adı verilen bir yarıiletken cihaz ile yapılmaktadır (Özgöçmen, 2007). Yapı olarak geniş yüzeyli bir pn ekleminden oluşması sebebi ile çalışma şekli diyodu andırırsa da, bir PV hücresi üzerine güneş ışığı gelmesi durumunda bir akım kaynağı gibi davranan bir cihazdır. Farklı materyaller kullanılarak üretilebilmekte ve her çeşit materyalin kendisine göre avantaj ve dezavantajları olabilmektedir. Birim alan başına düşen güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülmesindeki verimlilik göz önüne alındığında mono ve poly kristal silikon ile ince film materyalleri öne çıkmaktadır.

PV panelleri PV hücrelerinin seri, paralel veya seri-paralel kombinasyonlarının bir araya getirilmesi ile elde edilir. Hemen her yerde görmeye başladığımız bu cihazların farklı durumlar altındaki davranışlarının anlaşılabilmesi için hücre ve panellerin matematiksel modellerinin doğru bir şekilde oluşturulması önem arz etmektedir.

PV panellerinin en çok kullanıldığı yerlerden bazıları elektrik üretim ve akü şarj sistemleridir. Her iki çeşit sistemde de PV panellerinden elde edilen DA enerjinin ya başka bir DA enerji seviyesine yada AA enerjiye çevrilmesi gerekmektedir. Bu işlevler için DA'dan DA'a veya DA'dan AA'a dönüşüm yapan güç elektroniği devreleri kullanılmaktadır. Literatürde gerek PV hücre ve panellerin modellenmesi gerekse dönüştürücü devrelerinin PV panelleri ile birlikte kullanımının tasarım ve analizlerinin yapıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır (Tamyürek ve Krimer, 2015; Zengin et al 2013; Büyükgüzel, 2011). Bu çalışmalardan birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

İşler ve Salihmuhsin (2018), yapmış oldukları bir çalışmada şebekeye bağlantısı bulunmayan bir PV sistemini TRNSYS programı kullanarak modellemişlerdir. TRNSYS programının yaygın olarak kullanılan bir program olduğu belirtilmiş, kullanıcıya sistemin montaj aşamasından simülasyonuna kadar bütün basamaklarda modelleme ve simülasyon olanakları sağladığına değinilmiştir. Çalışmalarında önce TRNSYS programı konusunda genel bilgiler verilmiş, kullandıkları modüller konusunda açıklamalar yapılmış sonrasında ise bir PV sistemi TRNSYS ile modellenmiştir. Program çıktısı olarak sistemin yıl boyunca ürettiği gerilim ve akım değerleri, sistemde kullanılan invertörde yıl bazında evrilen güç, saat bazında sistemin çıkış değerleri gibi bazı parametrenin grafiksel olarak gösterimi yapılmıştır. İşler ve Salihmuhsin (2016), yapmış oldukları bir diğer çalışmada PV sistemlerinin tasarım ve simülasyonları yapılırken kullanılacak yazılım programları üzerine bir araştırma yapmışlardır. Piyasada bu amaçla kullanılacak yazılımlar 4 gruba ayrılarak tanıtılmıştır. Bu gruplar içerisindeki yazılım programlarına örnekler verilerek bunlardan bazılarının kullanımları konusunda özet bilgilere yer verilmiştir.

Cubas vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada bir PV hücresinin I_{ph}, I_o, R_s ve R_{sh} parametrelerinden oluşan 4 değişkenle modellenmesine olanak sağlayan analitik bir metot geliştirmişlerdir. Çalışmada PV hücre modelindeki 4 parametrenin her birisi için birer formül elde edilmiştir. Geliştirilen model farklı üretici firmalarının PV hücreleri üzerinde test edilerek yöntemin istenen parametrelerin değerlerini doğru bir şekilde bulup PV hücre modelini oluşturduğu grafiksel verilerle rapor edilmiştir. Yöntemlerinin aydınlanma ve sıcaklık koşulları değişimleri altında istenen parametreleri doğru bir şekilde bulabildiği gösterilmiştir.

Aldwihi ve Salihmuhsin, (2019) yaptıkları çalışmada Cubas vd. (2014) yaptıkları çalışmayı temel alarak PV hücrelerinin I_{ph}, I_o, R_s ve R_{sh}'den oluşan 4 adet parametre ile modellenmesi ve modelin simülasyonu üzerine bir araştırma yapmışlardır. Modelleme daha sonra seri/paralel hücreler içeren PV panellerini kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bu amaçla Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen Matlab/Simulink programının simülasyon ortamında doğru bir şekilde çalışarak PV hücre modeli için gereken parametre değerlerini bulduğu 2 farklı PV panel üreticisinin panelleri üzerinde test edilerek gösterilmiştir.

Salihmuhsin, (2022b) bir çalışmada bir güneş paneli simülatörü geliştirmiştir. Simülatör programı Matlab/Simulink programı kullanılarak yazılmıştır. Simülasyon programında bir PV hücresi foto akımı I_{ph}, diyet

ters saturasyon akımı I_o ve seri direnç R_s 'den oluşan 3 parametre ile modellenmiştir. Modelleme güneş paneli için seri ve paralel PV hücrelerini içerecek şekilde geliştirilmiştir. Simülasyonun farklı aydınlatma ve sıcaklık koşullarında PV panelin çıkış voltajı ve çıkış akımını gösterecek şekilde çalıştığı rapor edilmiştir.

Salihmuhsin, (2022a) diğer bir çalışmada bir geri dönüşlü (flyback) DA/DA dönüştürücü tasarımı yapmış ve yapılan bu tasarımı simülasyon ortamında gerçekleyen bir Matlab/Simulink programı geliştirmiştir. Dönüştürücü girişi 35 V'luk bir DA kaynaktan alınmış, çıkış voltajı ise 311 V'a ayarlanmıştır. Dönüştürücünün çıkışında 0,8 A'e kadar akım sağlayabildiği belirtilmiştir. Geliştirilen geri dönüşlü dönüştürücü programının başarılı bir şekilde çalıştığı ve seçilen değişkenler için çıkış sinyallerini doğru bir şekilde oluşturarak grafiksel ortamda gösterdiği rapor edilmiştir.

Salihmuhsin, (2022c) yapmış olduğu bir diğer çalışmada girişine 35 V DA uygulanan ve çıkışı 311 V DA olarak ayarlanan bir geri dönüşlü (flyback) dönüştürücünün kararlı durum ve küçük sinyal analizlerini yapmıştır. Çalışma Matlab/Simulink programı ile yapılmıştır. Tasarımı yapılan geri dönüşlü dönüştürücü için pals genişliğinden-çıkış voltajına transfer fonksiyonu elde edilerek sistemin açık çevrimde kararlı olduğu gösterilmiştir. Sistemin kapalı çevrimdeki davranışının incelenebilmesi için Bode eğrileri kullanılarak faz marjini ve kazanç marjini değerleri bulunmuş ve grafiksel ortamda gösterilmiştir.

Bu çalışma daha önce yapmış olduğumuz çalışmaların devamı niteliğindeki bir simülasyon çalışmasıdır. Çalışmamızda istenilen özelliklere sahip bir geri dönüşlü dönüştürücü tasarımı yapılmış ancak sistemin girişine sabit bir DA voltaj kaynağı yerine bir PV panel simülasyonu bağlanmıştır. Böylelikle sistemin PV panelden elde edilen regüle edilmemiş DA enerjiyi tasarlanan dönüştürücü yardımı ile çıkışında regüle edilmiş DA enerjiye çevirmesi amaçlanmıştır. Simülasyon farklı aydınlatma ve sıcaklık koşulları altında panel çıkış voltaj ve akımını oluşturabilecek şekilde tasarlanmıştır. Panel simülasyonu ile dönüştürücü arasındaki bağlantı bir dekaplaj kapasitörü ile yapılmıştır. Bilindiği üzere PV hücreleri bir akım kaynağı gibi davranmakta ve çıkışlarına uygulanan voltaj değişse de (bir başka deyişle çıkışa uygulanan yük değişse de) girişlerine uygulanan kaynak geriliminin trafonun sadece primer sargı direnci ile sınırlı olması sebebi ile, devredeki anahtarın kapalı olduğu çok kısa zaman aralığı içerisinde bile PV panellerin verebileceği maksimum akım değerinin birkaç kat üzerinde akım gereksinimine ihtiyaç duyabilmektedir. Bu sebeple araya gerekli durumlarda bu yüksek akım gereksinimini karşılamak üzere elektrolitik kapasitörler yerleştirilmektedir. Bu durumda, dönüştürücünün primer sargısının çektiği ve foto akımın üzerindeki akım miktarlarının ne kadarının dekaplaj kapasitörü tarafından karşılanabildiği, kapasitör için seçilen voltaj ve kapasitans değerlerine bağlı olmaktadır. Bu çalışmada bir PV panel ile bir geri dönüşlü dönüştürücü arasına yerleştirilen dekaplaj kapasitörü voltaj değerinin, devre çıkışında elde edilen gücün verimine etkisinin simülasyon ortamında gösterilmesi amaçlanmaktadır. Simülasyonlar Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Seçilen dekaplaj kapasitörünün kapasitans değeri için ise ayrıca bir çalışma yapılmamış, seçilen kapasitans değeri (Zengin et al, 2013)'te yapılan çalışma göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımları Materyal Metot, PV Panel Simülasyonu, Simülasyonlar ve Sonuç bölümlerinden oluşmaktadır. Materyal Metot kısmında geri dönüşlü dönüştürücülerin teorik alt yapısı açıklanmış, PV Panel Simülasyonu kısmında bir önceki çalışmamızda geliştirilen ve bu çalışmada atıfta bulunularak kullanılan PV panel simülasyonunun kısaca tanıtımı yapılmıştır. Simülasyonlar kısmı, çalışmada Matlab/Simulink kullanılarak yapılan simülasyonların detaylarının verildiği ve elde edilen çıktıların yorumlandığı kısım olmuştur. Sonuç kısmında ise yapılan çalışmanın genel bir özeti ve değerlendirmesi yapılmış ve bu çalışmanın devamı niteliğindeki geleceğe yönelik yapılması planlanan çalışmamızdan bahsedilmiştir.

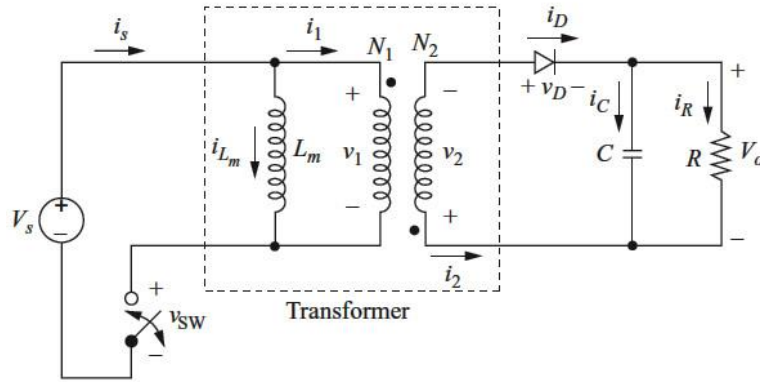
MATERYAL METOT

Geri dönüşlü dönüştürücüler girişlerine uygulanan bir DA voltaj seviyesini çıkışlarına uygulanan bir diğer DA voltaj seviyesine dönüştürmek için kullanılırlar. Yapılarında bulunan transformatör sebebi ile izoleli dönüştürücüler grubunda bulunurlar. Kullanılan transformatörün giriş sargısı yüksek frekanslı bir anahtar kullanılarak girişteki DA kaynağa bağlanır. Anahtar bir f frekansı ile açılıp kapatılır. Transformatörün çıkış sargısı ise bir diyot ve kapasitör kullanılarak çıkıştaki yüke bağlanır. Anahtar bir periyotluk süre zarfında DT süresince kapalı (*on*) ve $(1-D)T$ süresince açık (*off*) olacak şekilde çalışır. D , $0 < D < 1$ aralığında bir gerçel sayı olup pals genişliği (duty cycle) olarak adlandırılır.

Diğer anahtarlamalı dönüştürücü devrelerinde olduğu gibi, bir geri dönüşlü dönüştürücünün analizi ve durum uzayı denklemlerinin bulunması 2 basamakta yapılır. Bunlar bir T periyodu süresi içerisinde anahtarın kapalı olduğu

durum ile buna karşılık gelen durum uzayı denklemleri ve periyot süresince anahtarın açık olduğu durum ile karşılık gelen durum uzayı denklemleridir. Her iki durum için denklemler oluşturulduktan sonra durum uzayı ortalaması (state space averaging) metodu kullanılarak sistemin toplam durum uzayı modeli oluşturulabilir.

Bir geri dönüşlü dönüştürücü devresini gösteren devre şeması Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmada yapılan analizlerde trafo hariç şemada gösterilen diğer devre elemanlarının ideal olduğu, devrenin kararlı durumda çalıştığı ve çıkıştaki kapasitörün anahtarın açık olduğu durumda yükü besleyecek kadar büyük olduğu kabul edilecektir. Transformator ise modellenirken ideal bir transformator modeline mıknatıslanma endüktansı L_m eklenerek temsil edilmiş ve nüve, hisrerisis ve bakır kayıpları ihmal edilmiştir.

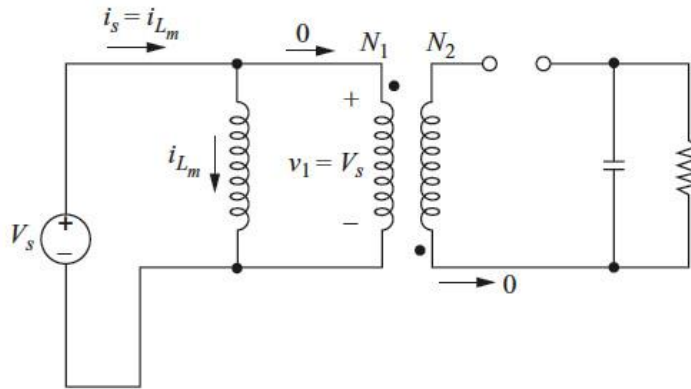


Şekil 1. Geri Dönüşlü Bir Dönüştürücünün Devre Şeması

Bu dönüştürücü çeşidi diğer izolasyonlu dönüştürücü çeşitlerinden trafoda kullanılan nokta notasyonu sebebiyle farklıdır. Bu dönüştürücülerin doğru bir şekilde çalışabilmesi için sargılardaki voltaj polaritelerini gösteren nokta gösteriminin anahtar açık durumda olduğunda çıkıştaki diyodu ileri yönde polarlayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bir geri dönüşlü dönüştürücü için anahtarın kapalı ve açık olduğu durumlara karşılık gelen devre denklemleri şu şekilde olmaktadır.

Anahtarın Kapalı Olması Durumu

Anahtar kapalı iken dönüştürücünün bu duruma karşılık gelen eşdeğer devre şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Anahtarın Kapalı Durumu için Geri Dönüşlü Dönüştürücünün Devre Şeması

Anahtarın kapalı olduğu durumda, V_s kaynağından gelen enerji transformatorün giriş sargısının L_m endüktansında birikmektedir. Trafoda kullanılan nokta notasyonu sebebi ile trafonun çıkış sargısında bir akım akmaz. Çıkıştaki yüke verilen akım ise kapasitör tarafından sağlanmaktadır. Devrenin bu duruma karşılık gelen durum uzayı denklemleri aşağıda verilmiştir ($\frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{N}$ olarak alınmıştır).

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{V_s}{L_m} \quad (1)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{-v_c}{RC} \quad (2)$$

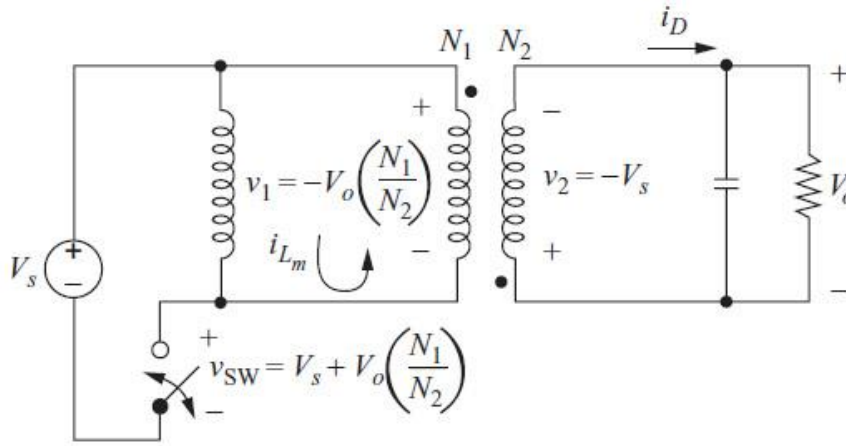
Anahtar kapalı iken devrenin durum uzayı matrislerinin $\dot{x} = A_1x + B_1u$ ve $y = C_1x$ şeklinde olduğu kabul edilirse, devrenin durum uzayı modeli aşağıda verildiği gibi olmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{Lm}}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Lm} \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_s}{L_m} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$y = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_{Lm} \\ v_c \end{bmatrix}$$

Anahtarın Açık Olması Durumu

Anahtarın açık olması durumu için devre şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Anahtarın Açık Olma Durumu için Geri Dönüştürücü Devre Şeması

Anahtar açık durumda iken çıkıştaki diyot iletimdedir. Bu nedenle girişteki sargının L_m endüktansına birikmiş olan enerji trafonun çıkış sargısı tarafından yüke aktarılır. Çıkışa aktarılan bu enerji hem yükü beslemekte hemde kapasitörü şarj etmektedir. Yük üzerindeki voltajın yaklaşık olarak sabit olduğu kabul edilirse, bu durum için devrenin durum uzayı denklemleri aşağıda verildiği gibi olmaktadır.

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{-v_c}{L_m N} \quad (4)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{i_{Lm}}{CN} - \frac{v_c}{RC} \quad (5)$$

Anahtar açık iken devrenin durum uzayı matrislerinin $\dot{x} = A_2x + B_2u$ ve $y = C_2x$ şeklinde olduğu kabul edilirse, devrenin durum uzayı modeli aşağıda verildiği gibi olmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{Lm}}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L_m N} \\ \frac{1}{CN} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Lm} \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$y = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_{Lm} \\ v_c \end{bmatrix}$$

Anahtarın kapalı ve açık olduğu durumlar için devre denklemleri oluşturulduktan sonra durum uzayı ortalaması metodu kullanılarak T periyotluk sürenin tamamı için durum uzayı modeli oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kullandığımız geri dönüştürücü için durum uzayı ortalaması metodu uygulanarak durum uzayı modelinin elde edilmesi konusunda daha fazla detay için (Salihmuhsin, 2022c)'deki çalışmamıza bakılabilir.

PV PANEL SİMÜLATÖRÜ

PV panelleri güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan cihazlardır. PV panel çıkışlarında elde edilen DA enerji regüle edildikten sonra bir DA kaynak olarak kullanılabilmesi gibi DA enerjiden AA enerjiye çevrilerek elektrikle çalışan cihazları çalıştırmak için veya farklı amaçlarda kullanılabilir. Bu sebeple bu çalışmada kullanılan geri dönüşlü dönüştürücü girişine kaynak voltajı olarak PV panelden elde edilen DA voltaj uygulanacaktır. Bunun için (Salihmuhsin, 2022b)'de belirtilen çalışmamızda geliştirdiğimiz PV panel simülatörü kullanılacaktır. Simülatör programı Matlab/Simulink kullanılarak yazılmıştır. Program istenilen herhangi bir PV paneli için, üretici firmaca sağlanan teknik bilgi kataloglarında verilen çalışma koşullarını kullanarak önce STC'deki (Standart Test koşulları) PV hücre modelini oluşturmaktadır. Model I_{ph} , I_o ve R_s değerlerinden oluşan 3 parametre kullanılarak elde edilmektedir. Hücre modeli bulunduğundan sonra o anki aydınlanma ve sıcaklık koşulları göz önüne alınarak ve PV paneli oluşturan N_s adet seri ve N_p adet paralel PV hücre kombinasyonu bilgisine göre PV panel modeli oluşturulmaktadır. Kullanıcı aydınlanma ve sıcaklık koşullarını değiştirerek istenilen şartlar için panel modeli oluşturabilmektedir. Bu aşamalardan sonra kullanıcı istenilen herhangi bir panel akımını programa girerek karşılık gelen panel çıkış voltajını ekranda görebilmektedir.

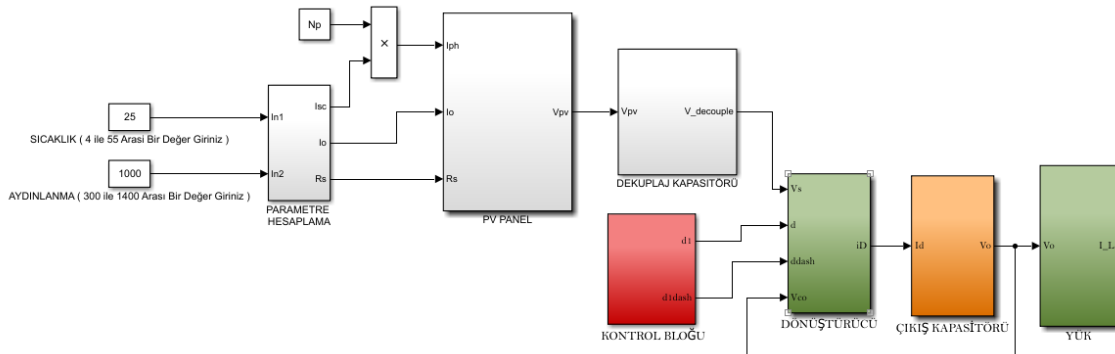
SİMÜLASYONLAR

Bu çalışmada tasarım ve simülasyonu yapılacak devre, girişine 241 W'lık bir PV panel bağlı olan, çıkışı ise 311 V'a ayarlanan bir DA'dan DA'a geri dönüşlü dönüştürücü güç elektroniği devresidir. PV panel ile dönüştürücü devresi birbirine bir dekuplaj kapasitörü bağlanmıştır. PV panel simülatörü, ayarlanan aydınlanma ve sıcaklık koşulları için, panelin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayacak şekilde çalışmaktadır. Kullanılan dekuplaj kapasitörü değerinin devrenin gereksinimi olabilecek aşırı akım ihtiyaçlarına cevap verebilecek kadar büyük kapasitede seçilmesi gerekmektedir. Çalışma için kullanılan PV panel ve dönüştürücü devresinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Dönüştürücü devresi için miktatsızlanma endüktansı ve çıkış kapasitörü değerleri sürekli iletim çalışma modu (CCM) ve daha az çıkış voltaj dalgalanması elde etme amacıyla hesaplananın iki katı olarak alınmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan PV Panel ve Dönüştürücü Devresinin Özellikleri

PV PANELİ			GERİ DÖNÜŞLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ		
Açık Devre Voltajı V_{oc}	(V)	37,6	DA Giriş Voltajı	(V)	29,74
Kısa Devre Akımı I_{sc}	(A)	8,6	DA Çıkış Voltajı	(V)	311
Maksimum Güç Noktası Voltajı V_{mp}	(V)	29,74	Anahtarlama Frekansı	(Hz)	62800
Maksimum Güç Noktası Akımı I_{mp}	(A)	8,1	L_m	(μ H)	11
βV_{oc}	(%)	-0,35	C	(μ F)	3
αI_{sc}	(%)	0,06	N		15
N_s		60	R	(Ω)	400
N_p		1	Puls Genişliği (D)		0,41
			Çıkış Voltaj Dalg	(%)	1

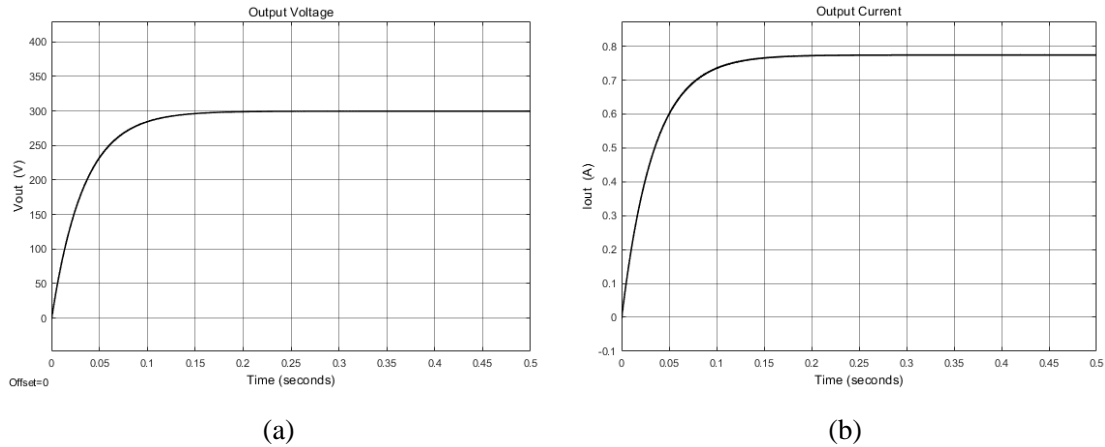
Geri dönüşlü dönüştürücü devresinin tasarımı, devrede kullanılan eleman değerlerinin bulunması ve küçük sinyal analizinin detayları (Salihmuhsin, 2022a) ve (Salihmuhsin, 2022c)'de verilen iki ayrı çalışmamızda ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. PV panel simülatörü devresinin tasarım detayları ise (Salihmuhsin, 2022b)'de yaptığımız çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmada kullandığımız dönüştürücü devresi ve PV simülatörünün özellikleri referanslarda belirtilen önceki çalışmalarımızda kullandıklarımızla aynıdır. Çalışma için geliştirdiğimiz simülasyon programı Matlab/Simulink kullanılarak yazılmıştır. Programın blok şeması Şekil 4'te verilmiştir.



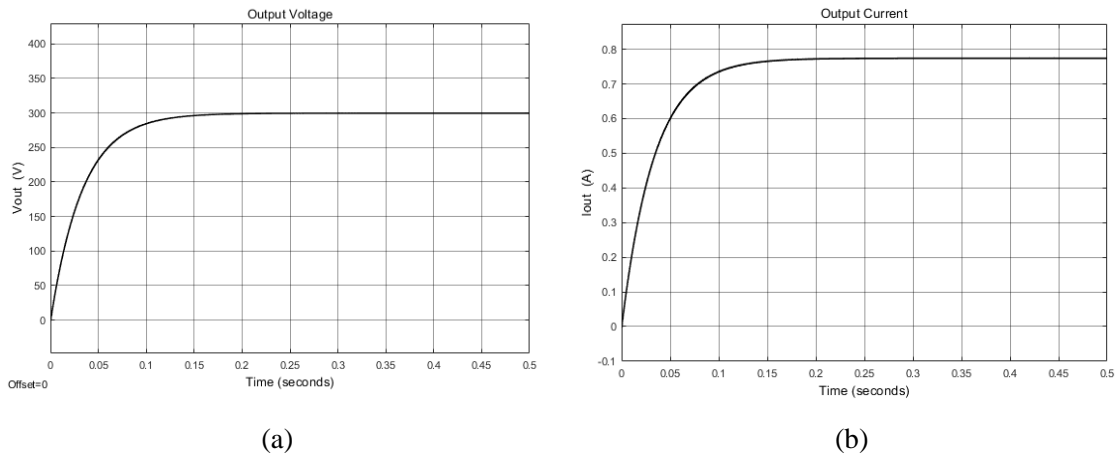
Şekil 4. Çalışmada Kullanılan Devrenin Matlab/Simulink Programı

Şekil 4'te görüldüğü gibi programın ilk bloğu PARAMETRE HESAPLAMA bloğudur. Bu blokta açık devre, kısa devre ve maksimum güç noktasındaki çalışma koşulları tanımlanmış bir güneş hücresinin I_{ph} (foto akım), I_o (diyot ters saturasyon akımı) ve R_s (seri direnç) parametreleri bulunarak, 3 değişkenli hücre modeli oluşturulmaktadır. Bu model daha sonra PV PANEL bloğuna gönderilerek N_s adet seri ve N_p adet paralel güneş hücresinin toplamından oluşan PV panelin modeli elde edilmektedir. Sonrasında gelen DEKUPLAJ KAPASİTÖRÜ bloğu, devrede PV panel ile geri dönüşlü dönüştürücü arasındaki dekuplaj kapasitörünün tanımlandığı bloğu göstermektedir. Bu bloktan sonraki DÖNÜŞTÜRÜCÜ, ÇIKIŞ KAPASİTÖRÜ ve YÜK blokları, Şekil 1'de devre şeması verilen geri dönüşlü dönüştürücü devresinin simulink modelini oluşturmaktadır. Kontrol bloğu ise geri dönüşlü dönüştürücü için 1 periyotluk bir süreyi kapsayan ve devredeki anahtarın kapalı (*on*) ve açık (*off*) oldukları sürelerle karşılık gelen anahtarlama sinyallerini üretmektedir.

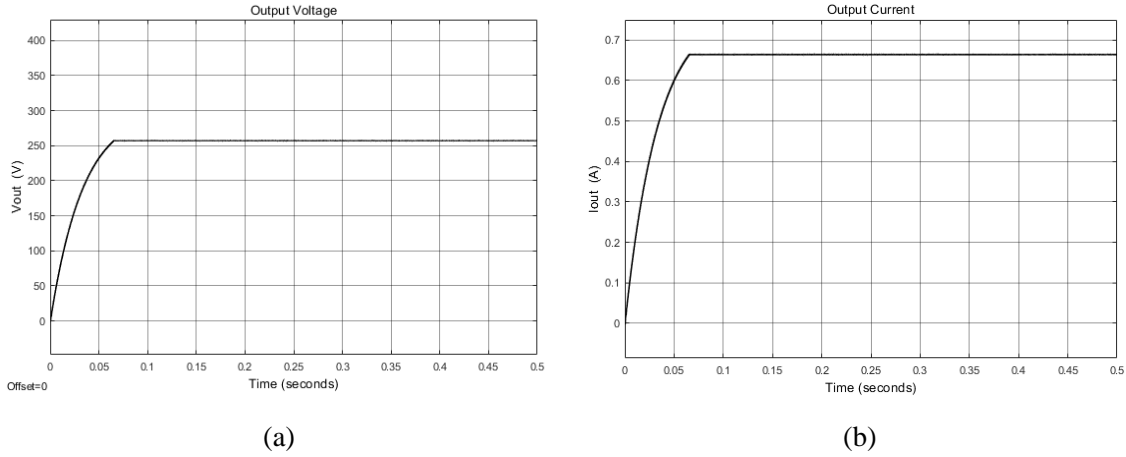
Geliştirilen bu program öncelikle PV panelin maksimum güç noktasındaki çalışmasına karşılık gelen parametre değerleri için çalıştırılarak, simulasyonu yapılan devrenin doğru bir şekilde çalıştığını teyidi yapılmıştır. Sonrasında ise, devrede kullanılan dekuplaj kapasitörü voltaj değerinin devrenin çıkışına etkisini görmek amacıyla öncelikle 3 farklı voltaj değeri kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Kullanılan kapasitör voltaj değerleri 35, 30 ve 25 V olarak seçilmiştir. Her üç durum için de kapasitörün kapasitans değeri 9000 μ F olarak alınmıştır. 9000 μ F kapasitans değeri (Zengin et al, 2013)'te verilen çalışma baz alınarak seçilmiştir. Bu durumlara karşılık gelen dönüştürücü çıkış voltajı V_{out} ve çıkış akımı I_{out} değişkenlerinin değişimleri grafiksel olarak simulasyon programı yardımıyla oluşturulmuş ve Şekil 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 35 V'luk Dekuplaj Kapasitörü için Çıkışın (a) Voltaj (b) Akım Değişimi

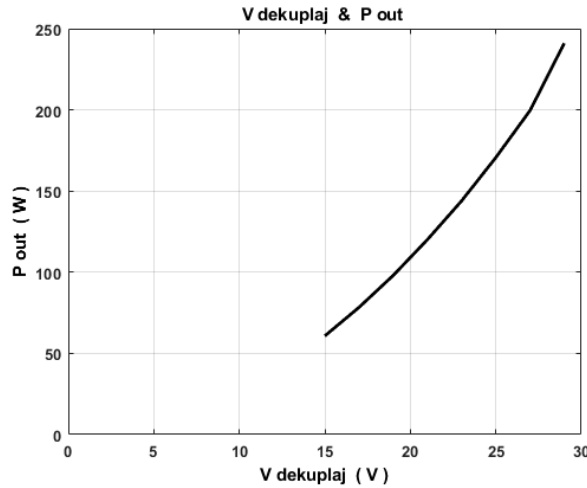


Şekil 6. 30 V'luk Dekuplaj Kapasitörü için Çıkışın (a) Voltaj (b) Akım Değişimi



Şekil 7. 25 V'luk Dekuplaj Kapasitörü için Çıkışın (a) Voltaj (b) Akım Değişimi

Çalışmamızda kullandığımız PV panelin ayarlanan sıcaklık ve aydınlanma koşulları altındaki maksimum çalışma noktası voltaj ve akımları $V_{mp} = 29,74 V$ ve $I_{mp} = 8,1 A$ 'dir. Araştırma amaçlı kullandığımız 3 dekaplaj kapasitör voltaj değerinden 2 tanesi V_{mp} değerinden daha yüksek değerdedir. Diğer voltaj değeri olan 25 V ise V_{mp} değerinin altındadır. Şekil 5 ve 6'ya bakıldığında, seçilen kapasitör voltaj değerinin yeterince büyük seçilmesi sebebi ile devrenin çıkış voltajı V_{out} ile çıkış akımı I_{out} değerlerinin başlangıçta yapılan tasarıma uygun olarak 311 V ve 0,8 A civarında değerler aldığı görülmektedir. Ancak kapasitör voltajının 25 V olması durumunda çıkış voltajı 257 V'a, çıkış akımı ise 0,664 A değerlerine kadar düşmektedir. Bu durumda panel çıkış gücü, maksimum çalışma noktasındaki değerinin %70,85'ine düşmektedir. Dekuplaj kapasitör voltaj değerinin 15 V ile 29,74 V arasında değiştirilmesi ile geri dönüşlü dönüştürücünün çıkış gücü arasındaki bağıntı Şekil 8'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. Dekuplaj Kapasitörü Voltaj Değerinin Değişimi ile Dönüştürücünün Çıkış Gücü Arasındaki Bağntının Grafiksel Gösterimi

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi PV panellerin dekaplaj kapasitörleri ile birlikte kullanıldıkları uygulamalarda dekaplaj kapasitörünün sadece kapasitans değerinin doğru seçilmesi yeterli olmamaktadır. Gün içerisinde değişen aydınlanma ve sıcaklık koşulları göz önüne alınarak kapasitörün voltaj değerinde bu değişimleri karşılayacak kadar büyük seçilmesi sistemin yüksek verimde çalışması açısından önemli olmaktadır. Panel maksimum güç noktasında çalışırken dekaplaj kapasitöründeki 5 V'luk bir azalış panel çıkış gücünü 170,65 W yapmakta ve dolayısıyla %29,15 verim kaybına sebep olmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada girişine 241 W'lık bir PV panel bağlı olan bir geri dönüşlü dönüştürücü tasarımı yapılmıştır. Pv panel ve dönüştürücü arasında sistemin olası yüksek akım gereksinimlerini karşılamak amacıyla bir dekaplaj kapasitörü yerleştirilmiştir. Çalışma Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak yapılmıştır. PV panel simulatörü ayarlanan

aydınlanma ve sıcaklık koşullarında PV panel çıkışını maksimum güç noktasına getirerek çalıştırmaktadır. Kullanıcı PV panel için istediği aydınlanma ve sıcaklık koşullarını programdan girerek ayarlayabilmektedir. Dönüştürücü devresini analiz etmek amacıyla devredeki anahtarın kapalı ve açık olduğu süreler için seçilen durum değişkenlerine ait diferansiyel denklemler elde edilerek dönüştürücünün durum uzay modeli elde edilmiştir. Ayrıca aynı dönüştürücü devresinin kararlı durum ve küçük sinyal analizleri için önceki çalışmalarımıza referans verilmiştir. Bu aşamalardan sonra, devrede kullanılan dekuplaj kapasitörünün 3 farklı voltaj değeri için sistemin girişinden çıkışa aktarılan gücün verimini görmek amacıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlar dekuplaj kapasitörü voltaj değerinin PV panel çıkışından yüksek seçilmesi durumunda güç kaybı olmadığını, panel çıkış voltajından daha az seçilmesi durumunda ise çıkışa aktarılan güçte bariz düşüşler olduğunu göstermiştir. Kapasitör voltaj değerindeki 5 V'luk bir azalışın sistem çıkışında %29,15 güç kaybına neden olduğu rapor edilmiştir.

Bundan sonraki çalışmamızda bir güneş panelinden gelen DA enerjinin aralıklı geri dönüşlü (interleaved flyback) dönüştürücü yapısı ile AA enerjiye çevrilerek ve PLL kullanılarak şebekeye bağlantısının yapılmasının simülasyon ortamında gerçekleşmesi yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- Aldwihi, B. A., Salihmuhsin, M., (2019). Modeling of Photovoltaic Panels Using MATLAB / SIMULINK, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(2), 78-87.
- Büyüküzül B., (2011). Microcontroller Based Maximum Power Point Tracker for Solar Panels, M. Sc. Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering.
- Cubas J., Pindado S., Victoria M., (2014). On the Analytical Approach for Modeling Photovoltaic Systems Behavior, *Journal of Power Sources*, 247, 467-474.
- İşler Y. S., Salihmuhsin M., (2018). Şebekeden Bağımsız PV Sistemin TRNSYS ile Gerçek Zamanlı Modellenmesi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences*, 21(1), 66-76.
- İşler Y. S., Salihmuhsin M., (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Yazılım Araçlarının Sınıflandırılması, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), sy 2419-2426, Mart 19-20 Kilis, Türkiye.
- Özgöçmen, A., (2007). Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Salihmuhsin M., (2022a). Simulation of a Flyback Converter in Open Loop, 2.nd International Mediterranean Scientific Research and Innovation Congress, pp. 1072-1078.
- Salihmuhsin M., (2022b). Farklı Aydınlanma ve Sıcaklık Koşullarında Çalışan Bir Güneş Paneli Simülatörü, 2.nd International Mediterranean Scientific Research and Innovation Congress, pp. 1064-1071.
- Salihmuhsin M., (2022c). Durum Uzayı Ortalaması Metoduyla Bir Geri Dönüşlü Dönüştürücü İçin Küçük Sinyal Analizi, Uluslararası Mühendislik Bilimleri Kongresi, 11-12 Kasım, Baku, Azerbaycan Teknik Üniversitesi.
- Tamyurek B., Kirimer B., 2015, An Interleaved High-Power Flyback Inverter for Photovoltaic Applications, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(6), 3228-3241.
- Zengin S., Deveci F., Boztepe M., 2013, Decoupling Capacitor Selection in DCM Flyback PV Microinverters Considering Harmonic Distortion, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(2), 816-825.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.09.2022
Kabul Tarihi : 24.02.2023

Received Date : 29.09.2022
Accepted Date : 24.02.2023

ÇEVRE DOSTU DENİM KUMAŞ TASARIMI VE YAŞAM DÖNGÜ ANALİZİ

ECO-FRIENDLY DENIM FABRIC DESIGN AND LIFE CYCLE ANALYSIS

Yaşar ERAYMAN YÜKSEL^{1*} (ORCID: 0000-0002-3889-3380)
Yasemin KORKMAZ¹ (ORCID: 0000-0002-0030-6259)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Yaşar ERAYMAN YÜKSEL, y.eraymanyuksel@gmail.com

ÖZET

Hızlı moda akımının etkisiyle, üretim ve tüketim hacmi sürekli artan tekstil sektöründe doğal kaynak kullanımı, emisyon ve atıklar önemli bir çevresel yük oluşturmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramının ön plana çıkmasıyla birlikte ürünlerin tasarım ve üretim aşamalarında çevre dostu stratejilerin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir tasarımda hem estetik ve işlevsellik açısından hem de çevre açısından en uygun malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Malzeme seçiminde çevresel etkileri belirlemek ancak yaşam döngü analizi ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir tekstil tasarımı kapsamında %99 BCI pamuk/%1 elastan ve %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan içerikli olarak tasarlanan 2 denim kumaşın yaşam döngü analiz çalışması gerçekleştirilerek nihai ürün tasarımında en sürdürülebilir malzeme seçimi amaçlanmıştır. Yaşam döngü analizi ile, abiyotik tüketim (fosil yakıtlar) ve deniz ekotoksisite potansiyelleri haricindeki tüm çevresel etki kategorilerinde geri dönüştürülmüş pamuk kullanımının BCI pamuk kullanımına göre daha az çevresel yük oluşturduğu bulunmuştur. Bu açıdan, çalışma sonucunda geri dönüştürülmüş lif içerikli numunenin nihai ürün tasarımında kullanılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevre dostu, denim kumaş, geri dönüşüm, BCI pamuk, yaşam döngü analizi.

ABSTRACT

The use of natural resources, emissions and wastes constitute an important environmental burden the textile sector, in which production and consumption volume is constantly increasing with the effect of the fast fashion trend. With the concept of sustainability, it is very important to adopt environmentally friendly strategies during the design and production stages of products. In sustainable design, it is necessary to choose the most suitable materials both in terms of aesthetics and functionality and in terms of the environment. Determining the environmental effects in material selection is possible with life cycle analysis. In this study, the life cycle analyzes of 2 denim fabrics designed with 99% BCI cotton/1% elastane and 79% cotton/20% recycled cotton/1% elastane were carried out, and it was aimed to choose the most sustainable material in the final product design within the scope of sustainable textile design. In all environmental impact categories except abiotic depletion (fossil fuels) and marine eutrophication potentials, the use of recycled cotton was found to create less environmental burden than the use of BCI cotton with life cycle analysis. In this respect, as a result of the study, it has been suggested to use the recycled fiber content fabric in the final product design.

Keywords: Eco-friendly, denim fabric, recycling, BCI cotton, life cycle analysis.

GİRİŞ

Son yıllarda tekstil ve moda sektöründe yeni tasarımlar ile birlikte sürekli değişen moda trendleri tekstil ürünlerinin aşırı üretim ve tüketimine neden olmaktadır. Kısa bir süre kullanılıp elden çıkarılan ürünler atık olarak önemli çevresel problemlere yol açmaktadır. Kısıtlı olan doğal kaynak kullanımı ve ortaya çıkan çevresel yükün azaltılarak üretim ve tüketim döngüsünün sağlanması, sürdürülebilirlik ile gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, sürdürülebilir kalkınma Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Commission on Environment and Development/WCED 1987)'nin Brundtland Raporu olarak bilinen "Ortak Geleceğimiz" isimli raporunda, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapasiteden ödün vermeden mevcut ihtiyaçları karşılamamızı sağlayan bir model olarak tanımlanmıştır (Gardetti ve Torres, 2017; United Nations, 1987). Sürdürülebilirlik çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik, çevre için tehdit oluşturmayan üretim ve kullanımla ilgili tüm faaliyetleri ve dönüştürülebilir ürünleri; ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel kaynakların korunarak ekonomik gelişmenin sağlanmasını ifade etmektedir (Çoruh vd., 2020; Gürcüm ve Yüksel, 2012). Sosyal sürdürülebilirlik ise, insan hakları, eğitim ve sağlık standartları gibi kişilerin optimum yaşam standartlarının sağlanması ile ilgilidir (Yücel ve Tiber, 2018; Can ve Ayvaz, 2017). Tüm dünyada artan çevresel problemler ile birlikte gelen farkındalık, tüketicilerin ekolojik ürünlere yönelmesine ve üreticilerin de buna bağlı olarak üretim yapmasına yol açmıştır (Paralı, 2020).

Sürdürülebilir tasarım, üretim ve kullanım aşamasının dikkate alınarak yaşam sonu değerlendirme düşüncesini içermektedir. Ürünlerin birden fazla yaşam döngüsüne sahip olması en iyi seçenek olup, ilk yaşam döngüsü bittikten sonra nasıl kullanılacağı tasarlanmalıdır. Çevresel açıdan ürünü olduğu gibi kullanmak, küçük değişikliklerle yeni bir ürün tasarlamak veya geri dönüştürmek en iyi seçenekler arasında yer almaktadır (Niinimäki, 2013). Döngüsel ekonomide, ürün performansı (dayanıklılığı, geri dönüştürülebilirliği ve onarılabilişliği) daha tasarım aşamasında tanımlanmalıdır. Bu ilk aşamada verilecek kararlar, bir giysinin yaşam döngüsünün sonraki tüm süreçlerini (hammadelerin belirlenmesi, boya-apre işlemleri, giysi üretimi, aksesuarlar ve etiketleme yöntemlerinin seçimi, giysinin işletme tarafından atılmasına kadarki tüm süreçler) etkilemektedir. Tasarımcılar ve mühendisler, optimum geri dönüşüm seçenekleri ve sürdürülebilirlik ile arzu edilen bir ürün tasarımı birleştirme konusunda sıkıntı yaşayabilmektedir. Çünkü, tasarımcı için tüketicilere hitap etmeyecek ancak sürdürülebilir ve tamamen geri dönüştürülebilir özellikte ürünler tasarlamak başarının gerisinde kalmaktadır (Koszewska, 2018). Sürdürülebilir moda, tasarım, üretim, lojistik, perakende, kullanım ve imha olmak üzere tüm aşamaları dikkate alan yaşam döngüsü düşüncesini içermelidir. Bu açıdan, ürün tasarımıyla ziyade yaşam döngülerinin tasarlanmasının daha önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Sürdürülebilir tekstillerde ürünün tüm yaşam döngüsünün tasarımı için tasarımcılar tarafından 3R (reduce-reuse-recycle), ileri dönüşüm (upcycling), sıfır atık, ekolojik ve mono materyal kullanımı, yeni teknolojilerin kullanımı, çok fonksiyonlu giysi tasarımı gibi farklı stratejilerin benimsenmesi oldukça önemlidir (Niinimäki, 2013; Black, 2011). Bu açıdan, moda ve tekstil tasarımcıları çevre dostu ürün üretiminde önemli bir role sahiptir. Tekstil atıklarını tamamen ortadan kaldırmak mümkün görünmese de, 3R atık hiyerarşisinin benimsenmesiyle atıkların azaltılması sağlanabilmektedir. Atık hiyerarşisinde ilk ilke olan 'Azalt (Reduce)', tüketicilerin bilinçli satın alma davranışını teşvik ederek, döngü sonunda atık akışına girecek gereksiz ve kullanılmayan ürünlerin birikmesini önlemektedir (Thompson, 2017). 'Yeniden kullanım', aynı üretim zinciri içinde yeniden kullanılan mevcut bir ürünü ifade etmektedir (Kamis vd., 2018). Yeniden kullanımda ikinci el ürünlerin kullanılması veya ürünün yeni bir amaç için kullanılması ile yaşam döngüsü uzatılmaktadır (Thompson, 2017). 'Geri dönüşüm', hammaddenin geri kazanılması ve yeni ürünlerde kullanılması için ürünün hammaddelerine ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Tekstil geri dönüşümü, tüketici öncesi atıkların veya tüketici sonrası atıkların geri kazanılmasını içermektedir (Leonas, 2017; Payne, 2015). Geri dönüşüm ile atık ürünler, doğal kaynak kullanımı ve çevresel etkiler önemli miktarda azaltılmaktadır. Geri dönüşüm süreçleri atıkların toplanması, mekanik veya kimyasal yöntemlerle geri kazanılması aşamalarından oluşmaktadır. İleri dönüşüm, eski veya kullanılmayan ürünlerden ve atık malzemelerden daha kaliteli ve daha iyi çevresel değere sahip yeni bir ürün yaratma sürecidir. Geri dönüşümde, atıklar yeniden kullanılabilir bir ürüne dönüşürken değer kaybetmekte, fakat ileri dönüşümde daha kaliteli bir ürün ortaya çıkmaktadır. İleri dönüşüm ile atık malzemeler yeniden kullanılarak bir ürüne sürdürülebilirlik ve yaratıcılık katılmakta, çevresel ve sosyal değerleri artırılmaktadır (Kushwaha ve Swami, 2016; Kim, 2014). Sıfır atık moda tasarımı, özellikle tasarım yoluyla giysi üretim ve kullanımının tüm aşamalarında, kumaş atıklarını ortadan kaldırmayı amaçlayan yöntemleri ifade etmektedir. Sıfır atık moda tasarım yöntemleriyle oluşturulan giysiler, üretim sırasında sıfır kumaş atığı bırakmaktadır (Aakko ve Niinimäki, 2013; Rissanen 2013). Örneğin üretimde; giysi kalıpları ve postal yerleşim planının hazırlanması süreçleri sıfır atık yaklaşımı için oldukça önemlidir. Kesim

öncesi atıkları azaltmak için, kalıplar minimum kumaş kaybı olacak şekilde yerleştirilmekte ve bu şekilde postal verimliliği artarak maliyetten tasarruf sağlanabilmektedir (Grevinga vd., 2017; Kozłowski vd., 2012). Yeni teknolojilerin kullanılması, sürdürülebilir tekstil tasarımında önemli bir etkiye sahiptir. Geri dönüştürülebilirliği sağlamak için bir başka farklı yaklaşım, giysinin sökülerek tek bileşenlere dönüştürülmesidir. Örneğin; mikrodalgada ayrıştırılabilir iplik gibi yenilikçi teknikler kullanarak, bir dikişe mikrodalga enerjisi uygulanmakta ve iplik kırılarak minimum kuvvet altında sökülmesi sağlanmaktadır. Bu işlem sonucunda, kumaş hasar görmeden kalırken, ipliğin kopma mukavemeti, %80'den daha fazla bir oranda hızla azalmaktadır (Grevinga vd., 2017; Blackburn, 2015). Hızlı modanın aksine yavaş moda; küçük ölçekli üretim, üretimde yerel malzemelerin ve pazarların kullanımı, geleneksel üretim teknikleri, sezonsuz tasarım konseptleri, kaliteli ve dayanıklı ürünlere odaklanan daha yavaş üretim süreleri, hem üretim hem de tüketimde gerçek ekolojik ve sosyal maliyetleri yansıtan ve sürdürülebilirliğe odaklanan fiyatlar gibi birçok farklı unsuru içermektedir. Bu unsurlar daha az tüketim ve daha az atık oluşumunu teşvik etmektedir (Hall, 2018; Fletcher, 2010). Giysiler, bir sezondan fazla kullanılacak şekilde çok işlevli olarak tasarlanabilmektedir. Tasarımcıların, tasarım öncesi hammadde aşamasından konfeksiyon üretimine kadar olan süreçte, organik ve geri dönüştürülmüş lifler ile daha az kimyasal kullanımı gerektiren kumaşlar gibi uygun malzemelerden bir seçim yapması gerekmektedir. Ayrıca geri dönüştürülebilir/ileri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir uygun malzemeler de seçilerek kapalı döngü sistemlerle üretilen malzemelerin kullanımı sağlanmalıdır. Çoğu giysi fiyat açısından daha uygun olduğundan dolayı farklı lif karışımlarından üretilmektedir. Mekanik geri dönüşüm sürecini optimize etmek için mono malzemelerle tasarım yapmak burada önemli bir seçenektir. Karışımlar genellikle selülozik ve sentetik lifler içermekte ve çoğu zaman lif, boya ve tüketici sonrası atıkların apreleri bilinmemektedir. Karışım liflerden üretilen giysileri mono malzemelere ayırmak ise şu an için mümkün görünmemektedir (Grevinga vd., 2017). Giysi yaşam döngüsünün, tekstil ve moda sürdürülebilirliği açısından tüketiciler arasında farkındalık yaratması son derece önemlidir. Yaşam döngü analizi ile, ürünün tasarım aşamasından başlanarak kullanım sonunda bertaraf edilmesine kadar olan tüm işlemlerin çevresel açıdan değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu analiz, ürünlerin çevresel yüklerinin hesaplanarak birbiri ile kıyaslanmasına olanak sağlamaktadır (İşmal ve Yıldırım, 2012). Bunun dışında moda sürdürülebilirliği, tüketicilerin giysi satın alma, giysileri kullanma, bakım ve yaşam döngüsü sonunda bu giysileri elden çıkarma kararlarını vermedeki davranışlarından da etkilenmektedir (Kamis vd., 2018).

Geri dönüştürülmüş lif kullanımının yaratacağı çevresel etkinin belirlenmesi sürdürülebilir tasarım için oldukça önemlidir. Bu amaçla yapılan bu çalışmada, denim kumaş tasarımcısının yaşam döngü analizi kullanılarak, çevresel açıdan en sürdürülebilir malzeme ve prosesi seçmesi amaçlanmaktadır.

MATERYAL METOT

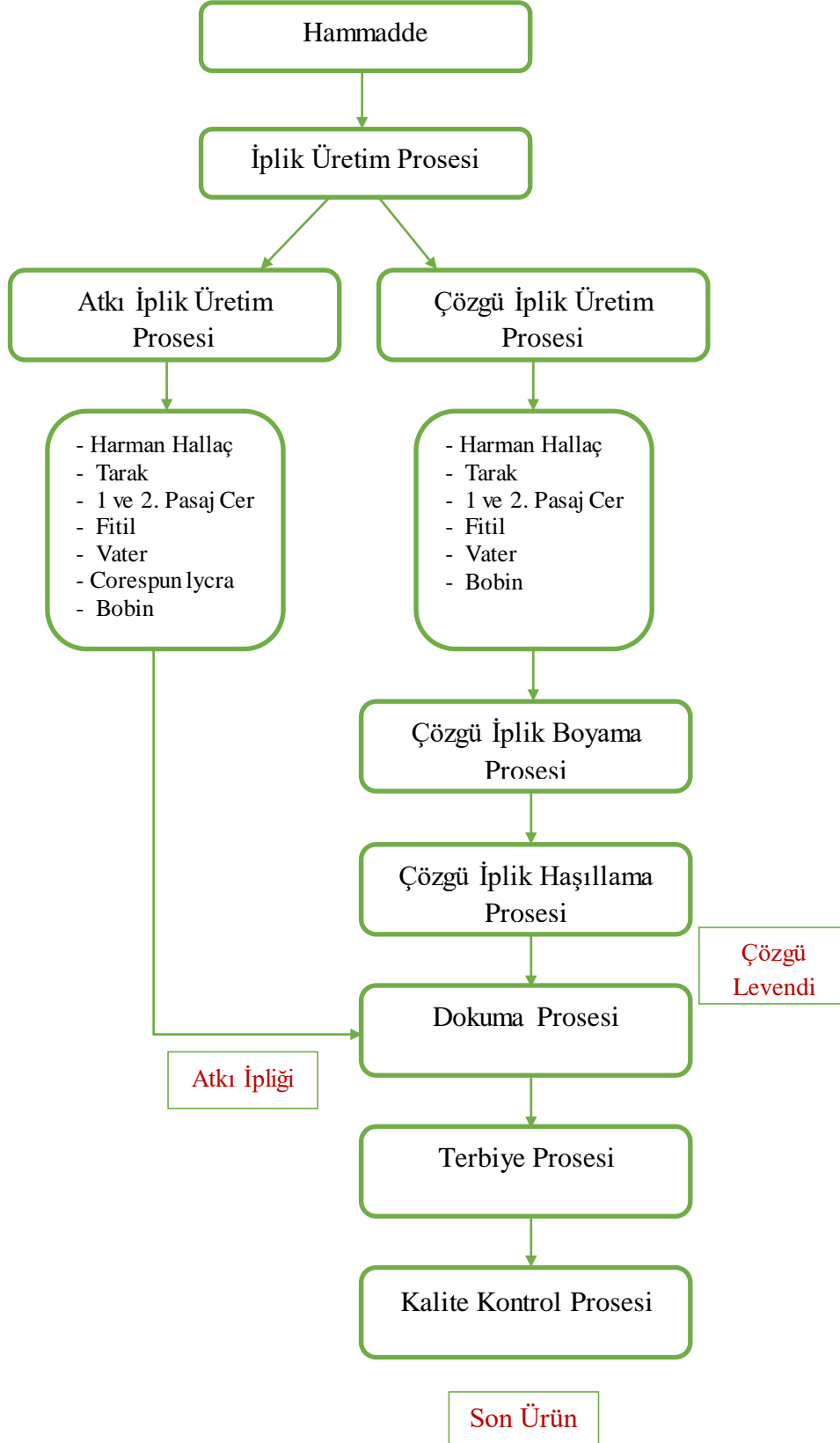
Bu çalışma kapsamında, sürdürülebilir tekstil tasarımında çevre dostu lifler içeren denim kumaşlar üretilerek bu kumaşların üretim sırasında ortaya çıkan çevresel etkilerini belirlemek için yaşam döngü analizi yapılmıştır. Çalışmada %99 BCI pamuk/%1 elastan ve %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan olmak üzere 2 farklı denim kumaş kullanılmıştır. Kumaşlara ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir. BCI pamuk (iyi pamuk) ürün koruyucu kimyasal kullanımı, su tüketimi azaltılarak, doğal yaşamı ve üretimdeki çalışan haklarını koruyan, lif kalitesini artırmayı hedefleyen yaklaşımlar kullanılarak üretilmektedir (URL-1). Çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş pamuk mekanik geri dönüşüm yoluyla elde edilmiştir.

Tablo 1. Kumaş Üretim Parametreleri

Özellik	%99 BCI Pamuk/%1 Elastan	%79 Pamuk/%20 Geri dönüştürülmüş pamuk/%1 Elastan
Atkı iplik numarası (Ne)	10/1 pamuk+78 dtex elastan	10/1 pamuk+78 dtex elastan
Çözgü iplik numarası (Ne)	7,12/1	7,12/1
Atkı sıklığı (tel/cm)	18	18
Çözgü sıklığı (tel/cm)	27	27
Tarak numarası	56/4	56/4
Tarak eni (cm)	185	185
Ham en (cm)	173	173
Doku tipi	3/1 Z dimi	3/1 Z dimi

Yaşam döngü analizi, lifler için hammadde aşaması, iplik üretimi, kumaş üretim süreci, terbiye işlemleri ve kalite kontrol aşamaları için yapılmıştır. Atkı ve çözgü iplikleri ring üretim yöntemi ile üretilmiş olup, atkı iplikleri elastan içermektedir. Dokuma hazırlık ve çözgü ipliklerinin boyanması işlemleri halat sarma, halat boyama, halat

açma ve haşılama adımlarını içermektedir. Terbiye aşamasında ise, kumaşlara yakma, yıkama, apre ve sanfor işlemleri uygulanmıştır. Yaşam döngü analizinde lif etkisini belirlemek için üretimde denim kumaşların yalnızca giriş hammaddesi değiştirilerek diğer üretim aşamaları sabit tutulmuştur. Yaşam döngü analizinde ürünler için proses akış diyagramları hazırlanmış ve her proses için fonksiyonel birimleriyle birlikte tüm girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Ürünlerin proses akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ürünlerin Proses Akış Diyagramı

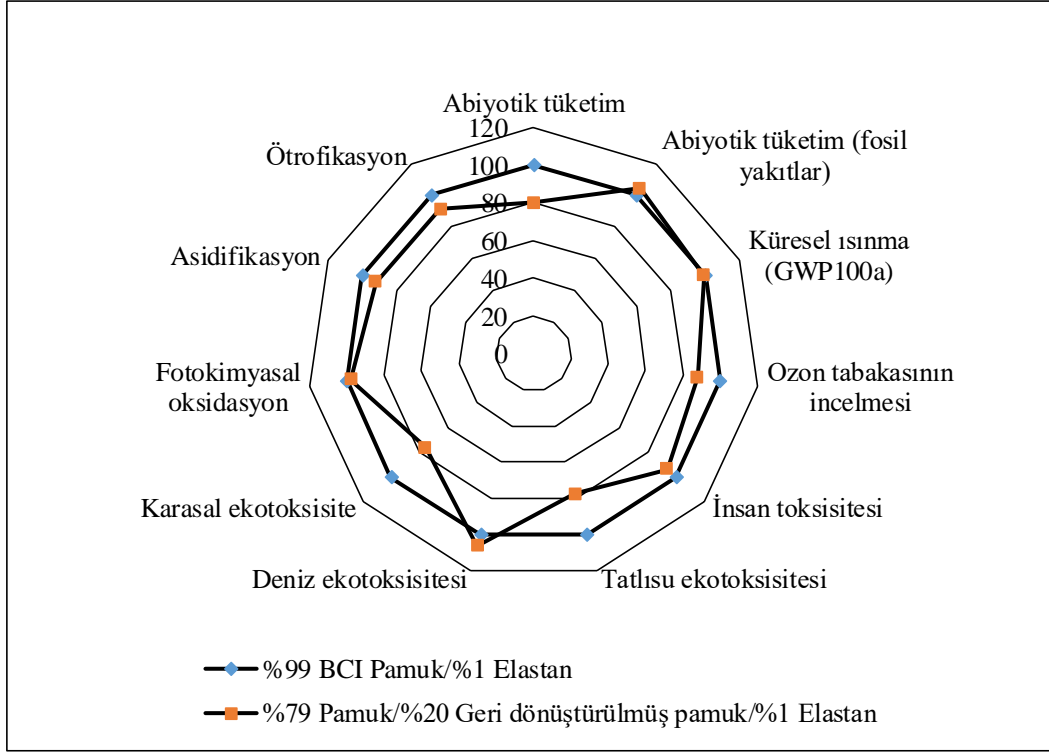
Üretim sırasında çalışmanın yapıldığı işletmede toplanan girdi ve çıktılar SimaPro® yaşam döngü analiz yazılımına girilmiş, Ecoinvent veritabanında CML-IA baseline metodu seçilerek çevresel etkiler hesaplanmıştır. Verilerin sisteme girilme aşaması lif veri girişi ile başlamaktadır. Çalışmada kullanılan lifler veritabanından seçilerek birimleri ile birlikte sisteme girilmiştir. Sonrasında, her bir proses sırasıyla sisteme tanımlanarak, bu proseslerde gerçekleşen elektrik, su, kimyasal vb. tüketimler birimleri ile birlikte ayrı ayrı sisteme girilmiştir. Tüm proseslerdeki veri girişleri bir birim üretim için hesaplanarak yapılmıştır. Ardından gerçekleştirilen 'ürün aşamaları-birleştirme' aşamasında ise, her bir proseste kullanılan hammadde tüketimleri ile proses sonucu oluşan ürünler ayrı ayrı sisteme tanımlanarak prosesler arasında bağlantı kurulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı lif içerikli 2 denim kumaşın yaşam döngü analizi karakterizasyon sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. CML-IA baseline metoduna göre kumaşların abiyotik tüketim, küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakasının incelmeye, insan toksisitesi, tatlısu, deniz ve karasal ekotoksosite, fotokimyasal oksidasyon, asidifikasyon ve ötrofikasyon etki kategorilerindeki çevresel yükleri hesaplanmıştır. %79 Pamuk/%20 Geri dönüştürülmüş pamuk/%1 Elastan içerikli kumaşların, %99 BCI Pamuk/%1 Elastan içerikli kumaşa göre tüm etki kategorilerindeki yaşam döngü analiz değerlerinin % değişim miktarları ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu hesaplamada, %99 BCI Pamuk/%1 Elastan içerikli kumaşın çevresel etki değerleri %100 olarak alınarak, geri dönüştürülmüş lif kullanımının yarattığı değişim ortaya konulmuştur.

Tablo 2. Kumaşlara Ait Yaşam Döngü Analizi Karakterizasyon Sonuçları

Etki kategorisi	Birim	%99 BCI Pamuk/%1 Elastan	%79 Pamuk/%20 Geri dönüştürülmüş pamuk/%1 Elastan
Abiyotik tüketim	kg Sb eq	1,4585E-05	1,1686E-05
Abiyotik tüketim (fosil yakıtlar)	MJ	30,6549122	32,0082186
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	2,74549538	2,7306593
Ozon tabakasının delinmesi	kg CFC-11 eq	4,8676E-07	4,2713E-07
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	1,18736017	1,11351973
Tatlısu ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	18,4233409	14,3120805
Deniz ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	2519,20833	2680,54351
Karasal ekotoksitesite	kg 1,4-DB eq	1,36222695	1,03647778
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	0,00062	0,00060787
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	0,02018772	0,01855208
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	0,01061069	0,00966523



Şekil 2. %79 Pamuk/%20 Geri Dönüştürülmüş Pamuk/%1 Elastan İçerikli Kumaşların %99 BCI Pamuk/%1 Elastan İçerikli Kumaşa Göre Yaşam Döngü Analiz Değerlerinin % Değişim Miktarları

İlk kategoride yer alan abiyotik tüketim potansiyeli element tüketimi ile ilgili olup, doğal kaynakların tükenme potansiyelini ifade etmektedir. Pamuk ekim aşamasında kullanılan kimyasal maddeler, doğal kaynakları tüketme potansiyeline sahiptir. Geri dönüştürülmüş lif kullanımı ile tekrar eden pamuk üretim aşaması etkisi azaltıldığı için abiyotik tüketim potansiyelinde %19-20 oranında düşüş görülmüştür. BCI pamuk lifinin kullanıldığı kumaş ise, her ne kadar pamuk ekiminde çevre dostu uygulamaları içerse de abiyotik tüketim potansiyeli geri dönüştürülmüş pamuk içerikli kumaşa göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca denim kumaşlarda çözgü boyama, haşıl ve terbiye işlemleri sırasında su, boyarmadde ve yardımcı kimyasalların kullanımı da abiyotik tüketim potansiyelinde önemli etkiye sahiptir (Zhang vd., 2015).

İkinci kategori ise, fosil yakıtların tükenme potansiyeli ile ilgilidir. Pamuk üretiminde gübre, kimyasal kullanımları ve sulamadan kaynaklanan emisyonlar fosil yakıtların tükenme potansiyelini artırmaktadır. İplik üretim aşamasında kullanılan elektrik enerjisi, çözgü boyama ve haşılama proseslerinde ısı ve elektrik enerjisi, dokuma işleminde elektrik enerjisi ve terbiye işlemlerinde elektrik ve buhar enerjisi fosil yakıtların tükenme potansiyelini artıran etkenler olmuştur. BCI pamuk içerikli numune, geri dönüştürülmüş lif içerikli numuneye göre fosil yakıtların tükenme potansiyelini %4 oranında azaltmıştır.

Yeryüzündeki sera gazlarının artışı güneş ışınlarını tutarak küresel ısınma potansiyelinin artmasına neden olmaktadır. Lif üretim aşamasında kullanılan sentetik gübre ve kimyasallar sera gazları salınımına neden olarak küresel ısınma potansiyelini artırmaktadır. BCI pamuk içerikli kumaşın küresel ısınma potansiyeli, geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşa göre %0,5 oranında daha yüksek bulunmuştur. İyi pamuk uygulamalarının ekim sırasındaki çevresel etkileri azalttığı bilinmesine rağmen, geri dönüştürülmüş lifler az bir miktar da olsa daha fazla düşüş sağlamıştır. Bunun yanı sıra diğer tüm proseslerdeki elektrik ve ısı enerji kullanımları sera gazlarının salınımını artırmıştır. Toksöz (2018), birbirinden farklı pamuk türü içeren 4 denim dokuma kumaşın yaşam döngü analizini gerçekleştirdiği çalışmada, bu çalışma sonuçlarına benzer olarak, geri dönüştürülmüş lif içerikli numunenin BCI pamuk içerikli numuneye göre iklim değişikliği ve abiyotik tüketim potansiyellerinin daha düşük olduğunu tespit etmiştir.

Kloroflorokarbon gibi çeşitli gazlar ozon tabakasının delinme potansiyelinin artmasına ve diğer ekosistemler üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. Cardoso (2013), pamuk ekim sürecinde ozon tabakasının delinme potansiyeline gübre üretimi, makineler için kullanılan enerji tüketimleri ve sulamanın neden olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca fosil yakıtların yakılması ile salınan gazların ozon tabakasının yapısını bozduğu da bilinmektedir. Çözgü boyama ve haşılama aşamalarında, iplik ve dokuma kumaş üretimlerinde ve terbiye işlemlerinde kullanılan buhar, ısı ve elektrik enerjisi ozon tabakasının delinme potansiyelini artırmıştır. Geri dönüştürülmüş pamuk kullanımı, BCI pamuk içerikli kumaşlara göre, fosil yakıt tüketimlerini azaltarak ozon tabakasının delinme potansiyelini %12 azaltmıştır.

İnsan toksisitesi potansiyeli, tekstilde kullanılan zararlı maddeler ve yayılan emisyonların insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini ifade etmektedir. Pamuk ekimi sırasında gübre ve pestisitler, iplik ve dokuma kumaş üretim aşamasında fosil yakıt tüketimi, çözgü iplik boyama, haşılama ve kumaş terbiye aşamalarında kimyasallar ve fosil yakıtlar hava, su ve toprağa emisyon yayarak insan sağlığı üzerinde zararlı etkiler yaratmaktadır. Geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşlarda hammadde üretim aşamasından gelen etkilerin azaltılması nedeniyle insan sağlığına etkiler, BCI pamuk içerikli numuneye göre %6 oranında daha düşük bulunmuştur.

Tatlısu, deniz ve karasal ekotoksosite potansiyelleri hava, su ve toprağa yayılan emisyonların ekosistemler üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Pamuk lifi üretim aşamasında gübre üretimi ve tarımsal ilaçların kullanılması suya ve toprağa yapılan emisyonların artmasına neden olmakta, yoğun su tüketimi su ekosistemlerindeki canlıların yaşamını tehlikeye sokmakta, boya ve terbiye işlemlerinde zararlı kimyasal içerikli atık sular denizlere boşaltılarak ekosistemlere zarar vermektedir. Ayrıca, tüm proseslerdeki fosil yakıt tüketimleri de deniz ekosistemi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Geri dönüştürülmüş pamuk içerikli numune üretiminde, tekrarlı lif üretim basamağından gelen etkiler azaltıldığı için, BCI pamuk kumaşa göre tatlısu ve karasal ekosistemlere etkiler sırasıyla %22 ve %24 oranlarında daha düşük bulunmuştur. Deniz ekotoksosite potansiyeli fosil yakıt tüketimleri ile doğrudan ilişkili olduğundan, BCI pamuk içerikli kumaşların deniz ekotoksosite potansiyeli, geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşlara göre %6 oranında daha düşük bulunmuştur.

Fotokimyasal oksidasyon, uçucu organik bileşiklerin güneş ışınları etkisiyle zararlı bileşiklere dönüşmesidir. Pamuk üretim sürecinde, sentetik gübre, pestisit gibi kimyasalların kullanımı ve yakıt tüketimleri ile fotokimyasal oksidasyon potansiyeli artmaktadır. Geri dönüştürülmüş lif kullanımı enerji ve emisyon miktarlarını azaltarak BCI pamuğa göre fotokimyasal oksidasyon değerlerini %2 daha fazla düşürmüştür. Hackett (2015), çalışmasında fosil yakıt kullanımı nedeniyle lif üretim aşamasının fotokimyasal oksidasyon potansiyeli üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Asidifikasyon potansiyeli, toprakta ve suda çeşitli etkiler ile asitleştirici maddelerin artması sonucu ekosistemlere verilen zararları ifade etmektedir. Ötrofikasyon potansiyelinde ise, su ekosistemlerinde atıklardan gelen besin maddelerinin artışı sonucu oksijen tükenmesi gerçekleşmekte ve canlıların yaşamı tehlikeye girmektedir. Pamuk üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler, asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeline önemli etki yapmaktadır. Ayrıca diğer tüm proseslerde kullanılan elektrik enerjisinin yanı sıra, çözgü boyama proseslerinde boyarmaddelerin indirgenmesi için kullanılan indirgeyici ajanlar da atık suda bulunarak asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyelini artırmaktadır. Geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşların asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeli tekrarlı lif üretiminin azalması nedeniyle BCI pamuk içerikli numunelere göre %8-9 oranında daha düşük bulunmuştur. Denim yaşam döngü analizi ile ilgili farklı bir çalışmada da, %70/30 pamuk/geri dönüştürülmüş pamuk içerikli ipliğin %100 pamuk ipliğe göre asidifikasyon potansiyeli daha düşük bulunmuştur (Spathas, 2017). Bizim çalışmamızda konvansiyonel pamuk yerine kullanılan BCI pamuk, lif üretim sürecindeki çevresel etkileri azaltsa da, geri dönüştürülmüş lif kullanımı asidifikasyon potansiyelinde daha fazla düşüş yaratmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sürdürülebilir tekstil tasarımı açısından %99 BCI pamuk/%1 elastan ve %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan içerikli olarak 2 denim kumaş üretilmiş ve yaşam döngü analizi yapılarak nihai ürün tasarımında en sürdürülebilir malzeme seçimi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaş, BCI pamuk içerikli kumaşa göre abiyotik tüketim (fosil yakıtlar) ve deniz ekotoksosite potansiyelleri haricinde tüm etki kategorilerinde daha az çevresel etki yaratmıştır. Sürdürülebilir tasarımda çevre ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Piyasadaki sürdürülebilir kumaş seçenekleri konvansiyonel kumaşlara kıyasla daha sınırlı olduğundan dolayı, tasarımın sürdürülebilirlik ile bir arada düşünülmesi karmaşık olabilmektedir. Büyük ölçekte çalışan tasarımcılar ve üretici firmaların, tasarımın hem işlevsel hem estetik yönlerini göz önünde bulundurarak en az zararlı malzemeleri kullanmayı seçmesi büyük önem taşımaktadır (Fletcher, 2008; Aakko ve Koskennurmi-Sivonen, 2013). Bu çalışmada yapılan yaşam döngü analizi sonucunda, %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan içerikli kumaşın nihai ürün tasarımında

kullanılması önerilmiştir. BCI pamuğun, konvansiyonel pamuğa göre çevresel açıdan önemli kazanımlar sağladığı bilirse de, geri dönüştürülmüş pamuk kullanımının birçok etki kategorisinde BCI pamuk içerikli kumaşlara göre daha fazla kazanım sağladığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için Bossa A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Aakko, M., & Koskennurmi-Sivonen, R. (2013). Designing sustainable fashion: Possibilities and challenges. *Research Journal of Textile and Apparel*, 17(1), 13-22.
- Aakko M., & Niinimäki, K. (2013). Experimenting with zero-waste fashion design. Niinimäki (Ed.), *Sustainable fashion: new approaches* (pp. 69-79) Helsinki, Finland: Aalto University Publication Series.
- Black, S. (2011). Sustainable design strategies: eco chic the fashion paradox. *Text: Journal of The Textile Society*, 38, 24-30.
- Blackburn, R. (2015). *Sustainable apparel. production, processing and recycling*. Woodhead Publishing.
- Can, Ö., & Ayvaz, K. M. (2017). Tekstil ve modada sürdürülebilirlik. *Akademik Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(3), 110-119.
- Cardoso, A.A.M. (2013). Life cycle assessment of two textile products wool and cotton. Master Thesis. Porto University Environmental Engineering. Portugal. 107p.
- Çoruh, E., Değirmenci, Z., & Mutlu, S. (2020). Denim kumaşlardan üretilen sürdürülebilir tasarımlar. *Journal of World of Turks/Zeitschrift für die Welt der Türken*, 12(3), 293-302.
- Fletcher, K. (2010). Slow fashion: an invitation for systems change. *Fashion Practice*, 2(2): 259–266, <https://doi.org/10.2752/175693810X12774625387594>
- Fletcher, K. (2008). *Sustainable fashion and textiles: Design journeys*. (1st ed.). Earthscan Publications, London. 256p.
- Gardetti, M. A., & Torres, A. L. (2017). *Sustainability in fashion and textiles: values, design, production and consumption*. (1st ed.). Routledge.
- Grevinga, T. H., Lurvink, M., Brinks, G., & Luiken, A. (October, 2017). Going eco, going dutch: A local and closed loop textile production system. Saxion University of Applied Sciences, Enschede, The Netherlands. pp.1-13.
- Gürcüm B.H., & Yüksel C. (2012). Moda sektörünü “yavaşlatan” eğilim; eko moda ve modada sürdürülebilirlik, I. Uluslararası Moda ve Tekstil Tasarımı Sempozyumu, 8-10 Ekim 2012, Antalya, Türkiye.
- Hackett, T. (2015). A comparative life cycle assessment of denim jeans and a cotton t-shirt: the production of fast fashion essential items from cradle to gate. Master Theses and Dissertations. University of Kentucky College of Agriculture, Retailing and Tourism Management. Lexington, Kentucky. 115p.
- Hall, J. (2018). Digital kimono: fast fashion, slow fashion?. *Fashion Theory*, 22(3), 283-307.
- İşmal Ö.E., & Yıldırım L. (2012). Tekstil tasarımında çevre dostu yaklaşımlar. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 5(8), 9-13.
- Kamis, A., Suhairom, N., Jamaluddin, R., Syamwil, R., & Ahmad Puad, F. (2018). Environmentally sustainable apparel: recycle, repairing and reuse apparel. *The International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 5(1), 4249-4257. <https://doi.org/10.18535/ijsshi/v5i1.04>
- Kim, H. J. (2014). A study of high value-added upcycled handbag designs for the Dubai. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 14(1), 173-188.
- Koszevska, M. (2018). Circular Economy—Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*, 18(4), 337-347. <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0023>
- Kozłowski, A., Bardecki, M., & Searcy, C. (2012). Environmental impacts in the fashion industry: A life-cycle and stakeholder framework. *Journal of Corporate Citizenship*, (45), 17-36.

- Kushwaha, S., & Swami, C. (2016). Upcycling of leather waste to create upcycled products and accessories. *International Journal of Home Science*, 2, 187-192.
- Leonas, K.K. (2017). The use of recycled fibers in fashion and home products, In S.S. Muthu (Ed.), *Textiles and clothing sustainability, recycled and upcycled textiles and fashion*, Singapore, Berlin, Germany: Springer. pp. 55-78.
- Niinimäki, K. (2013). Sustainable fashion. In K. Niinimäki (Ed.), *Sustainable fashion: new approaches* (pp. 12-29) Helsinki, Finland: Aalto University Publication Series.
- Paralı, A. (2020). Sürdürülebilir moda tasarımı kapsamında yeniden üretim ve geri dönüşüm için giysi tasarımı fikirleri. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri*, 6(12), 121-138.
- Payne, A. (2015). Open and closed-loop recycling of textile and apparel products. In S.S. Muthu (Ed.), *Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing*, Woodhead Publishing. pp.103–123.
- Rissanen, T. (2013). Zero-waste fashion design: A study at the intersection of cloth, fashion design and pattern cutting. Doctoral dissertation. University of Technology, Sydney.
- Spathas T. (2017). The environmental performance of high value recycling for the fashion industry, LCA for four case studies. Master's thesis. Chalmers University of Technology, Department of Energy and Environment. Gothenburg, Sweden. 67p.
- Thompson, N. (2017). Textile waste & the 3R's: Textile waste strategy recommendations for the city of Toronto. A Major Paper. York University Faculty of Environmental Studies, Toronto Ontario, Canada, 66p.
- Toksöz, M. (2018). Tekstil sektöründe sürdürülebilirlik kavramı ve yaşam döngüsü analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana, Türkiye. 97s.
- United Nations. (1987). Report of the World Commission on environment and development: Our common future/general assembly resolution. Report 42/187. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- URL-1 Better cotton üretim ilkeleri <https://iyipamuk.org.tr/Home/Detail/7476/better-cotton> (Erişim tarihi: 20.09.22)
- Yücel, S., & Tiber, B. (2018). Hazır giyim endüstrisinde sürdürülebilir moda. *Tekstil ve Mühendis*, 25(112), 370-380. <https://doi.org/10.7216/1300759920182511211>
- Zhang, Y., Liu, X., Xiao, R., & Yuan, Z. (2015). Life cycle assessment of cotton T-shirts in China. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 994-1004. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0889-4>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.09.2022
Kabul Tarihi : 25.01.2023

Received Date : 29.09.2022
Accepted Date : 25.01.2023

SOLUNUM SİSTEMİ HASTALIKLARININ TEŞHİSİNE YÖNELİK MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI ANALİZ PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPMENT OF MACHINE LEARNING BASED ANALYSIS PROGRAM FOR DIAGNOSIS OF RESPIRATORY SYSTEM DISEASES

Burcu ACAR DEMİRCİ^{1}* (ORCID: 0000-0002-7328-1267)
Yücel KOÇYİĞİT² (ORCID: 0000-0003-1785-198X)

^{1,2}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Burcu ACAR DEMİRCİ, burcu.acar@cbu.edu.tr

ÖZET

Solunum sistemi hastalıkları hem dünyada hem ülkemizde milyonlarca kişinin ölümüne sebep olan tıbbi bir problemdir. Teknolojinin gelişmesi ile ortaya çıkan bilgisayar destekli tanı sistemleri solunum sistemi hastalıklarının erken teşhisinde umut vadetmektedir. Bu çalışmanın amacı sağlıklı ve çeşitli akciğer hastalıklarına sahip bireylerden alınan solunum seslerinin otomatik teşhisi ile hekime yardımcı olan ve Tıp eğitimi gören öğrencilerin solunum seslerini öğrenmesine imkan sağlayan tanı sistemi geliştirilmesidir. Çalışmadaki kullanılan solunum sesleri, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hafsa Sultan Hastahanesi Göğüs Hastalıkları Anabilim dalındaki uzman hekimler tarafından Littman 3200 Elektronik Stetoskop ile kaydedilmiştir. 105 gönüllüden kaydedilen yedi farklı solunum grubuna ait solunum sesleri filtreleme, öznitelik çıkarımı ve sınıflama gibi sinyal işleme yöntemlerine tabi tutularak otomatik teşhis gerçekleştirilme ve teşhis sonucuna göre hastanın sahip olabileceği olası hastalıklar Kullanıcı Ara yüzünde listelenmektedir. Geliştirilen programda kullanılan yöntemlerin eğitilmesi ve başarılarının test edilebilmesi amacıyla veriler, eğitim ve test verisi olarak ayrılmıştır. Eğitime aşamasında geçerlilik yöntemleri kullanılarak eğitim tutarlılığı sağlanmıştır. Test verileri kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda Mel Frekansı Kepstral Katsayıları ve Destek Vektör Makineleri birlikte kullanıldığında en yüksek doğruluk oranı %94,5 olarak elde edilmiştir. Yüksek doğruluk oranı ile programın otomatik teşhisi başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği kanıtlanmaktadır. Ayrıca Analiz programı Tıp öğrencilerinin kullanımına sunulacak bir diğer hedefine de ulaşmıştır.

Anahtar sözcükler: Solunum sesleri, Filtreleme, Öznitelik Çıkarımı, Sınıflama, Kullanıcı Arayüzü.

ABSTRACT

Respiratory system diseases are medical problem that causes the death of millions of people in the World. Recently, computer aided diagnosis systems are promising in the early diagnosis of respiratory system diseases. The purpose of this study is to develop a diagnostic system that assists the physician with the automatic diagnosis of respiratory sounds from individuals with healthy and varied lung diseases and to allows medical education students to learn their respiratory sounds. In this study, analysis is performed by applying various signal processing methods such as filtering, feature extraction and classification to respiratory sounds. As a result of the analysis, automatic diagnosis is made and possible diseases that the patient may have according to the diagnosis result are listed in the User Interface. The data is divided into training and testing data so that the methods used in the developed program can be trained and tested for their success. Analysis using test data results in the highest accuracy of 94.5% when combined with the Mel Frequency Cepstral Coefficients and Support Vector Machines. High accuracy rate proves that the program successfully performs automatic-diagnosis. The analysis program has been made available to Medical students and so it has achieved another goal.

Keywords: Respiratory sounds, Filtering, Feature Extraction, Classification, User Interface.

GİRİŞ

Solunum sistemi hastalıkları hem dünyada hem ülkemizde milyonlarca kişinin ölümüne sebep olan tıbbi problemlerden biridir (World Health Organization, 2015). Toplumların yaş yapısındaki değişim, hareketsiz yaşam stilleri ve sigara içme oranlarının artışı gibi toplumsal faktörler ve hava kirliliği gibi çevresel faktörlerin etkisiyle önümüzdeki yıllarda solunum sistemi hastalıklarında artış beklenmektedir. Bu nedenle solunum yolu hastalıklarının erken teşhisi çok önemli bir araştırma alanıdır. Bilgisayarlı tomografi (BT), solunum fonksiyon testi, göğüs röntgeni ve akciğer oskültasyonu solunum yolu hastalıklarının tanısında etkili yöntemlerdir (Güler vd., 2005).

Oskültasyon bir hastalığın teşhisinde, organların işleyişini kontrol etmek için stetoskop yardımıyla vücut içi seslerin dinlenmesi işlemidir. Akciğer oskültasyonu, solunum sistemi hastalıklarını tespit edilmesinde kullanılan en basit ve ucuz yöntemdir. Yöntemin non-invazif olması, hızlı ve etkili teşhis sağlaması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Oskültasyonun öncelikli amacı, normal solunum seslerini ve solunum sistemi patolojilerinin kabul edilen semptomlarının üzerine bindirilmiş artefaktlar olan ek seslerini tespit etmektir. Ayrıca oskültasyon ile göğsün farklı bölgelerinden elde edilen solunum seslerinin özellikleri (yoğunluk, süre vb.) gözlemlenerek, hastalığın hangi evrede ve hangi bölgede olduğu teşhis edilebilmektedir.

Solunum seslerinin düşük frekanslı karakteristiğe sahip olmaları, seslerin sinyal/gürültü oranının düşük olması, hekimin işitme sistemine ait fizyolojik kaynaklı kısıtlamalar ve hekimin bilgi ve tecrübesinin yeterli olmayışı, hatalı veya eksik hastalık teşhisine neden olmaktadır (Güler vd., 2005). Ayrıca geleneksel ölçüm yöntemlerinde solunum seslerini kaydetme imkânı olmadığı için tedavi boyunca hastanın takibi zorlaşmaktadır. Klasik stetoskoplar yerine gelişmiş dijital sinyal işleme tekniklerini içerisinde barındıran elektronik stetoskopun ortaya çıkışı, ek seslerin otomatik tespiti ve sınıflandırılması için algoritmaların geliştirilmesinde öncü olmuştur. Elektronik stetoskop teknolojisinde yalnızca daha iyi sensör ve akustik kuplaj tekniklerinin kullanılmasıyla değil, aynı zamanda elektronik sinyal iletimi, kuvvetlendirme ve gürültü azaltma yöntemlerinin kullanılmasıyla sürekli bir ilerleme kaydedilmiştir. Elektronik stetoskop kullanımı ile oskültasyon analogdan dijitale evrilmiştir ve bilgisayar üzerinden depolama, analiz ve görselleştirmeyi mümkün kılmıştır. Birçok çalışma, dijital oskültasyondan veri ve algoritmalar açısından yararlanmayı amaçlamaktadır. Stetoskopun hafızasına kaydedilen sesler, CORSA (Computerized Respiratory Sound Analysis) sistemleri kullanılarak analiz edilmek üzere bilgisayara aktarılır ve teşhis amaçlı kullanılır. Günümüzde CORSA sistemlerinin yaygın olarak kullanımına bağlı olarak göğüs hastalıkları alanında yapılan çalışmalar giderek artış göstermektedir. Spesifik bir hastalığa sahip olan ek solunum sesleri birçok çalışmada sağlıklı solunum sesleri ile karşılaştırılmıştır.

Corbera vd. (2004) yaygın görülen astım hastalığını teşhis amacıyla sibilan ronküs solunum sesine odaklanmışlardır. Çalışmada 15 sağlıklı kişi ve 16 astım hastasından spirometre ile kaydedilen solunum sesleri kullanılarak hırıltılı ve sağlıklı sesler arasındaki önemli farklılıkları tespit etmektedir (Homs-Corbera vd. 2004). Bahoura (2009) çalışmasında 12 sağlıklı kişi ve 12 astım hastası olmak üzere toplam 24 bireye ait solunum sesini kullanarak hastalık teşhisini %96,4 hassasiyetle gerçekleştirmiştir (Bahoura, 2009). Serbes vd. (2011) yaptıkları çalışmada solunum sesi olarak sağlıklı ve ral seslerini kullanmıştır. Ral seslerinin zamanlama ve oluşum sayısı gibi özelliklerinden akciğer hastalıklarının tipini ve şiddetini öğrenmek için yeni bir öznelik algoritması önermiş ve %97,2 doğruluk oranıyla teşhis sağlamıştır (Serbes vd., 2011).

Maruf vd. (2015) ral solunum seslerini otomatik olarak algılamak için CORSA sistemi önermektedir. Çalışma ral seslerini %97,56 başarı oranıyla otomatik algılamaktadır (Maruf vd., 2015). Lozano vd. (2016b) sağlıklı ve sibilan ronküs seslerini otomatik olarak teşhis etmek amacıyla Ampirik Mod Ayrışımı (EMD) tabanlı yöntemler önermektedir. Önerilen yöntemler, EMD yönteminin mod karıştırma problemini ortadan kaldırmakta ve yüksek enerji konsantrasyonu, yüksek zaman ve yüksek frekans çözünürlüğü sunmaktadır (Lozano vd., 2016b). Haider vd. (2019) sağlıklı ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA) solunum seslerini sınıflamak için oskültasyon ve solunum fonksiyon testlerinin birlikte kullanılmasını önermektedir (Haider vd., 2019).

Pramono vd. (2019) solunum sırasında sibilan ronküs seslerini otomatik olarak tanımlamayı amaçlarken çeşitli öznelikler karşılaştırmaktadır. Otomatik hırıltı tanımlamasına yönelik çalışma, farklı özneliklerin doğruluk, güvenilirlik ve hesaplama gereksinimleri açısından gerçekleştirilen analizleri sebebiyle de sonraki çalışmalar için önemli bir referans haline gelmektedir (Pramono vd., 2019). Altan vd. (2020) çok kanallı akciğer seslerini kullanarak KOA hastalığının erken teşhisini amaçlamaktadır. Derin öğrenme algoritması ile gerçekleştirilen sınıflama sonucunda %93,67 doğruluk oranı elde edilmiştir (Altan vd., 2020). Habukawa vd. (2021) günümüz pandemi

koşullarının akciğer hastalarına sahip çocukların üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak amacıyla otomatik hırıltı (wheeze) tanıma algoritmasına sahip uzaktan tıbbi bakım imkanı sağlayan yeni ve kullanışlı bir tıbbi cihaz geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar hırıltı tanıma algoritmasının hırıltıyı yüksek doğrulukla tespit ettiğini ve cihazın uzaktan tıbbi bakımda hırıltı yönetimi için faydalı olacağını kanıtlamaktadır (Habukawa vd., 2021). Mukherjee vd. (2021) solunum yolu enfeksiyonuna sahip hastaların solunum seslerini algılamak için bir araç geliştirmiştir (Mukherjee vd., 2021).

Bu çalışma, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde sağlıklı ve ek solunum seslerini teşhis etmeyi amaçlamaktadır. Ancak çalışmanın literatürdeki çalışmalardan hem hitap ettiği solunum grubu açısından hem de yöntemsel açıdan farkı mevcuttur. Bu çalışmada altı farklı ek solunum sesi ve sağlıklı solunum sesleri ile otomatik tanılama gerçekleştirilmektedir. Ampirik Mod Ayrıştırma yöntemi istatistiksel analiz ile birleştirilerek yöntemsel farklılık ortaya konulmuştur. Önerilen yöntemin başarısı, frekans analizi ve kepsral analiz ile karşılaştırılmıştır. Kepsral ve frekans analizleri sırasıyla Mel-Frekans Kepsral Katsayısı, Dalgacık Paket Dönüşümü ve Güç Spektrum Yoğunluğu yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Literatürde solunum seslerinin sınıflandırılması probleminde farklı sınıflandırıcıların performanslarının karşılaştırılması yaygın bir uygulamadır. Bu çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağı, k-En Yakın Komşuluk Algoritması ve Destek Vektör Makinesi yöntemlerinin sınıflama başarısı karşılaştırılmıştır. Tüm bunların yanı sıra çalışmanın en önemli farkı ve katkısı, Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı geliştirilmesinin yanı sıra solunum seslerinin otomatik teşhisi ile hekime yardımcı olan ve Tıp eğitimi gören öğrencilerin solunum seslerini öğrenmesine imkan sağlayan Kullanıcı Arayüzüne sahip olmasıdır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Solunum Seslerinin Elde Edilmesi

Solunumun inspirasyon ve ekspirasyon aşamasında solunum yollarındaki gaz basıncının hızlı değişmesi sonucu titreşimler meydana gelir. Titreşimler akciğer dokusundan geçip göğüs duvarına ulaştığında titreşimdeki farklılıklara göre belirli bir genlik ve frekansta solunum sesleri oluşur (Pasterkamp vd., 1997). Solunum sesleri temelde normal ve ek sesler diye ikiye ayrılır. Normal solunum sesleri, herhangi bir patolojik durum olmadığında duyulan seslerdir. Ek solunum sesleri, akciğerlerdeki veya solunum yollarındaki patolojik etkilerden kaynaklanır. Bu çalışmada frotman, stridor, sibilan ronküs, sonor ronküs, squawk ve ral ek sesleri ile sağlıklı seslerden oluşan normal veri seti kullanılmıştır. Sağlıklı akciğer sesi, inspirasyon aşamasında ekspirasyon aşamasına göre daha büyük genlikli ve daha yüksek frekanslı seslerdir. Bu seslerin sinyal frekans bandı 150 Hz ile 1000 Hz arasındadır (Palaniappan vd., 2013).

250ms den uzun süreli ek sesler, sürekli ek sesler olarak adlandırılmaktadır. Sürekli ek sesler frotman, stridor, sibilan ronküs, sonor ronküs ve squawk sesleridir. Sibilan ronküs sesleri ekspirasyon evresinde hava akımının daralmış hava yollarından yüksek hızla geçtiği sırada yaygın duyulan seslerdir. Hastalık şiddetine bağlı olarak inspirasyon ve ekspirasyon evresinde duyulabilen yüksek vurgulu bu seslerin frekans spektrumuna bakıldığında 400 Hz ve üzeri frekanslarda baskın olduğu gözlemlenmiştir. KOAH, kronik-akut bronşit ve astım gibi solunum yollarının tıkanması sonucu sıklıkla gözlemlenmektedir. Sonor ronküs, hava yolunda oluşan aşırı sekresyona bağlı olarak ekspirasyon evresinde duyulan ve 200 Hz ve daha düşük frekansları içeren düşük tepe değerli akciğer sesleridir. Akciğer alanlarında bu seslerin duyulması astım veya KOAH olarak düşünülmektedir. Squawk ek sesi, küçük hava yollarında oluşan ani açılmalarla oluşur. Parankimal akciğer hastalığı, bronşiolitis obliterans, alveolit ve idiyopatik pulmoner fibrozis hastalarında görülür. Frotman, inspirasyon evresinin sonunda ve ekspirasyon evresinin başında iltihaplı plevra yaprakların sürtünmesi sonucu duyulan kaba rale benzeyen ek sestir. Kaba rallerin aksine öksürükle kaybolmayan ve belirginleşen bu ek ses pulmoner emboli, plevral efüzyon, plörit ve kaburga kemiği kırıklarında oluşmaktadır. Stridor, gırtlak veya soluk borusunun darlığı neticesinde oluşan yüksek frekanslı, kaba seslerdir. Genellikle inspirasyon evresinde duyulmaktadır; ancak ekspirasyon evresinde darlığın fazla olduğu durumlarda da duyulabilmektedir. Frekans spektrumunda 1000 Hz frekansında belirgin bir tepe değeriyle fark edilir (Uysal, 2014). Bu ses, trakeada yabancı cisim veya bası durumunda, veyahut laringeal veya trakeal kitle olması durumlarında gözlemlenmektedir.

Sürekli olmayan ek sesler ral olarak adlandırılmaktadır. Raller, süresi 20 ms'den daha kısa olan, kısa patlamalı, geçici, frekans spektrumunda 200-2000 Hz arasındaki frekans bandına yayılan müzikal olmayan seslerdir. Raller birkaç farklı nedenden dolayı oluşabilmektedir. Birincisi, akciğerlerdeki fazla sıvılardan geçen havanın kabarcık yapmasıdır; ikincisi, tıkalı olan hava yollarının aniden açılmasıyla patlama benzeri gürültülü bir ses eşliğinde basıncın ani olarak eşitlenmesidir. Süre ve genlik değerleriyle tanımlanan rallerin sayısı, akciğer hastalığının derecesini, niteliğini ve bölgesel dağılımı gösterir (Demirci, 2019)

Bu çalışma kapsamında uzman hekimler tarafından sağlıklı sesleri de içeren toplam yedi farklı tür solunum sesi kaydedilmiştir. Littman 3200 Elektronik Stetoskop kullanılarak kaydedilen solunum sesleri MATLAB ortamında inspiryum evresinin başladığı andan itibaren 3 tam nefesi kapsayacak şekilde bölünmüş ve çeşitli sinyal işleme tekniklerinin uygulanması için hazır hale getirilmiştir. Bu seslerin işlenmesi üç temel adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla; Filtreleme, Öznitelik Çıkarımı ve Sınıflamadır.

Filtreleme

Filtreleme işlemi sinyal işlemenin en temel adımıdır. Sinyalleri analize hazırlayan bu adım arka plan gürültülerinin kaldırılması, gürültü filtrelemesi, sinyallerin uygun aralıkta örneklenmesi ile kaydedilen solunum seslerinin kalitesini arttırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada solunum seslerine Butterworth, Chebyshev ve Eliptik filtre uygulanmıştır. En iyi sonuç 4. Dereceden Butterworth filtre ile elde edilmiştir.

Öznitelik Çıkarımı

Özellik çıkarımı ile yüksek boyutlu solunum sesleri zaman ve frekans ekseninde analiz edilerek en önemli bileşenleri elde edilmektedir. Çalışmada Ampirik Mod Ayrışımı, Mel frekansı Kepstral Katsayıları, Dalgacık Paket dönüşümü ve Güç Spektrum Yoğunluğu olmak üzere dört farklı öznitelik çıkarım yöntemi tercih edilmiştir.

Ampirik Mod Ayrışımı

Ampirik mod ayrışımı yöntemi (EMD), çok bileşenli doğrusal olmayan ve durağan olmayan sinyallerin analizi için önerilen, Hilbert-Huang Dönüşümünden türetilen bir yöntemdir (Huang vd., 1996). Geleneksel sinyal analizi yöntemlerinin aksine sinyali farklı bir ekseninde incelemeye ihtiyaç duymamaktadır ve ayrıştırmanın bütün adımlarında kullanılan temel fonksiyonlar sinyalin kendisinden türetilmektedir (Lozano vd., 2016). Doğrusal olmayan ve durağan olmayan solunum seslerinin analizi için uygun bir araç olarak düşünülmektedir. Yöntemde solunum sesleri eleme işlemi aracılığıyla İçsel Kip Fonksiyonlarına (IMF) ayrıştırılmaktadır. IMF'ler orijinal sinyalden türetilen salınımsal sinyallerdir. IMF bileşenleri istatistiksel analiz fonksiyonları (standart sapma, varyans, mod, enerji, entropy ve ortalama güç) ile birleştirilmekte ve öznitelikler elde edilmektedir.

Mel Frekansı Kepstral Katsayıları

Ses analizinde sıklıkla tercih edilen Mel frekansı kepstum katsayıları yöntemi (MFCC) insan kulağının frekans seçiciliği göz önüne alınarak geliştirilmiştir (Sunil & Ganesan, 2015). Yöntemde; ses sinyallerinin alçak frekans bileşenlerinin taşıdığı bilginin daha önemli olduğu düşünülerek, sinyaller doğrusal özellik göstermeyen Mel Ölçeğinden geçirilmektedir. Ölçekleme sayesinde MFCC katsayıları ses sinyallerinin yapısal değişiminden daha az etkilenmektedir. Bu çalışmada solunum seslerine MFCC yöntemi uygulanmış ve elde edilen 13 kepstal katsayı istatistiksel analiz fonksiyonları ile birleştirilerek öznitelikler elde edilmiştir.

Güç Spektrum Yoğunluğu

Güç spektrum yoğunluğu (PSD) yöntemi zaman düzlemindeki bir sinyalin genlik bilgisini frekans düzleminde ifade etmeye imkan sağlayan Fourier dönüşümünden türetilen bir analiz yöntemidir. Frekans bileşenlerinin elde etmek için sinyale Fourier dönüşümü uygulanmaktadır. Elde edilen frekans bileşenlerinin mutlak değerinin karesi periyodun iki katına bölünerek sinyalin frekans bandı üzerindeki güç dağılımı hesaplanır (Gengeç, 2012). Bu çalışmada Welch metodu kullanılarak Güç spektrum yoğunluğu hesaplanmıştır.

Dalgacık Paket Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü solunum sesleri gibi doğrusal olmayan ve durağan olmayan sinyallerin zaman-frekans analizinde sıkça kullanılan dönüşüm yöntemidir (Rioul & Vetterli, 1991). Dalgacık dönüşümünde pencere görevini ana dalgacık fonksiyonları üstlenir. Ana dalgacık fonksiyonları dönüşüm işlemi süresince hem ölçeklenmekte hem de ötelenmektedir. Dalgacık dönüşümünde pencere fonksiyonunun genişliği sabit değildir; yüksek frekanslar için dar pencere genişliği, düşük frekanslar için ise geniş pencere büyüklüğü kullanılmaktadır. Dalgacık dönüşümünde farklı pencere genişliği kullanılması sayesinde zaman ve frekans ekseninde çözünürlük artmaktadır. Dalgacık dönüşümü kullanılan sinyal yapısına göre değişiklik göstermektedir. Sürekli zaman sinyalleri için sürekli dalgacık dönüşümü, ayırık zaman sinyalleri için ise ayırık dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Dalgacık paket dönüşümü (WPA) ayırık dalgacık dönüşümü tabanlı bir yöntemdir (Bahoura, 2006). Coifman ve Winkerhauser tarafından önerilen yöntemde sinyallerin hem yaklaşık katsayıları hem de detay katsayıları istenen ayrıştırma seviyesine kadar frekans bantlarına ayrıştırılabilmektedir. Çalışmada dördüncü seviyeye kadar ayrıştırma yapılırken ana dalgacık fonksiyonu olarak

Daubechies (db5) kullanılmıştır. Elde edilen katsayılara istatistiksel analiz fonksiyonları uygulanarak öznelikler elde edilmektedir.

Sınıflama

Bu çalışma kapsamında k-En Yakın Komşuluk Algoritması, Yapay Sinir Ağı ve Destek Vektör Makinesi yöntemleri sınıflama performansları karşılaştırılmıştır.

k- En Yakın Komşuluk Algoritması

k En Yakın Komşuluk Algoritması (k-NN) sınıflama ve regresyon amacıyla kullanılan basit ve kolay bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Yöntem eğitim gerektirmez, kolay gerçekleştirilebilir, yerel bilgilere uyarlanabilir ve gürültülü eğitim verilerine dirençlidir (Göğüş, 2015). Bu üstünlükleri sayesinde diğer makine öğrenmesi algoritmaları arasında popülerliğini koruyan k-NN sınıflayıcı; yeni gelen bir verinin sınıfını belirlemek için veri setindeki eğitim örneklerine olan yakınlığını incelemektedir. Yakınlık tespiti için Öklid, Minkowski veya Manhattan gibi uzaklık denklemleri kullanılmaktadır. Çalışmada k=3 seçilmiş ve Öklid uzaklığı hesaplanarak en yakın üç komşu incelenmiştir. Çapraz doğrulama katsayısı kFold=10 belirlenerek veri on eşit parçaya bölünmüş, her bir parça hem eğitim hem de test için kullanılmaktadır. Çapraz doğrulama ile verideki dağılım ve parçalanmadan kaynaklı sapma ve hata minimum hale gelmektedir.

Yapay Sinir Ağı

Yapay Sinir Ağı (ANN), insan beyinin çalışma ve düşünebilme yeteneğinden ilham alınarak geliştirilen, öğrenme sürecini matematiksel modelleyebilen yazılımlardır. Biyolojik sinir hücrelerini taklit eden yöntemde bilgilerin işlenmesi paralel olarak gerçekleşmektedir (Elmas, 2016). Paralel işleme dolayısıyla bir birimde oluşan hatanın sistemi etkileme oranı düşüktür. Yapay Sinir Ağları öğrenme ve genelleme yeteneğine sahiptir. Öğrenme sürecinde eğitim örneklerinin giriş ve çıkış bilgileri sisteme tanıtılmaktadır. Problemi öğrenen sinir ağı, hücreler arasındaki bağlantıları ve bağlantı ağırlıklarını amaca uygun olarak güncellemektedir. Genelleme, eğitim veya öğrenme sürecinde karşılaşılmayan test örneklerinin girişleri için ağı oluşturduğu tepkidir. Bu özellikleri sayesinde yöntem veri ilişkilendirme ve yorumlama, sınıflama, tahmin ve modelleme problemleri gibi karmaşık problemlerin çözümünde sıklıkla tercih edilmektedir. Yapay sinir ağı modelleri oluşturulurken çözülmek istenen probleme göre nöronların bağlantı şekli, toplama ve aktivasyon fonksiyonları, öğrenme metodu, öğrenme kuralı ve algoritması belirlenmelidir. Çalışma kapsamında solunum seslerinin sınıflanması için ileri beslemeli Çok Katmanlı Algılayıcı ağ yapısı tercih edilmiştir. İleri beslemeli ağlarda giriş nöronları ile çıkış nöronları arasında tek yönlü bağlantı mevcuttur. Bu ağ yapısında gecikme söz konusu olmamaktadır. Bu çalışmada Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. Bu öğrenme algoritması maksimum komşuluk düşüncesi üzerine kurulmuş en az kareler hesaplama yöntemidir. Gauss-Newton ve Grandyent Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşan algoritma iki algoritmanın kısıtlamalarını kaldırır ve daha hızlı sonuç üretir.

Destek Vektör Makineleri

Danışmanlı bir öğrenme algoritması olan Destek Vektör Makineleri (SVM) yöntemini, Vladimir Vapnik 1992 yılında sınıflandırma ve regresyon analizi problemlerini çözmek üzere geliştirmiştir (Vapnik, 1998). SVM yöntemi yapısal risk minimizasyonu prensibine göre çalışan bir optimizasyon algoritmasıdır. Yöntemin en büyük başarı nedeni sınıflandırma problemini kareli optimizasyon problemine dönüştürerek çözmesidir. Bu sayede öğrenme aşamasında işlem yükü azalmakta ve hızlı çözüm sağlanmaktadır. Yöntem yerel çözümlere takılmama ve yüksek genelleme yeteneği sayesinde ses tanıma, yazı, nesne ve görüntü tanıma problemlerine ait karmaşık veri setlerinde ve çözümlenmesi zor örüntülerin tanınmasında sıklıkla tercih edilir. (Başer & Apaydın, 2015). SVM iki sınıfı birbirinden en uygun şekilde ayıran hiper-düzlemi tahmin etme esasına dayanmaktadır.

Kullanıcı Arayüzü

Bu çalışmada, MATLAB App Designer kullanılarak tasarlanan kullanıcı arayüzü, solunum seslerinin otomatik teşhisi ile hekime yardımcı olmayı ve tıp eğitimi gören öğrencilere solunum seslerini öğretmeyi amaçlamaktadır. Arayüzü oluşturan üç ana pencereden aşağıdaki gibidir;

- i. Giriş Penceresi
- ii. Eğitim ve Tanıtım Penceresi
- iii. Hakkında Penceresi

Giriş Penceresi

Solunum seslerinin otomatik teşhisi bu pencerede gerçekleştirilmektedir. Giriş penceresi dört ana bölümden oluşmaktadır;

i. Hasta Bilgileri Bölümü

Bu bölüm solunum sesinin ait olduğu hastaya ait bilgilerin girişi için tasarlanmıştır. Hastanın TC kimlik numarası, cinsiyet, yaş, kilo ve meslek bilgilerinin yanı sıra hastalığa neden olabilecek biomass maruziyeti, sigara kullanımı gibi bilgileri sisteme girilmektedir. Girilen bilgiler 'Sonuçları Kaydet' butonu aracılığıyla xlsx formatında kaydedilebilmektedir.

ii. Solunum Veri Girişi Bölümü

İlgili bölümde solunum sesinin sisteme girilmesi ve teşhis amacıyla kullanılacak filtre tipi, öznitelik çıkarım yöntemi ve sınıflama yöntemlerinin seçimi gerçekleştirilmektedir. Otomatik teşhisi istenen solunum sesi 'Dosya Seç' butonuyla seçilmektedir. 'Filtre Tipi Seçimi' butonunda Butterworth, Chebyshev ve Eliptik Filtre seçenekleri mevcuttur. Seçeneklerden biri seçilerek teşhisi istenen solunum seslerindeki gürültüler giderilmektedir. Filtrelenen solunum sesinin önemli özniteliklerinin çıkarılması için 'Öznitelik Çıkarım Yöntemi' butonu kullanılmaktadır. Özniteliklerin çıkarılması EMD, MFCC, PSD ve WPA seçenekleri ile gerçekleştirilmektedir. Yöntemlerden birinin uygulanması ile solunum sesinin en önemli öznitelikleri elde edilmektedir. Öznitelikler 'Sınıflama Yöntemi' butonunda bulunan ANN, k-NN ve SVM yöntemleri ile sınıflanmaktadır. 'Analiz Et' butonuna basıldığında yapılan seçimlere göre solunum sesi teşhisi başlamaktadır. 'Temizle' butonuyla yapılan seçimler sıfırlanabilmektedir.

iii. Grafikselsel Sonuç Ekranı ve Dinleme Bölümü

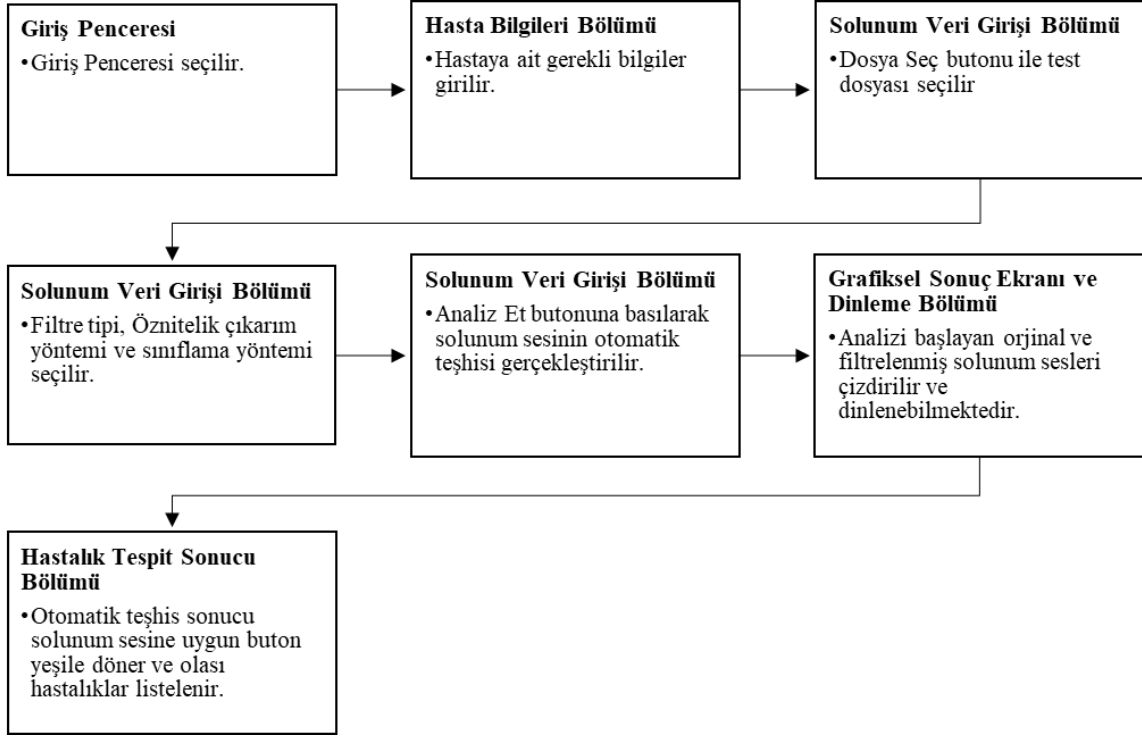
Bu bölüm, solunum veri girişinde teşhisi istenen orijinal solunum sesi ile filtrelenerek gürültülerden arındırılan solunum sesinin görselleştirilmesi ve dinlenmesine imkan sağlamaktadır.

iv. Hastalık Tespit Sonucu Bölümü

Teşhis edilen solunum sesine ait analiz sonucu 'Hastalık Tespit Sonucu' bölümünde gösterilmektedir. Analiz sonucu ses sağlıklı ise sağlıklı butonu, hasta ise mevcut hastalığa ait buton yeşile dönmektedir. Ve solunum sesine göre hastanın sahip olabileceği olası hastalıklar görülme sıklıklarına göre listelenmektedir. Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı Giriş Penceresinin bölümlerine ait görsel Şekil 1'de görülmektedir. Giriş Penceresinin işleyişini anlatan ve otomatik tanılama sırasında sırasıyla hangi işlemlerin uygulanacağını belirten blok diyagram ise Şekil 2'de belirtilmektedir.

The screenshot shows the MATLAB App window titled 'Solunum Hastalıkları Eğitim ve Teşhis Programı'. The interface is divided into four main sections, each highlighted with a red box and a red number: 1. 'Hasta Bilgileri' (Patient Information) section on the top left, containing various input fields and dropdown menus for patient details. 2. 'Solunum Veri Girişi' (Respiratory Data Entry) section on the bottom left, featuring a 'Dosya Seç' button and three dropdown menus for selecting filter type, feature extraction method, and classification method, along with 'Temizle' and 'Analiz Et' buttons. 3. 'Grafikselsel Sonuç Ekranı ve Dinleme' (Graphical Result Screen and Listening) section on the top right, displaying two plots: 'Orijinal Ses' (Original Sound) and 'Filtrelenmiş Ses' (Filtered Sound), each with an 'Oynat' (Play) button. 4. 'Hastalık Tespit Sonucu' (Disease Detection Result) section on the bottom right, showing checkboxes for 'Sağlıklı' (Healthy) and 'Olası Hastalıklar' (Possible Diseases), and a list of diseases: Ronküs, Stridor, Frotman, Squawk, and Ral.

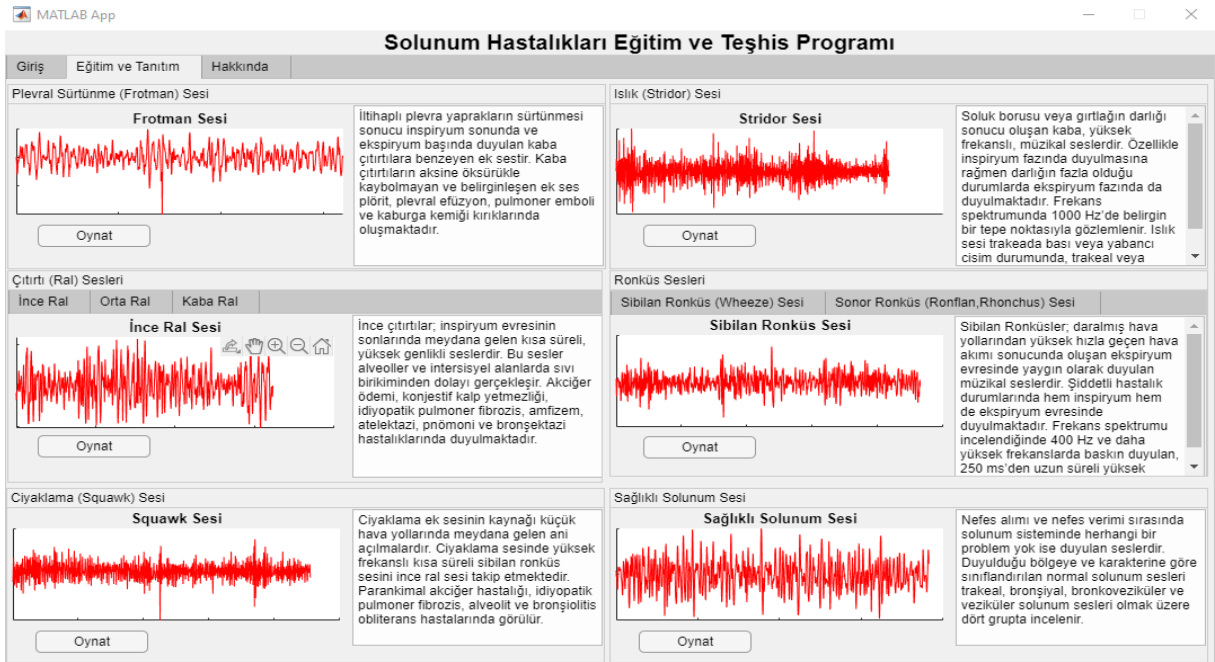
Şekil 1. Giriş Penceresi Bölümleri



Şekil 2. Otomatik Teşhisin İşleyişine Ait Blok Diyagram

Eğitim ve Tanıtım Penceresi

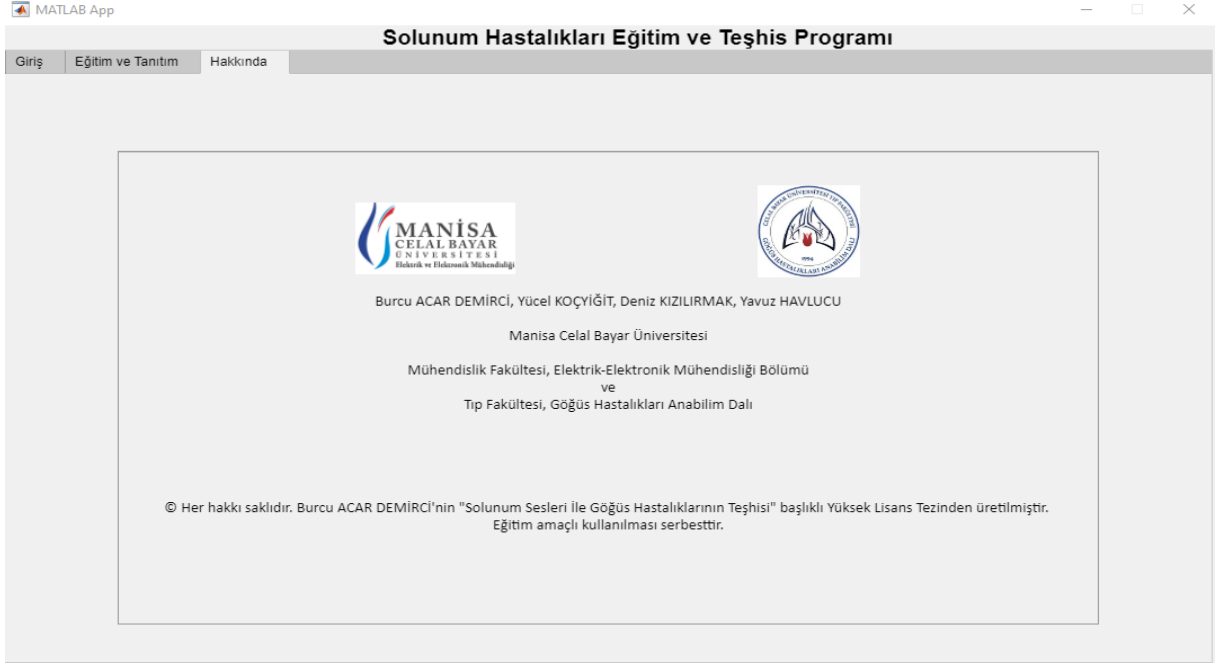
Eğitim ve tanıtım penceresi tüm ses gruplarına ait sesleri öğretmek amacıyla tasarlanmıştır. Solunum sesini dinlemeye ve hakkında bilgi edinmeye imkan sağlamaktadır. İlgili solunum sesinin neden oluştuğu, hangi hastalıklarda sıklıkla duyulduğu gibi genel bilgilere yer verilmiştir. Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı Eğitim ve Tanıtım Penceresine ait görsel Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Eğitim ve Tanıtım Penceresi

Hakkında Sekmesi

Bu sekmede gerçekleştirilen projeye ait bilgiler yer almaktadır. Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı Hakkında Penceresine ait görsel Şekil 4’de verilmiştir.



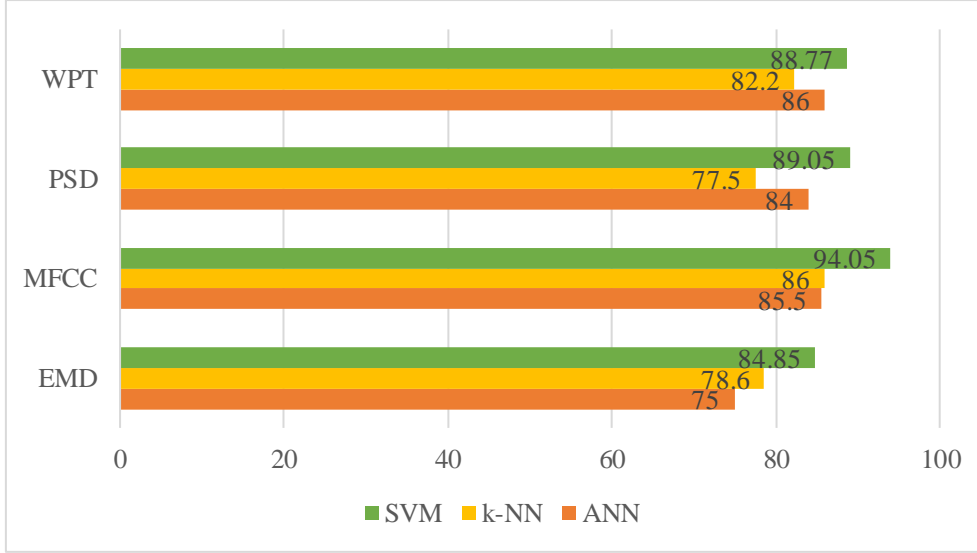
Şekil 4. Hakkında Penceresi

BULGULAR VE SONUÇ

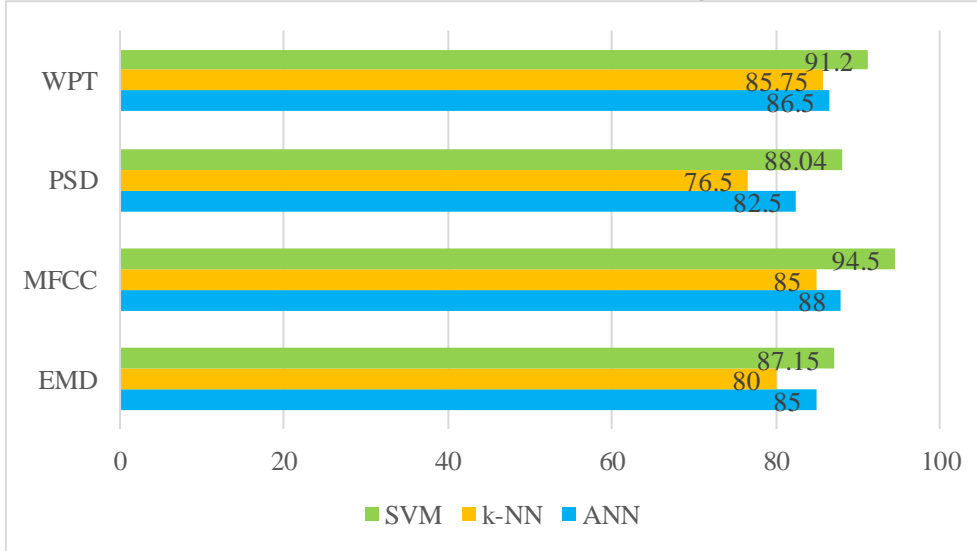
Bu çalışmada geliştirilen ‘Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı’ ile solunum sesleri otomatik teşhis edilmektedir. Programda kullanılan solunum sesleri Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hafsa Sultan Hastahanesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalında uzman hekimler tarafından kaydedilmiştir.

Programda kullanılan yöntemlerin başarısını değerlendirmek için öncelikle yedi farklı hastalık tipine ait solunum sesi filtreleme işleminden geçirilmiştir. Filtrelenen solunum seslerine öznitelik çıkarım yöntemleri uygulanarak solunum seslerinin önemli bileşenleri elde edilmiştir. Öznitelik olarak adlandırılan bu önemli bileşenler sınıflama yöntemleri ile gruplara ayrılmıştır. Solunum sesleri, ANN sınıflayıcı için %80 Eğitim ve %20 Test verisi olacak şekilde ayrılırken k -NN ve SVM sınıflayıcıları için k Fold=10 belirlenerek 10 kat çapraz doğrulamaya tabi tutulmuştur. Otomatik teşhis sırasında kullanılabilir yöntemlerin solunum seslerini sınıflama başarısı önem arz etmektedir. Test verilerinin sınıflama başarılarına ait doğruluk oranları Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3 de verilmektedir. Tablolarda verilen başarı oranlarını elde etmek için sınıflama yöntemleri 10 kez çalıştırılmış ve ortalamaları alınmıştır. En başarılı sınıflama sonuçları Butterworth filtre uygulanan solunum sesleri ile elde edilmiştir. Butterworth Filtre uygulanan solunum seslerinde en başarılı öznitelik çıkarım yöntemi MFCC ve en başarılı sınıflama yöntemi SVM olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemler birlikte kullanıldığında %94,5 doğruluk oranı elde edilmiştir.

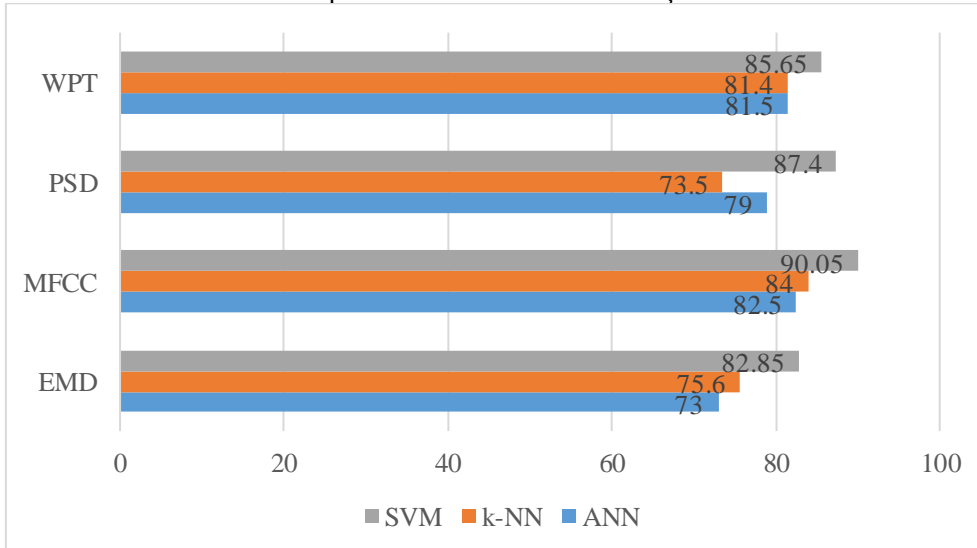
Tablo 1. Chebyshev Filtre ile Elde edilen Başarı Oranları



Tablo 2. Butterworth Filtre ile Elde edilen Başarı Oranları



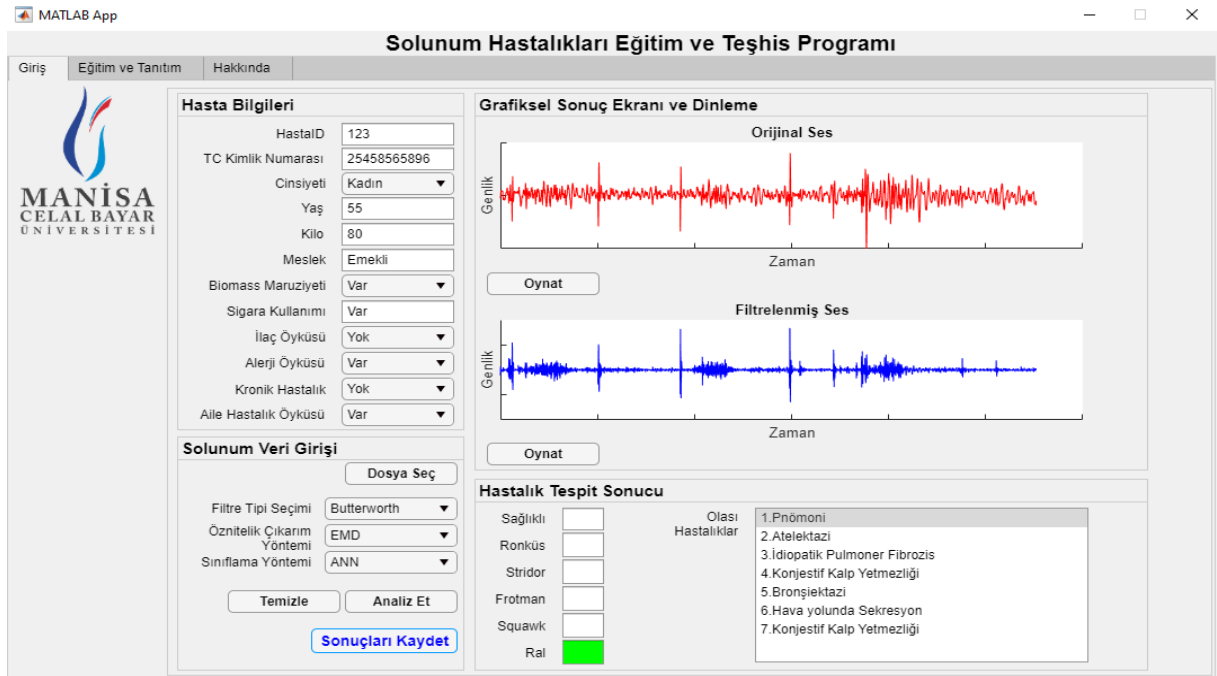
Tablo 3. Eliptik Filtre ile Elde edilen Başarı Oranları



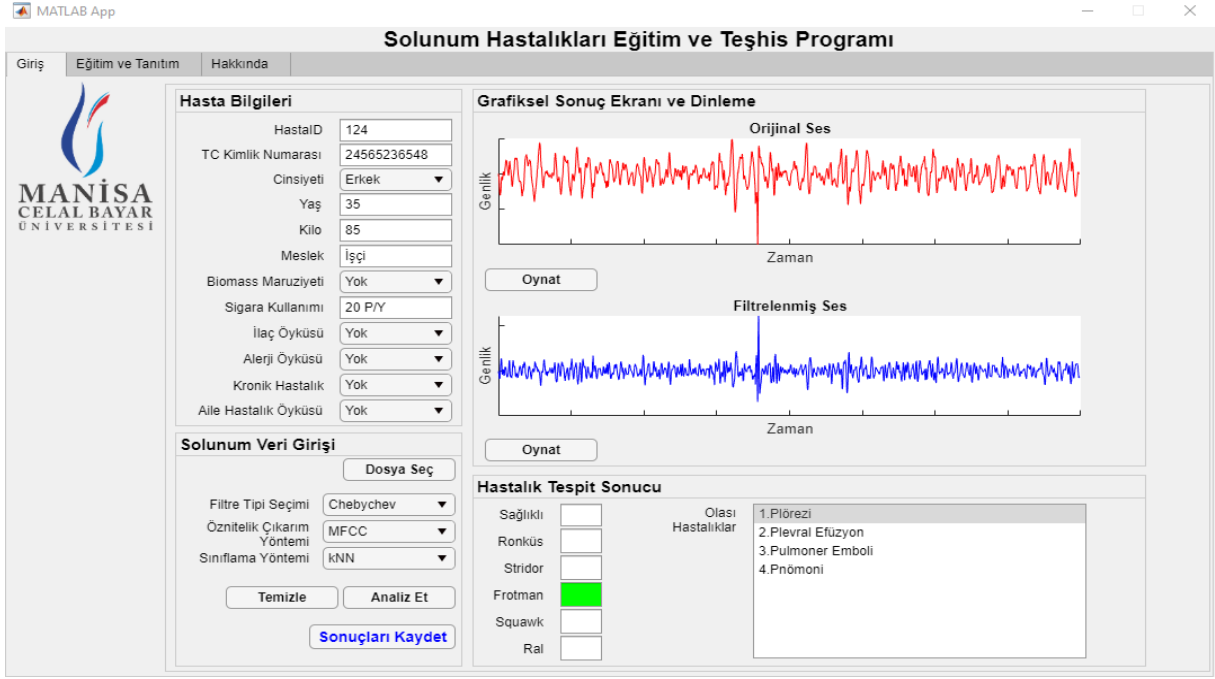
Kullanıcı Arayüzünde ise durum biraz daha farklıdır. Eğitimde kullanılmayan test verisi veya yeni kaydedilmiş bir solunum sesi Dosya Seç butonuyla programa dahil edilmektedir. Dahil edilen bu sesin seçilen yöntemlere bağlı öznelikleri elde edilmektedir. Elde edilen öznelikler önceden eğitilmiş sınıflayıcı modeller kullanılarak sınıflanmaktadır.

‘Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı’ çalıştırıldığında Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7 görselleri elde edilmektedir. Kişisel verilerin korunumu açısından hastaya ait TC kimlik no verileri rastgele girilmiştir.

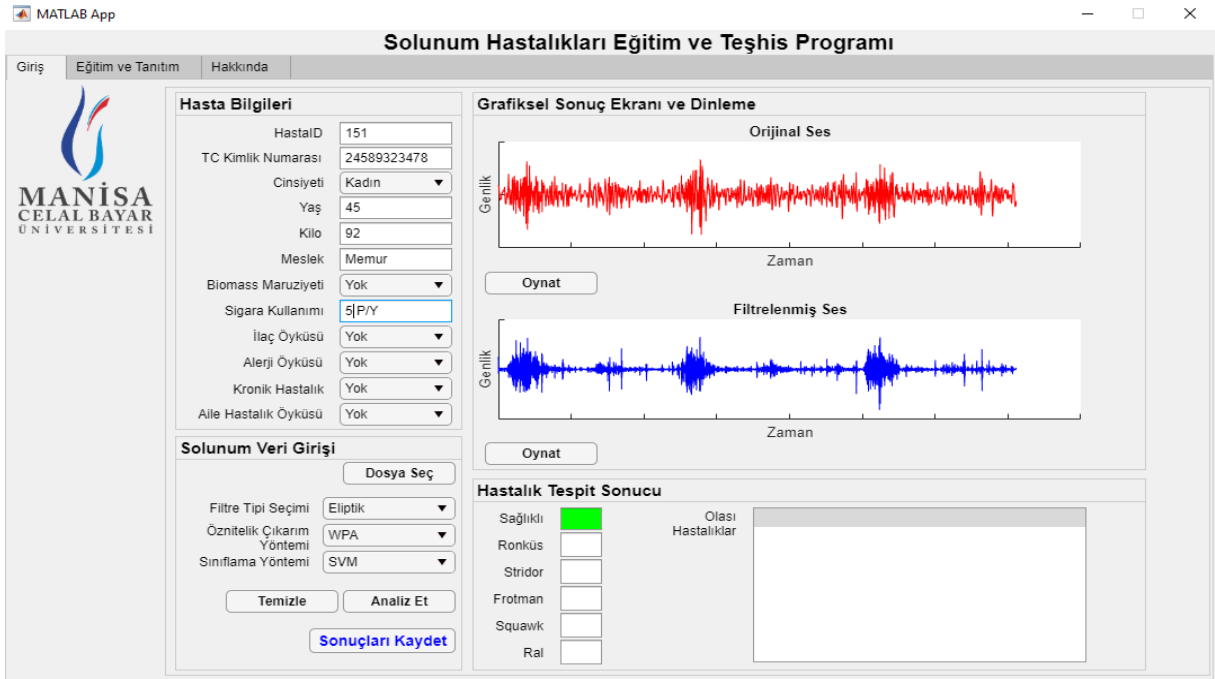
- i. Şekil 5’de 123 no’lu hastaya ait veriler mevcuttur. Butterworth Filtre, EMD öznelik çıkarım yöntemi ve ANN sınıflayıcı seçilerek analiz edilen hastanın Ral solunum sesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Hastanın sahip olabileceği hastalıklar ‘Olası Hastalıklar’ bölümünde verilmiştir.
- ii. Şekil 6’da 124 no’lu hastaya ait veriler mevcuttur. Chebyshev Filtre, MFCC öznelik çıkarım yöntemi ve k -NN sınıflayıcı seçilerek analiz edilen hastanın Frotman solunum sesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Hastanın sahip olabileceği hastalıklar ‘Olası Hastalıklar’ bölümünde verilmiştir.
- iii. Şekil 7’de 151 no’lu hastaya ait veriler mevcuttur. Eliptik Filtre, WPA öznelik çıkarım yöntemi ve SVM sınıflayıcı seçilerek analiz edilen solunum sesinin sağlıklı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. 123 Nolu Hastaya Ait Örnek



Şekil 6. 124 Nolu Hastaya Ait Örnek



Şekil 7. 151 Nolu Hastaya Ait Örnek

TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı geliştirilen 'Solunum Sistemi Hastalıklarının Teşhisine Yönelik Makine Öğrenmesi Tabanlı Analiz Programı'nın başarısını vurgulamak ve geliştirilen erken tanı sisteminin tanıtılmasıdır. MATLAB ortamında tasarlanan Kullanıcı Arayüzü farklı hastalıklara ait solunum sesleri örneklerini içermektedir. Bu örneklere farklı filtreler, öznitelik çıkarım ve sınıflama yöntemleri uygulanarak solunum sesinin tipi ve bu sese ait olası hastalıklar listelenmektedir. Yöntemlerin başarıları açısından değerlendirme yapılacak olursa en başarılı filtre Butterworth filtresidir. MFCC yöntemi ile elde edilen öznitelikler sınıflama sırasında daha başarılı sonuçlar üretmiştir. En başarılı sınıflama sonucu MFCC ve SVM yöntemleri birlikte kullanıldığında elde edilmiştir.

Sonraki çalışmalarda arayüz üzerinde solunum seslerinin parçalara ayrılarak dinlenebilmesi ve analiz edilebilmesinin yanı sıra solunum sesi örneklerinin artırılması amaçlanmaktadır. Solunum sesleri arttıkça çalışmanın başarısının artacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya destek olan Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hafsa Sultan Hastanesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı üyelerine teşekkür ederiz.

MADDİ DESTEK

Bu çalışma Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi [Proje No. 2017-191] tarafından desteklenmiştir. Bu çalışma kapsamında kaydedilen solunum sesleri 20.10.2017 tarih ve 20.478.486 numaralı etik kurul onayı ile alınmıştır.

KAYNAKÇA

Altan, G., Kutlu, Y., & Allahverdi, N. (2020). Deep learning on computerized analysis of chronic obstructive pulmonary disease. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(5), 1344–1350. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2931395>

Bahoura, M. (2006, May). Separation of crackles from vesicular sounds using wavelet packet transform. In 2006 IEEE International Conference on Acoustics Speed and Signal Processing Proceedings,(pp. 1076-1079). <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2006.1660533>

Bahoura, M. (2009). Pattern recognition methods applied to respiratory sounds classification into normal and wheeze classes. *Computers in Biology and Medicine*, 39(9), 824–843. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2009.06.011>

Başer, F., & Apaydın, A. (2015). Sınıflandırma amaçlı destek vektör makinelere lojistik regresyon ile karşılaştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi - B Teorik Bilimler*, 3(2), 53–65. <https://doi.org/10.20290/btdb.67263>

Demirci, B. A. (2019). Solunum sesleri ile göğüs hastalıklarının teşhisi. Yüksek Lisans Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa 104s.

Elmas, Ç. (2016). Yapay Zeka Uygulamaları (3rd ed.). Seçkin Yayıncılık. <https://www.seckin.com.tr/kitap/n/224686494/title/yapay-zeka-uygulamaları-cetin-elmas.html>

Gengeç, Ş. (2012). Akciğer seslerinden işaret işleme teknikleri kullanılarak özellik çıkarma ve sınıflandırma. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri 116 s.

Göğüş, F. Z. (2015). Biyomedikal seslerin analizi ve sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya 126 s.

Güler, I., Polat, H., & Ergün, U. (2005). Combining neural network and genetic algorithm for prediction of lung sounds. *Journal of Medical Systems*, 29(3), 217–231. <https://doi.org/10.1007/s10916-005-5182-9>

Habukawa, C., Ohgami, N., Arai, T., Makata, H., Tomikawa, M., Fujino, T., Manabe, T., Ogihara, Y., Ohtani, K., Shirao, K., Sugai, K., Asai, K., Sato, T., & Murakami, K. (2021). Wheeze recognition algorithm for remote medical care device in children: validation study. *JMIR Pediatric and Parenting* 2021;4(2):E28865 <https://Pediatrics.Jmir.Org/2021/2/E28865>, 4(2), e28865. <https://doi.org/10.2196/28865>

Haider, N. S., Singh, B. K., Periyasamy, R., & Behera, A. K. (2019). Respiratory Sound Based Classification of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: a Risk Stratification Approach in Machine Learning Paradigm. *Journal of Medical Systems*, 43(8). <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1388-0>

- Homs-Corbera, A., Fiz, J. A., Morera, J., & Jané, R. (2004). Time-frequency detection and analysis of wheezes during forced exhalation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(1), 182–186. <https://doi.org/10.1109/TBME.2003.820359>
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Yen, N., Tung, C. C., & Liu, H. H. (1996). The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Royal Society of London Proceedings Series A*, 454(1), 903–995. <https://doi.org/10.1098/rspa.1998.0193>
- Lozano, M., Fiz, J. A., & Jané, R. (2016a). Automatic differentiation of normal and continuous adventitious respiratory sounds using ensemble empirical mode decomposition and instantaneous frequency. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20(2), 486–497. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2396636>
- Lozano, M., Fiz, J. A., & Jané, R. (2016b). Performance evaluation of the hilbert-huang transform for respiratory sound analysis and its application to continuous adventitious sound characterization. *Signal Processing*, 120, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2015.09.005>
- Maruf, S. O., Azhar, M. U., Khawaja, S. G., & Akram, M. U. (2015, December). Crackle separation and classification from normal respiratory sounds using gaussian mixture model. In 2015 IEEE 10th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS 2015) (pp. 267–271). <https://doi.org/10.1109/ICIINFS.2015.7399022>
- Mukherjee, H., Sreerama, P., Dhar, A., Obaidullah, S. M., Roy, K., Mahmud, M., & Santosh, K. C. (2021). Automatic lung health screening using respiratory sounds. *Journal of Medical Systems*, 45(2). <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01681-9>
- Palaniappan, R., Sundaraj, K., Ahamed, N., Arjunan, A., & Sundaraj, S. (2013). Computer-based respiratory sound analysis: a systematic review. *IETE Technical Review*, 33(3), 248–256. <https://doi.org/10.4103/0256-4602.113524>
- Pasterkamp, H., Kraman, S. S., & Wodicka, G. R. (1997). State of the art respiratory sounds advances beyond the stethoscope. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 156, 974–987. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.156.3.9701115>
- Pramono, X. A. R., Imtiaz, S. A., & Rodriguez-Villegas, E. (2019). Evaluation of features for classification of wheezes and normal respiratory sounds. *PLoS One*, 14(3): e0213659.
- Rioul, O., & Vetterli, M. (1991). Wavelets and signal processing. *IEEE Signal Processing Magazine*, 8(4), 14–38. <https://doi.org/10.1109/79.91217>
- Serbes, G., Sakar, C. O., Kahya, Y. P., & Aydin, N. (2011, August). Feature extraction using time-frequency/scale analysis and ensemble of feature sets for crackle detection. In 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE) (pp. 3314–3317). <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090899>
- Sunil, N. K. B., & Ganesan, R. (2015). Adaptive neuro-fuzzy inference system for classification of respiratory signals using cepstral features. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(28), 22121–22125. <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n28spl.htm>
- Uysal, S. (2014). Ses Analizi İle Hastalık Teşhisi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik Programı, İstanbul 82s.
- Vapnik, V. N. (1998). Statistical learning theory. Wiley.
- World Health Organization. (2015). WHO World Health Statistics. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/170250/1/9789240694439_eng.pdf?ua=1&ua=1 Accessed 05.03.23.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 07.10.2022
Kabul Tarihi : 07.12.2022

Received Date : 07.10.2022
Accepted Date : 07.12.2022

KANATÇIKLI BANT TİPİ TÜRBÜLATÖRLERİN ISI TRANSFERİ VE SÜRTÜNME FAKTÖRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN NÜMERİK ANALİZİ

NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF WINGLET BAND TYPE TURBULATORS ON HEAT TRANSFER AND FRICTION FACTOR

Murat TEKÖZ¹ (ORCID: 0000-0002-8714-305X)
İ. Gökhan AKSOY¹ * (ORCID: 0000-0002-8798-5847)

¹İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İ. Gökhan AKSOY, gokhan.aksoy@inonu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, boru içerisine yerleştirilmiş çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülatorün ısı transferi ve sürtünme faktörü üzerindeki etkileri Ansys-Fluent programı yardımıyla sayısal olarak incelenmiştir. Türbülator, iki farklı kanatçık adım mesafesinde ($P=10$ mm ve 20 mm) ve üç farklı kanatçık açısında ($\lambda = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) tasarlanmıştır. Boru yüzey sıcaklığı sabit kabul edilerek gerçekleştirilen sayısal analizlerde, türbülator malzemesi olarak alüminyum ve akışkan olarak su kullanılmıştır. Analizlerde gerçekleştirilebilir (Realizable) $k-\epsilon$ türbülans modeli seçilmiştir. Reynolds sayısının $8000-30000$ aralığında gerçekleştirilen analizler sonucunda, türbülatorün kanatçık adım mesafesinin ve kanatçık açısının hem ısı transferi üzerinde hem de sürtünme faktörü üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Boru içerisnde türbülator kullanılarak boş boruya göre Nusselt sayısında % 67.09 'e kadar artış sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Türbülator, kanatçık, ısı transferi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

ABSTRACT

In this study, the effects of band type turbulator with double-side winglet inside a pipe on heat transfer and friction factor were investigated numerically with the help of Ansys-Fluent program. The turbulator was designed with two different winglet distances ($P=10$ mm and 20 mm) and three different winglet angles ($\lambda = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$). In the numerical analyzes performed by assuming the pipe surface temperature as constant, aluminum as the turbulator material and water as the fluid were used. Realizable $k-\epsilon$ turbulence model was chosen in the analyzes. As a result of the analyzes performed between the Reynolds number of $8000-30000$, it was seen that the winglet pitch distance (P) and the winglet angle (λ) of the turbulator were effective on both the heat transfer and the friction factor. By using a turbulator in the pipe, the Nusselt number was increased up to 67.09% compared to the empty pipe.

Keywords: Turbulator, winglet, heat transfer, computational fluid dynamics

GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükeniyor olması enerji tasarrufunun ve enerjinin en verimli şekilde kullanılmasının gelecek için çok önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, birçok endüstriyel alandan konutlara kadar geniş bir kullanım alanına sahip ısı değiştiricileri üzerinde yapılan optimizasyonların hem enerji tasarrufunda hem de yatırım maliyetleri konusunda güzel sonuçlar vermesi bu alanda çalışmaların artmasına neden olmuştur.

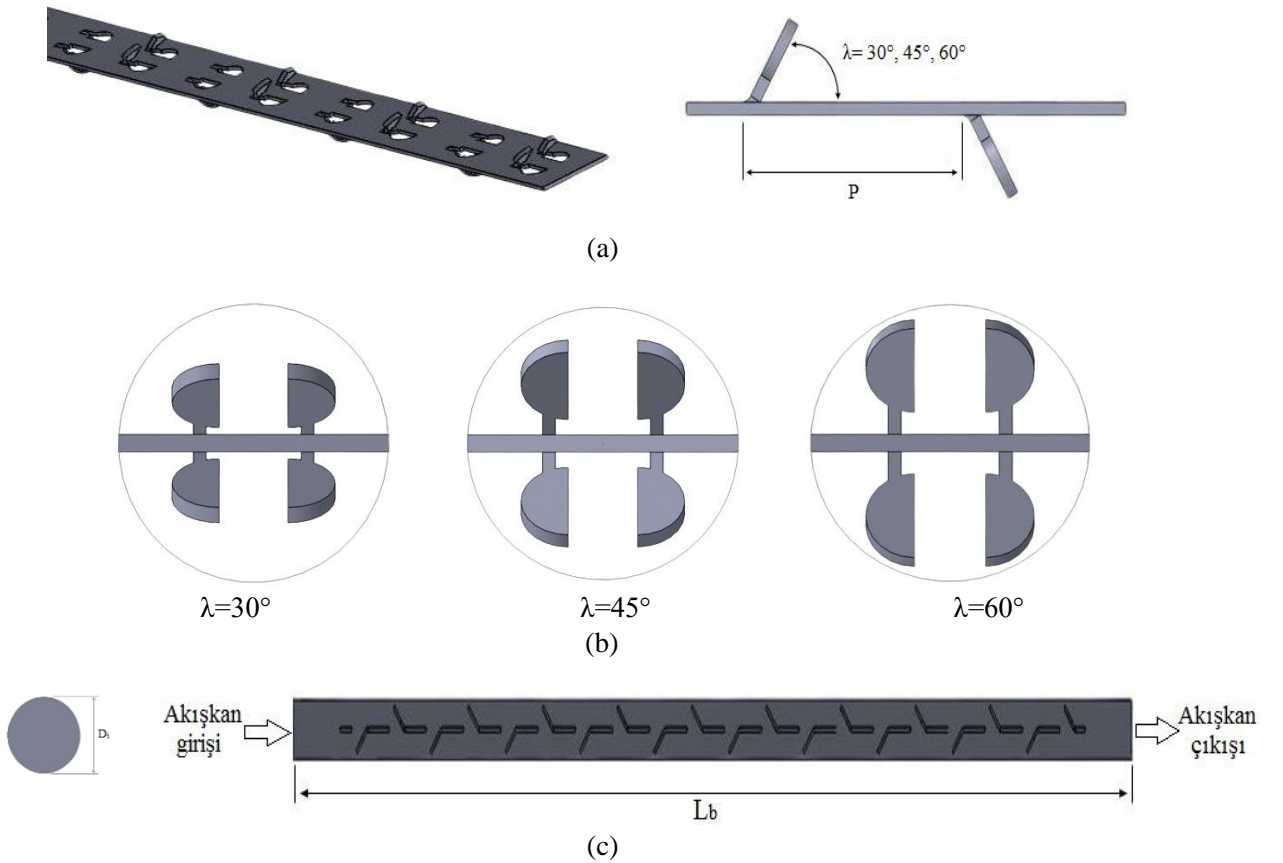
Isı değiştiricilerinde, ısı transferini arttırmak için aktif, pasif ve karma yöntemler olmak üzere üç yöntem kullanılır. Pasif yöntemlerden biri olan akış alanında türbülator (bükümlü veya çift taraflı bant, yay vb.) kullanımını endüstriyel alanda oldukça yaygındır. Isı transferini önemli ölçüde arttırması ve ısı değiştirici boyutlarında azalma sağlaması tercih edilmesinin en önemli sebeplerindendir. Türbülatorlerin, ısı transferi üzerindeki etkilerinin tespiti için yapılan ilk araştırma Royds tarafından 1921 yılında gerçekleştirilmiştir (Royds, 1921). Kahraman vd. (2008) boru içerisine farklı kanat açıklıklarında ve farklı kanatçık açılarında paslanmaz çelikten ürettikleri türbülatorü yerleştirerek borudaki ısı transferini üç boyutlu olarak Fluent CFD paket programı yardımıyla incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda, türbülator kullanılan boruda Nu sayısının arttığını ve kullanılan türbülatorün kanat açıklığındaki ve kanatçık açısındaki değişimlerin ısı transferini etkilediğini tespit etmişlerdir. Pardhi and Baredar (2012) ısı değiştiricisinin iç borusunun içerisine iki farklı bükümlü bant yerleştirerek borudaki ısı transferini incelemişlerdir. İnceleme sonuçlarını türbülatorsüz boru ile karşılaştırmışlar ve kullanılan birinci tip bükümlü bantın ısı transferini % 61, ikinci tip bükümlü bantın ısı transferini % 78 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Basınç düşüşü göz ardı edildiğinde ve sadece ısı değiştiricisinin ısı transfer kapasitesi dikkate alındığında; bükümlü bant türbülator kullanılan borunun, düz borudan 1.6-1.8 kat daha iyi olduğunu görmüşlerdir. Noorbakhsh et al. (2020) çift borulu ısı değiştiricisinin her iki borusuna bükümlü bant yerleştirerek bükümlü bantın; Nusselt sayısı, basınç düşüşü ve ısı performans katsayısı üzerindeki etkilerini Ansys Fluent kod programını kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Bükümlü bant farklı en-boy oranında, farklı büküm sayısında ve bant üzerinde boşluklar oluşturarak kullanılmışlardır. Analizler sonucunda, bükümlü banttaki kanat sayısı tek kanattan dört kanada çıkarıldığında; Nusselt sayısında % 3.1, basınç düşüşünde % 64 ve performans katsayısında % 63.9 artış olduğunu tespit etmişlerdir. Thejaraju et al. (2020) çift borulu ısı değiştiricisinin iç borusunun içerisine çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülatorler yerleştirerek türbülatorün termo-hidrolik performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma, türbülatorün farklı kanatçık eğim açıları ve farklı Reynolds sayılarında yapılmıştır. Türbülator kullanılan boruda, düz boruya göre kanatçık eğim açısının artışıyla Nu sayısında ve sürtünme faktöründe artış olduğunu tespit etmişlerdir. Vaisi et al. (2020) çift borulu ısı değiştiricisinin iç borusunda sürekli, süreksiz ve delikli, deliksiz bükümlü bant türbülator kullanımının toplam ısı transferi, basınç düşüşü ve ısı değiştiricisinin termal performans katsayısına etkisini incelemek için farklı Re sayılarında deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda, süreksiz bükümlü bant türbülator kullanımının sürekli bükümlü bant türbülator kullanımına göre ısı transferinde % 8.2'lik bir artış sağladığı ve basınç düşüşünde ise % 9.8'lik bir azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca süreksiz delikli türbülatorün borudaki ısı transferini süreksiz deliksiz türbülatorden daha fazla arttırdığını ve borudaki basınç düşüşünü azalttığını tespit etmişlerdir. Yıldız vd. (1998) yaptıkları çalışmada, eş merkezli çift borulu ısı değiştiricisinin iç borusuna bükümlü dar ince metalik şerit türbülatorler yerleştirmişlerdir. Bükümlü şerit türbülator kullanılan boruda boş boruya göre basınç düşüşünde % 130 ve Nu sayısında % 100'e kadar artış olduğunu tespit etmişlerdir. Yadav (2009) yaptığı deneysel çalışmada, U-bükümlü çift borulu ısı değiştiricisinin iç borusunda yarım uzunlukta bükümlü bant türbülator kullanımının borudaki ısı transferine ve basınç düşüşüne etkisini incelemiştir. Türbülator kullanılan borudaki deney sonuçlarını boş boru ile karşılaştırdığında, türbülator kullanımının borudaki ısı transfer katsayısını % 40 oranında arttırdığını tespit etmiştir. Karagöz vd. (2019) deneysel çalışmalarında, boru içerisine farklı kanatçık mesafelerine ve farklı kanatçık açılara sahip türbülatorler yerleştirerek borudaki ısı transfer performansını ve sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Kanatçıklar arasındaki mesafe arttırıldığında, Nusselt sayısında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Bhattacharyya et al. (2020) yaptıkları deneysel çalışmada, dairesel bir boru içerisine kısa ve tam uzunluklarda dalgalı bant tipi türbülatorler yerleştirerek türbülanslı akışta borudaki ısı transferini incelemişlerdir. Dalgalı bant türbülator kullanımının boş boruya göre ısı transferini % 67'ye kadar arttırdığını tespit etmişlerdir. Kamboj et al. (2017) çalışmalarında, çift borulu ısı değiştiricisinin iç borusuna yaylı türbülatorler yerleştirerek türbülatorün hatve sayısındaki değişimin ısı transferi, sürtünme faktörü ve basınç düşüşü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Türbülator hatve değerinin artması ile Nu sayısının arttığını ve sürtünme faktörünün azaldığını tespit etmişlerdir. Nalavade et al. (2019) çalışmalarında, dışarıdan ısıtılan bir borunun içerisine akış bölücü tip türbülatorler yerleştirerek borudaki ısı transferi özelliklerini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel ve sayısal olarak yapılan bu çalışmada, türbülatorün hatve çap oranı azaltıldığında sürtünme faktöründe, ısı transfer hızında ve termal iyileştirme faktöründe artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bademci (2017) çalışmada,

dairesel boru içerisine plaka tipi türbülatorü farklı adım ve farklı kanatçık açılarında yerleştirerek Ansys-Fluent kod programı yardımıyla borudaki ısı transferi ve akış karakteristiğindeki değişimleri sayısal olarak incelemiştir. Reynolds sayısının 4000-30000 değerleri arasında yapılan bu çalışmada, türbülatorü kullanımı sonucu boş boruya göre ısı transferinde % 208 iyileşme sağlandığını tespit etmiştir.

Bu çalışmada, boru içerisine yerleştirilen çift taraflı yarım daire kanatçıklı bant tipi türbülatorün ısı transferi ve sürtünme faktörü üzerindeki etkileri bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan Ansys-Fluent programı kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir. Reynolds sayısının 8000-30000 aralığında gerçekleştirilen analizlerde; türbülatorü ait kanatçık adım mesafesi ve kanatçık açısının, Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Literatürde çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülatorlerin kullanıldığı örnekler mevcuttur. Ancak kanatçık geometrisi olarak yarım daire kanatçık modeli kullanılan bir çalışma bulunmamaktadır. Yeni tasarlanan bu modelin etkilerinin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

FİZİKSEL MODEL

Analiz için tasarlanan çift taraflı yarım daire kanatçıklı bant tipi türbülatorü modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Literatür incelendiğinde, kanatçık modeli olarak çeşitli geometrik şekiller kullanılan örneklerin mevcut olduğu görülmüştür. Yarım daire kanatçık modeli, literatürde bulunmayan bir modeldir. Yeni bir kanatçık geometrisi kullanılarak çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülatorü tasarlanmıştır. Yapılan bu çalışmada, türbülatorü ve boru için gereken katı modeller Solidworks paket programında hazırlanmıştır. Boru için oluşturulan katı model sadece akış alanını temsil etmektedir. Çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülatorler, üç farklı kanatçık açısında ($\lambda=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) ve iki farklı kanatçık adım mesafesinde ($P=10\text{ mm}, 20\text{ mm}$) tasarlanmıştır. Boru ve türbülatorü ait geometrik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Türbülatorü ve Boruya Ait Geometrik Detaylar **a.** Türbülatorü Ait İzometrik ve Yan Görünüm **b.** Türbülatorün Boru İçerisindeki Kanat Açısına Ait Görünümler **c.** Türbülatorün Boru İçerisindeki Yan Görünümü ve Boru Girişi

Tablo 1. Boru ve Türbülatorün Geometrik Özellikleri

Parametreler	Değerler
Boru	
İç Çap (D _i)	15.7 mm
Uzunluk (L _b)	450 mm
Türbülator	
Uzunluk	400 mm
Genişlik	15.7 mm
Kalınlık	1 mm
Kanatçık Adım Mesafesi (P)	10 - 20 mm
Kanatçık Açısı (λ)	30 - 45 - 60°
Kanatçık Daire Yarı Çapı	5.5 mm

SAYISAL HESAPLAMALAR

Çift taraflı yarım daire kanatçıklı türbülatorlerin ısı transferine ve sürtünme faktörüne etkileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak Ansys-Fluent programında incelenmiştir. Nümerik çalışmada ilk önce katı model üç boyutlu olarak Solidworks programında hazırlanmış, daha sonradan Ansys-Fluent kod programına aktarılmıştır. Katı model geometrisi akış alanını temsil ettiği için Desing Modeler yardımıyla açılarak programa akışkan olarak tanımlanmıştır. Daha sonra mesh bölümünde, analiz geometrisine uygun ağ yapısı oluşturulmuştur. Setup bölümünde; türbülans modeli, sınır şartları, malzeme özellikleri ve denklem çözücüler belirlenerek analizler başlatılmıştır. Nümerik analizler, 490-1200 iterasyon sayısı aralığında üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Report bölümünden okunarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Ansys-Fluent paket programı nümerik hesaplamaları üç temel denklem üzerinden gerçekleştirmektedir. Bu denklemler: süreklilik denklemi, momentum denklemi ve enerji korunumu denklemleridir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(u_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(u_z)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Enerji Korunumu Denklemi:

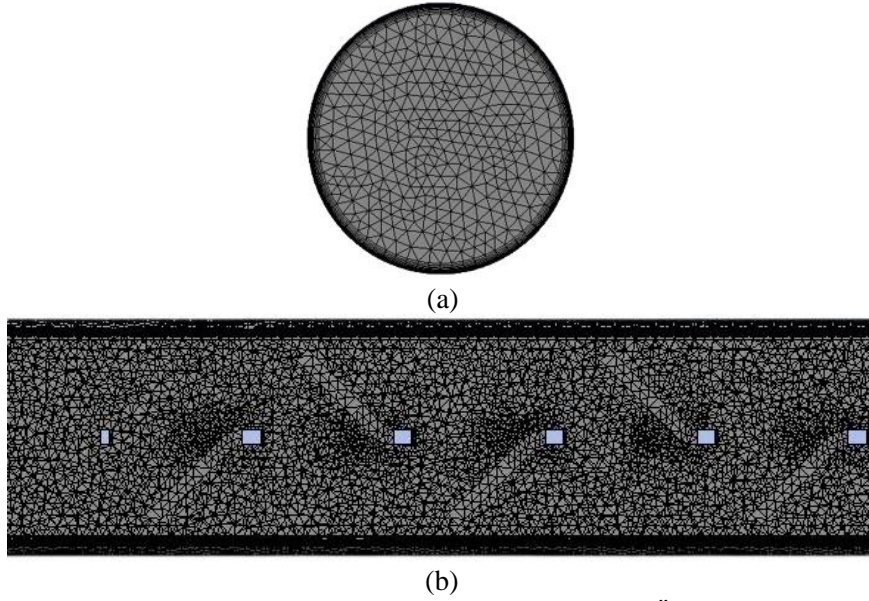
$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (2)$$

Momentum Denklemi:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta^2}{r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) \\ & = -\frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{u_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right] \\ & \rho \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r u_\theta}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) \\ & = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} \right) - \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} \right] \\ & \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \\ & = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Mesh Yapısının Oluşturulması

Mesh bölümünde; akışkan için giriş ve çıkış bölgeleri, boru iç yüzeyi, türbülator yüzeyleri belirlenerek programa tanımlanmıştır. Geometri için mesh kalitesi yüksek seçilerek 'Tetrahedrons' mesh modeli uygulanmıştır. Akışkan ile boru iç yüzeyi arasında gerçekleşecek olan ısı transferi incelenirken daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla temas yüzeyine 'Inflation' tabaka oluşturulmuştur. Inflation tabaka için $y^+=1$ olarak kabul edilmiş ve ilk çizgi kalınlığı hesaplanmıştır. Mesh kalitesini arttırmak için çarpıklık değerini arttıran yüzeylerdeki ağ yapısı sıklaştırılmıştır. Mesh kalitesinin uygunluğu kontrol edildikten sonra analiz hazırlık aşamalarına devam edilmiştir. Şekil 2'de mesh yapısı oluşturmuş olan analiz geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Analiz Geometrisine Ait Ağ Yapısı a. Boru Girişi b. Kanatçıklar Üzerinden Boru Yan Kesit Görünümü

Sınır Şartları

Yapılan nümerik çalışmada, sistemin sürekli rejimde olduğu kabul edilmiştir. Yer çekimi etkisi ihmal edilmiştir. Analizler için enerji denklemi aktif edilmiştir. Türbülans modeli olarak gerçekleştirilebilir k-ε modeli seçilmiş ve gelişmiş duvar koşulları tanımlanmıştır. Akışkan olarak su, türbülator ve boru malzemesi olarak alüminyum seçilmiştir. Suya ve alüminyuma ait termo-fiziksel özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Boru girişi için hız ve sıcaklık girişi (293.15 K), boru çıkışı için basınç çıkışı sınır koşulları tanımlanmıştır. Boru iç yüzeyi için sabit yüzey sıcaklığı (373.15 K) tanımlanmıştır. Türbülator yüzeyleri ve boru iç yüzeyi için kaymama sınır koşulu tanımlanmıştır.

Tablo 2. Suya ve Alüminyuma Ait Termo-Fiziksel Özellikler

	T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg.K)	k (W/m.K)	μ (kg/m.s)	Pr
Su	293.15	998	4182	0.598	1.002×10^{-3}	7.01
Alüminyum	-	2719	871	202.4	-	-

Nusselt Sayısı (Nu) ve Sürtünme Faktörünün (f) Hesaplanması

Analiz çalışmaları için akışkanın giriş hızı belirlenirken çalışmanın yapılacağı Reynolds sayısı referans alınarak Denklem 4 kullanılmıştır. Ansys-Fluent programında gerçekleştirilen analizler sonucunda; akışkanın çıkış sıcaklığı, borudaki ortalama ısı taşınım katsayısı ve basınç düşüşü değerleri programdan okunmuştur. Akışkana ait termo-fiziksel özellikler, akışkanın boru içerisindeki ortalama sıcaklığı dikkate alınarak termodinamik tablolarından hesaplanmıştır. Programdan ve tablolardan elde edilen değerler kullanılarak aşağıda verilen Denklem 5 ve 6'dan Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca türbülatorlu borulardan elde edilen değerler ile boş borudan elde edilen değerler arasındaki artış oranlarının hesaplanması için Denklem 7 kullanılmıştır.

Akışkan için Reynolds sayısı:

$$Re = \frac{\rho_i u_i D_i}{\mu_i} \quad (4)$$

Burada, ρ_i akışkanın yoğunluğu, u_i akışkanın hızı ve μ_i akışkanın dinamik viskozitesidir.

Borudaki ortalama Nusselt sayısı:

$$Nu = \frac{h_i D_i}{k} \quad (5)$$

Bu bağıntıda kullanılan h değeri borudaki ısı taşınım katsayısını, D_i borunun iç çapını ve k suyun ısı iletim katsayısını temsil etmektedir.

Akış analizleri için önemli parametrelerden biri olan sürtünme faktörü,

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L_b}{D_i}\right) \left(\rho_i \cdot \frac{u_i^2}{2}\right)} \quad (6)$$

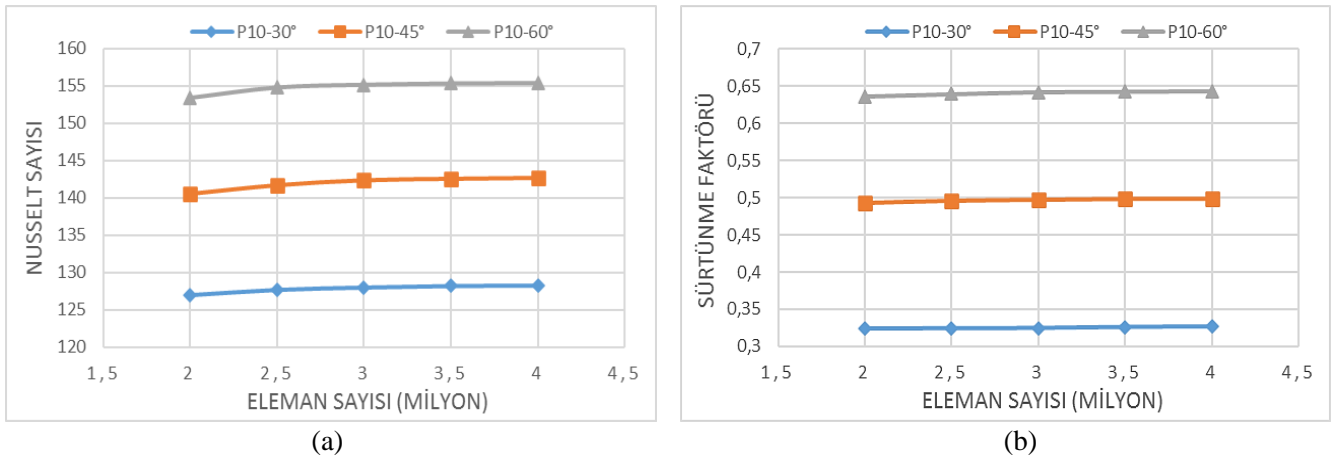
bağıntısı ile ifade edilir. Burada, ΔP boru boyunca gerçekleşen basınç düşüşünü göstermektedir.

Artış oranının hesaplanması:

$$\% \text{ Artış} = \frac{\text{Türbülantörlü borudan elde edilen değer} - \text{Boş borudan elde edilen değer}}{\text{Boş borudan elde edilen değer}} \times 100 \quad (7)$$

Ağ Bağımsızlığı

Üç farklı kanatçık açısında ve iki farklı kanatçık adım mesafesinde tasarlanmış olan yarım daire kanatçıklı türbülantörler, akış alanını temsil eden katı gövdenin içerisinde çıkarılarak model oluşturulmuştur. Oluşturulan 6 model için Reynolds sayısının 12000 değerinde Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerleri incelenerek ağ bağımsızlığı çalışması yapılmıştır. 2.0×10^6 , 2.5×10^6 , 3.0×10^6 , 3.5×10^6 ve 4.0×10^6 eleman sayılarında gerçekleştirilen ağ bağımsızlığı çalışmasında, 3.0×10^6 eleman sayısından sonra elde edilen değerlerde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüş ve analiz çalışmaları için 3.0×10^6 eleman sayısı alt limit olarak belirlenmiştir. Şekil 3 (a-b)' te $P=10$ mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülantör modelinin kullanıldığı boru için Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerlerinin eleman sayısına göre değişimleri verilmiştir.



Şekil 3. $P=10$ mm Kanatçık Adım Mesafesine Nusselt Sayısı ve Sürtünme Faktörü İçin Ağ Bağımsızlığı
a. Nusselt Sayısı b. Sürtünme Faktörü

Boş Boru için Doğrulama Çalışması

Boru içerisine yerleştirilen türbülantörlerin, ısı transferi ve sürtünme faktörüne etkilerini ortaya koymak için ilk olarak boş boru üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Boş boru analizlerinden elde edilen sonuçlar için bu çalışmaya uygun ve doğruluğu kabul görmüş Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü bağıntıları kullanılarak doğrulama çalışması yapılmıştır. Boş boru analiz sonuçlarının doğruluğu kontrol edildikten sonra türbülantörlü borular üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Boş boru analizi için yapılan doğrulama çalışmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır (Çengel ve Ghajar, 2015).

Nusselt Sayısı Bağlılıkları

Gnielinski Bağlılıkları:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}, \quad 3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6 \quad (8)$$

Dittus-Boelter Bağlılıkları:

$$Nu = 0.023Re^{4/5}Pr^{0.4}, \quad Re > 10000 \quad (9)$$

Sieder ve Tate Bağlılıkları:

$$Nu = 0.027Re^{0.8}Pr^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}, \quad Re \geq 1 \times 10^4 \quad (10)$$

Petukhov Bağlılıkları:

$$Nu = \frac{(f/8)RePr}{1.07 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}, \quad 10^4 \leq Re \leq 5 \times 10^6 \quad (11)$$

Sürtünme Faktörü Bağlılıkları

Petukhov Bağlılıkları:

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2}, \quad 3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6 \quad (12)$$

Blasius Bağlılıkları:

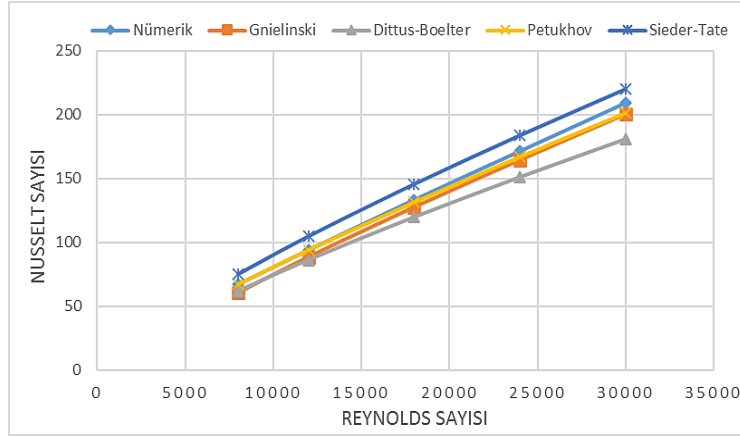
$$f = 0.316 / Re^{1/4}, \quad 4 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^5 \quad (13)$$

Şekil 4 ve Şekil 5'te boş boru için farklı Reynolds sayılarında, Denklem (8-13)' te verilen Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü bağlılıklarından elde edilen sonuçlar ile nümerik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde, nümerik analiz sonuçlarının bağlılıklardan elde edilen sonuçlara yakınsadığı görülmektedir.

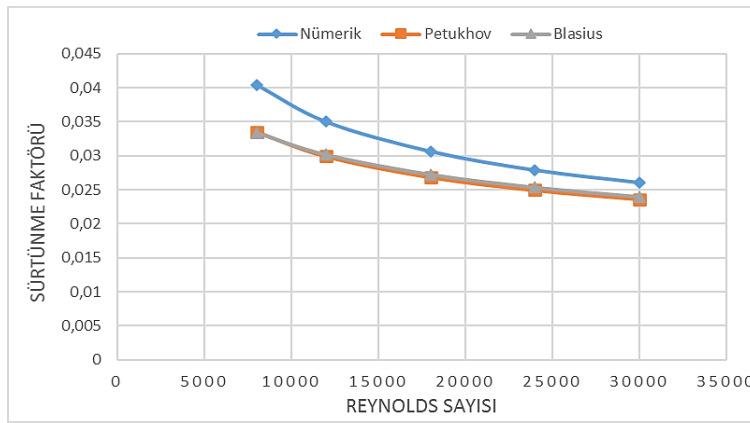
BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Boru içerisine yerleştirilen iki farklı kanatçık adım mesafesine (P=10 mm ve 20 mm) ve üç farklı kanatçık açısına ($\lambda=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) sahip çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülötörlerin borudaki ısı transferine ve sürtünme faktörüne etkileri üzerine yapılan nümerik çalışmalar 8000-30000 Reynolds sayısı aralığında gerçekleştirilmiştir. İncelemeler, türbülötör kullanılan borular ile boş borudaki Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerlerinin karşılaştırılmasıyla yapılmıştır.

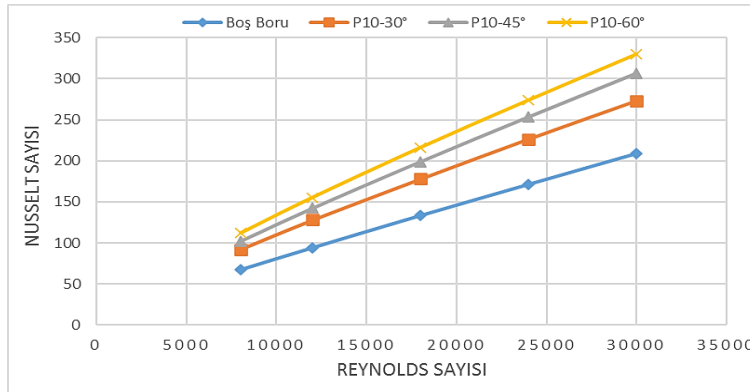
Şekil 6'da boş boru ve P=10 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülötörlerin kullanıldığı borulara ait Nusselt sayısının Reynolds sayısına ve kanatçık açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, tüm Reynolds sayılarında türbülötör kullanılan borulardaki Nusselt sayısı değerlerinin boş borudaki Nusselt sayısından daha yüksek olduğu görülmüştür. Kanatçıklı türbülötör kullanılan borulardan elde edilen Nusselt sayısında $30^\circ, 45^\circ$ ve 60° kanatçık açıları için boş boruya göre sırasıyla %30.64-37.88, %46.44-52.96 ve %57.55-67.09 oranlarında artış olmuştur. Türbülötörlü borular kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en yüksek Nusselt sayısı elde edilen 60° kanatçık açısına sahip türbülötör kullanılan borulardaki Nusselt sayısının, 30° ve 45° kanatçık açısına sahip modellerin kullanıldığı borulardaki Nusselt sayısına göre sırasıyla %20.59-21.17 ve %7.58-9.23 oranlarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kanatçık açısındaki artışın türbülansı teşvik ederek akışta kaotik bir yapı oluşturması ısı transferinde artışlar meydana getirmektedir. Şekil 6'da boş boruya göre Nusselt sayısındaki en yüksek artış P10- 60° (10 mm kanatçık adım mesafesi, 60° kanatçık açısı) türbülötör modelinin kullanıldığı boruda, en düşük artış ise P10- 30° türbülötör modelinin kullanıldığı boruda elde edilmiştir.



Şekil 4. Boş Boruya Ait Nusselt Sayısı İçin Nümerik Analiz Sonuçlarının Doğrulaması

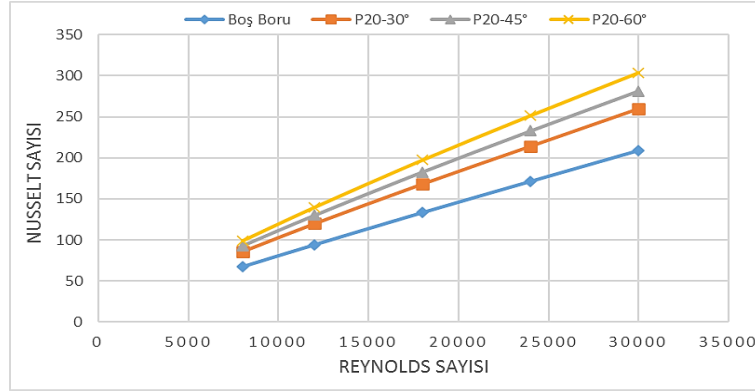


Şekil 5. Boş Boruya Ait Sürtünme Faktörü İçin Nümerik Analiz Sonuçlarının Doğrulaması



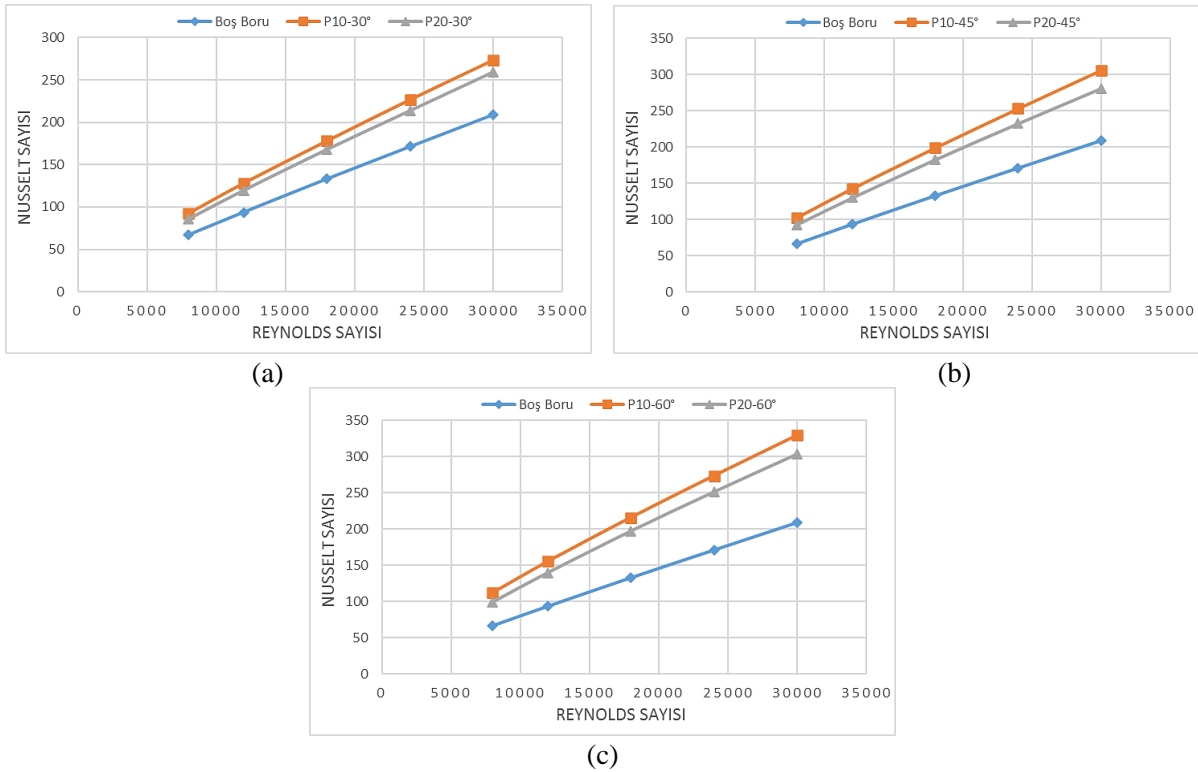
Şekil 6. P= 10 mm Kanatçık Adım Mesafesinde Nusselt Sayısının Kanatçık Açısına Bağlı Değişimi

Şekil 7’de P=20 mm kanatçık adım mesafesine ve üç farklı kanatçık açısına sahip türbülötör kullanılan borular ile boş borudaki Nusselt sayısının Reynolds sayısına ve kanatçık açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, türbülötör kullanılan bütün borularda boş boruya göre daha yüksek Nusselt sayısı değerleri elde edilmiştir. Türbülötör kullanılan borularda türbülötörün 30°, 45° ve 60° kanatçık açıları için elde edilen Nusselt sayısında boş boruya göre sırasıyla %24-28.48, %34.49-39.21 ve %44.92-48.42 oranlarında artış olduğu görülmüştür. P=20 mm kanatçık adım mesafesine sahip modellerin kullanıldığı borular incelendiğinde; 60° kanatçık açısına sahip modelin kullanıldığı borulardan elde edilen Nusselt sayısı, 30° ve 45° kanatçık açısına sahip türbülötör modellerinin kullanıldığı borulardaki Nusselt sayısından sırasıyla % 15.51-16.87 ve % 6.61-7.75 oranlarında daha yüksek olduğu bulunmuştur. P=20 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülötör kullanılan borularda da kanatçık açısındaki artışın Nusselt sayısını arttırdığı görülmektedir. Boş boruya göre Nusselt sayısındaki en yüksek artış 60° kanatçık açısına sahip modelin kullanıldığı boruda, en düşük artış ise 30° kanatçık açısına sahip türbülötörün kullanıldığı boruda olmuştur.



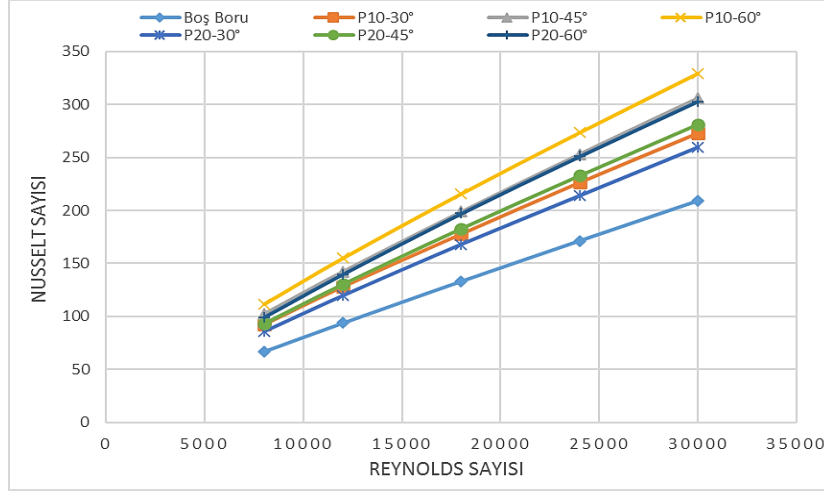
Şekil 7. P=20 mm Kanatçık Adım Mesafesinde Nusselt Sayısının Kanatçık Açısına Bağlı Değişimi

Şekil 8’de boş boru ile aynı kanatçık açısında ve farklı kanatçık adım mesafesine sahip türbülatorlerin kullanıldıkları borulara ait Nusselt sayısı karşılaştırmaları grafik üzerinde verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, türbülatordeki kanatçık adım mesafesinin Nusselt sayısı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Kanatçık adım mesafesi azaldıkça kanatçık sayısının artması, akış yolunun uzamasına, türbülansın ve dönmeli akışların artmasına sebep olmaktadır. Bu durumun da ısı transferini arttırdığı tespit edilmiştir. P=10 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülatorlerin kullanıldığı borulardan elde edilen Nusselt sayısının, P=20 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülatorlerin kullanıldığı borulardan elde edilen Nusselt sayısından 30°, 45° ve 60° kanatçık açıları için sırasıyla %5.36-7.31, %8.88-9.87 ve %8.71-12.57 oranlarında daha yüksek olduğu görülmüştür.



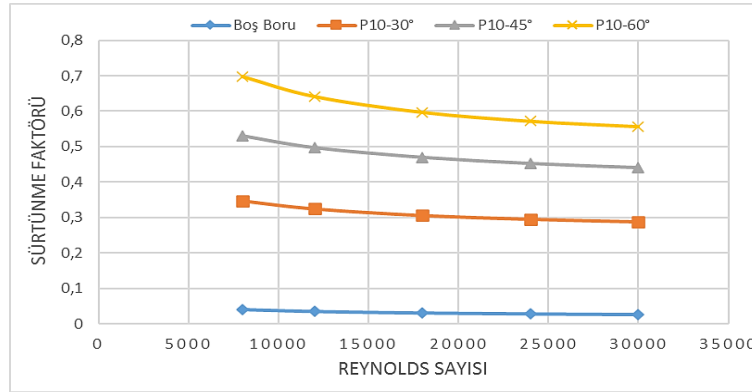
Şekil 8. Nusselt Sayısının Kanatçık Adım Mesafesine Bağlı Değişimi a. $\lambda=30^\circ$ b. $\lambda=45^\circ$ c. $\lambda=60^\circ$

Şekil 9’da boş boru ve türbülator kullanılan boruların tamamına ait Nusselt sayılarının Reynolds sayılarına göre değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde, türbülator kullanılan borulardaki Nusselt sayısının bütün Reynolds sayılarında boş borudaki Nusselt sayısından daha yüksek olduğu görülmektedir. Boş boruya göre Nusselt sayısındaki en yüksek artış P10-60° türbülator modeli kullanılan boruda elde edilmiştir. Boş boruya göre en düşük Nusselt sayısı artışı ise P20-30° türbülator modelinin kullanıldığı boruda olmuştur.



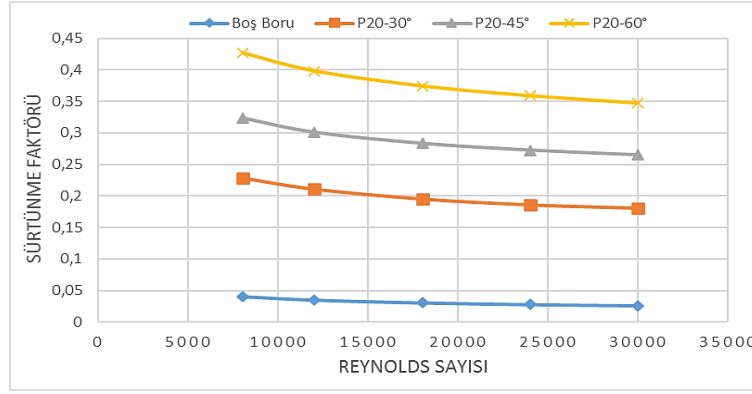
Şekil 9. Nusselt Sayısının Reynolds Sayısına Bağlı Değişimi

Şekil 10'da boş boru ve P=10 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülasyonlu borulara ait sürtünme faktörü değerlerinin Reynolds sayısına ve kanatçık açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça sürtünme faktörü değerlerinin hem boş boruda hem de türbülasyon kullanılan borularda azaldığı görülmektedir. Boş boruya göre türbülasyonlu borulardaki sürtünme faktörü değerlerinin çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Türbülasyonun kanatçık açısındaki artışın akışa karşı oluşan direnci arttırdığı, bu durumun da sürtünme faktöründe artışlar meydana getirdiği tespit edilmiştir. 30°, 45° ve 60° kanatçık açılarında tasarlanan türbülasyonun kullanıldığı borulardaki sürtünme faktörünün, boş boruya göre sırasıyla 8.57-11.06, 13.1-16.89 ve 17.28-21.33 kat daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çift taraflı bant tipi türbülasyonun 60° kanatçık açısına sahip modelinin kullanıldığı borudaki sürtünme faktörünün, 30° ve 45° kanatçık açısına sahip modellerin kullanıldığı borulardaki sürtünme faktöründen sırasıyla %92.78-101.56 ve %26.26-31.91 oranlarında daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek sürtünme faktörü değeri 60° kanatçısına sahip türbülasyon kullanılan boruda, en düşük sürtünme faktörü değeri ise 30° kanat açısına sahip türbülasyon kullanılan boruda elde edilmiştir.



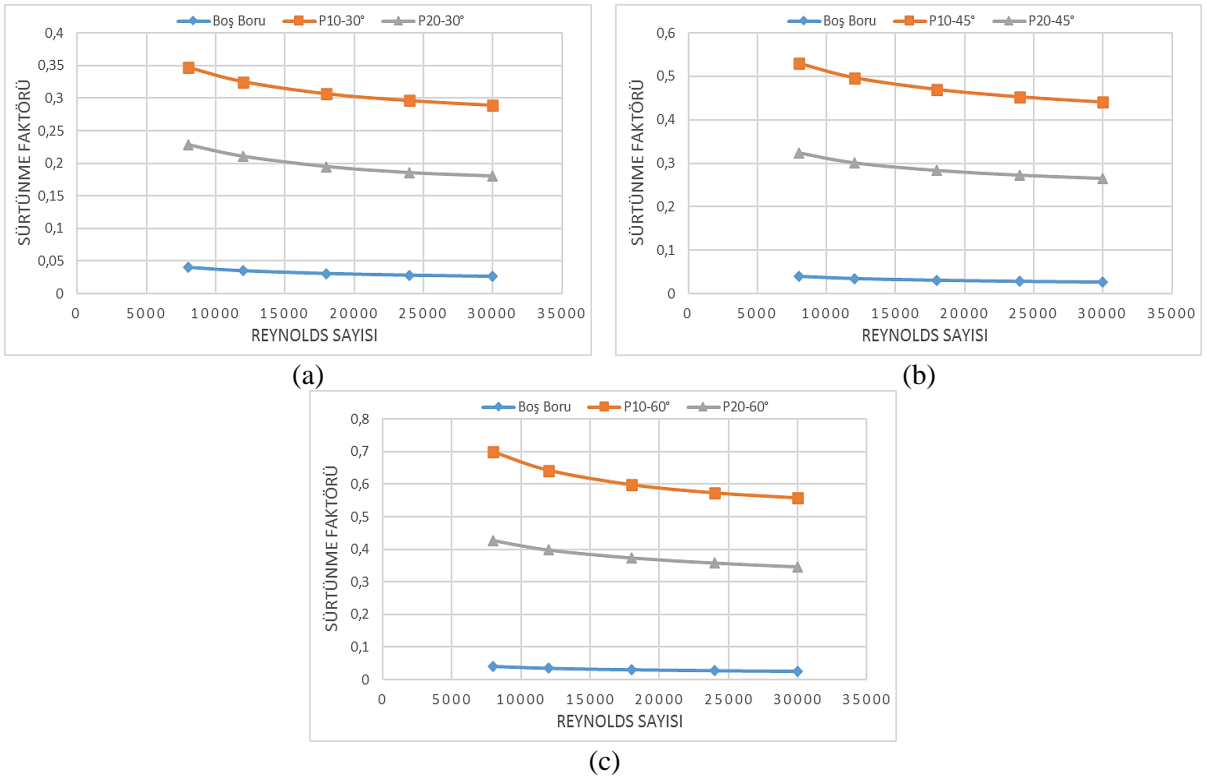
Şekil 10. P= 10 mm Kanatçık Adım Mesafesinde Sürtünme Faktörünün Kanatçık Açısına Bağlı Değişimi

Şekil 11'de boş boru ve P=20 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülasyonlu borulara ait sürtünme faktörü değerlerinin Reynolds sayısına ve kanatçık açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Verilen grafikte, P=20 mm kanatçık adım mesafesine ve üç farklı kanatçık açısına sahip türbülasyonların kullanıldığı borulardaki sürtünme faktörü değerlerinin, boş borudaki sürtünme faktörü değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. 30°, 45° ve 60° kanatçık açılara sahip türbülasyonların yerleştirildiği borulardaki sürtünme faktörünün, boş borudaki sürtünme faktöründen kanatçık açıları için sırasıyla 5.63-6.9, 7.99-10.14 ve 10.56-13.3 kat daha yüksek olduğu bulunmuştur. P=20 mm kanatçık adım mesafesine ve 60° kanatçık açısına sahip modelin kullanıldığı borudaki sürtünme faktörünün, aynı kanatçık adım mesafesine ve, 30° ve 45° kanatçık açısına sahip modellerin kullanıldığı borulardaki sürtünme faktöründen sırasıyla %87.23-92.65 ve %31.04-32.05 oranlarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek sürtünme faktörü değerleri P20-60° türbülasyon modelinin kullanıldığı boruda, en düşük sürtünme faktörü değerleri ise P20-30° türbülasyon modelinin kullanıldığı boruda elde edilmiştir.



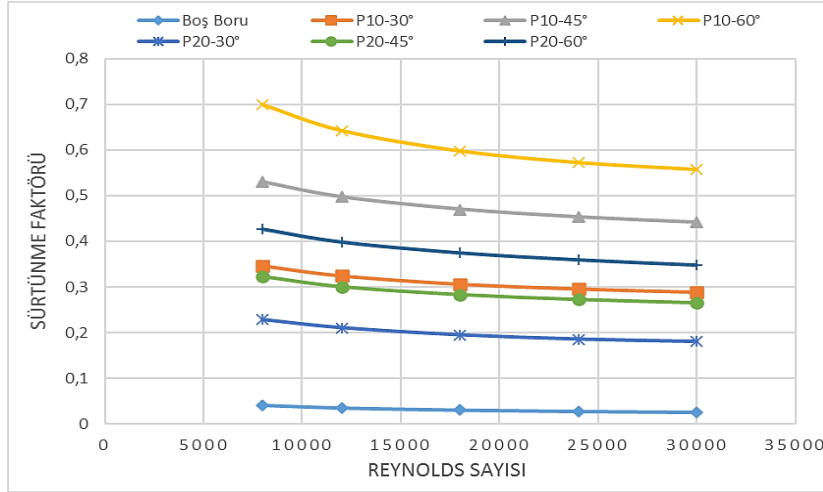
Şekil 11. P= 20 mm Kanatçık Adım Mesafesinde Sürtünme Faktörünün Kanatçık Açısına Bağlı Değişimi

Şekil 12’de türbülator kullanılan borulardaki sürtünme faktörünün kanatçık adım mesafesine bağlı olarak değişimi verilmektedir. Grafikler incelendiğinde, kanatçık adım mesafesi azaldıkça sürtünme faktörünün arttığı görülmektedir. Kanatçık sayısı arttıkça akışa karşı oluşan direncin ve türbülansın artması sürtünme faktörünü de arttırmaktadır. P=10 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülatorlerin kullanıldığı borulardaki sürtünme faktörünün, P=20 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülatorlerin kullanıldığı borulardaki sürtünme faktöründen 30°, 45° ve 60° kanatçık açıları için sırasıyla %52.04-60.32, %63.79-66.51 ve %60.43-63.62 oranlarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



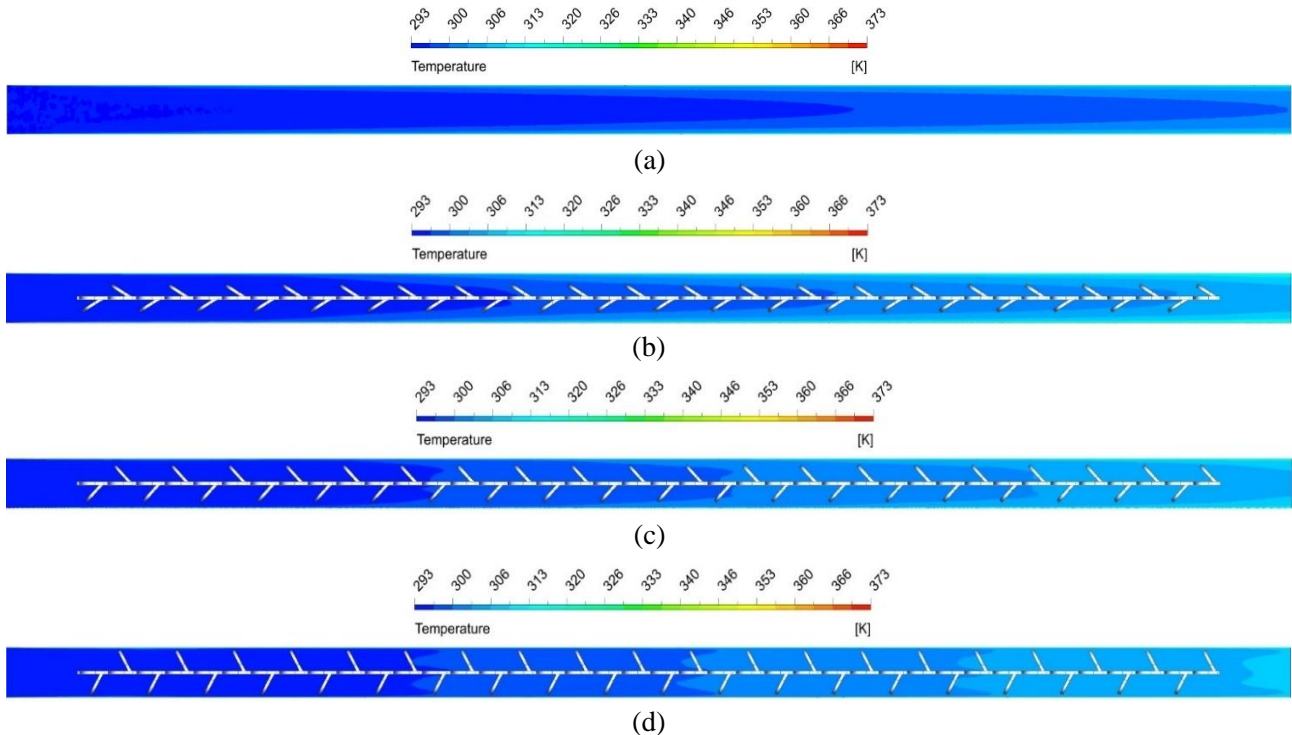
Şekil 12. Türbülator Kullanılan Borulara Ait Sürtünme Faktörünün Kanatçık Adım Mesafesine Bağlı Değişimi
a. $\lambda=30^\circ$ b. $\lambda=45^\circ$ c. $\lambda=60^\circ$

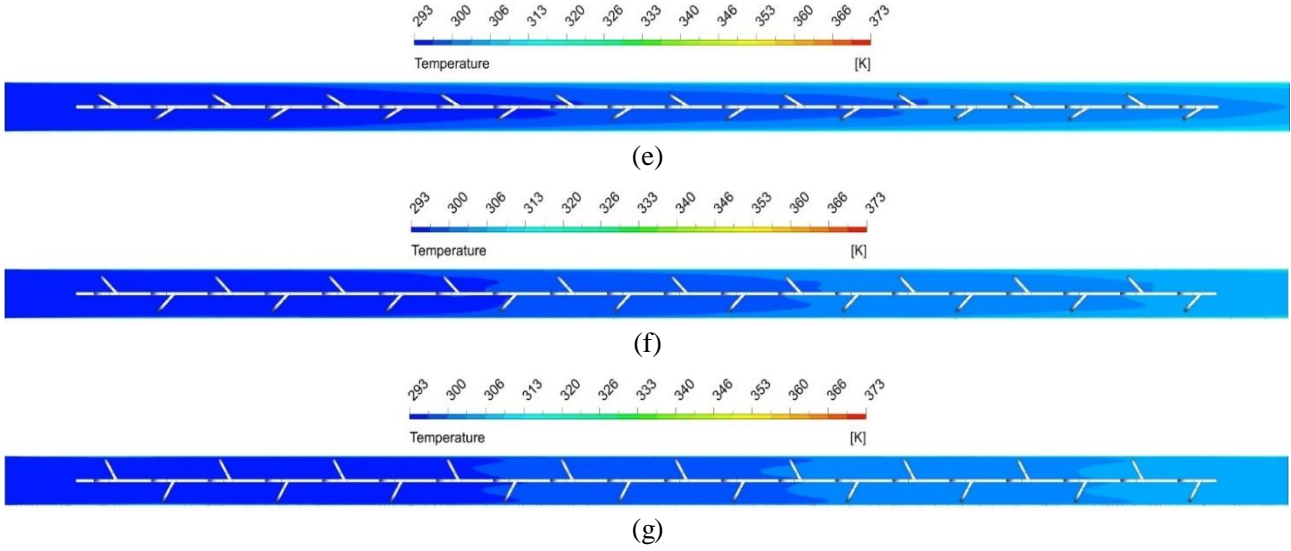
Şekil 13’te boş boru ile türbülatorlü borulara ait sürtünme faktörü değerlerinin Reynolds sayısına göre değişimi verilmektedir. Türbülatorlü borulardaki sürtünme faktörünün, analiz gerçekleştirilen bütün Reynolds sayılarında boş borudaki sürtünme faktöründen daha yüksek olduğu görülmektedir. Nusselt sayısında olduğu gibi sürtünme faktöründe de boş boruya göre en yüksek artış P10-60° türbülator modelinin kullanıldığı boruda elde edilmiştir. En düşük artış ise P20-30° türbülator modelinin kullanıldığı boruda olmuştur.



Şekil 13. Sürtünme Faktörünün Reynolds Sayısına Bağlı Değişimi

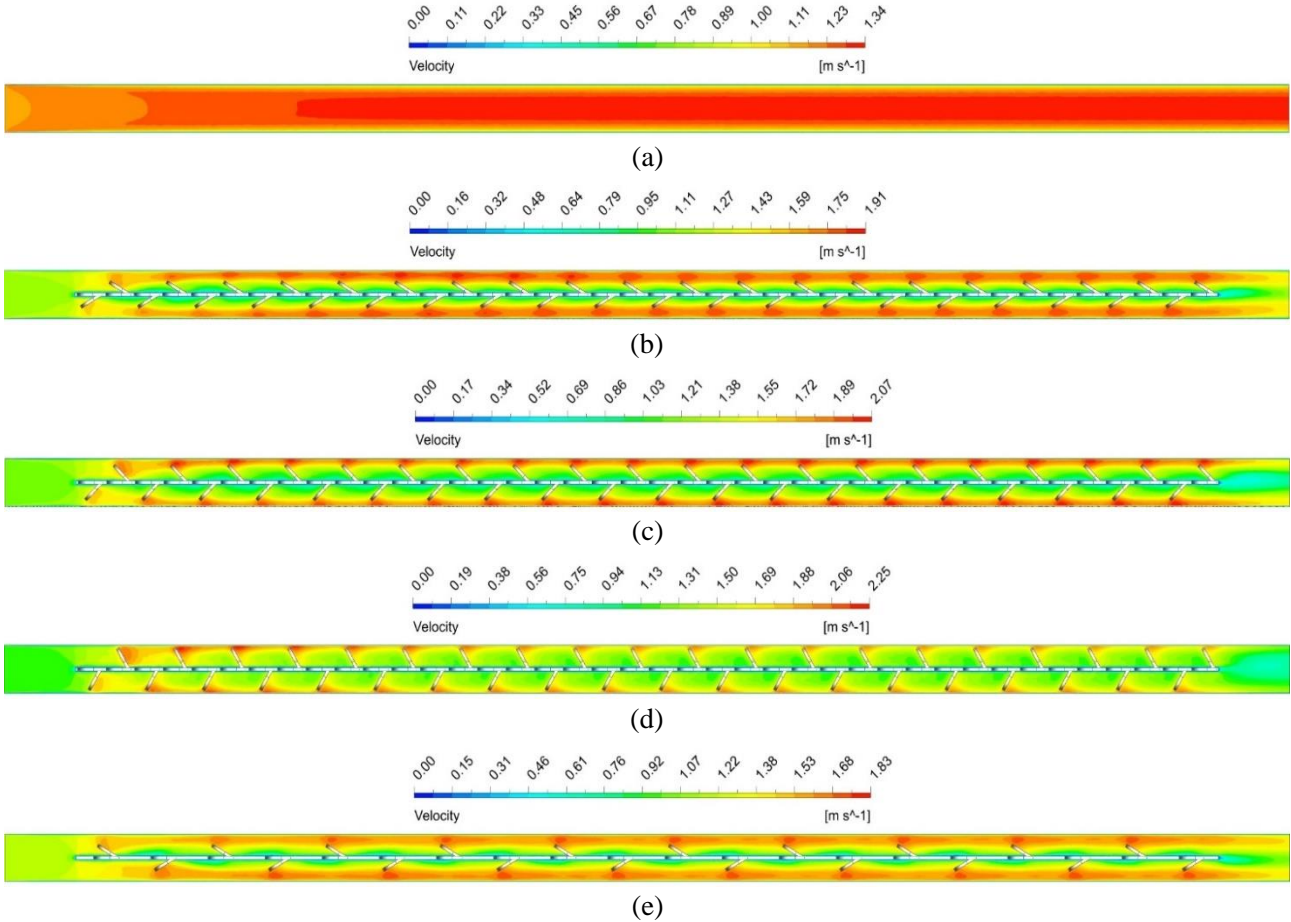
Şekil 14’te 18000 Reynolds sayısında boş boru ile türbülantörlü borulara ait boruların orta ekseninden alınan iki boyutlu sıcaklık dağılım grafiği verilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak akışkanı temsil eden mavi renk, boru girişinde koyuyken akışkan sıcaklığının artması nedeniyle boru çıkışına doğru daha açık bir forma geçmiştir. Suyun ısınmasıyla oluşan bu renk değişimi, boş boruda daha düzgün ve kademeli olarak gerçekleşmiştir. Türbülantör kullanılan borulardaki renk değişiminin, farklı mesafelerde ve daha dalgalı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Türbülantör kullanılan borular ile boş boru karşılaştırıldığında, türbülantörlü borulardaki renk değişiminin boş boruya göre daha kısa mesafede gerçekleştiği yani suyun boru girişine göre daha kısa mesafede ısınmaya başladığı görülmektedir. Türbülantör kullanılan borular kendi aralarında karşılaştırıldığında ise kanatçık açısı arttıkça ısı transferinin arttığı ve sudaki renk değişiminin kanatçık açısındaki artışla birlikte boru girişine daha yakın noktalarda başladığı görülmektedir. P=10 mm ve 20 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülantörlerin aynı kanatçık açısına sahip modellerinin kullanıldığı borular birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, kanatçık adım mesafesindeki değişimin ısı transferini etkilediği ve kanatçık adım mesafesi azaldıkça suyun boru girişine göre daha kısa mesafede ısınmaya başladığı tespit edilmiştir. Boş boruya göre en iyi ısı transferi, en yüksek kanatçık ($\lambda=60^\circ$) ve en düşük kanatçık adım mesafesine (P=10 mm) sahip türbülantörün kullanıldığı boruda elde edilmiştir. En düşük ısı transferi ise P=20 mm kanatçık adım mesafesi ve $\lambda=30^\circ$ kanatçık açısına sahip türbülantör modelinin kullanıldığı boruda olmuştur.

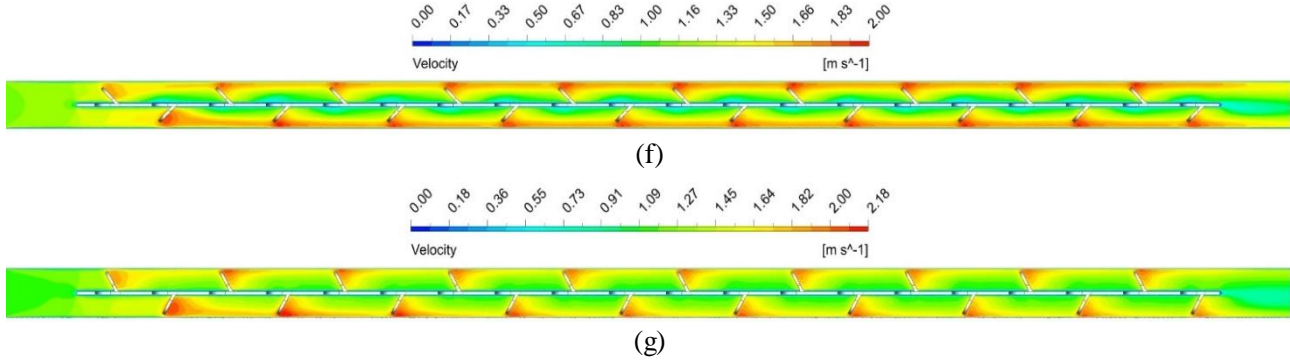




Şekil 14. Boru İçindeki Sıcaklık Dağılımları (Re=18000) a. Boş Boru b. P10-30° c. P10-45° d. P10-60° e. P20-30° f. P20-45° g. P20-60°

Şekil 15'te 18000 Reynolds sayısında boş boru ile türbülantörlü borulara ait boruların orta ekseninden alınan iki boyutlu hız dağılım grafiği verilmiştir. Boş boruya ait hız dağılımı incelendiğinde, boru içerisinde akışa karşı oluşan bir direnç olmadığı için akış hızının düzenli ve kısmen sabit olarak devam ettiği görülmektedir. Akış alanında türbülantör kullanılan borular incelendiğinde ise türbülantörün akışa karşı direnç oluşturması ve kanatçıkların akış karakteristiğine etkileri nedeniyle akışkanın hızında dalgalanmalar olduğu ve kaotik bir davranış sergilediği görülmektedir. Türbülantörlü borularda, akışkanın türbülantör yüzeylerindeki hızının düşük olduğu ancak akışkanın kanatçık uçlarına temas ettiği noktalarda hızının arttığı tespit edilmiştir. Türbülantörlü borulardaki en yüksek hız değerleri, akışkanın kanatçık uçlarına temas ettiği noktalarda elde edilmiştir.





Şekil 15. Boru İçindeki Hız Dağılımı (Re=18000) a. Boş Boru b. P10-30° c. P10-45° d. P10-60° e. P20-30° f. P20-45° g. P20-60°

SONUÇLAR

Isı değiştiricilerde akış alanına yerleştirilen türbülans oluşturmalarının etkisini araştırmak amacıyla sabit yüzey sıcaklığına sahip boru içerisine çift taraflı yarım daire kanatçıklı bant tipi türbülantörler yerleştirilerek türbülantörün ısı transferine ve sürtünme faktörüne etkisi üç boyutlu olarak Ansys-Fluent paket programında incelenmiştir. İnceleme sonucunda:

1. Türbülantör kullanılan boruların tamamında boş boruya göre Nusselt sayısı ve sürtünme faktöründe belirli bir artış meydana gelmiştir. Nusselt sayısındaki en yüksek artış, P=10 mm kanatçık adım mesafesine ve $\lambda=60^\circ$ kanatçık açısına sahip modelin kullanıldığı boruda % 67.09 olarak elde edilmiştir.
2. Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısının arttığı ancak sürtünme faktörünün azaldığı görülmüştür.
3. Kanatçık adım mesafesi azaldıkça kanatçık sayısındaki artış sürtünme faktörünü ve ısı transferini arttırmıştır. Kanatçık adım mesafesi 20 mm'den 10 mm'ye azaltıldığında, 18000 Reynolds sayısı ve 30° , 45° , 60° kanatçık açıları için Nusselt sayılarında sırasıyla %7.37, %9.87 ve %12.57'e kadar artış meydana gelmiştir. Kanatçık adım mesafesinin azalmasıyla sürtünme faktöründe de 30° , 45° , 60° kanatçık açıları için %60.32, %66.51 ve %63.62'ye kadar artış olmuştur.
4. Türbülantördeki kanatçık açılarının etkileri incelendiğinde, kanatçık açısı arttıkça hem Nusselt sayısını hem de sürtünme faktörünü arttırdığı tespit edilmiştir. P=10 mm kanatçık adım mesafesine sahip türbülantörün kullanıldığı borular dikkate alındığında; 30° , 45° , 60° kanatçık açıları için boş boruya göre Nusselt sayısında sırasıyla %37.88, %52.96 ve %67.09'a kadar artış meydana gelmiştir. P=10 mm kanatçık adım mesafeli türbülantör kullanılan borulardaki sürtünme faktörünün ise 30° , 45° , 60° kanatçık açıları için boş borudaki sürtünme faktöründen 11.06, 16.89 ve 21.33 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Bademci, N. (2017). Boru İçine Yerleştirilen Türbülantörlerin Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman 101s.

Bhattacharyya, S., Bashir, A. I., Dey, K., & Sarkar, R. (2020). Effect of Novel Short-Length Wavy-Tape Turbulators on Fluid Flow and Heat Transfer: Experimental Study. *Experimental Heat Transfer*, 33(4), 335-354. <https://doi.org/10.1080/08916152.2019.1639847>

Çengel, Y., Ghajar, A.J. (2015) Isı ve Kütle Transferi, Esaslar ve Uygulamalar, Vedat Tanyıldızı, İhsan Dağtekin (Çev.). Ankara: Palme Yayıncılık.

Kahraman, N., Sekmen, U., Çeper, B., & Akansu, S. O. (2008). Boru İçi Akışlarda Türbülantörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi. *İsi Bilimi ve Tekniği Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology*, 28(2).

Kamboj, K., Singh, G., Sharma, R., Panchal, D., & Hira, J. (2017). Heat Transfer Augmentation in Double Pipe Heat Exchanger Using Mechanical Turbulators. *Heat and Mass Transfer*, 53(2), 553-567. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1838-x>

Karagöz, Ş., Çiltaş, S., Yıldırım, O., & Erdoğan, S. (2019). Yatay Borularda Türbülötörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 306-316. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.459957>

Nalavade, S. P., Prabhune, C. L., & Sane, N. K. (2019). Effect of Novel Flow Divider Type Turbulators on Fluid Flow and Heat Transfer. *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 322-331. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.12.004>

Noorbakhsh, M., Zaboli, M., & Ajarostaghi, S. S. M. (2020). Numerical Evaluation of The Effect of Using Twisted Tapes as Turbulator with Various Geometries in Both Sides of a Double-Pipe Heat Exchanger. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(3), 1341-1353. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08509-w>

Pardhi, C. K., & Baredar, P. (2012). Performance Improvement of Double Pipe Heat Exchanger by Using Turbulator. *International Journal of Engineering Science and Advanced Technology*, 2(4), 881-85.

Royds R. (1921): "Heat Transmission by Radation, Conduction and Convection", First Edition, Constable and Company, London.

Thejaraju, R., Girisha, K. B., Manjunath, S. H., & Dayananda, B. S. (2020). Numerical Evaluation of Thermo-Hydraulic Performance Index of a Double Pipe Heat Exchanger Using double Sided Louvered Winglet Tape. *Journal of Thermal Engineering*, 6(5), 843-857. <https://doi.org/10.18186/thermal.800267>

Vaisi, A., Moosavi, R., Lashkari, M., & Soltani, M. M. (2020). Experimental Investigation of Perforated Twisted Tapes Turbulator on Thermal Performance in Double Pipe Heat Exchangers. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 154, 108028. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108028>

Yildiz, C., Biçer, Y., & Pehlivan, D. (1998). Effect of Twisted Strips on Heat Transfer and Pressure Drop in Heat Exchangers. *Energy Conversion and Management*, 39(3-4), 331-336. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00194-X](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00194-X)

Yadav, A. S. (2009). Effect of Half Length Twisted-Tape Turbulators on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics Inside a Double Pipe U-Bend Heat Exchanger. *JJMIE*, 3(1), 17-22.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 12.10.2022
Kabul Tarihi : 21.12.2022

Received Date : 12.10.2022
Accepted Date : 21.12.2022

3-APTMS TAKVİYELİ KİTOSAN-POLİVİNİL ALKOL HARMAN FİLMLEİNİN FİZİKSEL VE ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTELERİ

PHYSICAL AND ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF 3-APTMS REINFORCED CHITOSAN-POLYVINYL ALCOHOL BLEND FILMS

Nedim GÜRLER^{1*} (ORCID: 0000-0001-5637-8262)

Ferit Can YAZDIÇ² (ORCID: 0000-0002-2762-3027)

¹Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Tunceli, Türkiye
²Munzur Üniversitesi, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Tunceli, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nedim GÜRLER, nedimgurles@munzur.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada kitosan (KT) ve polivinil alkol (PA) karışımına %0, %0.5, %1 ve %2 oranlarında 3-(aminopropil) trimetoksi silan (3-APTMS) ilave edilerek dökme metoduyla filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan filmlerin FTIR, SEM, su buharı geçirgenliği, çözünürlük, opaklık ve renk özellikleri incelenmiştir. KT/PA, KT/PA-0.5, KT/PA-1 ve KT/PA-2 filmlerinin su buharı geçirgenliği sırasıyla $3.82 \times 10^{-6} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, $3.14 \times 10^{-6} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, $2.08 \times 10^{-6} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ve $1.59 \times 10^{-6} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ olarak gerçekleşti. Filmleri su içinde çözünürlüğü azaldı. Artan 3-APTMS içeriği ile filmler daha opak oldu ve UV ışık bariyer özellik gösterdi. Renk özellikleri ise a^* değeri artarken b^* değeri ise azalarak filmler sarımsı-yeşil oldu. Ayrıca filmlerin Gram negatif (*E. coli*) ve gram pozitif (*S. aureus subsp. aureus*) bakterilere karşı antimikrobiyal aktiviteleri değerlendirildi. Elde edilen KT/PA tek başına *S. aureus subsp. aureus* (ATCC 25923) ve *E. coli* (ATCC 25922) ye karşı herhangi bir antimikrobiyal aktiviteyi göstermedi. Dikkat çeken nokta KT/PA'ya eklenen %2 3-APTMS antibakteriyel aktivitenin standart olarak kullanılan ampisilin ile aynı olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Kitosan, polivinil alkol, antibakteriyel, modifikasyon, opaklık

ABSTRACT

In this study, films were prepared by casting method by adding 3-(aminopropyl) trimethoxy silane (3-APTMS) at 0%, 0.5%, 1% and 2% ratios to the mixture of chitosan (KT) and polyvinyl alcohol (PA). FTIR, SEM, water vapour permeability, solubility, opacity, and colour properties of the prepared films were examined. The water vapor permeability of KT/PA, KT/PA-0.5, KT/PA-1 and KT/PA-2 films are $3.82 \times 10^{-6} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, $3.14 \times 10^{-6} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, $2.08 \times 10^{-6} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ and $1.59 \times 10^{-6} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, respectively. The films have decreased solubility in water. With increasing 3-APTMS content, the films became more opaque and showed UV light barrier properties. On the other hand, the a^* value increased and the b^* value decreased, making the films yellowish-green. In addition, the antimicrobial activities of the films against Gram-negative (*E. coli*) and gram-positive (*S. aureus subsp. aureus*) bacteria were evaluated. KT/PA alone did not show any antimicrobial activity against *S. aureus subsp. aureus* (ATCC 25923) and *E. coli* (ATCC 25922). The remarkable point is that the 2% 3-APTMS antibacterial activity added to KT/PA is the same as that of standard ampicillin.

Keywords: Chitosan, polyvinyl alcohol, antibacterial, modification, opacity

GİRİŞ

Piyasada bulunan aktif ambalajların çoğu, sentetik geleneksel polimerlerden üretilmiştir. Petrokimya bazlı ambalaj malzemelerinin kullanımından sonra çevresel kirlilik ve katı atıkların neden olduğu tüketici sağlığı ve çevre endişeleri, biyolojik olarak parçalanabilen doğal polimerlere dayalı ambalaj malzemelerine ilgi çekmiştir (Ren vd. 2017; Gürler vd. 2020b). Günümüzde, proteinler ve polisakkaritler gibi yenilenebilir ham maddelerden biyolojik olarak parçalanabilen yeni malzemelerin hazırlanması ile ilgili çalışmalar giderek artmaktadır. Doğal biyopolimerlerden türetilen nanokompozitler, onları içeren filmlerin yanı sıra biyobozunur özelliklere sahiptir; bu nedenle, sistemin tamamı çevre dostudur (González vd. 2019; Gürler, 2020a). Şu anda, nihai gıda ürünlerinin kalitesini garanti altına almak için fonksiyonel ambalajların geliştirilmesine çok dikkat edilmiştir. Sonuç olarak, aktif paketlemenin, oksijeni temizleme, nemi emme ve antimikrobialeri salma gibi çeşitli stratejilerle gıda raf ömrünü uzatması önerilmiştir. Bu tür paketleme, gıdaları pasif olarak çevresel kontaminasyonlara karşı koruyan geleneksel paketlemenin eksikliklerini önleyebilir (Qin vd. 2020).

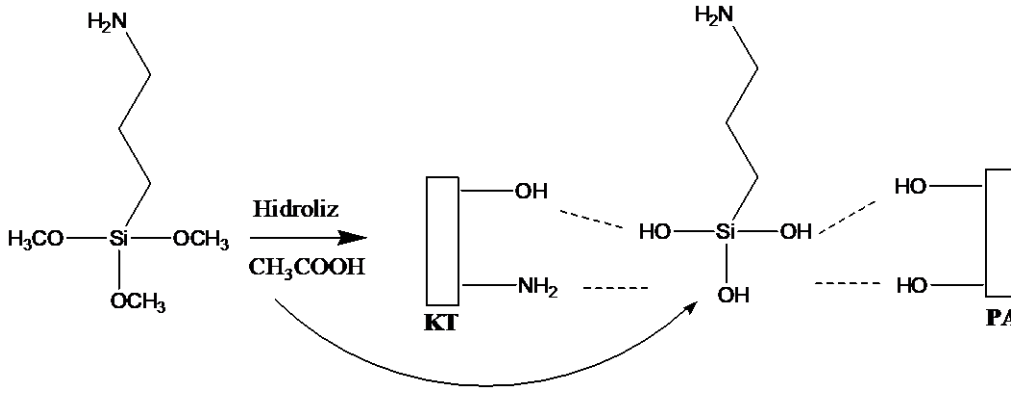
Biyopolimerler biyolojik olarak parçalanabilir ve bol miktarda bulunmaktadır. Denizin selülozu olarak adlandırılan kitin gibi bir biyopolimer yengeçler, karidesler, ıstakozlar vb. gibi kabukluların dış iskeletinde bulunur. Biyo uyumlu, biyolojik olarak parçalanabilir ve mekanik olarak güçlü olmasının yanı sıra, kitosan üzerindeki amin grupları onu hemostatik, antibakteriyel, antifungal, antikolesteremik ve mukoadesif hale getirir (Ravishankar vd. 2020).

Kitosan genellikle karides gibi kabukluların iskelet yapısını oluşturan kitinin alkali deasetasyonu ile elde edilen polikationik biyopolimerdir (Berger vd. 2004). Kitosan, bolluğu, düşük maliyeti, üretim ve modifikasyon kolaylığı ve toksik olmaması nedeniyle çevresel temizlik süreçleri için umut verici bir malzemedir (Bui vd. 2020; Siralermukul vd. 2021). Kitosanın pozitif yükü, farmakoloji, tıp, tarım, ambalajlama ve gıda teknolojisi gibi çok çeşitli endüstrilerde büyük potansiyele sahip olup sayısız ve benzersiz özellikler kazandırır. Kitosanın antimikrobiyal aktivitesi, çok çeşitli mikroorganizmalarda uygulanmıştır. Moleküler ağırlık ve kitosan konsantrasyonunun antibakteriyel aktivite üzerindeki etkisini göstermiştir (Prashanth vd. 2006; Hernandez-Lauzardo vd. 2008; Torğut & Gürler, 2022a). Ayrıca kitosan iyi bir biyoyuymuluğa sahiptir (Pan vd. 2020). Ambalajlama sistemine antibakteriyel bileşenlerin eklenmesi ürünleri bozulmaya karşı korumakta ve ürün raf ömrünü de uzatmaktadır (Irkin vd. 2015; Jafarzadeh vd. 2021).

Kitosan, doğal antibakteriyel özelliği nedeniyle genellikle antimikrobiyal hidrojellerde kullanılır. Kitosanın tek başına kullanımı, şişme sırasında hidrojinin mekanik gücünü sınırlar, bu nedenle polimer harmanlamının fizikokimyasal özellikleri iyileştirmek için kullanılabilirliğini öne sürdü (Khan vd. 2021). Kitosan ve polivinil alkol birbirleri ile uyumlu polimer malzemelerdir ve birbirleri ile homojen karışım oluşturabilirler (Ebrahimzadeh vd. 2021; Massarelli vd. 2021). Kitosanın bir zayıflığı, asidik çözeltilerdeki düşük kararlılığıdır; çözülür ve sorbat bağlama kabiliyetini kaybeder. Kitosanın asidik solüsyondaki stabilitesi güçlendirilebilir ve geliştirilebilir. Çapraz bağlama kitosan mekanik direncini, gözenek boyutunu, hidrofilitesini ve şişmenin önlenmesini artırabilir (Vakili vd. 2018).

PA (Polivinil Alkol), biyoyuymuluğu, toksik olmaması, kimyasal dayanıklılık, film oluşturma, suda çözünürlüğü ve iyi kimyasal ve termal stabilitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. PA poli(vinil asetatın) hidrolizi ile üretilmektedir. PA kağıt kaplamalarda, yapıştırıcı olarak, ilaç taşıyıcı gibi bir çok endüstriyel uygulamada ve esnek ambalaj filmlerinin üretimi olarak birçok kullanım alanlarına sahiptir. PA çok sayıda hidroksil grubuna sahiptir. Bu tür karışımların özelliklerini daha da geliştirmek için çapraz bağlama ve dolgu maddelerin eklenmesi gibi bileşenler eklenebilir (Parida vd. 2011; Haydari vd. 2013; Lim vd. 2015; Sonker vd. 2018; Sedaghat vd. 2019; Boonsuk vd. 2020; Gürler vd. 2021b).

Çapraz bağlama, polisakkarit bazlı filmlerin performansını ve uygulanabilirliğini, özellikle suya duyarlılıkları söz konusu olduğunda geliştirmek için umut verici bir tekniktir (Wu vd. 2019). Kitosan genipin, glutaraldehit, tripolifosfat, etilen glikol, diglisidil eter ve diizosiyanat gibi birçok çapraz bağlayıcılar kullanılmıştır (Muzzarelli, 2009). Bu çalışmada kitosan/polivinil alkol karışımına kimyasal olarak çapraz bağlanmış 3-(aminopropil) trimetoksi silan (Şekil 1) ile hazırlanarak filmlerin ambalajlama malzemesi olarak kullanımını araştırmaktır. Bu amaçla filmlerin su buharı geçirgenliği, çözünürlük, opaklık, renk tayini ve filmlerin E. coli ve S. aureus subsp. aureus patojenlerine karşı sergilediği antibakteriyel özellikleri incelenmiştir.



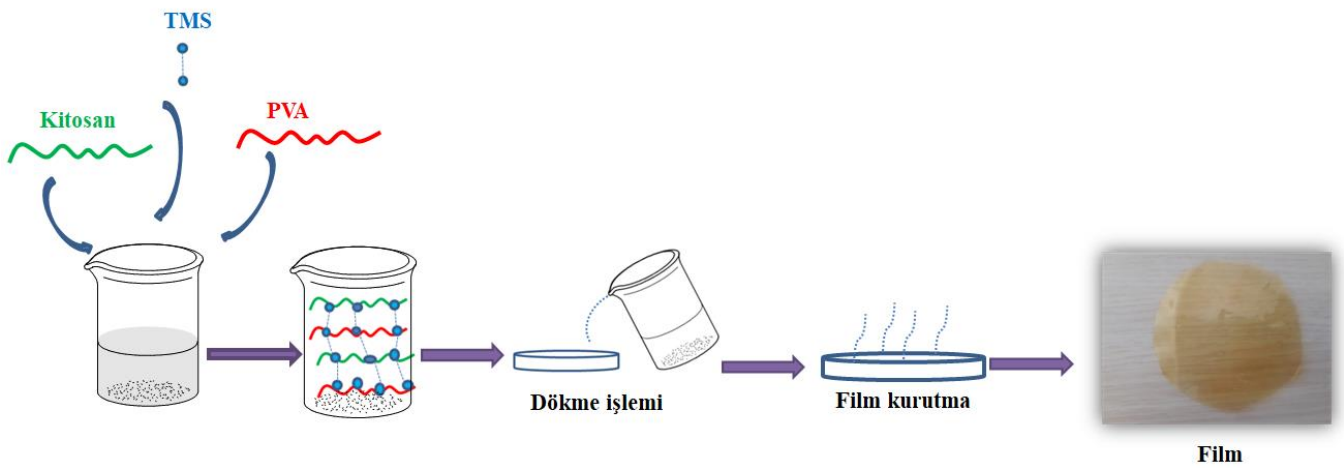
Şekil 1. Reaksiyon Şeması

MATERYAL ve YÖNTEM

Kitosan (KT), susuz kalsiyum klorür, asetik asit, sodyum klorür ve 3-(aminopropil) trimetoksi silan (3-APTMS) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Polivinil alkol (PA) ve gliserol Acros firmasından satın alınmıştır. Magnezyum nitrat hekza hidrat ise J.T Baker firmasından alınmıştır. Kullanılan kimyasallar analitik saflıktadır. Çalışmada Millipore Direct-Q3 saf su cihazı kullanılmıştır.

Film Hazırlama

Dökme tekniğiyle filmler başarı bir şekilde hazırlandı. Öncelikle 0.75 g kitosan %1 asetik asit çözeltisinde 4 saat boyunca çözülmüştür. 1.75 g polivinil alkol ise ayrı bir beherde 85 °C'de 2 saat çözüldü ve kitosan çözeltisine ilave edilerek karıştırıldı. Farklı oranlarda 3-APTMS (%0, %0.5, %1 ve %2) asetik asit ortamında hidrolize edilerek, son olarak polimer karışımına yavaş yavaş ilave edildi ve 85 °C'de 16 saat karıştırıldı. Hazırlanan son çözelti oda sıcaklığına ulaşana kadar soğutuldu ve petri kaplarına döküldü. 40 °C'de 3 gün kurutuldu ve daha sonra filmler petri kabından çıkarılmıştır. Filmler analize kadar %53 nem ortamında muhafaza edildi. Hazırlanan filme ait görseller Şekil 2'de gösterilmiştir. Hazırlanan filmler KT/PA, KT/PA-0.5, KT/PA-1 ve KT/PA-2 şeklinde belirtildi.



Şekil 2. Film Hazırlama Aşaması

FTIR Analizi

Numuneler için FTIR spektrumu Jasco 6700 marka ATR-FTIR cihazı ile yapıldı. Film numuneleri 400-4000 cm⁻¹ dalga boyu aralığında ve 32 tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Numuneler herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan doğrudan numune tutucuya preslenerek ölçümler alınmıştır.

Morfolojik Analizi

Filmlerin yüzey morfolojisi için Hitachi SU3500 cihazı ile görüntüleri alındı. Analizden önce filmler 5×5 mm² şeklinde kesildi ve vakum ortamında altın püskürtülerek film yüzeyi kaplanmıştır. Daha sonra numune tutucuya yerleştirilerek SEM görüntüleri alındı. Bu işlemler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Çözünürlük

Filmlerin suda çözünürlük testi için öncelikle film numuneleri 2×2 cm² şeklinde kesildi. Filmler ilk önce 105 °C'de 24 saat kurutuldu ve daha sonra içerisinde silika jel bulan desikatöre yerleştirildi. Sabit tartıma gelene kadar belirli periyotlarla tartım alındı ve bu ilk tartım olarak kaydedildi (Ç_i). Daha sonra filmler içinde 50 mL su bulunan beher içine bırakıldı ve rastgele 150 rpm de film numuneleri karıştırıldı. 24 saat sonunda film numuneleri çözeltisi süzülde ve süzütüden geriye kalan yine 105 °C'de 24 saat kurutuldu ve bu son tartım olarak belirlendi (Ç_s). Numunelerin çözünürlük değerleri eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır. Denemeler 3 tekrarlı olarak yapılmıştır.

$$\text{Çözünürlük} = \frac{C_i - C_s}{C_i} \quad (1)$$

Su Buharı Geçirgenliği

Film numunelerinin ASTM 1996'ya göre su buharı geçirgenliği belirlenmiştir. İçerisinde susuz kalsiyum klorür (%0 bağıl nem) ve etrafı parafınle sarılı film kaplı şişeler desikatöre bırakıldı. Desikatör içinde doymuş sodyum klorür ortamında %75 bağıl nem ortamına şişeler bırakıldı. Şişeler belirli periyodik aralıklarında tartım işlemi gerçekleştirildi. Şişelerin ağırlık değişiklikleri 24 saatte 6 farklı tartım alınarak kaydedildi. Su buharı geçirgenliği aşağıdaki eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Filmlerin su buharı geçirgenliği 3 tekrerrülü yapılmıştır.

$$\text{Su buharı geçirgenliği} = \frac{g \times d}{t \times A \times S(P_1 - P_2)} \quad (2)$$

Burada; g/t, zamana karşı absorplanan nem miktarını; d, film kalınlığını (mm); A film alanını; P₁, %75 bağıl nem; P₂, %0 bağıl nemi ve S(P₁-P₂) film boyunca geçen su buharı basıncını ifade eder.

Opaklık

Opaklık değerleri 600 nm'de bir Shimadzu UV-1800 spektrofotometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Referans olarak boş bir test hücresi kullanılmıştır. Filmler dikdörtgen bir parça şeklinde kesildi ve doğrudan spektrofotometre test hücresinin iç tarafına yerleştirildi. Spektrofotometrede filmlerin üç kez absorbansı alınarak ortalaması alınmıştır. Filmlerin opaklığı aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır. Burada x: film kalınlığını ifade etmektedir (mm).

$$\text{Opaklık} = \frac{\text{Absorbans}_{600}}{x} \quad (3)$$

Renk Özellikleri

Filmlerin renk özellikleri Konica Minolta Kromometre cihazı kullanılarak renk ölçütleri (L*, a* ve b*) belirlenmiştir. Filmlerin en az 5 farklı bölgesinden ölçümler alındı. L* parlaklığı, a* kırmızılığı/yeşilliği ve b* sarılığı/maviliği ifade etmektedir. Ayrıca toplam renk değişimi (ΔE) ve kroma değerleri aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır. Kroma değeri ise rengin doygunluk derecesini gösterir ve rengin gücü ile orantılıdır.

$$\Delta E = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$\text{Kroma değeri} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (5)$$

Antibakteriyel Aktivite

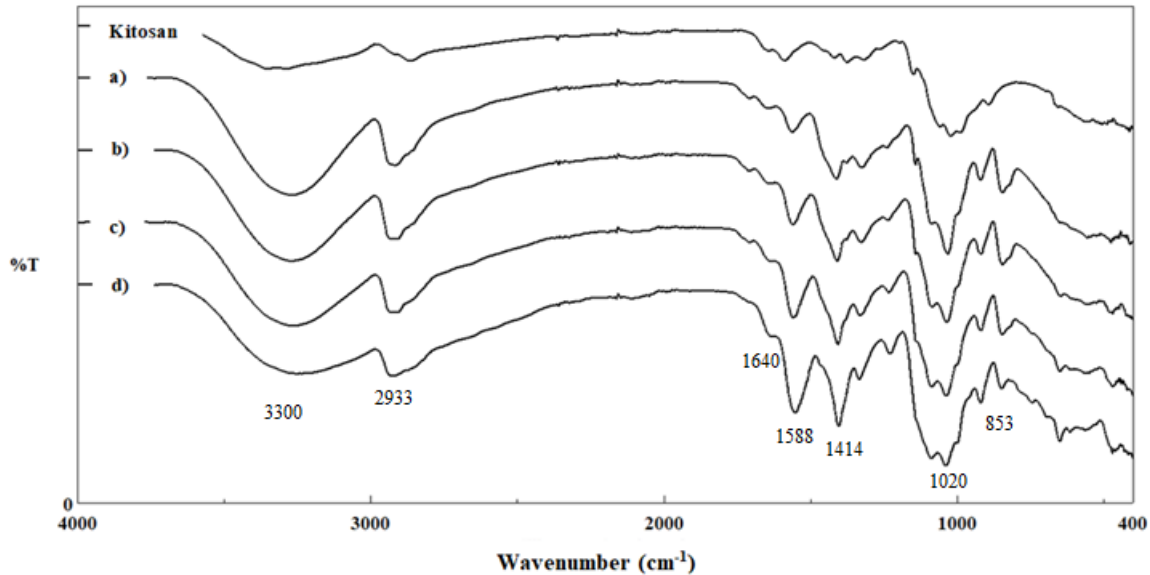
Antibakteriyel aktivitenin belirlenmesinde agar kuyucuk difüzyon test yöntemi kullanılmıştır (Perez, 1990; Russo vd. 2012). Kimyasal ürünlerin antimikrobiyal aktivitesi ATCC (American Type Culture Collection) suşları olan *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* (ATCC 25923) ve *Escherichia coli* (ATCC 25922) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla gecelik kültürden 0.5 McFarland bakteri solüsyonu hazırlanmış ve eküvyon çubuğu

ile agarlı petrilere yayma ekim yapılmıştır (EUCAST, 2019). Bakteri suşları için Muller Hinton agar (MHA) kullanılmıştır. MHA petrilere oyuk açmak için steril mantar delici (6 mm çap) kullanılmış ve her kuyuya 10 µL kimyasal ürün (KT/PA, KT/PA-0.5, KT/PA-1 ve KT/PA-2) ilave edilmiştir. Daha sonrasında aerobik koşullar altında 37°C ± 1°C'de 24 saat süreyle inkübe edilerek, bakteriyel büyümenin inhibisyonu mm (n = 3) olarak ölçülmüştür. Test edilen organizmaların duyarlılığını kontrol etmek için pozitif kontrol olarak Ampisilin-10 µg kullanılmıştır. Antimikrobiyal aktivite, her bir kuyunun etrafındaki temiz bölgenin boyutu ölçülerek değerlendirilmiştir (Balouiri vd. 2016). Tüm testler üç kopya halinde yapılmış; sonuçlar ortalama ± ortalamanın standart hataları olarak ifade edilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

FTIR Spektroskopisi

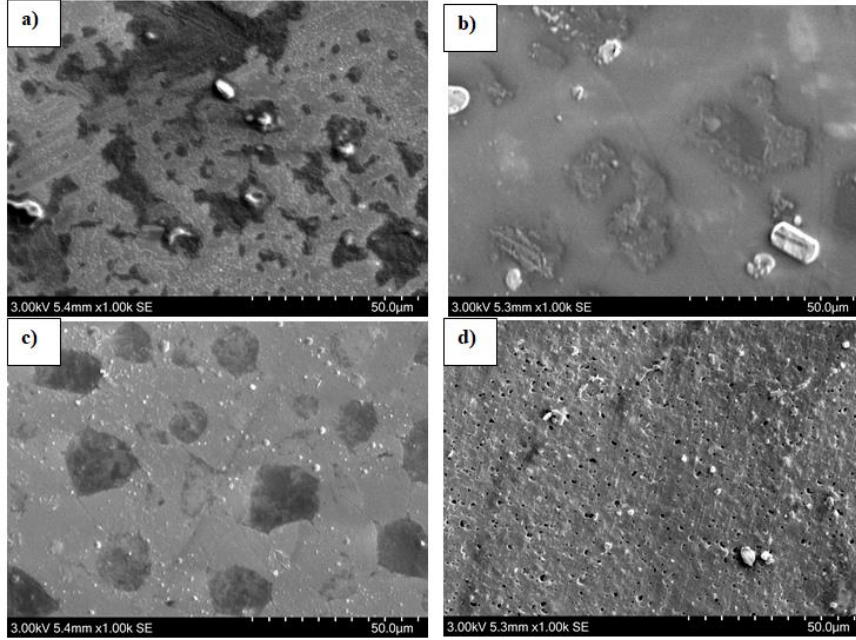
Saf kitosan ve filmlere ait FTIR spektrumları Şekil 3'de gösterilmiştir. FTIR spektroskopisi kitosan ile polivinil alkol arasındaki etkileşimi ve 3-aminopropil trimetoksi silanın filmlere dahil edilmesi sonucu görülen değişiklikleri belirlemek için çalışılmıştır. Saf kitosan için ana karakteristik bantlar 890, 1020 ve 1150 cm⁻¹'de kitosanın sakkarit (C-O-C) yapılarına atıfta bulunulabilir. Saf kitosan için 1588 cm⁻¹ NH eğilme pikine aittir (Pinzon vd. 2018). 3300 cm⁻¹, 1640 cm⁻¹ ve 1588 cm⁻¹ karakteristik amino bantları sırasıyla hidroksil grup (-OH) gerilmesi, amid I ve amid II bantlarına göstermektedir (Torğüt vd. 2022b). 2933 cm⁻¹'de görülen bant metilen grubuna (CH₂) karşılık gelen asimmetrik gerilme titreşimidir. Yaklaşık olarak 1100-1050 cm⁻¹'deki bant, PA omurgasında bulunan asetil gruplarının C-O gerilmesine ve yaklaşık 1760 cm⁻¹ ile C=O gerilmesine karşılık gelir. KT/PA karışımlarının spektrumları için, 3360 cm⁻¹ civarında bir azalma gözlemlendi ve pik şiddeti 3272 cm⁻¹'ye doğru kaydı. Bu, kitosan'ın ikincil bir amin (-NH) ile PA'nın bir hidroksil grubu (-OH) gerilme titreşimi arasındaki çapraz bağlayıcıdan kaynaklı olabilir. 1376 cm⁻¹ ve 1414 cm⁻¹'deki keskin tepe noktaları CH₃ simetrik deformasyon pikine aittir (Bonilla vd. 2014; Hajji vd. 2016). 1328 cm⁻¹'de gözlemlenen zayıf gerilme titreşimi, C-O-H eğilme titreşimidir (Kasai vd. 2019). 3-APTMS katkılı filmlerde 1145 cm⁻¹ ve 853 cm⁻¹'de Si-O-Si ve Si-C gerilmelerinden kaynaklanan pikler, KT/PA pikleri ile örtüşmektedir (Gürler vd. 2021a).



Şekil 3 Kitosan ve Kompozit Filmlerin FTIR Spektrumları a) KT/PA, b) KT/PA-%0.5, c) KT/PA-%1, d) KT/PA-%2

SEM Analizi

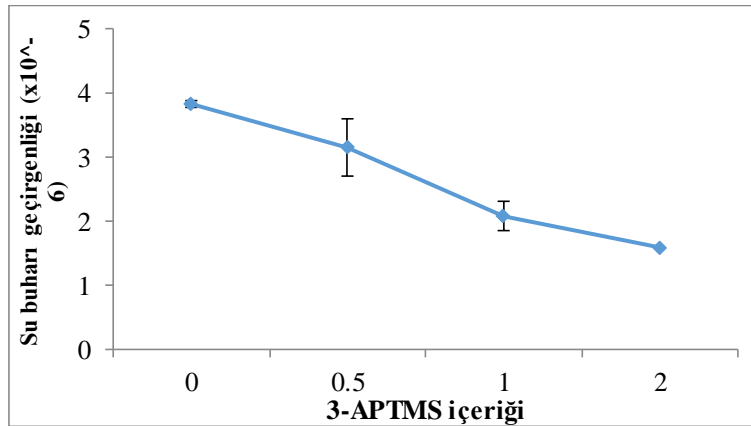
Film numunelerin yüzey morfolojisi SEM ile analiz edildi. Farklı oranlarda 3-APTMS ile hazırlanan KT/PA harman filmlerinin SEM görüntüleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Film yüzeylerinde herhangi bir çatlak veya delik görülmemiştir. Bu KT/PA polimer karışımına 3-APTMS ilave edilmesi kompozitin birbirine uyumlu olması şeklinde açıklanabilir. Ancak 3-APTMS ilave edilen filmlerin yüzeyinde değişiklikler görüldü ve filmler pürüzlü hale geldi.



Şekil 4. Filmlerin SEM Görüntüleri a) KT/PA, b) KT/PA-0.5, c) KT/PA-1 ve d) KT/PA-2

Su Buharı Geçirgenliği

Gıda ambalaj filmleri, dış ortamdan mümkün olduğu kadar filme nemin girmesini önleme eğiliminde olmalıdır (Hiremani vd. 2022). 3-APTMS katkılı filmlerin su buharı geçirgenliği değerleri Şekil 5’de verilmiştir. Çapraz bağlayıcı içeren filmlerin su buharı geçirgenliği düşüktür ve artan çapraz bağlayıcı konsantrasyonuna göre su buharı geçirgenliğinde azalma gözlenmektedir. Kitosan ve polivinil alkol karışımı bünyelerinde OH gruplarına sahiptir. Su buharı geçirgenliğinin azalmasındaki etken 3-APTMS ilave edilmesiyle kitosan ve polivinil alkoldeki hidroksil grupları bağ yaparak hidroksil gruplarının azalmasıdır. Bu azalma ile su buharının diffüzyonu için daha kıvrımlı yol izlemesidir (Roy vd. 2021). Benzer durum daha önceki çalışmada da ifade edildi. Kitosan/jelatin/nişasta karışımına çapraz bağlayıcı olarak sodyum trifosfat ve kasiyum trifosfat ilave edildiğinde su buharı geçirgenliğinin düştüğünü belirtmişlerdir (Izadi-Vasafi vd. 2020).

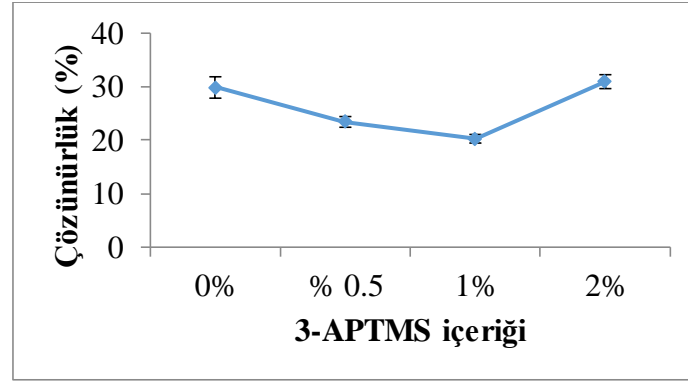


Şekil 5. 3-APTMS Katkılı ve Katkısız Filmlerin Su Buharı Geçirgenlikleri

Çözünürlük

Şekil 6’da filmlere ait çözünürlük değerleri gösterilmiştir. 3-APTMS katkılanılmamış filmlerde çözünürlük değeri %29.85 iken, kitosan/polivinil alkol karışımına %0.5 ve %1 oranında 3-APTMS ilave edilmiş filmlerde su içindeki çözünürlük değerleri sırasıyla %23 ve %20 dir. Çözünürlükteki azalma 3-APTMS ile modifiye edilmiş

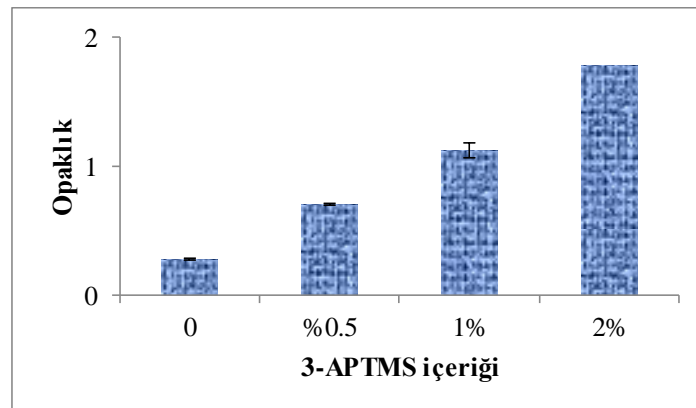
kitosan/polivinil alkol gruplarında hidrofilik OH grupları ile moleküler arası etkileşimden dolayı OH yoğunluğu azalmaktadır. Ayrıca, polimer bileşenlerindeki zincir hareketliliğinde ve polimer serbest hacimde bir azalma ile sonuçlanan güçlü bir çapraz bağlanma söz konusudur. Bu yüzden hidrofilik grupların azalmasıyla polimer- su etkileşimini de etkiler ve çözünürlükte azalmış olur. Benzer durum kitosan/nişasta polimer karışımına sitrik asit ilavesi ile su adsorpsiyonun azaldığını bildirdiler. (Peidayesh vd. 2020). Bir başka çalışmada ise Kitosan/polivinil alkol karışımına çapraz bağlayıcı olarak glutaraldehit ilave edilmesi meydana gelen polimerler arası zincir reaksiyonları tarafından oluşturulan, hidrofilik gruplarının esnekliği ve sayısı azaldı ve çapraz bağlanma meydana gelmiştir. Glutaraldehit polimer zincirleri arasında hareketliliği azalttığından suya karşı direnci de artmaktadır (Costa-Júnior vd. 2019). %2 oranında 3-APTMS ilave ile çözünürlük arttı. Bu artış 3-APTMS ile etkileşime giremeyen serbest hidrofilik OH grupları yüzünden olabilir.



Şekil 6. 3-APTMS Katkılandırılmış KT/PA Filmlerin Çözünürlük Özelliği

Opaklık

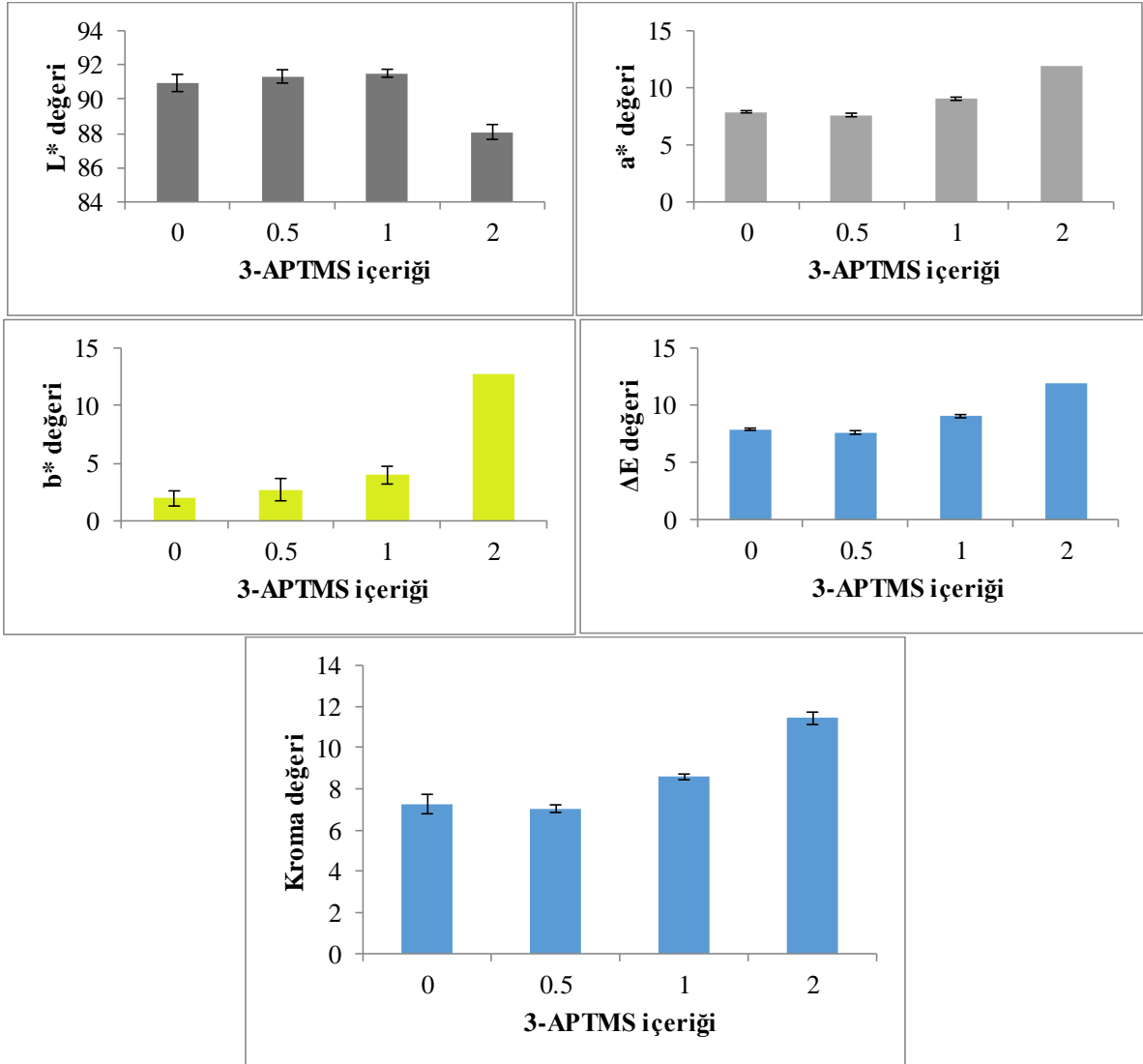
UV ışık bariyerine ve yeterli şeffaflığa sahip biyobozunur filmler, gıda ambalajlama uygulamalarında önemlidir. UV aralığındaki düşük geçirgenlik özelliğine sahip olan filmler iyi bir UV bariyer özellik sergileyebilir. Bu şekilde hazırlanan filmler UV ışığı bariyeri ile lipid oksidasyonunu önleyebilir. Lipid oksidasyonu, istenmeyen tatlar oluşturarak ürünlerin raf ömrünü azaltır. Bu nedenle UV ışığı bariyerine karşı gıda ambalaj malzemeleri oldukça önemlidir (Cazón vd. 2018). Filmlerin opaklık özellikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Kitosan/polivinil alkol karışımının 3-APTMS katkılandırılmış filmlere göre daha şeffaftır. Polimer karışımına 3-APTMS ilave edilmesiyle filmler daha opak olmaktadır ve artan 3-APTMS içeriğinde de opaklık özelliği artmaktadır. En yüksek UV ışık bariyeri %2 oranında 3-APTMS içeren filmdir. Bu durum 3-APTMS ilavesi ile filmlerin ışık geçirgenliğinin azaldığı ve sonuç olarak filmlerin daha opak olduğu görülmektedir. Bir diğer çalışmada KT/PA bazlı filmleri UV ışığı kaynaklı önlemek için mükemmel bir bariyer özelliğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Hajji vd. 2016). Işık geçirgenliği en düşük film gıda ambalajlama sistemlerinde UV ışığının neden olduğu lipid oksidasyonunu önlemek için mükemmel bir bariyer haline getirebilir (Bonilla vd. 2014).



Şekil 7. Filmlere Ait Opaklık Özelliği

Renk Özelliği

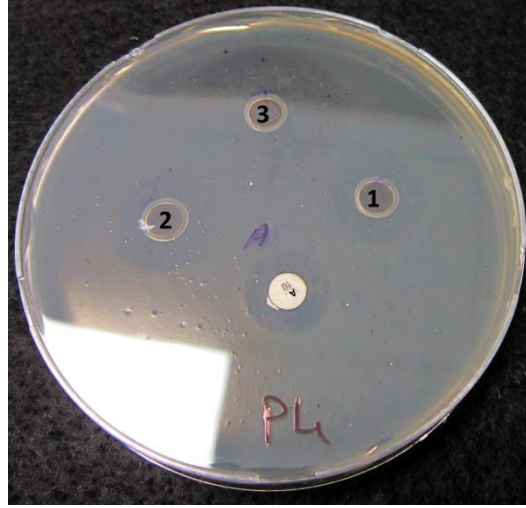
Film numunelerinin renk özellikleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Ambalajın genel görünümü ve tüketici tarafından kabul görmesi açısından gıda ambalajında renk önemli bir parametrelerden biridir. Polisakkarit bazlı filmler normalde renksiz veya şeffaftır ve ambalaj içindeki bileşenlerin görülebilmesi için tercih edilirler (Kanatt vd. 2020). L^* , 0 (siyah, karanlık) ile 100 (beyaz, açıklık) arasındaki renk ölçütünü ifade etmektedir (Gürler ve Torğut 2022a). En düşük L^* değeri filmlerin daha koyu olduğu anlamına gelir. %2 oranında 3-APTMS içeriği ile çapraz bağlı filmin L^* değeri azalmış ve diğer filmlere göre daha siyah olmuştur. Benzer şekilde a^* değerinde de azalma görülmüştür. Çapraz bağlı oranı arttığında b^* değerindeki artış ile toplam renk farklılığında (ΔE) ve kroma değerinde artış gözlenmiştir ve filmler sarımsı-yeşil bir duruma gelmektedir



Şekil 8. Filmlere Ait ΔE , L^* , a^* b^* ve Kroma Değerleri

Antibakteriyel Özellik

Tablo 1’de 3-APTMS katkılı filmlere ait antibakteriyel etkileri gösterildi. KT/PA film numunesi kullanılan test bakterilerine karşı herhangi bir antibakteriyel aktivite göstermemiştir. Ancak 0.5 oranında eklenen KT/PA-0.5 filmi Gram negatif bir bakteri olan *E. coli*’ye karşı standart antibiyotik’in yarısı oranında bir aktivite sergilerken, %2 oranında eklendiğinde ampisilin’in etkililiğine ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Filmlerin *E. Coli*'ye Karşı Göstermiş Olduğu Antibakteriyel Özellikler. A: Ampisilin-10 µg, 1: KT/PA-0.5, 2: KT/PA-1, 3: KT/PA-2

KT/PA gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus* subsp. *aureus*'a karşı herhangi bir antibakteriyel aktive göstermemiştir. Antibakteriyel aktivite, farklı hücre yüzeyi özelliklerinden dolayı Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteriler arasında farklılık gösteren karmaşık bir süreçtir (Atay, 2019). Farklı çalışmalarda, Gram-negatif bakterilere karşı, Gram-pozitif bakterilere göre daha güçlü antibakteriyel aktivite sergilediği gösterilmiştir (Chung vd. 2004).

Tablo 1. Filmlerin Antibakteriyel Etkileri

Mikroorganizmalar	KT/PA	KT/PA-0.5	KT/PA-1	KT/PA-2	Ampisilin (10)
<i>S. aureus</i> subsp. <i>aureus</i> (ATCC 25923)	-	-	-	-	16,2±0,15
<i>E. coli</i> (ATCC 25922)	-	7,83±0,38	11,46±0,71	15,3±0,56	15,53±0,64

Ortalama±St Hata, - Antimikrobiyal aktivite yok (-)

SONUÇ

Kitosan/polvinil alkol karışımına farklı konsantrasyonlarda 3-APTMS ilave edilmesiyle filmler başarılı bir şekilde dökme metoduyla hazırlandı. Elde edilen filmlerin fiziksel ve antibakteriyel özellikleri incelendi. Artan 3-APTMS miktarı filmlerin çözünürlük ve su buharı difüzyonu azaldı. Filmler yüksek 3-APTMS içeriğiyle daha opak ve UV ışığı kaynaklı bozunmayı önlemek için iyi bir bariyer özelliği gösterdi. Numunelerin renk özelliği 3-APTMS oranına göre değişti. 3-APTMS oranının artmasıyla filmlerin b* skalasının artışı ile filmler daha sarımsı oldu. Filmler gram negatif bakteri *E. coli*'ye karşı mükemmel bir antibakteriyel özellik sergiledi. Sonuç olarak, KT/PA-2 filmler antibakteriyel ve lipid oksidasyonuna karşı duyarlı UV bariyer özellikli gıda ambalaj malzemesi olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR

Atay, H. Y. (2019). Antibacterial activity of chitosan-based systems. *Functional chitosan*, 457.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71-79.

- Berger, J., Reist, M., Mayer, J. M., Felt, O., Peppas, N. A., & Gurny, R. J. E. J. O. P. (2004). Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics*, 57(1), 19-34.
- Bonilla, J., Fortunati, E. L. E. N. A., Atarés, L., Chiralt, A., & Kenny, J. M. (2014). Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol–chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*, 35, 463-470.
- Boonsuk, P., Sukolrat, A., Kaewtatip, K., Chantarak, S., Kellarakis, A., & Chaibundit, C. (2020). Modified cassava starch/poly (vinyl alcohol) blend films plasticized by glycerol: Structure and properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(26), 48848.
- Bui, T. H., Lee, W., Jeon, S. B., Kim, K. W., & Lee, Y. (2020). Enhanced Gold (III) adsorption using glutaraldehyde-crosslinked chitosan beads: Effect of crosslinking degree on adsorption selectivity, capacity, and mechanism. *Separation and Purification Technology*, 248, 116989.
- Cazón, P., Vázquez, M., & Velazquez, G. (2018). Composite films of regenerate cellulose with chitosan and polyvinyl alcohol: Evaluation of water adsorption, mechanical and optical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 235-246.
- Chung YC, Su CC, Chen Y, Jia G, Wang JCG, Wu H, Lin JG (2004) Relationship between antibacterial activity of chitosan and surface characteristics of cell wall. *Acta Pharmacol Sin* 25, 932–936.
- Costa-Júnior, E. S., Barbosa-Stancioli, E. F., Mansur, A. A., Vasconcelos, W. L., & Mansur, H. S. (2009). Preparation and characterization of chitosan/poly (vinyl alcohol) chemically crosslinked blends for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 76(3), 472-481.
- Ebrahimzadeh, S., Bari, M. R., Hamishehkar, H., Kafil, H. S., & Lim, L. T. (2021). Essential oils-loaded electrospun chitosan-poly (vinyl alcohol) nonwovens laminated on chitosan film as bilayer bioactive edible films. *Lwt*, 144, 111217.
- EUCAST (2019) Disk Diffusion Method for Antimicrobial Susceptibility Testing. Version 7.0 (January 2019).
- González, A., Gastelú, G., Barrera, G. N., Ribotta, P. D., & Igarzabal, C. I. Á. (2019). Preparation and characterization of soy protein films reinforced with cellulose nanofibers obtained from soybean by-products. *Food Hydrocolloids*, 89, 758-764.
- Gürler, N. (2020a). Sitrik Asit ile Modifiye Edilmiş Mısır Nişastası/Mikrokristalin Selüloz Filmlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. *Int. J. Pure Appl. Sci*, 6(2), 179-185.
- Gürler, N., & Torğut, G. (2022a). Physicomechanical, thermal and dielectric properties of eco-friendly starch-microcrystalline cellulose-clay nanocomposite films for food packaging and electrical applications. *Packaging Technology and Science*, 35(6), 473-483.
- Gürler, N., Paşa, S., & Temel, H. (2021a). Silane doped biodegradable starch-PLA bilayer films for food packaging applications: Mechanical, thermal, barrier and biodegradability properties. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 123, 261-271.
- Gürler, N., Paşa, S., Alma, M. H., & Temel, H. (2020b). The fabrication of bilayer polylactic acid films from cross-linked starch as eco-friendly biodegradable materials: synthesis, characterization, mechanical and physical properties. *European Polymer Journal*, 127, 109588.
- Gürler, N., Paşa, S., Erdoğan, Ö., & Cevik, O. (2021b). Physicochemical properties for food packaging and toxicity behaviors against healthy cells of environmentally friendly biocompatible starch/citric acid/polyvinyl alcohol biocomposite films. *Starch-Stärke*, 2100074.
- Hajji, S., Chaker, A., Jridi, M., Maalej, H., Jellouli, K., Boufi, S., & Nasri, M. (2016). Structural analysis, and antioxidant and antibacterial properties of chitosan-poly (vinyl alcohol) biodegradable films. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(15), 15310-15320.
- Hernandez-Lauzardo, A. N., Bautista-Baños, S., Velazquez-Del Valle, M. G., Méndez-Montealvo, M. G., Sánchez-Rivera, M. M., & Bello-Perez, L. A. (2008). Antifungal effects of chitosan with different molecular weights on in vitro development of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. *Carbohydrate Polymers*, 73(4), 541-547.

- Heydari, M., Moheb, A., Ghiaci, M., & Masoomi, M. (2013). Effect of cross-linking time on the thermal and mechanical properties and pervaporation performance of poly (vinyl alcohol) membrane cross-linked with fumaric acid used for dehydration of isopropanol. *Journal of applied polymer science*, 128(3), 1640-1651.
- Hiremani, V. D., Goudar, N., Gasti, T., Khanapure, S., Vanjeri, V. N., Sataraddi, S., ... & Chougale, R. B. (2022). Exploration of multifunctional properties of piper betel leaves extract incorporated polyvinyl alcohol-oxidized maize starch blend films for active packaging applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(4), 1314-1329.
- Irkin, R., & Esmer, O. K. (2015). Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents. *Journal Of Food Science and Technology*, 52(10), 6095-6111.
- Izadi-Vasafi, H., Ghayoumi, F., Karbasizadeh-Esfahani, S., & Ghafghazi, M. (2020). Comparing the Effect of Sodium-Based and Calcium-Based Crosslinkers on the Swelling, Mechanical and Rheological Properties of Chitosan/Gelatin/Starch Films. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 59(5), 331-343.
- Jafarzadeh, S., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Oladzadabbasabadi, N., & Jafari, S. M. (2021). Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 218-231.
- Kanatt, S. R., & Makwana, S. H. (2020). Development of active, water-resistant carboxymethyl cellulose-poly vinyl alcohol-Aloe vera packaging film. *Carbohydrate Polymers*, 227, 115303.
- Kasai, D., Chougale, R., Masti, S., Chalannavar, R., Malabadi, R. B., Gani, R., & Gouripur, G. (2019). An investigation into the influence of filler Piper nigrum leaves extract on physicochemical and antimicrobial properties of chitosan/poly (vinyl alcohol) blend films. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(3), 472-488.
- Khan, B. A., Khan, A., Khan, M. K., & Braga, V. A. (2021). Preparation and properties of High sheared Poly (Vinyl Alcohol)/Chitosan blended Hydrogels films with Lawsonia inermis extract as wound dressing. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 61, 102227.
- Lim, M., Kwon, H., Kim, D., Seo, J., Han, H., & Khan, S. B. (2015). Highly-enhanced water resistant and oxygen barrier properties of cross-linked poly (vinyl alcohol) hybrid films for packaging applications. *Progress in Organic Coatings*, 85, 68-75.
- Massarelli, E., Silva, D., Pimenta, A. F. R., Fernandes, A. I., Mata, J. L. G., Armês, H., ... & Serro, A. P. (2021). Polyvinyl alcohol/chitosan wound dressings loaded with antiseptics. *International Journal of Pharmaceutics*, 593, 120110.
- Muzzarelli, R. A. (2009). Genipin-crosslinked chitosan hydrogels as biomedical and pharmaceutical aids. *Carbohydrate Polymers*, 77(1), 1-9.
- Pan, C., Qian, J., Zhao, C., Yang, H., Zhao, X., & Guo, H. (2020). Study on the relationship between crosslinking degree and properties of TPP crosslinked chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116349.
- Parida, U. K., Nayak, A. K., Binhani, B. K., & Nayak, P. L. (2011). Synthesis and characterization of chitosan-polyvinyl alcohol blended with cloisite 30B for controlled release of the anticancer drug curcumin. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2(04), 414.
- Peidayesh, H., Ahmadi, Z., Khonakdar, H. A., Abdouss, M., & Chodák, I. (2020). Baked hydrogel from corn starch and chitosan blends cross-linked by citric acid: Preparation and properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 31(6), 1256-1269.
- Perez, C. (1990). Antibiotic assay by agar-well diffusion method. *Acta Biol Med Exp*, 15, 113-115.
- Pinzon, M. I., Garcia, O. R., & Villa, C. C. (2018). The influence of Aloe vera gel incorporation on the physicochemical and mechanical properties of banana starch-chitosan edible films. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4042-4049.
- Prashanth, K. V. H., & Tharanathan, R. N. (2006). Crosslinked chitosan—preparation and characterization. *Carbohydrate research*, 341(1), 169-173.
- Qin, Z., Jia, X., Liu, Q., Kong, B., & Wang, H. (2020). Enhancing physical properties of chitosan/pullulan electrospinning nanofibers via green crosslinking strategies. *Carbohydrate Polymers*, 247, 116734.

- Ravishankar, K., & Dhamodharan, R. (2020). Advances in chitosan-based hydrogels: Evolution from covalently crosslinked systems to ionotropically crosslinked superabsorbents. *Reactive and Functional Polymers*, 149, 104517.
- Ren, L., Yan, X., Zhou, J., Tong, J., & Su, X. (2017). Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1636-1643.
- Roy, S., Zhai, L., Kim, H. C., Pham, D. H., Alrobei, H., & Kim, J. (2021). Tannic-acid-cross-linked and TiO₂-nanoparticle-reinforced chitosan-based nanocomposite film. *Polymers*, 13(2), 228.
- Russo D, Bonomo MG, Salzano G, Martelli G, Milella L. (2012). Nutraceutical properties of Citrus clementina juices. *Pharmacologyonline*. 1, 84–93.
- Sedaghat, E., Rostami, A. A., Ghaemy, M., & Rostami, A. (2019). Characterization, thermal degradation kinetics, and morphological properties of a graphene oxide/poly (vinyl alcohol)/starch nanocomposite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(2), 759-769.
- Siralertmukul, K., Yuenyaw, N., Watcharamul, S., & Nuisin, R. (2021). Facile Fabrication of Chitosan/Starch Composite Films with Fumed Silica as an Additive. *Engineering Journal*, 25(9), 45-53.
- Sonker, A. K., Rathore, K., Nagarale, R. K., & Verma, V. (2018). Crosslinking of polyvinyl alcohol (PVA) and effect of crosslinker shape (aliphatic and aromatic) thereof. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(5), 1782-1794.
- Torğut, G., Yazdıç, F. C., & Gürler, N. (2022b). Synthesis, characterization, pH-sensitive swelling and antimicrobial activities of chitosan-graft-poly (hydroxyethyl methacrylate) hydrogel composites for biomedical applications. *Polymer Engineering & Science*, 62(8), 2552-2559.
- Vakili, M., Deng, S., Li, T., Wang, W., Wang, W., & Yu, G. (2018). Novel crosslinked chitosan for enhanced adsorption of hexavalent chromium in acidic solution. *Chemical Engineering Journal*, 347, 782-790.
- Wu, H., Lei, Y., Lu, J., Zhu, R., Xiao, D., Jiao, C., ... & Li, M. (2019). Effect of citric acid induced crosslinking on the structure and properties of potato starch/chitosan composite films. *Food Hydrocolloids*, 97, 105208.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.10.2022
Kabul Tarihi : 05.12.2022

Received Date : 18.10.2022
Accepted Date : 05.12.2022

SİVAS İLİNDE KARAYOLUNDAN KAYNAKLANAN KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF CARBON FOOTPRINT OF ROAD ORIGIN IN SİVAS CITY

Ayben POLAT BULUT¹* (ORCID: 0000-0003-0151-8680)

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Sivas, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ayben POLAT BULUT, aybenpolat@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET

Günümüzde küresel ısınma, insan hayatını tehdit eden en önemli küresel sorun haline gelmiştir. Küresel ısınmaya yol açan sera gazlarının başlıca kaynaklarından biri de ulaşım sektörüdür. Bu çalışmada 2015-2021 yılları dahil 7 yıllık zaman periyodunda Sivas ilinde kara yolu taşımacılığında kaynaklanan karbon ayak izi belirlenerek küresel ısınmaya katkısı araştırılmıştır. Karbon ayak izini belirlemek amacıyla Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kara yolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonunun Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarına göre sırasıyla 640 Gg CO₂ ve 634 Gg CO₂ olduğu hesaplanmıştır. Her iki yöntem içinde en yüksek CO₂ emisyonuna 2018 yılında, en düşük CO₂ emisyonuna ise 2015 yılında ulaşılmıştır ve CO₂ emisyonunu etkileyen temel unsurun ise yakıt tüketim miktarı olduğu belirlenmiştir. 2021 yılında CO₂ emisyonunda 2015 yılına göre % 20' lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek CO₂ emisyonuna akaryakıtlar içinde motorinin, kara yolu taşıtları arasında ise otomobilin katkısının olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kara yolu ulaşımı, karbon ayak izi, sera gazları, Sivas

ABSTRACT

In this today, global warming has become the most important global problem threatening human life. One of the main sources of greenhouse gases that cause global warming is the transportation sector. In this study, the carbon footprint resulting from road transport in Sivas province was determined in a 7-year time period, including the years 2015-2021, and its contribution to global warming was investigated. In order to determine the carbon footprint, the methodology determined by the Tier 1 and Tier 2 approaches proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was used. As a result of the study, it has been calculated that the CO₂ emissions from road transportation are 640 Gg CO₂ and 634 Gg CO₂, respectively, according to the Tier 1 and Tier 2 approaches. Among both methods, the highest CO₂ emission was achieved in 2018 and the lowest CO₂ emission was achieved in 2015, and it was determined that the main factor affecting CO₂ emissions was the amount of fuel consumption. It has been determined that there is a 20 % increase in CO₂ emissions in 2021 compared to 2016. It has been determined that diesel fuel contributes to the highest CO₂ emission among fuel oils and automobiles contribute to the highest CO₂ emissions.

Keywords: Road transportation, carbon footprint, greenhouse gases, Sivas

GİRİŞ

Küresel sera gazı emisyon artışı nedeniyle, dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığında önemli bir artış gözlenmiştir (Güzel ve Alp, 2020). Sera gazları içerisinde % 80' lik bir oranla en yüksek derişime CO₂ sahiptir ve dolayısıyla sera gazları içerisinde en önemlisidir (Demirtürk, 2021). Son on yılı aşkın bir süredir, atmosfere salınan CO₂ emisyonlarından sorumlu başlıca sektörlerden biri ulaşım sektörüdür (Alam vd., 2017; Güzel ve Alp, 2020). Ulaşım tarafından sürekli artan CO₂ miktarı endişeleri artırmaktadır (Yaacob vd., 2020). Ulaşım sektöründeki sera gazı emisyonları, elektrik ve ısı sektöründen sonra ikinci sırada yer almaktadır (Chang vd., 2019). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) yıllık raporuna göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) toplam sera gazlarının % 27' den fazlası ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır (Liu ve Crillo, 2016). Ulaşım sektörünün alt sektörleri arasında, karayolu taşımacılığı sektörü, toplam ulaşım sektörü emisyonlarının yaklaşık dörtte üçü olan en büyük karbondioksit emisyonunu oluşturmaktadır (Chang vd., 2019). Bu sektör içinde, hafif hizmet araçları, toplam sera gazının % 61' ini oluşturan en büyük kirletici kaynaklardır. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) tahmini, sera gazlarının (GHG' ler) ana bileşeni olan fosil yakıtla ilgili karbondioksit (CO₂) emisyonlarının yaklaşık %15'in den karayolu binek otomobillerinin sorumlu olduğunu göstermektedir (Liu ve Crillo, 2016).

Karayolu taşımacılığı yalnızca önemli bir hava kirliliği kaynağı olmakla kalmamış, aynı zamanda her yıl küresel olarak CO₂ dahil milyonlarca ton bu tür gazın atmosfere salındığı GHG' lere önemli katkısı da olmuştur (Ajufu ve Bekaroo, 2021). Karayollarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının artış sebebi olarak; araç sayısındaki artış, mevcut araçların emisyon miktarının çok olması, araç bakımlarının ve kirli gaz kontrollerinin düzenli yapılmaması, kalitesi düşük yakıt kullanılması karayollarındaki nüfus artışı ve trafik sıkışıklığı gösterilmektedir (Dündar, 2021). Karayolu taşımacılığında kaynaklanan yüksek CO₂ emisyonlarını azaltmak için birçok ülke, özellikle alternatif yakıtlara dayalı düşük karbonlu ulaşım sistemleri geliştirmektedir (Chang ve Huang, 2021).

Türkiye' de de ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar, ana emisyon kaynaklarından biridir (Çipil, 2014). Ulaşım sektörü, toplam enerji talebinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır ve Türkiye'deki toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık % 26' sından sorumludur (Güzel ve Alp, 2020).

Karbon ayak izi yöntemi, verilen sınırdaki karbon emisyonlarını denetlemek için uygun bir yol sağlar. "Karbon ayak izi, bir faaliyetin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu veya bir ürünün yaşam evreleri boyunca biriken karbondioksit emisyonlarının toplam miktarının bir ölçüsüdür" (Zhao vd., 2022). Karbon ayak izi, ulaşım ve evsel enerji üretimi için tüketilen fosil kaynaklar sonucu oluşan CO₂ emisyonlarının bir ölçüsü olarak birincil karbon ayak izi ve kullandığımız ürünlerin imalatından nihai bertarafına kadar ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının ölçüsü olarak ise ikincil karbon ayak izi olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (Kılıç vd., 2021). Bir faaliyetten kaynaklanan sera gazı emisyonlarının nicel bir ifadesi olan karbon ayak izi, emisyon yönetimine ve azaltım önlemlerinin değerlendirilmesine yardımcı olur (Pandey vd., 2011). Uzun yıllar süren sürekli gelişim ve büyümeden sonra, karbon ayak izi (CF), CO₂ emisyonlarını veya GHG emisyonlarını CO₂ eşdeğerleri (CO₂-eq) cinsinden ölçmek için bir gösterge olarak geniş çapta benimsenmiş ve pek çok araştırmada uygulanmıştır (Zhao vd., 2022).

Özellikle kentleşme ve endüstrileşmedeki hızlı artışla kaçınılmaz hale gelen hava kirliliğinin insan sağlığı ve diğer canlılar üzerindeki olumsuz etkileri gün geçtikçe artmakta ve önem kazanmaktadır. Son yıllarda hava kirliliği ve küresel ısınma ile mücadele çalışmalarında karbon ayak izi kavramı oldukça dikkat çekmeye başlamıştır. Karbon ayak izi çalışmaları ile yapılan faaliyetlerin çevreye yaydığı CO₂ derişimi belirlenerek hava kirliliği ve küresel ısınmaya katkısı tespit edilmektedir. Karbon ayak izi çalışmaları sonucu ne tür önlemlerle CO₂ emisyonunun azaltılabileceği hedeflenmektedir. Literatürde inşaat sektörü (Onat, 2018), kauçuk endüstrisi (Mutlu vd., 2018), tekstil endüstrisi (Coşkun ve Doğan, 2021) gibi çeşitli sanayi kuruluşlarından; üniversiteler (Gökçek vd., 2019; Binboğa ve Ünal, 2018), belediyeler (Turan ve Karaer, 2019) gibi kurumsal alanlardan; hava alanları (Postorino ve Mantecchini, 2014; Kumaş vd., 2019), karayolları (Bıyık ve Civelekoğlu, 2020; Kılıç vd., 2021; Dündar ve Kolay, 2021) gibi ulaşım sektörlerinden kaynaklanan çeşitli karbon ayak izi çalışmaları mevcuttur. Yapılan çalışmada 2015-2021 yılları dahil yedi yıllık periyotta Sivas il sınırları içerisinde karayolu kaynaklı karbon ayak izi hesaplanmıştır ve Sivas ili için CO₂ emisyonunu düşürmeye yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu şekilde temiz hava gibi canlılar için hayati önem taşıyan doğal kaynakların sürdürülebilirliği de sağlanmış olacaktır. Çalışmada sera gazı emisyon hesaplamasında IPCC tarafından geliştirilen Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yakıt miktarı verileri Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) raporlarından temin edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Şekil 1’ de haritası verilen Sivas, İç Anadolu Bölgesi’nin Yukarı Kızılırmak bölümünde (Selçuk ve Irmak, 2022; Karakuş vd., 2015) ve 35° 50’ ve 38° 14’ doğu boylamıyla 38° 42’ ve 40° 16’ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. (Bulut ve Canbaz, 2022) Sivas 28.488 km²’ lik yüz ölçümü ile Türkiye’ nin ikinci en büyük ilidir (Bulut ve Canbaz, 2022; Selçuk ve Irmak; 2022; Karakuş vd., 2015). Topografyası genellikle engebeli olup, deniz seviyesinden 1200-1500 m yüksekliktedir (Karakuş vd., 2015). Karasal iklime sahiptir (Bulut ve Canbaz; 2022) ve İç Anadolu bölgesinin en soğuk ilidir (Bulut ve Canbaz, 2022; Karakuş vd., 2015). Yazın sıcaklık 40 °C’ ye kadar yükselirken kışın ise -33° C’ ye kadar düşebilir (Karakuş vd., 2015). Yıllık ortalama yağış miktarı 420 mm (Bulut ve Canbaz, 2022; Karakuş vd., 2015) olup, toplam yağış miktarının % 22’ sini son bahardaki yağışlar, % 36’ sını ilk bahardaki yağışlar, % 32’ sini kış yağışları, geri kalan % 10’ unu ise yaz yağışları oluşturmaktadır (Karakuş vd., 2015).



Şekil 1. Sivas İli Haritası

IPCC Metodolojisi

Bu çalışmada Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier yaklaşımlarından Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımları kullanılmıştır. Tier 1 yaklaşımı daha az veri gerektiren daha basit bir yöntemdir. Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları ise daha karmaşık yöntemlerdir ve daha fazla veri gerektirmektedir (IPCC, 2006). Tier 3 yaklaşımına ait verilere ulaşılamadığından dolayı Tier 3 yaklaşımı kullanılmamıştır.

Tier 1 Yaklaşımı

Tüm yakıt kaynaklarından gelen emisyonlar, genellikle ulusal enerji istatistiklerinden elde edilen tüketilen yakıt miktarlarına ve emisyon faktörlerinin ortalamasına dayanılarak tahmin edildiğinden dolayı Tier 1 metodu yakıt temelli bir yaklaşımdır. Tier 1 hesap yönteminde yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar, yakılan yakıtın miktarı ve türüne ilişkin emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır (IPCC, 2006). Tier 1 eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Dündar, 2021).

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (t)} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)} \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$\text{Karbon İçeriği (Gg C)} = \text{Karbon Emisyon Faktörü (tC/TJ)} \times \text{Enerji Tüketimi} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (3)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon Emisyonu (Gg C)} \times \text{Molekül Ağırlığı Oranı (44/12)} \quad (4)$$

Eşitlik (1)' de bulunan dönüşüm faktörleri, Eşitlik (2) ' de yer alan karbon emisyon faktörleri ve Eşitlik (3)' teki karbon oksitlenme oranları IPCC kılavuzundan temin edilmiş olup Tablo 1' de sunulmuştur. Yakıt tüketimleri ise her il için EPDK raporlarından temin edilerek Tablo 2 ve Şekil 2' de sunulmuştur.

Tablo 1. Tier 1 Yaklaşımında Kullanılan Yakıt Verileri (IPCC, 2006)

Yakıt Türü	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)	C Emisyon Faktörü (tC/TJ)	C Oksitlenme Oranı (%)
Benzin	44,3	18,90	0,99
Motorin	43,0	20,20	0,99
LPG	47,3	17,20	0,99

Tablo 2. Sivas İli İçin Yıllık Yakıt Tüketimleri (EPDK, 2015; EPDK, 2016; EPDK, 2017; EPDK, 2018; EPDK, 2019; EPDK, 2020; EPDK, 2021)

Yıllar	Benzin, ton	Motorin, ton	LPG, ton	Toplam, ton
2015	10299	137961	27057	175317
2016	12722	157230	34241	204193
2017	13033	173384	34474	220891
2018	12956	181313	34738	229052
2019	13673	147941	34946	196560
2020	13299	146481	33812	193592
2021	17529	171557	28996	218082

Tier 2 Yaklaşımı

Tier 2 hesaplama yönteminde, yakıt tüketimi yerine taşıtın yapmış olduğu yol miktarı hesaba katılmaktadır. Tier 2 yönteminde, yanmadan kaynaklanan emisyonlar, Tier 1 yönteminde kullanıldığı gibi benzer yakıt istatistiklerinden tahmin edilir, ancak Tier 1 varsayılanları yerine ülkeye özgü emisyon faktörleri kullanılır. Tier 2 yaklaşımı, karayolu taşımacılığında satılan yakıtın ülkeye özgü karbon içeriğinin kullanılması dışında Tier 1 ile aynıdır. Tier 2'de, CO₂ emisyon faktörleri, oksitlenmemiş karbonu veya CO₂ dışındaki bir gazdan yayılan karbonu hesaba katacak şekilde ayarlanabilir (IPCC, 2006). Tier 2 hesaplamaları Eşitlik (5), Eşitlik (6), Eşitlik (7), Eşitlik (8) ve Eşitlik (9) kullanılarak yapılmaktadır (Çelik, 2020).

$$\text{Yakıt Tüketimi (kt)} = \text{Araç Sayısı} \times \text{Menzil (km)} \times \text{Yakıt Tüketimi (L/km)} \times \text{Yoğunluk (kg/L)} \times 10^{-6} \quad (5)$$

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (kt)} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)} \quad (6)$$

$$\text{Yakıtın C İçeriği (tC)} = \text{Enerji Tüketimi (TJ)} \times \text{C Emisyon Faktörü (tC/TJ)} \quad (7)$$

$$\text{Karbon Emisyonu (tC)} = \text{Yakıtın C İçeriği (tC)} \times \text{C Oksitlenme Oranı} \quad (8)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = \text{C Emisyonu (t)} \times \text{Molekül Ağırlığı Oranı (44/12)} \times 10^{-3} \quad (9)$$

Eşitlik (5)' te yer alan araçların yıllık menzil verileri Bıyık ve Civelekoğlu (2020) tarafından rapor edildiği gibi Tablo 3' de verilen 100 km' deki yakıt tüketim değerleri ve Tablo 4' te verilen araç sayısı verileri yardımıyla ortalama olarak bulunmuş ve Tablo 5' te sunulmuştur. Araç sayıları ve trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı 2015-2021 periyodu için Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) temin edilmiş, illere oranlanmış ve Şekil 2' de sunulmuştur. Akaryakıtların yoğunlukları ise Tablo 6' da görülmektedir. Araçların yıllık menzilleri hesaplanırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir (Bıyık, 2018).

- Araçların tükettiği akaryakıt miktarları ve akaryakıtların yoğunlukları yardımıyla akaryakıtların toplam hacimleri hesaplanmıştır.
- Toplam akaryakıt hacmi toplam araç sayısına bölünerek 1 aracın tükettiği yakıt hacmi bulunmuştur.

- 1 aracın tükettiği yakıt hacmi aracın 100 km' deki yakıt tüketimine bölünerek araçların yıllık menzilleri km cinsinden ortalama olarak bulunmuştur.

Tablo 3. Motorlu Taşıt Türüne Göre 100 km'de Tüketilen Ortalama Yakıt Miktarı (IPCC, 1996)

Otomobil			Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet
Benzin	Dizel	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
8,5	7,3	11,2	10,9	29,9	10,9	29,9	4

Tablo 4. Sivas İli Araç Sayıları (TUIK, 2022)

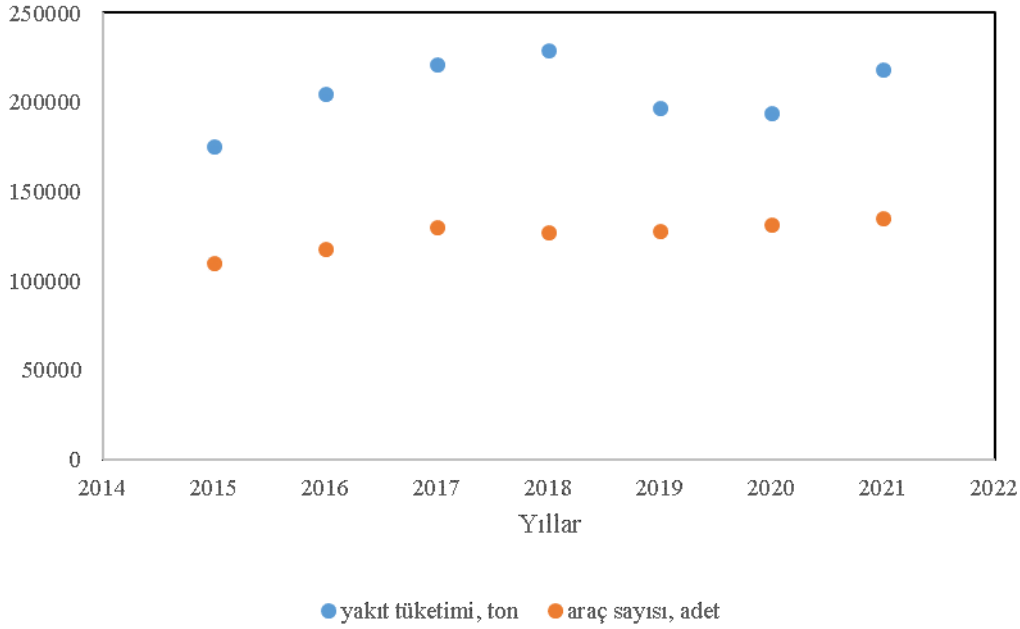
Yıllar	Otomobil				Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Toplam Araç Sayısı
	Benzin	Dizel	LPG	Toplam	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin	
2015	19890	22773	29043	71706	3348	1196	21842	5722	6078	109892
2016	20681	25928	30250	76859	3382	1185	23695	5953	6311	117385
2017	21211	28991	36794	86996	3403	1218	25274	6123	6775	129789
2018	20778	30708	31626	83112	3365	1270	25913	6176	7162	126998
2019	20192	31789	31122	83103	3275	1305	26085	6113	7454	127335
2020	21117	33148	31762	86027	3179	1257	26685	6180	7896	131224
2021	22846	33687	32164	88697	3062	1254	27441	6269	8273	134996

Tablo 5. Sivas İli İçin Hesaplanan Araçların Ortalama Yıllık Menzilleri (km)

Yıllar	Otomobil			Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2015	8015	37352	15124	25016	9119	25016	9119	68168
2016	9522	39049	18375	26152	9534	26152	9534	71265
2017	9512	39864	15210	26698	9733	26698	9733	72752
2018	9652	40063	17831	26831	9781	26831	9781	73115
2019	10482	32119	18228	21511	7842	21511	7842	58616
2020	9749	30858	17282	20666	7534	20666	7534	56316
2021	11877	35399	14635	23708	8643	23708	8643	64604

Tablo 6. Akaryakıt Yoğunlukları (Bayrakçeken ve Kuş, 2004)

Yakıt	15 °C' de Yoğunluk, kg/L	Çalışmada Kabul Edilen Yoğunluk, kg/L
Benzin	0,730-0,780	0,760
Motorin	0,810-0,850	0,830
LPG	0,508-0,584	0,550



Şekil 2. Sivas İli İçin Yıllara Göre Yakıt Tüketimi ve Araç Sayısı

BULGULAR

Bu çalışma kapsamında 2015 ve 2021 yılları dahil yedi yıllık zaman periyodunda Sivas ilinde karayolu ulaşımından kaynaklanan karbon ayak izi hesaplamaları IPCC tarafından önerilen Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımları kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda CO₂ emisyonunun Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla 640 Gg CO₂ ve 635Gg CO₂ olduğu ve sonuçların da birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Hem Tier 1 hem de Tier 2 yöntemlerine göre en yüksek CO₂ emisyonuna Şekil 2 ve Tablo 2’ de de görüldüğü gibi en yüksek yakıt tüketiminin olduğu 2018 yılında, en düşük CO₂ emisyonuna ise en az yakıt tüketiminin olduğu 2015 yılında ulaşıldığı Şekil 3’te görülmektedir. Yakıt tüketimi ile CO₂ emisyonu arasında doğrusal bir orantı bulunmaktadır. Dolayısıyla CO₂ emisyonu 2015 yılından 2018 yılına kadar artan yakıt tüketimi ile paralel olarak artış gösterirken 2019 ve 2020 yıllarında yakıt tüketiminde görülen azalma ile CO₂ emisyonu da azalmıştır ve 2021 yılında yakıt tüketiminin yeniden artışa geçmesiyle CO₂ emisyonu da yükselmiştir. Her iki yöntemin sonucuna göre de 2021 yılında 2015 yılına göre salınan CO₂ emisyonlarında yaklaşık % 20’ lik bir artış olduğu görülmüştür. Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerine göre hesaplanan CO₂ emisyonları Tablo 7 ve Tablo 8’ de sunulmuştur. Tier 1 ve Tier 2 yöntemleriyle yapılan hesaplamaların sonuçlarına bakıldığında en yüksek CO₂ emisyonunun görüldüğü 2018 yılında Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla 714 Gg CO₂ ve 702 Gg CO₂ emisyonu ile her iki yöntemin sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla % 78,59 ve % 71,53’ lük bir oranla en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip akar yakıt ise Şekil 4’ te de görüldüğü gibi motorindir ve bu durum Tablo 2’ de de görüldüğü gibi il genelinde motorin kullanımının en yüksek düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır. Tier 2 yöntemi ile araç türlerinin salmış olduğu CO₂ emisyonlarını hesaplamak da mümkündür ve Şekil 5’ e baktığımızda karayolu taşıtları arasında en fazla CO₂ emisyonuna sahip aracın % 53,82’ lik oranla otomobil olduğu ve otomobilleri % 27,65’ lik bir oranla kamyonetlerin takip ettiği ve bu durumun Tablo 4’ te de görüldüğü gibi ildeki en fazla araç türünün otomobil, ardından da kamyonetler olmasından kaynaklandığı görülmektedir. Yine yapılan çalışma sonucunda otomobiller arasında da en fazla CO₂ salınımının dizel yakıtlı en az CO₂ salınımının ise benzinli otomobillerden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Yılların ortalamasına baktığımızda otomobiller arasında LPG’ li otomobil sayısının dizel otomobillerden daha fazla olmasına rağmen dizel otomobillerin saldığı CO₂ emisyonu yapılan çalışmalar sonucu daha yüksek çıkmıştır. Bu da LPG’ nin motorine göre daha düşük CO₂ emisyonu saldığını ifade etmektedir. Dizel yakıtlı otomobiller % 59,9 oranında CO₂ salınımına sebep olurken, LPG’ li otomobillerin % 28,2 oranında CO₂ salınımına sebep olduğu belirlenmiştir. Baycan ve Zengin (2021) İzmir ili için Tier 2 metodu ile otomobillerden kaynaklanan karbon ayak izini araştırdıkları çalışmalarında İzmir’ de en fazla LPG’ li otomobillerin en az sayıda da benzinli otomobillerin var olduğunu ve CO₂ emisyonunun LPG’ li ve dizel otomobiller için sırasıyla % 40 ve % 33

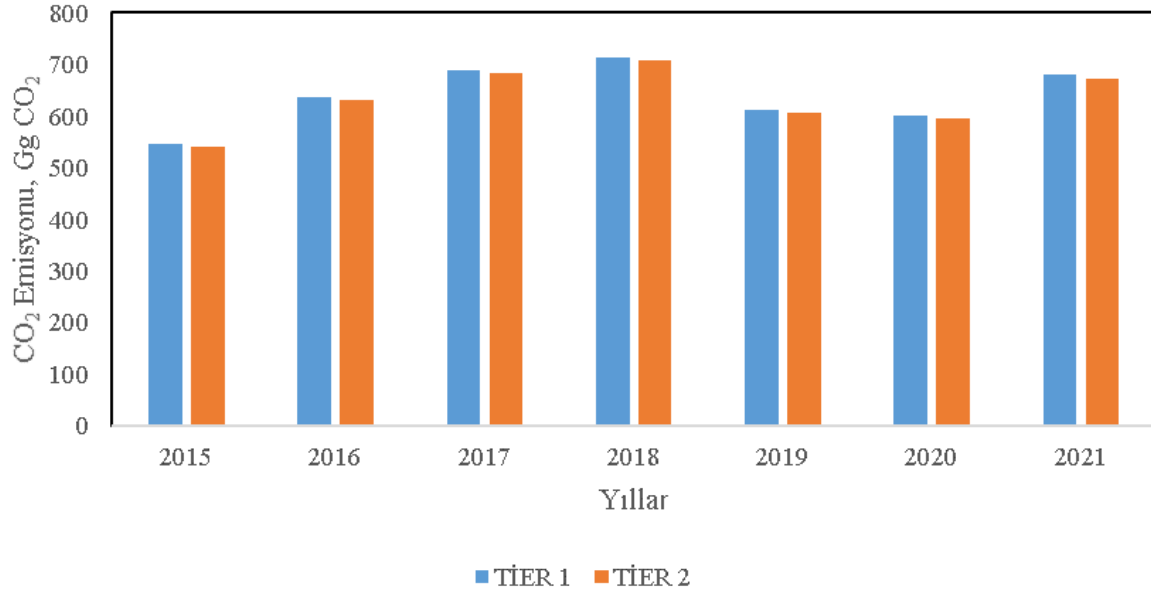
oranında olduğunu ifade etmişlerdir. İzmir ve Sivas arasındaki LPG' li ve dizel otomobiller için CO₂ emisyon farkının ise LPG' li ve dizel otomobil sayılarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 7. TIER 1 Yöntemine Göre CO₂ Emisyonları, Gg CO₂

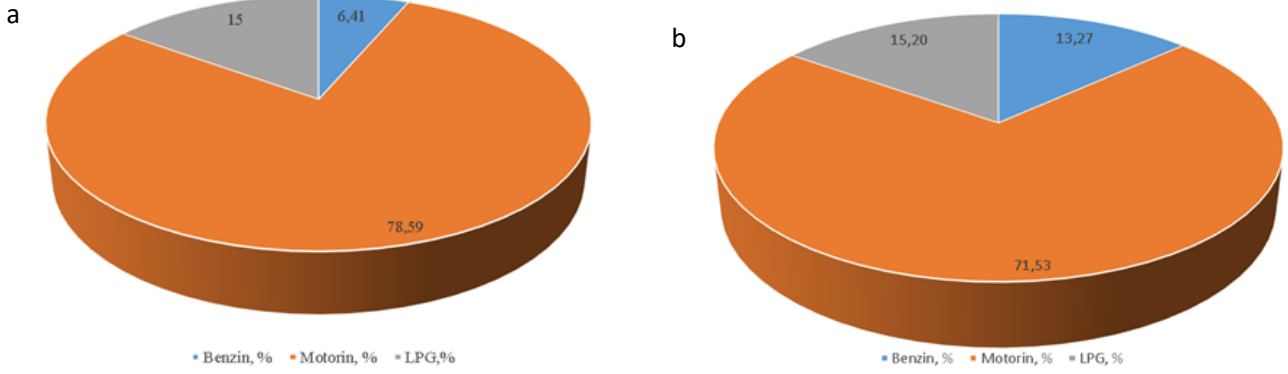
Yıllar	Benzin	Dizel	LPG	Toplam
2015	31,30	434,99	79,91	546
2016	38,66	495,75	101,12	636
2017	39,61	546,68	101,81	688
2018	39,38	571,68	102,59	714
2019	41,56	466,46	103,20	621
2020	40,42	461,86	99,86	602
2021	53,28	540,92	85,63	680

Tablo 8. TIER 2 Yöntemine göre CO₂ Emisyonları, Gg CO₂

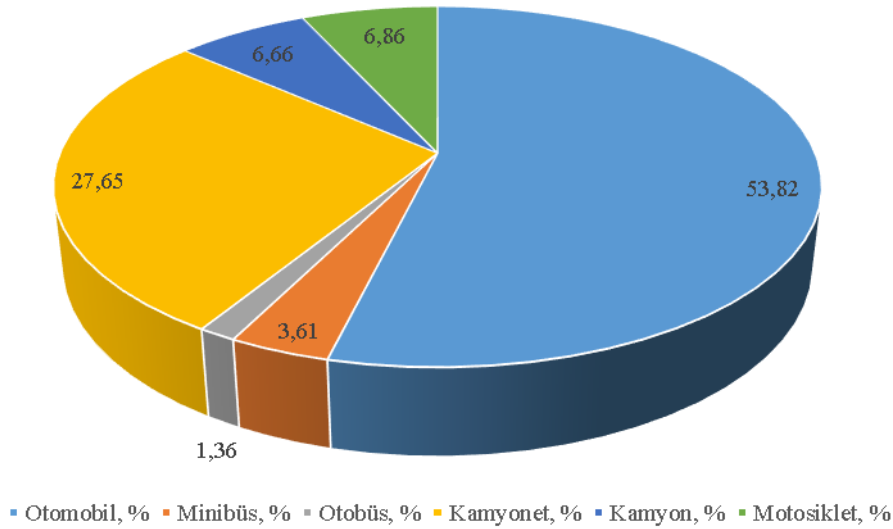
Yıllar	Otomobil			Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Toplam
	Benzin	Motorin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin	
2015	31,30	162,50	79,91	23,89	8,43	155,86	40,83	38,28	541
2016	38,66	193,42	101,12	25,23	8,73	176,77	44,41	41,55	630
2017	39,61	220,79	101,81	25,92	9,16	192,48	46,63	45,54	682
2018	39,38	235,03	102,59	25,75	10,36	198,33	47,27	48,38	707
2019	41,56	195,06	103,20	20,10	7,91	160,06	37,51	40,37	606
2020	40,42	195,41	99,86	18,74	7,32	157,31	36,43	41,09	597
2021	53,28	227,82	85,63	20,71	8,38	185,58	42,40	49,38	673



Şekil 3. Tier 1 ve Tier 2 Yöntemlerine Göre CO₂ Emisyonları



Şekil 4. Akaryakıt Türüne Göre CO₂ Emisyonları: (a) Tier 1, (b) Tier 2



Şekil 5. Araç Türlerine Göre CO₂ Emisyonu

Kılıç vd. (2021) tarafından Çanakkale ili için yapılan benzer bir çalışmada da Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerinin sonuçları birbirine oldukça yakın bulunmuş olsa da Tier 1 yönteminin sonuçları daha yüksektir ve 2018 yılında Tier 1 ve Tier 2 için CO₂ emisyonlarının sırasıyla 752,536 Gg CO₂ ve 736,89 Gg CO₂ olduğu ifade edilmiştir. Dündar ve Kolay (2021) Tier 1 metodunu kullanarak Konya ilinin karbon ayak izini hesapladıkları çalışmada benzer şekilde en yüksek CO₂ emisyonuna dizel yakıtlı araçlardaki artış nedeniyle motorinin sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Isparta ilinde dizel araçlardaki artış nedeniyle en çok emisyon yayan araçların dizel yakıtlı araçlar olduğu ve 2016 yılında 2010 yılına göre Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla % 34 ve % 43'lük bir emisyon artışı olduğu Bıyık ve Civelekoğlu (2020) tarafından ifade edilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ulaşım sektörünün en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan sektörler arasında olduğu ve ulaşım sektörünün içinde de yine kara ulaşımının en fazla CO₂ emisyonuna katkısının olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmada Sivas' ta 2021 yılında 2015 yılına göre kara yolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonunda % 20' lik bir artış olduğu belirlenmiştir. En yüksek CO₂ emisyonu 2018 yılında, en düşük CO₂ emisyonu ise 2015 yılında görülmüştür. Araçlarda kullanılan akaryakıtlar arasında ise en yüksek CO₂ emisyonuna en fazla tüketilen yakıt olan motorinin sahip olduğu ve motorinin Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla % 78,59 ve % 71,53' lük paya sahip olduğu belirlenmiştir. Motorlu kara taşıtları arasında ise en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan % 53,82' lik oranla otomobildir. Yine otomobiller arasında da dizel yakıtlı otomobillerin en fazla CO₂ emisyonuna neden olduğu bilinmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda Sivas ilinde de kara ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonu ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik bazı çözüm önerilerinde bulunmak mümkündür. Bunlar;

- Yakıt verimliliği yüksek, motor teknolojileri gelişmiş, emisyon salımmı düşük araçlar tercih edilmelidir.
- Daha temiz teknolojiler ve çevre dostu araçlar tercih edilmelidir. Yapılan çalışma sonucunda LPG' li otomobil sayısının dizel yakıtlı otomobil sayısından fazla olmasına rağmen LPG' li otomobillerin CO₂ emisyonlarının daha düşük olması LPG' nin motorine göre daha temiz, çevre dostu ve tercih edilebilir bir akaryakıt olduğunu göstermektedir.
- Bir ağacın yılda fotosentez sırasında 12 kg CO₂ tuttuğu bilgisine dayanılarak şehirlerde ağaçlandırma çalışmaları vakit kaybetmeden hızlandırılmalıdır.
- İnsanlar özel araç yerine toplu taşımaya, hatta mümkün olduğu durumlarda yaya ulaşımına teşvik edilmelidir.
- Mümkün olduğu durumlarda deniz yolu ve demir yolu gibi kara ulaşımına alternatif ulaşım türleri desteklenmelidir.
- İnsanlar eğitimlerle bilinçlendirilmeli ve araç bakımları aksatılmadan düzenli bir şekilde yapılmalıdır.
- Yeterli bisiklet yolları temin edilerek bisiklet ve elektrikli scooter gibi motorsuz araç kullanımları yaygınlaştırılmalıdır.
- Hibrit teknolojisine sahip araçların kullanımı teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ajufo, C. A. M. & Bekaroo, G. (2021, December). An automated personal carbon footprint calculator for estimating carbon emissions from transportation use, In Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and its Applications (pp. 1-7). <https://doi.org/10.1145/3487923.3487935>
- Alam, M. S., Duffy, P., Hyde, B. & McNabola, A. (2017). Improvement in the estimation and back-extrapolation of CO₂ emissions from the Irish road transport sector using a bottom-up data modelling approach, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 18-32. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.011>
- Baycan, N. & Zengin, T. O. (2021). Determination of Carbon Footprint of Automobile Origin in Izmir City, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 642(1) 012015. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/642/1/012015>
- Bayrakçeken, H. & Kuş, RÖ (2004). Taşıtlarda kullanılan alternatif yakıtlar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 125-144.
- Bıyık, Y. (2018). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 89s.
- Bıyık, Y. & Civelekoğlu, G. (2020). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 78-87. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.427359>.
- Binboğa, G. & Ünal, A. (2018). Sürdürülebilirlik ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi' nin karbon ayak izinin hesaplanmasına yönelik bir araştırma, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (21), 187-202. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.323532>.
- Bulut, A.P. & Canbaz, G.T. Sivas İlinde Buğday, Arpa, Şeker Pancarı ve Ayçiçeği Üretimi İçin Su Ayak İzinin Hesaplanması, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 249-255. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1010315>
- Chang, C. C. & Huang, P. C. (2022). Carbon footprint of different fuels used in public transportation in Taiwan: a life cycle assessment, *Environment, Development and Sustainability*, 24(4), 5811-5825. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01685-6>
- Chang, C. C., Liao, Y. T. & Chang, Y. W. (2019). Life cycle assessment of carbon footprint in public transportation- a case study of bus route no. 2 in Tainan city, Taiwan, *Procedia Manufacturing*, 30, 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.054>
- Coşkun, S., ve Doğan, N. (2021). Tekstil endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 28-35. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.670336>

Çelik, H.A. (2020). Konya ilinde ulaşımdan kaynaklı karbon ayak izi ve fayda maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya 146s.

Çipil, F. (2014). Performance analysis of Turkey's transport sector greenhouse gas emissions, *Energy & environment*, 25(2), 357-367. <https://doi.org/10.1260/0958-305X.25.2.357>

Demirtürk, D. (2021). Sürdürülebilir ulaşımda sera gazı etkisini azaltmaya yönelik çalışmalar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1080-1092. <https://doi.org/10.21923/jesd.932385>

Dündar, A. O. (2021). Türkiye'deki büyükşehirlerin karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarının karşılaştırmalı analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 318-337. <https://doi.org/10.21324/dacd.862836>

Dündar, A. O. & Kolay, A. (2021). Karayolu yük ve yolcu taşımacılığının çevresel sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmesi ve Konya ili sera gazı emisyonunun hesaplanması, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 317-334. <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.786463>

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2022a). Petrol piyasası sektör raporu 2021. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2022b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası 2021 yılı sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 10.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2021a). Petrol piyasası sektör raporu 2020. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2021b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası 2020 yılı sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2020a). Petrol piyasası sektör raporu (2019). Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2020b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu 2019. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2019a). Petrol piyasası sektör raporu 2018. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2019b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası 2018 yılı sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2018a). Petrol piyasası sektör raporu (2017). Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2018b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu 2017. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2017a). Petrol piyasası sektör raporu (2016). Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2017b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu 2017. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2016a). 2015 Petrol piyasası sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2016b). 2015 Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Gökçek, B., Bozdağ, A. & Demirbağ, H. (2019). Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi örneğinde karbon ayak izinin belirlenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 721-730. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.514438>.

Güzel, T. D. & Alp, K. (2020). Modeling of greenhouse gas emissions from the transportation sector in Istanbul by 2050, *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2190-2201. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.034>

IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II, Energy, Mobile Combustion; pages: 8-73

Karakus, C. B., Cerit, O. & Kavak, K. S. (2015). Determination of land use/cover changes and land use potentials of Sivas city and its surroundings using Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS), *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.040>

Kılıç, M. Y., Dönmez, T. & Adalı, S. (2021). Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi izi: Çanakkale örneği, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 943-955. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.848016>

Kumaş, K., İnan, O., Akyüz, A. Ö. & Güngör, A. (2019). Muğla Dalaman Havalimanı uçaklardan kaynaklanan karbon ayak izinin belirlenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291-297. <https://doi.org/10.21541/apjes.466338>

Liu, Y. & Cirillo, C. (2016). Evaluating policies to reduce greenhouse gas emissions from private transportation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44, 219-233. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.018>

Mutlu, V., Özgür, C., Bekaroğlu & Ş. Ş. K. (2018). Kauçuk endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 139-146. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.434223>

Onat, N. C. (2018). Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izi analizi, *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 529-547. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.311289>

Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation, *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 135-160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>

Postorino, M. N. & Mantecchini, L. (2014). A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon emissions. *Journal of Air Transport Management*, 37, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.03.001>

Selcuk, B. C. & Irmak, M. A. (2022). A study on the adequacy and requirement of urban active green areas in Sivas, *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(02), 2209-2220.

Turan, R. B. & Karaer, F. (2019). Bursa Osmangazi belediyesi kurumsal karbon ayak izi hesabı ve iklim değişikliği uyum çalışmaları. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 4(1), 17-24.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). Motorlu kara taşıtları istatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeIstatistik/degiskenlerUzerindenSorgula.do>. 01.08.2022.

Yaacob, N. F. F., Mat Yazid, M. R., Abdul Maulud, K. N. & Ahmad Basri, N. E. (2020). A review of the measurement method, analysis and implementation policy of carbon dioxide emission from transportation, *Sustainability*, 12(14), 5873. <https://doi.org/10.3390/su12145873>.

Zhao, L., Feng, J. & Dong, H. (2022). Analysis of carbon footprint and reduction approach of magnesia production in China, *Journal of Cleaner Production*, 334, 130194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130194>.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 21.10.2022
Kabul Tarihi : 24.01.2023

Received Date : 21.10.2022
Accepted Date : 24.01.2023

ALBEDO, YER YÜZEY SICAKLIĞI VE NDVI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN LANDSAT-7 VE LANDSAT-8 UYDU VERİLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ: SAFRANBOLU ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ALBEDO, LAND SURFACE TEMPERATURE AND NDVI USING LANDSAT-7 AND LANDSAT-8 SATELLITE DATA: A CASE STUDY SAFRANBOLU

Emre YÜCER^{1*} (ORCID:0000-0003-0417-9338)

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Emre YÜCER, emreyucer@karabuk.edu.tr

ÖZET

Gelişen uzaktan algılama teknolojileri, kentsel alanlarda meydana gelen yüzey parametrelerindeki değişimlerin izlenmesinde etkin şekilde kullanılmaktadır. Yerel ve küresel ölçekte yüzeylerin spektral ve termal özelliklerinden yararlanarak kentsel ısı adaları hakkında bilgiler elde edilmektedir. Çalışmamızda Dünya Kültür Mirası listesinde bulunan Karabük ilinin Safranbolu ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Albedo, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) değişkenlerinin hesaplanması için 12/08/1999 tarihli Landsat-7 ve 11/08/2019 tarihli Landsat-8 uydu verileri kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için korelasyon ve saçılım analizleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda; YYS ve albedo arasında pozitif, YYS ve NDVI arasında negatif, albedo ve NDVI arasında negatif yönlü ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişkiler hem korelasyon analizinde hem de saçılım grafiklerinde benzer şekilde çıkmıştır. YYS, albedo ve NDVI arasındaki ilişkiyi etkileyen başlıca etmenler; yüzeydeki malzemenin türü, yüzeydeki nem miktarı, bitki örtüsü ve yoğunluğu şeklinde sıralanabilir.

Anahtar Kelimeler: Albedo, Landsat, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, Safranbolu, yer yüzey sıcaklığı

ABSTRACT

Developing remote sensing technologies are effectively used in monitoring the changes in surface parameters in urban areas. Information about urban heat islands is obtained by utilizing the spectral and thermal properties of surfaces at local and global scale. In our study, Safranbolu district of Karabük province, which is on the World Cultural Heritage list, has been chosen as the application area. Landsat-7 satellite image data from 12/08/1999, and Landsat-8 satellite image data from 11/08/2019, were used to calculate the Albedo, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) variables. In the results, it was determined that there were positive relations between LST and albedo, negative relations between LST and NDVI, and negative relations between albedo and NDVI. These relationships were found similarly in both correlation analysis and scatter plots. The main factors affecting the relationship between LST, albedo and NDVI can be listed as the type of material on the surface, the amount of moisture on the surface, vegetation and its density.

Keywords: Albedo, Landsat, normalised difference vegetation index, Safranbolu, land surface temperature

ToCite: YÜCER, E., (2023). ALBEDO, YER YÜZEY SICAKLIĞI VE NDVI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN LANDSAT-7 VE LANDSAT-8 UYDU VERİLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ: SAFRANBOLU ÖRNEĞİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 177-190.

GİRİŞ

Kentsel ısı adaları ve kent merkezlerinde meydana gelen ısı artışları kentleşmenin ve buna bağlı hızlı nüfus artışının neden olduğu önemli bir olgudur. Kentleşme süreciyle birlikte kentsel ve kırsal alanlar arasında önemli sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Bu sıcaklık farklılıkları sadece büyük şehirlerde değil daha küçük şehirlerde de kendini göstermektedir (Rajasekar ve Weng, 2009; Stathopoulou vd., 2009). Kentsel ısı adalarının artması özellikle yaz aylarında enerji tüketimini maksimum seviyeye çıkarmaktadır. Bu ısı etkisini en aza indirmek için kentlerin akıllı tasarlanmasına ihtiyaç vardır. Bu kapsamda yapılacak en etkili strateji, kentsel alanlardaki yüzey yansıtım değerlerinin artırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda planlanan kentsel alanlar uzun vadede enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır (Anniballe vd., 2014; Yuan ve Bauer, 2007; Bretz vd., 1998).

Yerleşim alanları düşük ve yüksek yansıtıcılık arasında değer alan yüzeylerden oluşmaktadır. Bu yüzeyler, üzerinde sıcak ve soğuk tepe noktalarına sahip değişken termal bir model ortaya çıkarmaktadır. Güneşi yansıtan yüzeyler açık renkli olup, koyu renkli yüzeyler güneş ışığını daha fazla soğurur. Binalar ve çatı yüzeyleri düşünüldüğünde daha az soğurulan güneş ışınları daha düşük sıcaklık demektir. Buda binalarda soğutma talebinin ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayacaktır (Saco vd., 2018; Wang ve Akbari, 2016).

Albedo bir yüzeyin soğurma ve yansıtım davranışlarını nicel olarak tanımlayan bir parametredir. Temel tanımıyla albedo, yer yüzeyinden yansıyan enerjinin gelen enerjiye oranına olarak adlandırılır. Albedo birimsiz bir ölçü değerine sahip olup 0 ve 1 arasında değerler almaktadır. Albedo değeri yüzeyin karakterine göre (toprak, beton, asfalt, metal vb.) değişebilmektedir. Akbari vd. (2009) mevcut çatıların ortalama albedo değerlerinin 0.25'i geçmediği, ancak yenilemeler ile yaklaşık olarak 0,55 ile 0,60'a kadar yükseltilebileceğinden bahsetmektedir. Özellikle konut ve sanayi tesislerinin çatılarında yansıtma katsayısı yüksek olan malzemelerle kaplanması ya da boyanmasıyla albedo değerleri artırılabilir (Bonafoni vd., 2017).

YYS (Yer Yüzey Sıcaklığı) tek başına bir değer olmanın yanında yeryüzü üzerinde farklı türdeki değişimlere de etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar YYS değerini; arazi kullanımı, küresel ısınma, bitki örtüsü yoğunluğu gibi çalışmalarda kullanmışlardır (Yıldız vd. 2017; Ndossi ve Avdan 2016; Li vd. 2013).

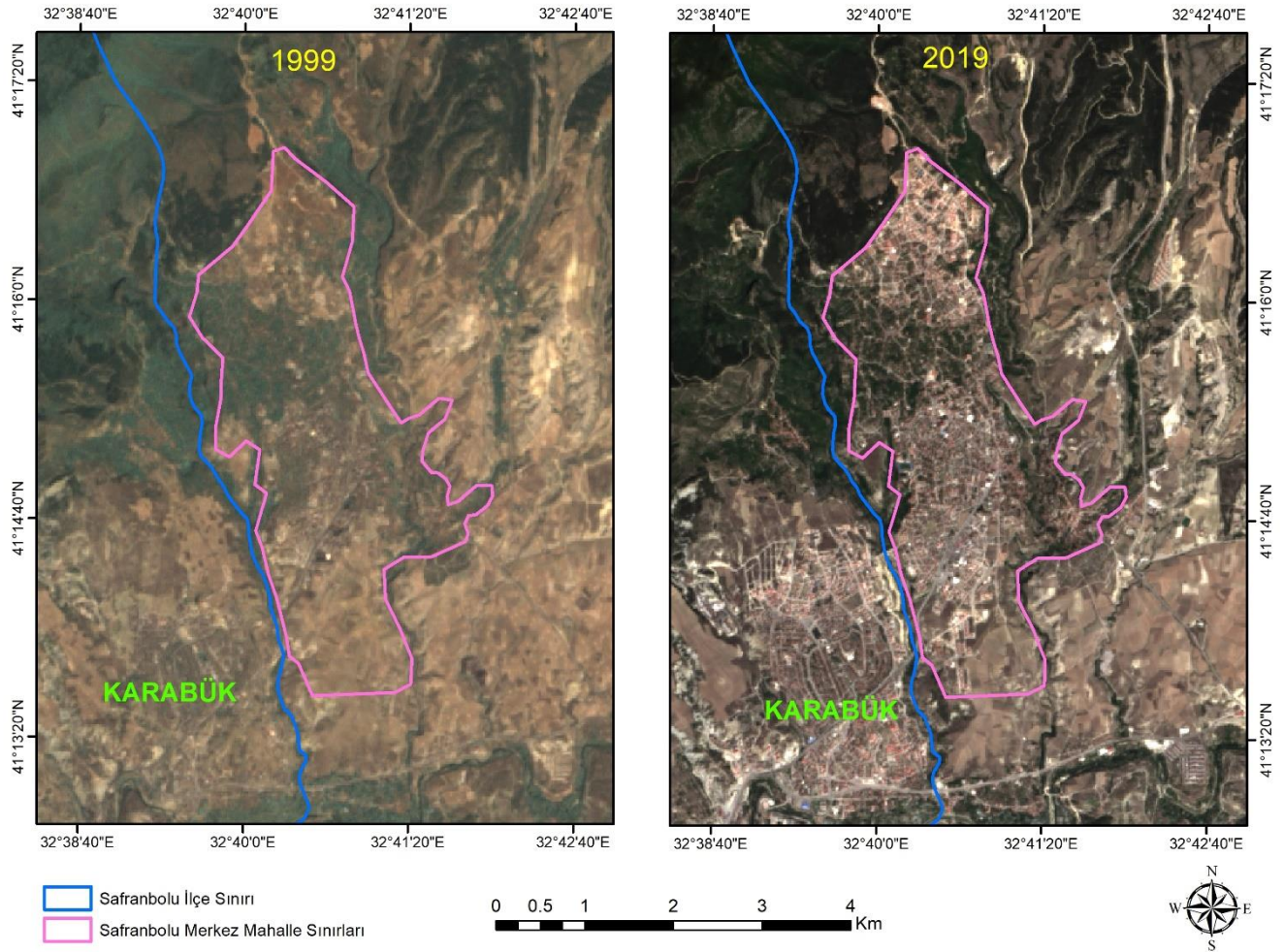
Kentsel alanlardaki albedo ve YYS değerlerinin belirlenmesi ve takip edilmesinde uzaktan algılama görüntüleri çok kullanışlıdır. Literatürde uydu görüntüleri ve uzaktan algılama teknolojileri yardımıyla yapılmış pek çok YYS çalışması bulunmaktadır. Chen vd. (2006) arazi değişimi ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, arazi örtüsünde meydana gelen değişimleri YYS ile ilişkilendirip bunu açıklamaya çalışmışlardır. Prata vd. (2009) ve Li vd. (2013) uydu görüntülerindeki termal bantlardan YYS elde edilmesinde farklı algoritmaların karşılaştırıldığı çalışmalar yapmışlardır. Avdan ve Javanovska (2016) YYS belirlemek için geliştirdikleri modülde Landsat-8 uydu verilerini kullanmışlardır. Kullandıkları yöntemde YYS değerlerini meteorolojik verilerle karşılaştırmışlardır. Ndossi ve Avdan (2016) Landsat-8 uydu verilerinden YYS elde edilmesinde açık kaynak kodlu QGIS yazılımını kullanmışlardır. Bu yazılıma Python üzerinden eklenti yaparak sonuçları haritalandırmışlardır. Balçık ve Ergene (2017) Landsat-8 uydu görüntülerinden YYS hesaplanmasında split-window algoritmasını kullanmışlardır. Elde ettiği sonuçlarda, YYS ile yapay alanlar arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak irdelemişlerdir. Jeevalakshmi vd. (2017) yaptıkları çalışmada uydu verilerinde YYS elde edilmesinde doğruluk değerinin artırılması için NDVI ve arazi sınıflandırma verilerinden yararlanmışlardır. Erener ve Sarp (2018) Kocaeli ilindeki sanayi alanlarındaki mekânsal değişimi zamansal olarak incelemiş ve bu değişimin YYS arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

YYS ile ilgili yapılan farklı çalışmalarda kentsel alanlarda meydana gelen ısı artışlarının yavaşlatılması için öneriler getirilmiştir. Önerilen çözümler içinde en fazla öne çıkanlar; kentsel alanlardaki yüzey yansıtıcılığının artırılması (Wang ve Akbari, 2016; Dimoudi vd., 2014; Akbari vd., 2012; Suehrcke vd., 2008) ve kentsel alanlardaki bitki örtüsü (yeşil çatı, yeşil alanlar, sokak ağaçları) yoğunluğunun artırılması (Wang ve Akbari, 2016; Dimoudi vd., 2014; Givoni, 1991) yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda Albedo ve YYS değerlerinin dağılımında bitki örtüsü yoğunluğunun etkili olduğu fikri ortak görüş olarak öne çıkmaktadır.

Literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiğinde tek başına YYS tespiti üzerine çalışmalar olmakla birlikte, çalışmaların büyük kısmında arazi kullanımı, meteorolojik değişkenler, bitki örtüsü değişim gibi farklı bileşenlerle arasındaki ilişki incelenmiştir. Buradan hareketle çalışmamızın temel amacı: Landsat-7 ETM+ ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri kullanarak kentsel alanlardaki albedo, YYS ve NDVI değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu değerlerin hesaplanmasında farklı tarihli uydu verilerini kullanarak zamansal değişimde ortaya çıkarılacaktır. Son olarak

Landsat-7 ETM+			Landsat-8 OLI		
	Mekânsal Çözünürlük	Spektral Çözünürlük(µm)	Spektral Çözünürlük(µm)	Mekânsal Çözünürlük	
			0.435 – 0.451	30 m	Band 1-Kıyı/Aerosol
Band 1-Mavi	30 m	0.441 - 0.514	0.452 - 0.512	30 m	Band 2-Mavi
Band 2-Yeşil	30 m	0.519 - 0.601	0.533 - 0.690	30 m	Band 3-Yeşil
Band 3-Kırmızı	30 m	0.631 – 0.692	0.636 – 0.673	30 m	Band 4-Kırmızı
Band 4-Yakın Kızılötesi (NIR)	30 m	0.772 – 0.898	0.851 – 0.879	30 m	Band 5- Yakın Kızılötesi (NIR)
Band 5-Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-1)	30 m	1.547 – 1.749	1.566 – 1.651	30 m	Band 6- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-1)
Band 6-Termal Kızılötesi (TIR)	60 m	10.31 – 12.36	10.60 – 11.19	100 m	Band 10-TIR-1
			11.50 – 12.51	100 m	Band 11-TIR-2
Band 7-Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-2)	30 m	2.064 – 2.345	2.107 – 2.294	30 m	Band 7- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-2)
Band 8-Pankromik	15 m	0.515 – 0.896	0.503 – 0.676	15 m	Band 8-Pankromik
			1.363 – 1.384	30 m	Band-9- Cirrus

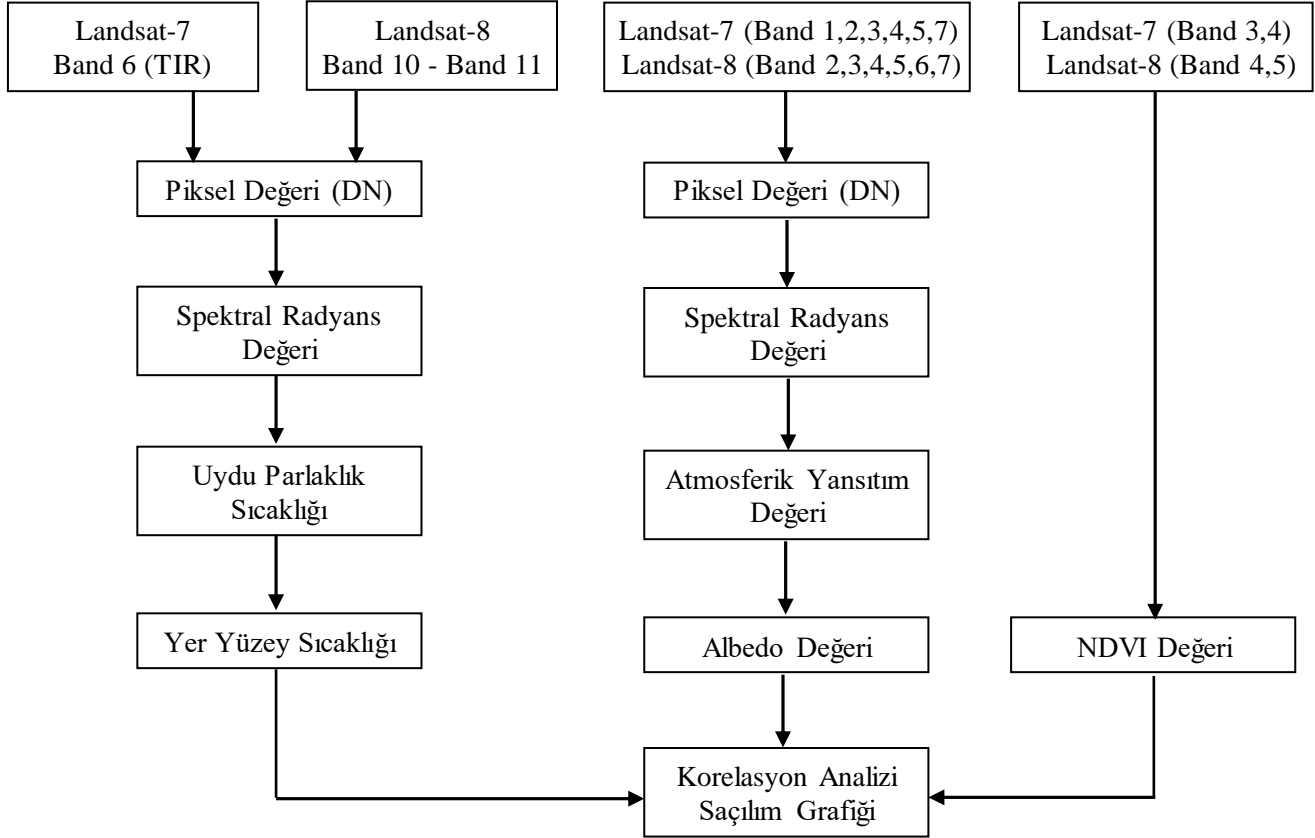
Şekil 2. Landsat-7 ve Landsat-8 Uydularındaki Bandların Teknik Özellikleri (Landsat, 2022)



Şekil 3. Çalışma Alanına ait 1999 Tarihli Landsat-7 ve 2019 Tarihli Landsat-8 Uydu Verilerinin Doğal Renk Kombinasyonu

METODOLOJİ

Çalışmanın ilk aşamasında 1999 ve 2019 yıllarına ait uydu verileri kullanılarak YYS, Albedo ve NDVI değerleri hesaplanacaktır. İkinci aşamada çalışma alanına ait elde edilen bu özelliklerin hem istatistiksel hem de görsel karşılaştırılması yapılarak aralarındaki ilişki açıklanmaya çalışılacaktır (Şekil 4). Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS) web sitesinden indirilen veriler kullanıma hazır verilerdir. Bu nedenle verilere geometrik ve radyometrik bir düzeltme işlemi uygulanmamıştır. YYS, Albedo ve NDVI değerlerinin hesaplanmasında ArcGIS yazılımından yararlanılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması ve değerler arasındaki istatistiki ilişkinin ortaya çıkarılmasında SPSS programı kullanılmıştır.



Şekil 4. Albedo, YYS ve NDVI Değerlerinin Belirlenmesinin İş Akış Şeması

Yer Yüzey Sıcaklığının Hesaplanması (YYS)

Uydu teknolojilerindeki teknik gelişmeler, uydu görüntülerindeki termal bantların kullanılarak yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasına imkân sağlamaktadır. Kullanılan uydu görüntülerindeki ısı bölgede algıma yapan bantların özelliklerine ve sayılarına bağlı olarak mono-window, single channel, split window gibi algoritma geliştirilmiştir. Çalışmamızdaki YYS hesaplanmasında, Artis ve Carnahan, (1982) çalışmalarında kullandıkları, daha sonradan yeniden uyarlanan ve pek çok araştırmacı tarafından kullanılan algoritmalarından yararlanılmıştır.

YYS'nin hesaplanma sürecindeki ilk aşama görüntüyü oluşturan piksel değerlerinin (DN) radyans değerine dönüştürülmesidir. Bu aşamada Landsat-7 (Eşitlik 1) ve Landsat-8 (Eşitlik 2) görüntülerin için iki farklı eşitlik kullanılmıştır (Polat, 2020; Roy vd., 2020; Anandababu vd., 2018; Gupta, 2003).

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIX_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \cdot (QCAL - QCALMIN) + LMIX_{\lambda} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de: L_{λ} = TOA Spektral radyans değeri, $QCAL$ = Pikselin kalibre edilmiş DN değeri, $LMIN_{\lambda}$ = En düşük spektral parlaklık, $LMAX_{\lambda}$ = En yüksek spektral parlaklık, $QCALMIN$ = Pikselin kalibre edilmiş en düşük DN değeri $QCALMAX$ = Pikselin kalibre edilmiş en yüksek DN değeridir.

$$L_{\lambda} = ML \cdot Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Eşitlik 2’de: L_λ = TOA Spektral radyans değeri, M_L = Bandlar için radyans çarpımsal ölçeklendirme faktörü, A_L = Bandlar için radyans ilave ölçeklendirme faktörü, Q_{cal} = Kalibre edilmiş Level 1 piksel değeridir (Akyürek, 2020; Roy vd., 2020; Şener, 2016; Yılmaz, 2015; Barsi vd., 2014).

Termal uydu verilerindeki DN değerleri radyans değerine dönüştürüldükten sonra Eşitlik 3 kullanılarak uydu parlaklık sıcaklığına dönüştürülür.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (3)$$

Eşitlik 3’te: T_B = Uydu parlaklık sıcaklığı (K), L_λ = TOA spektral radyans (Watts/(m² * srad * µm)), K_1 = Band 10 ve Band 11 için termal dönüşüm sabiti, K_2 = Band 10 ve Band 11 için termal dönüşüm sabitidir (Akyürek, 2020; Polat, 2020; Roy vd., 2020; Avdan ve Jovanovska, 2016; Şener, 2016).

Eşitlik 3’ten elde edilen uydu parlaklık sıcaklığı Kelvin cinsindedir. Santigrada çevirmek için 273.15 çıkarılması gerekir. Elde edilen uydu parlaklık sıcaklığı Eşitlik 4 kullanılarak YYS’ne dönüştürülür.

$$T = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \cdot \frac{T_B}{\alpha}\right) \cdot \ln \varepsilon} \quad (4)$$

Eşitlik 4’te: T_B = Yer Yüzey Sıcaklığı, λ = Yayılan ışığın dalga boyu, $\alpha = h \cdot c / s = 14388 \mu\text{m K}$, h = Planck’s sabiti s = Boltzman sabiti, c = Işık hızı, ε = Yüzey yayınlığıdır (Polat, 2020; Zhang vd., 2006).

Eşitlik 7’deki ε değeri yüzey yayınlığını ifade etmektedir. Yüzey yayınlığı görüntüden elde edilen NDVI değerleri kullanılarak Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 yardımıyla iki aşamada hesaplanmaktadır. NDVI değerinin hesaplanmasında kırmızı ve yakın kızıl ötesi bandlardan yararlanılır. Bu bandlar Landsat-7 uydusunda Band-3 (Kırmızı) ve Band-4 (Yakın Kızıl Ötesi) ile temsil edilirken, Landsat-8 uydusunda Band-4 (Kırmızı) ve Band-5 (Yakın Kızıl Ötesi) ile temsil edilmektedir (Eşitlik 5). NDVI görüntüleri üzerinden maksimum ($NDVI_{MAX}$) ve minimum ($NDVI_{MIN}$) değerleri kullanılarak Eşitlik 6 yardımıyla Bitki Örtüsü Oranı P_v hesaplanır. P_v değeri kullanılarak Eşitlik 7 yardımıyla yüzey yayınlığı elde edilir (Akyürek, 2020; Polat, 2020; Giannini vd., 2015; Sobrino vd., 2004)

$$NDVI = \frac{[Yakın Kızıl Ötesi - Kırmızı]}{[Yakın Kızıl Ötesi + Kırmızı]} \quad (5)$$

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right]^2 \quad (6)$$

$$\varepsilon = 0,004 \cdot P_v + 0,986 \quad (7)$$

Albedo Değerinin Hesaplanması

Albedo yüzeylerin yansıtma gücü olarak tanımlanmasının yanında, temel tanımıyla, yer yüzeyinden yansıyan enerjinin gelene enerjiye oranına albedo denilmektedir. Albedo birimsiz bir ölçü değerine sahip olup 0 ve 1 arasında değerler almaktadır. Albedo değeri yüzeyin karakterine göre değişebilmektedir (Tablo 1) (Ahrens ve Henson, 2015; Oke, 2002).

Albedo değerinin hesaplanmasında araştırmacılar tarafından farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Uygulamamızda Shuai vd. (2014) ve Wang vd. (2016) çalışmalarında kullanılan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde mavi, yeşil, kırmızı, NIR, SWIR-1 ve SWIR-2 bandları kullanılmıştır. Albedo değerinin hesaplanabilmesi için ilk yapılması gereken ilgili sensörlerin atmosferik yansıtım değerinin bulunmasıdır. Sensörlerin yansıtım değeri Landsat-7 ve Landsat-8 uydu verilerinde iki adımda hesaplanabilmektedir. Eşitlik 8, Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 yazılı olan dönüşüm formülleri Landsat-7 ve Landsat-8 Kullanıcı El Kitabı’ndan alınmıştır.

Tablo 1. Yüzey Türlerine Göre Albedo Değerleri

Yüzey Türü	Albedo Değeri
Su	0,10-0,60
Kar (temiz)	0,80-0,95
Tuğla-Taş	0,20-0,40
Ekili Alan	0,10-0,25
Çayır	0,25-0,30
Karışık Orman	0,10-0,20
Şehir	0,15
Asfalt	0,05-0,10
Parlak Çatı	0,35-0,50
Koyu Çatı	008,018

Landsat-7 uydu verilerindeki yansıtım değerini hesaplayabilmek için öncelikle Eşitlik 1'e göre uydu bandlarındaki radyans (L_λ) değerinin hesaplanması gerekmektedir. Radyans değeri hesaplandıktan sonra Eşitlik 8 kullanılarak sensördeki yansıtım değeri belirlenir.

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de: ρ_p = Atmosferik yansıtım değeri, $\pi = 3.14159$, L_λ = Spektral radyans değeri, d = Dünya-Güneş mesafesi $ESUN_\lambda$ = Ortalama güneş ekzo-atmosferik ışınımları, θ_s = Derece cinsinden güneş zenit açısıdır.

Landsat-8 uydu verilerinde ilk adımda düzeltme getirilmemiş yansıtım değeri bulunur (Eşitlik 9). Elde edilen bu değer yerel güneş yükseklik açısı (θ_{SE}) ya da yerel güneş zenit açısı (θ_{SZ}) kullanılarak düzeltilir (Eşitlik 10).

$$\rho'_\lambda = M_p \cdot Q_{cal} + A_p \quad (9)$$

Eşitlik 9'de: ρ'_λ = Spektral yansıtım değeri (Güneş açısı değeri olmaksızın), M_p = Bandlar için yansıtma çarpımsal ölçeklendirme faktörü, A_p = Bandlar için yansıtma ilaveli ölçeklendirme faktörü, Q_{cal} = Kalibre edilmiş Level 1 piksel değeri (DN)

$$\rho_\lambda = \frac{\rho'_\lambda}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho'_\lambda}{\sin(\theta_{SE})} \quad (10)$$

Mavi, yeşil, kırmızı, NIR, SWIR-1 ve SWIR-2 bandlarının yansıtım değerleri hesaplandıktan sonra Eşitlik 11'e göre albedo değerleri hesaplanır (Wang vd. 2016; Shuai vd. 2014).

$$SA = b_{Mavi} \cdot \rho_{Mavi} + b_{Yeşil} \cdot \rho_{Yeşil} + b_{Kırmızı} \cdot \rho_{Kırmızı} + b_{NIR} \cdot \rho_{NIR} + b_{SWIR1} \cdot \rho_{SWIR1} + b_{SWIR2} \cdot \rho_{SWIR2} + b_0 \quad (11)$$

Eşitlik 11'deki ρ bandlara ait yansıtım değerini, b ilgili bandlara ait dönüşüm katsayısını temsil etmektedir. b değerleri Tablo 2'de Landsat-7 ve Landsat-8 verileri için ayrı ayrı verilmiştir (Mariano vd., 2018; Zhao vd., 2018; Cunha vd., 2019).

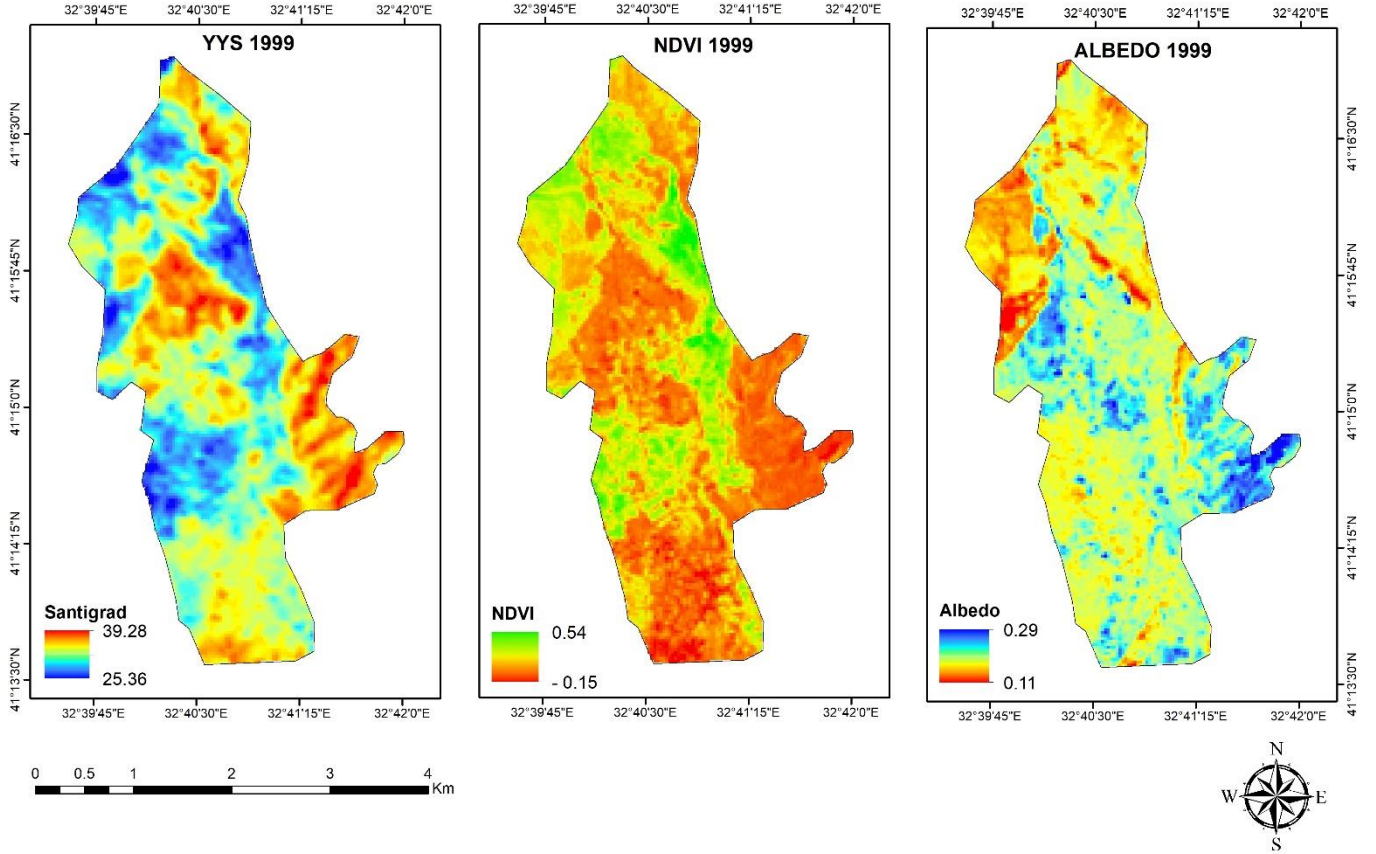
Tablo 2. Farklı Landsat Verileri için Albedo Hesaplamada Kullanılan Band Dönüştürme Katsayıları

	b_{Mavi}	$b_{Yeşil}$	$b_{Kırmızı}$	b_{NIR}	b_{SWIR1}	b_{SWIR2}	b_0
Landsat-7	0,3141	0	0,1607	0,3694	0,1160	0,0456	- 0,0057
Landsat-8	0,2453	0,0508	0,1804	0,3081	0,1332	0,0521	0,0011

BULGULAR

Yüzeyle yönelik birincil geri bildirim albedonun değişmesidir. Kuru bitki örtüsü ve çıplak toprak, genellikle biyolojik olarak aktif bitki örtüsünden daha yüksek albedoya sahiptir (Otterman, 1974). Bunun yanında bitki örtüsü yoğunluğunu ortaya çıkaran NDVI indeksi yüzey hakkında bilgi veren diğer bir bilgi kaynağıdır. Albedo değeri ve NDVI değerlerindeki farklılıklar yüzeydeki sıcaklık değerlerinde değişmeye neden olmaktadır. Yüzey sıcaklığında meydana gelen bu değişim Albedo, NDVI ve YYS arasında bir ilişkinin olabileceğini göstermektedir.

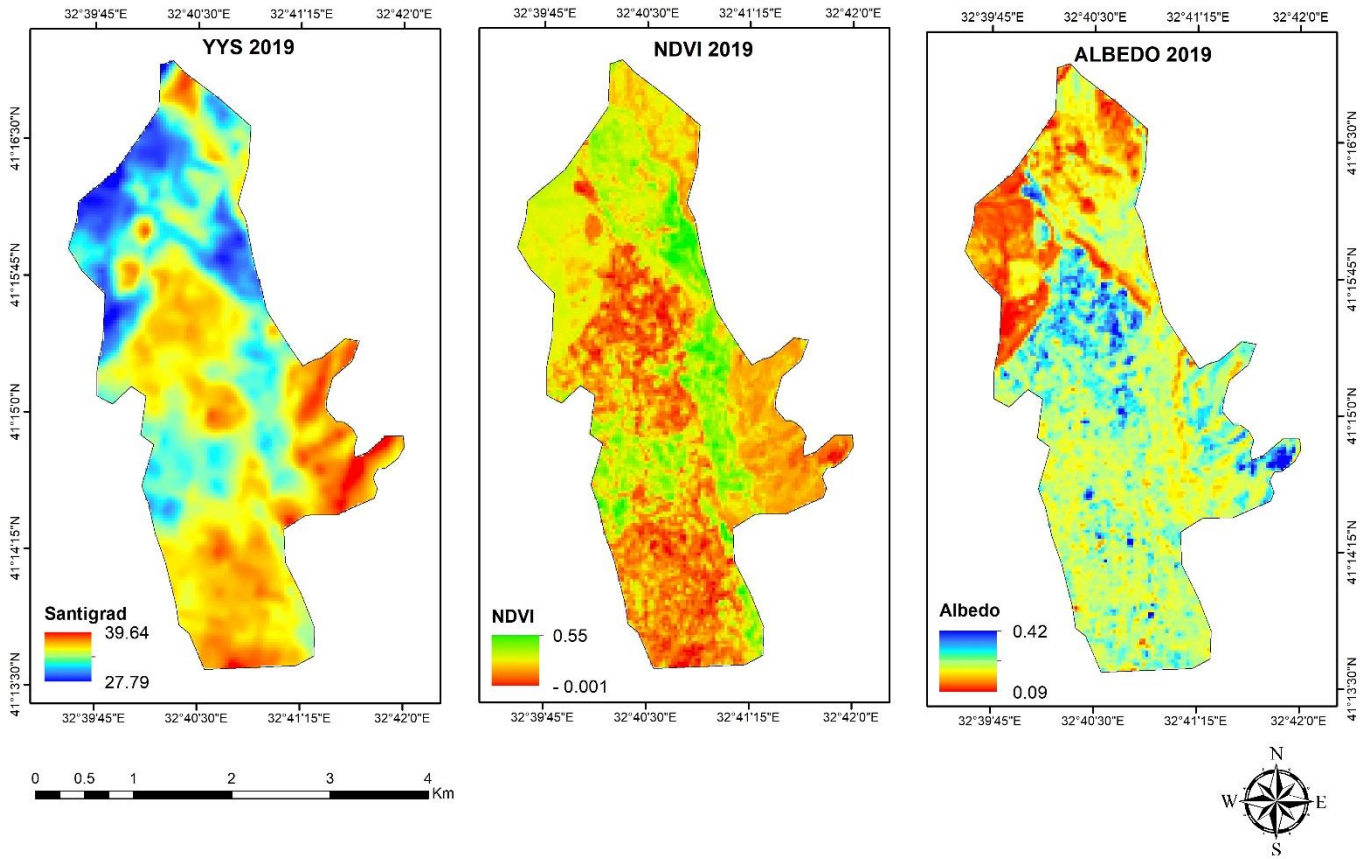
Çalışmanın ilk aşamasında 1999 ve 2019 yıllarına ait Albedo, NDVI ve YYS değerleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Landsat-7 Uydu Verisi Kullanılarak Elde Edilen YYS, NDVI ve Albedo Haritası

Şekil 5'e göre çalışma alanındaki en yüksek sıcaklığın 39.28 °C olduğu tespit edilmiştir. Bölgenin büyük kısmında NDVI değerinin 0'm altında olduğu görülmektedir. NDVI dağılımıyla YYS dağılım arasında negatif yönde benzerlik olduğu, yani NDVI değerinin negatif olduğu bölgelerde yüksek sıcaklık değerinin görüldüğü anlaşılmaktadır. Bu benzerlikten, bitki örtüsü açısından zayıf olan kısımlarda yüzey sıcaklığının daha fazla olduğu sonucu ortaya çıkarmaktadır. YYS yüksek olduğu bölgelerde albedo değerinin yüksek olduğu görülmektedir. 1999 yılında değişkenler arasındaki ilişkinin benzeri 2019 yılında da görülmektedir (Şekil 6).

YYS, NDVI ve Albedo arasındaki korelasyon analizi sonuçları (% 95 güven aralığında) Tablo 3'te görülmektedir. Tablo 3'e göre; YYS, NDVI ile negatif korelasyona sahipken Albedo ile pozitif korelasyona sahiptir. NDVI hem YYS ile hem de Albedo ile negatif korelasyona sahiptir. Albedo ise YYS ile pozitif, NDVI ile negatif korelasyon ilişkisi göstermektedir. Korelasyon katsayıları ve diğer sayfalarda verdiğimiz (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9) saçılım grafikleri incelenirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta bu görüntülerin ağustos aya ait görüntüler olduğudur. Özellikle Albedo ve NDVI değerlerindeki mevsimsel olarak farklılıklar bu değişkenlerin YYS ile arasındaki korelasyonun pozitif veya negatif çıkmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak 1999 ve 2019 yılları arasında korelasyon katsayılarını karşılaştırdığımızda; Albedo ve YYS arasında ilişkinin düşük bir oranda kuvvetlendiği, bunun dışındaki tüm ilişkilerdeki katsayılar azalmanın olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Landsat-8 Uydu Verisi Kullanılarak Elde Edilen YYS, NDVI ve Albedo Haritası

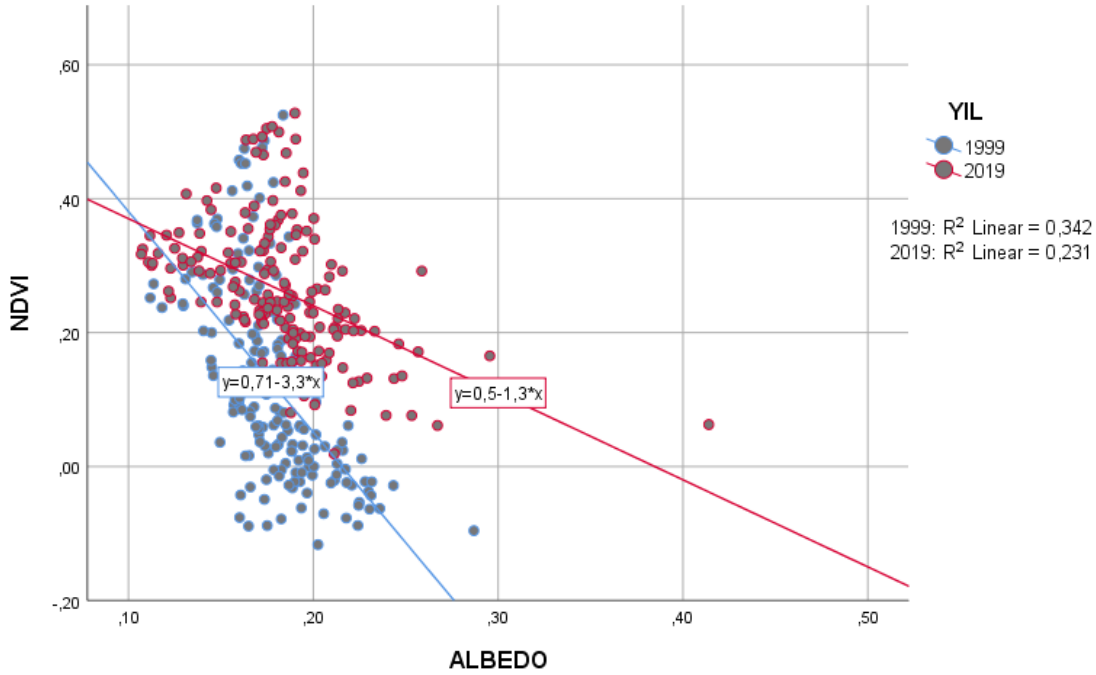
Tablo 3. YYS, NDVI ve Albedo Değerleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları (1999-2019)

	1999			2019			
YYS	1	-0,819	0,506	YYS	1	-0,718	0,527
NDVI	-0,819	1	-0,584	NDVI	-0,718	1	-0,48
Albedo	0,506	-0,584	1	Albedo	0,527	-0,48	1

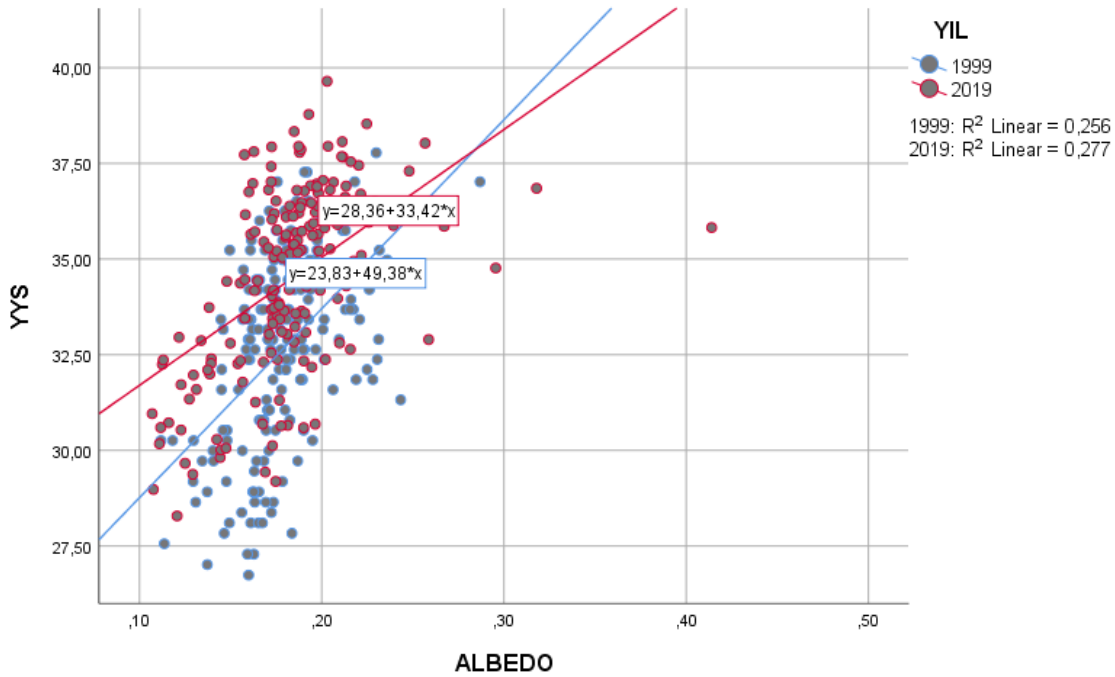
Albedo ve NDVI arasında negatif yönlü lineer ilişkinin olduğu Şekil 7'deki saçılım grafiğinde ortaya çıkarılmıştır. Bu negatif ilişkiyi Tablo 3'teki Pearson korelasyon katsayıları da (1999: -0.584; 2019: -0.48) göstermektedir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde NDVI değeri 1'e yakın değerler alırken, bitki örtüsünün olmadığı alanlarda 0'ya yakın değerler almaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'daki NDVI ve albedo dağılım haritası incelendiğinde çalışma alanının merkez ve güney bölgelerinde NDVI değerinin düşük, albedo değerinin ise yüksek olduğu görülmektedir. Buda bize bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olduğu alanların, bitki örtüsü yoğunluğunun az veya hiç olmadığı alanlara göre albedo değerinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Albedo ve NDVI arasındaki negatif yönlü bu ilişki saçılım grafiğinden de anlaşılmaktadır. Albedo ve NDVI arasındaki negatif ilişkinin kuvveti 2019 yılında 1999 yılına göre azalmıştır.

Albedo ve YYS değerleri arasındaki ilişki mevsimlere göre farklılaşabilmektedir. Mevsimsel değişimlerde özellikle canlı bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde bu değişim daha fazla ortaya çıkmaktadır (Zolotokrylin vd., 2020). YYS ve Albedo arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu saçılım grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Bunun yanında bu değişkenler arasındaki pozitif ilişki korelasyon katsayılarından da (1999: 0.506; 2019: 0.527) ortaya çıkarılmıştır. Albedo ve YYS arasındaki ilişki mevsime göre farklılık göstermektedir. Özellikle radyasyon tipi yüzey sıcaklığının hâkim olduğu dönemlerde, yağışlı dönemlerde, negatif ilişki ortaya çıkmaktadır (Zolotokrylin vd., 2020). Bunun yanında yağışın az olduğu, kuru dönemlerde albedo ve YYS sıcaklığı eş zamanlı olarak değişir. Bu

mevsimlerde radyasyon tipi yüzey sıcaklığının zayıfladığını göstermektedir. 2019 yılında Albedo ve YYS arasındaki ilişki 1999'a göre düşük bir değerde de olsa artmıştır.

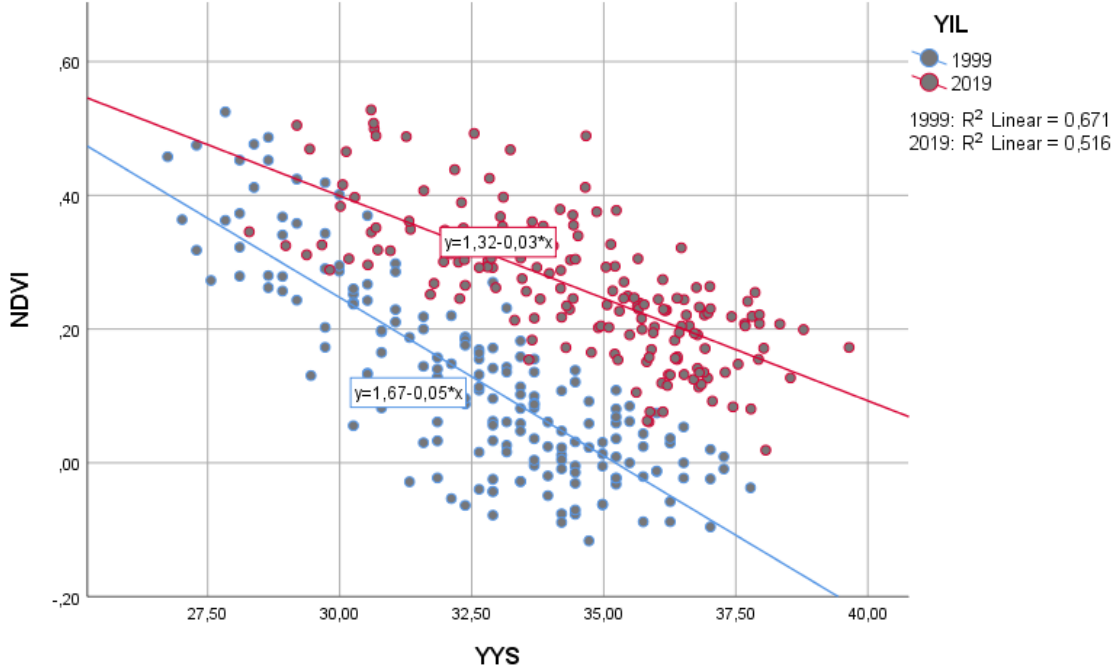


Şekil 7. Çalışma Alanına ait NDVI ve Albedo Değerlerinin Saçılım Grafiği



Şekil 8. Çalışma Alanına ait YYS ve Albedo Değerlerinin Saçılım Grafiği

Şekil 8'deki NDVI ve YYS arasındaki saçılım grafiğinden iki değişken arasında doğrusal negatif ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar korelasyon katsayılarından da (1999:-0.819, 2019: -0.718) elde edilmiştir. Bitki örtüsü bakımından yoğun bölgelerde yüzey sıcaklığının düşük olduğu, buna karşın bitki örtüsü zayıf alanlarda yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. 20 yıllık süreçte NDVI ve YYS arasındaki negatif ilişkinin kuvvetinde düşüş olmuştur.



Şekil 9. Çalışma Alanına ait NDVI ve YYS Değerlerinin Saçılım Grafiği

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışmamızda 12/08/1999 tarih, 08:19 saatli Landsat-7 ETM+ ve 11/08/2019 tarih, 08:26 saatli Landsat-8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak Karabük ili Safranbolu ilçesinin ilçe merkezine ait Albedo, NDVI ve YYS değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değişkenlerin aralarındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için korelasyon analizi ve saçılım grafikleri oluşturulmuştur.

Albedo ve NDVI arasında negatif yönlü doğrusal bir ilişki ortaya çıkmıştır. Cunha, vd. (2019), Zolotokrylin vd. (2020) ve yaptıkları çalışmalarda albedo ve NDVI arasında negatif yönlü ilişki olduklarını tespit etmişlerdir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgeler yüksek NDVI değerine sahiptir. Buna karşın bu bölgelerde albedo değeri düşük seyretmektedir. Tersisi durumda da bitki örtüsünün olmadığı bölgelerde düşük NDVI değeri gözlemlenirken, albedo değeri diğer bölgelere oranla daha yüksektir.

Albedo ve YYS arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğu saçılım grafiğinden anlaşılmaktadır. Zolotokrylin vd. (2020) yaptıkları çalışmada, albedo ve YYS arasındaki ilişkinin yıl boyunca farklılık gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu ilişkinin farklılaşmasının temelinde mevsimsel etkilerin olduğu belirtilmiştir. Topraktaki nem bu ilişkiyi büyük oranda etkilemektedir. Yağışlı dönemlerde negatif yönlü ilişki görülürken, yağışların az olduğu kurak dönemlerde pozitif ilişki görülmektedir. Çalışmamızda yağışın en az olduğu ağustos ayına ait görüntülerin kullanıldığı göz önüne alındığında, yapılan çalışmayla benzer sonuçlar ortaya çıktığı görülmektedir.

YYS ve NDVI arasında ise negatif yönlü ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Taşdelen (2019), Akyürek (2020), Polat (2020), Orhan (2021) yaptıkları çalışmalarda NDVI değeri yüksek, bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde YYS daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük NDVI değerine sahip yapılaşmanın, sanayi alanlarının yoğun olduğu bölgelerde YYS yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu ilişki bitki örtüsü yoğunluğunun yüzey sıcaklığının üzerindeki etkisini kanıtlamaktadır. Bitki yoğunluğu arttıkça yüzeydeki ısınmanın daha az olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalarla benzer sonuçlar ortaya koyan çalışmamızda YYS ve NDVI arasındaki negatif ilişki istatistiksel olarak ortaya çıkarılmıştır.

Günümüzde uzaktan algılama teknolojileri yardımıyla yer yüzeyi hakkında pek çok bilgi elde edilebilmektedir. Uydu kaynaklı gözlemlerin yer ölçümleri ile doğrulanması, uydu verilerinden YYS, albedo ve NDVI değişikliklerinin zamanla izlenmesini mümkün kılan, bunu yaparken istenilen bölgeyi çalışma esnekliği ve analizlerin kısa sürede hesaplaması gibi muazzam avantajlar sağlamaktadır.

Kentsel alanlarda yüzey malzemesi olarak kullanılan asfalt, beton, kiremit, alüminyum vb. malzemelerin albedo değerlerinin ve bu malzemelerin kentsel ısı adalarının oluşumu üzerindeki etkileri üzerine uluslararası alanlarda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye’de kentsel alanlar üzerinde yüksek çözünürlüklü uydu verilerinden yararlanılarak kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahrens, C. D., & Henson, R. (2015). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Eleventh Edition, Cengage Learning, Boston.
- Akbari, H., Menon, S., & Rosenfeld, A. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. *Climatic Change*, 94, 275-286. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9515-9>
- Akbari, H., Damon Matthews, H., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024004>
- Akyürek, Ö., (2020). Termal uzaktan algılama görüntüleri ile yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi: Kocaeli örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 377-390. <http://dx.doi.org/10.21324/dacd.667594>
- Anandababu, D., Puruhothaman B. M., & Babu, S.S. (2018). Estimation of land surface temperature using landsat 8 data. *International Journal of Advance Research, Ideas And innovations in Technology*, 4(2), 177- 186.
- Anniballe, R., Bonafoni, S., & Pichierri, M. (2014). Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using Modis data. *Remote Sensing of Environment*, 150, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.005>
- Artis, D. A., & Carnahan, W.H. (1982). Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Barsi, J., Schott, J., Hook, S., Raqueno, N., Markham, B., & Radocinski, R. (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607- 11626. <https://doi.org/10.3390/rs61111607>
- Balçık F. B., & Ergene E. M., (2017). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama verileri ile belirlenmesi: İstanbul örneği. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği 9. Teknik Sempozyumu, ss 21.
- Bonafoni, S., & Baldinelli, G., & Verducci, P. (2017). Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 17(29), 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.005>
- Bretz, S., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1998). Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric Environment*, 32(1), 95-101. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00182-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00182-9)
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y., (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133-146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- Cunha, J., Nóbrega, R., Rufino, I., Erasmi, S., Galvão, C., & Valente, F. (2019). Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: evidence from the Brazilian Caatinga. *Remote Sensing of Environment*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111250>
- Dimoudi, A., Zoras, S., Kantzioura, A., Stogiannou, X., Kosmopoulos, P., & Pallas, C. (2014). Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society*, 13, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.003>
- Erener, A., & Sarp G., (2018). Spatiotemporal distribution of industrial regions and impact on LST in the case of Kocaeli. FIG Congress Proceedings.
- Giannini, M.B., Belfiore, O.R., Parenta, C., & Santamaria, R. (2015). Land surface temperature from landsat 5 tm images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(3), 83-90.

- Givoni, B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment*, 25, 289–299. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)
- Gupta, R. P. (2003). *Remote Sensing Geology (Second Edition)*, Springer, Verlag.
- Jeevalakshmi, D., Reddy, S. N., & Manikiam B., (2017). Land surface temperature retrieval from landsat data using emissivity estimation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(20), 9679-9687.
- Landsat. (2022). <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>
- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A., (2013). Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Mariano, D. A., Santos, C. A. C., Wardlow, B. D., Anderson, M. C., Schiltmeyer, A. V., Tadesse, T., & Svoboda, M. D. (2018). Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in northeastern Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 213, 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>.
- Ndossi, M. I., & Avdan U., (2016). Açık kaynak kod teknoloji kullanılarak yer yüzey sıcaklığının belirlenmesinde yeni bir eklentinin geliştirilmesi. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, ss 1135-1141.
- Otterman, J. (1974). Baring high-albedo soils by overgrazing: hypothesized desertification mechanism. *Science*, 186 (4163), 531–533. <https://doi.org/10.1126/science.186.4163.531>
- Oke, T. R. 2002. *Boundary Layer Climates*. Routledge: New York.
- Polat, N. (2020). Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2 (1), 10-15
- Prata, A. J., Caselles, C. C., Sobrino, J. A., & Otle, C., (2009), Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. *Remote Sensing Reviews*, 12, 175-224. <https://doi.org/10.1080/02757259509532285>
- Rajasekar, U., & Weng, Q. H. (2009). Spatio-temporal modelling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM plus imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3531–3548. <https://doi.org/10.1080/01431160802562289>
- Roy, S., Pandit, S., Eva, E. E., Bagmar, M. S. H., Papia, M., Banik, L., Dube, T., Rahman, F., & Razi, M.A. (2020), Examining the nexus between land surface temperature and urban growth in Chattogram metropolitan area of Bangladesh using long term landsat series data. *Urban Climate*, 2(2020), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100593>
- Saco, P. M., Moreno-de las Heras, M., Keesstra, S., Baartman, J., Yetemen, O., & Rodríguez, J. F. (2018). Vegetation and soil degradation in drylands: Nonlinear feedbacks and early warning signals. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.06.001>.
- Safranbolu Belediyesi website. (2022). <https://www.safranbolu.bel.tr/>
- Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 353-66. <https://doi.org/10.1080/014311600210876>
- Stathopoulou, M., Synnefa, A., Caralis, C., Sanamouris, M., Karless, T., & Akbari, H. (2009). A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials. *International Journal of Sustainable Energy*, 28(1), 59–76. <https://doi.org/10.1080/14786450802452753>
- Shuai, Y., Masek, J. G., Gao, F., Schaaf, C. B., & He, T. (2014). An approach for the long-term 30-m land surface snow-free albedo retrieval from historic Landsat surface reflectance and MODIS-based a priori anisotropy knowledge. *Remote Sensing of Environment*, 152, 467–479. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.009>
- Suehrcke, H., Peterson, E. L., & Selby, N. (2008). Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. *Energy and Buildings*, 40, 2224–2235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.015>

- Şener, E. (2016). Burdur Gölü Yüzev Sıcaklığı Mevsimsel Değişiminin Landsat 8 Uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(2), 67-73. <https://doi.org/10.21923/jesd.31386>
- Yıldız, A., Bağcı, M., Başaran, C., Çonkar, F. E., & Ayday C., (2017). Landsat 8 uydu verilerinin jeotermal saha araştırmalarında kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) çalışması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 277-284.
- Yılmaz, E. (2015). Landsat görüntüleri ile Adana yüzev ısı adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(2), 115-138. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000167
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>
- Wang, Y., & Akbari, H. (2016). Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 26, 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.015>
- Wang, Z., Erb, A. M., Schaaf, C. B., Sun, Q., Liu, Y., Yang, Y., Shuai, Y., Casey, K. A., & Román, M. O. (2016). Remote sensing of environment early spring post-fire snow albedo dynamics in high latitude boreal forests using Landsat-8 OLI data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.059>.
- Zhao, Y., Wang, X., Novillo, C.J., Arrogante-Funes, P., Vázquez-Jiménez, R., & Maestre, F.T. (2018). Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. *J. Arid Environ*, 157, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.010>.
- Zolotokrylin, A. N., Brito-Castillo, L., & Titkova, T. B. (2020). Local climatically-driven changes of albedo and surface temperatures in the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments*, 178, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104147>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 25.10.2022
Kabul Tarihi : 14.12.2022

Received Date : 25.10.2022
Accepted Date : 14.12.2022

KESİR DERECELİ KAOS TABANLI HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN FPAA TASARIMI

FPAA DESIGN OF FRACTIONAL CHAOS BASED COMMUNICATION SYSTEMS

Gökçenur KAYA^{1*} (ORCID: 0000-0001-5768-4659)
Kenan ALTUN² (ORCID: 0000-0001-7419-1901)

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. ABD, Sivas, Türkiye
²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Gökçenur KAYA, kayagokce111@gmail.com

ÖZET

Kaotik sinyaller kendi içerisinde bir düzeni olan ancak düzensiz davranış sergileyen tahmin edilmesi zor sinyallerdir. Kaotik sinyallerin en önemli kullanım alanlarından biri güvenli haberleşme sistemleridir. Haberleşme sisteminin güvenilirliği kaotik işaretin karmaşıklığına bağlıdır. Kaotik sinyallerin karmaşıklığını artıran birçok yöntem ile haberleşme sistemleri gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerin BER/SNR performansına artırmaktan çok sistemin güvenilirliğini artırmıştır. Kesir dereceli kaotik sinyallerin kaos tabanlı haberleşme sistemlerinde hem haberleşme güvenilirliğinin hem BER/SNR performansının artmasına olumlu etkisi olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışmada kesir dereceli kaotik tabanlı haberleşme sistemlerinin BER/SNR performansının bilgisayar benzetimi ile dinamik sistemin nümerik analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca benzetim analog tabanlı FPAA yapılar kullanılarak deneysel olarak tekrarlanmıştır. Elde edilen benzetim ve deneysel sonuçlar tam dereceli benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaotik haberleşme, kesir dereceli analiz, FPAA, bit hata oranı

ABSTRACT

Chaotic signals are difficult to predict signals that have an order in themselves but exhibit disordered behavior. One of the most important usage areas of chaotic signals is secure communication systems. The reliability of the communication system depends on the complexity of the chaotic signal. Communication systems are implemented with many methods that increase the complexity of chaotic signals. It has increased the reliability of the system rather than increasing the BER/SNR performance of these methods. It is thought that fractional chaotic signals may have a positive effect on increasing both communication reliability and BER/SNR performance in chaos-based communication systems. For this reason, numerical analysis of the dynamic system was carried out by computer simulation of the BER/SNR performance of fractional chaotic based communication systems. In addition, the simulation was repeated experimentally using analog based FPAA structures. The obtained simulation and experimental results were compared with similar studies of integer-order.

Keywords: Chaotic communication, fractional analysis, FPAA, bit error rate

GİRİŞ

Kaos, kendi içerisinde bir düzeni olduğu halde düzensiz davranış sergileyen sistemleri inceleyen bilim dalıdır. Fransız matematikçi Henri Poincare kaos teorisi ile ilgili ilk olarak yirminci yüzyılların başlarında basit dinamik denklemler ile karmaşık davranış gösteren sistemlerin tanımlanabileceğini ortaya koymuştur (Holmes, 1990). Kaotik sistemlere ait denklemler zaman domeninde analiz edildiğinde periyodik olmayan davranış sergilemelerine rağmen faz uzayı gösteriminde bir düzen içerisinde hareket eder. Kaotik sinyaller başlangıç değerlerine hassas bağlılığı, periyodik olmaması, geniş bant yapısına sahip olmasının yanı sıra uzun periyotlarda tahmin edilemeyen sinyallerdir (Ott vd., 1990). Kaotik sinyallerin bu özellikleri bilimsel olarak bazı problemlerin çözümüne önemli katkılar sunmuştur (Lorenz, 1963). Kaos teorisinin bilimsel alandaki ilk uygulaması 1960'lı yıllarda Edward Lorenz tarafından yapılmıştır (Lorenz, 1963). Kaos sinyallerinin uzun periyotlarda tahmin edilememesi özellikle haberleşme sistemlerinde bilgi güvenilirliğini de artırmak için önemli bir parametre olmuştur. Kaotik tabanlı haberleşme sistemlerinde kaos sinyaller taşıyıcı sinyal olarak kullanılan en temel yapıdır. Kaos sinyallerin yayılı spektruma sahip olmasından dolayı, haberleşme sistemlerinde bilgi sinyallerinin arka planda gizlenmesini ve alıcı devreye güvenli ulaşmasını sağlar. Bu nedenle kaos sinyallerinin karmaşıklığı aynı zamanda haberleşme sistemlerinin de karmaşıklığını artırmakla beraber güvenilirliğini de artırmaktadır. Bu nedenle haberleşme sisteminin güvenilirlik karakteristiği aynı zamanda kaotik sinyallerin tahmin edilebilir olma karakteristiğini yansıtır. Kaos tabanlı osilatörlerin ürettiği sinyaller yayılı spektruma sahip, tahmin edilemeyen ve gürültü benzeri sinyaller olarak bilinmektedir. Kaos tabanlı osilatörlerin dinamik denklemlerinin deterministik yapılarına rağmen sistem davranışının tahmin edilememesi, başlangıç değer ve parametre hassasiyeti güvenilir haberleşme sistemleri için önemli bir karakteristik olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca kaotik sinyallerin yayılı spektrumda olması sürekli senkronizasyon gerektirmeyen non-coherent haberleşme sistemlerine ilgiyi artırmaktadır. Kaos tabanlı haberleşme sistemleri içerisinde sürekli senkronizasyon gerektirmeyen ve anlık senkronizasyon ile iletilen sinyaller tekrar elde edilebilir (Kennedy ve Kolumban 2000; Cuomo vd., 1993). Haberleşme sistemlerinde taşıyıcı işaretin sürekli senkronizasyonu, anlık senkronizasyonun kullanıldığı durumlarda gerekli değildir. Bu hem kaotik işaretlerin hemde periyodik işaretlerin taşıyıcı olarak kullanıldığı sistemler için geçerlidir (Chua vd., 1987). Bu durumda, alıcı devreler taşıyıcı sinyalleri elde ederek bilgi sinyalini yeniden elde etmesine olanak sağlar. Kaotik tabanlı non-coherent haberleşme sistemlerinden Chaos shift keying (CSK) (Dedieu vd., 1993), Chaotic on off keying (COOK) (Abdullah ve Valenzuela, 2011), Differential Chaos Shift Keying (DCSK) (Kolumbán, 1997; Kolumban vd., 1996), Quadrature chaos shift keying (QCSK) (Chua ve Yang, 1988) bu tekniklerden bazılarıdır. Doğrusal olmayan dinamik bir sistemde, sistemin kaosa girmesi ve kaotik davranış sergilemeye devam etmesi için durum denklem sayısının en az üç olması gerekir. Ayrıca bu durum denklemlerinin içinde ise en az bir adet doğrusal olmayan terim bulunmalıdır (Peitgen vd., 2006). Bazı araştırmacılar kaotik davranış gösteren dinamik sistemlerin toplam derecelerinin 3'ten az olması durumunda da kaos sergilediğini göstermektedir (Petráš ve Bednárová, 2011). Bu durum kaotik sistemlerde tahmin edilebilirliği daha da zorlaştırmaktadır. Doğrusal olmayan bir denklemin kaotik davranış sergilediği kesir derecesi de dinamik yapıya fazladan bir karmaşıklık getirmektedir. Böylelikle mevcut parametrelerin de katkısıyla kaotik sistemlerin karmaşık yapısı artırılmıştır (Petráš ve Bednárová, 2011).

Kesir dereceli türev ve integratörlerden ilk olarak 1695 yılında Leibniz tarafından bahsedilmiş olsa da 19. yüzyılın sonunda Liouville ve Riemann tarafından ortaya konulmuştur (Nishimoto, 1984; Oldham ve Spanier, 1974). Kesir dereceli hesaplamalar birçok problemin tam olarak ifade edilebilmesine ve çözülmesine katkı sağlamıştır (Oustaloup vd., 2000). Aslında birçok tam dereceli model kesir dereceli modelin yakınsatılmış haliyle modellenmiştir. Bu durum özellikle başlangıç ve parametre değerlerine hassasiyeti olan doğrusal olmayan sistemleri tam olarak temsil edememektedir. Kesir dereceli sistemlerin kullanımı ile özellikle doğrusal olmayan sistemlerde, elektrik sistemlerinde ve kontrol sistemlerinin tasarımlarında önemli katkı sağlamıştır (Udita, 2014; Herzallah, 2014; Jin vd., 2011; Petráš, 2011). Kesir dereceli kontrol sistemlerinin tam dereceli kontrol sistemlerine göre özellikle doğrusal olmayan sistemlerde daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur (Ma vd., 2014). Kesir dereceli operatörlerin kullanılmasıyla doğadaki problemlerin modellenmesi ve tamsayı dereceli denklemlerle elde edilen modeller karşılaştırıldığında daha kesin sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir (Petráš ve Bednárová, 2011). Kesir dereceli türev ve integratörler Grünwald–Letnikov's gibi birçok yöntemle tanımlanmıştır (Podlubny, 1999). Ancak kesir dereceli sistemlerin ayırık devre elemanları ile gerçekleştirilmesinde önemli zorluklar yaşanmıştır. Bu problemlerin aşılmasında programlanabilir platformlar kullanılarak çözüm aranmıştır.

Kaos tabanlı elektronik devre tasarımında ayırık devre elemanlarının kullanılması oldukça zor, bazı durumlarda ise imkansızdır. Bu nedenle tümleşik devre tasarımları kullanılmaktadır. Tümleşik yapılardan en popüler, hızlı ve kolay olanı FPGA (Field Programmable Gate Arrays) yapılarıdır. Ancak sayısal tabanlı FPGA gibi yapıların yuvarlama

hataları ile kaotik işaretler kullanılarak gerçekleştirilen haberleşme sistemlerinin avantajlarını sınırlamaktadır. Bunlardan dolayı tümeşik analog tabanlı bir yapının kullanılması kaos tabanlı haberleşme sistemleri için zorunluluk olmuştur. FPAA (Field Programmable Analog Arrays) yapılar analog tabanlı olmaları ve kaotik işaretlerin tahmin edilebilirlik gibi birçok avantajlarının haberleşme sistemlerinde kullanılabilmesine imkan sağlaması açısından önemlidir. Dolayısıyla yapılan çalışma özellikle deneysel olarak gerçekleştirilmiş olma açısından önemlidir.

Çalışmanın Materyal ve Yöntem kısmında Grünwald–Letnikov’s yaklaşım yönteminden bahsedilmiş ve kesir derecelerinin elde edilmesi açıklanmıştır. Ayrıca kaotik tabanlı haberleşme sistemleri ve senkronizasyonundan bahsedilmiş ve deneysel olarak gerçekleştirilecek FPAA platformu açıklanmıştır. Bulgular ve Tartışma bölümünde ise Sprott_h kaotik dinamikleri Grünwald–Letnikov’s yaklaşım yöntemi ile modellenerek kesir dereceli modellenen kaotik sinyalin benzetimi ve analog tabanlı deneysel uygulama sonuçları elde edilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve nümerik değerlendirmeler yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Sayısal tabanlı haberleşme sistemlerinde verici devrede bilgi sinyali taşımada kullanılan doğrusal olmayan yapıdaki taşıyıcı kaos sinyallerinin orthogonal yapılarının BER/SNR (Bit Error Rate / Signal Noise Rate) performansında önemli bir parametre olduğu bilinmektedir. Bu nedenle dinamik denklemin gerçek sistem davranışının elde edilebilmesi sistemin daha kısa sürede senkronizasyona girmesini sağlayacaktır. Haberleşme sistemi alıcı-verici arasında ne kadar kısa sürede senkronize olursa en fazla kayıpların yaşandığı senkronizasyon sürecinde BER/SNR performansını artıracaktır. Bu nedenle kaotik sistemin gerçek sistem davranışının kesir dereceli tasarım ile sağlanabilecektir. Ayrıca sistemin deneysel platformunun da sistem performansına doğrudan etkisi vardır. Kesir dereceli sistemlerin ayrık devre elemanlarıyla gerçekleştiriminde aktif ve pasif devre elemanlarının seçim ve kullanımında birçok zorluklarla karşılaşmıştır. Bu nedenle esnek kullanım ve yüksek hızları nedeniyle sayısal tabanlı FPGA yapıları kullanılmaktadır (Tolba vd., 2018). Ancak sayısal tabanlı sistemlerin uzun periyotlardaki yuvarlama hatalarından kaynaklı düşük hassasiyeti, modellenen sistemlerin tam olarak gerçek sistem davranışını sergileyememesine neden olur. Analog tabanlı ayrık devre elemanları kullanılarak bu yapıların gerçekleştirimindeki zorluklar analog tabanlı FPAA yapılarının kullanılmasını gerektirmektedir. Böylelikle elde edilen yeni yapılar kullanılarak gerçekleştirilen haberleşme sistemlerinde bit hata oranı performansının artırılması amaçlanmıştır. Kesir dereceli türevlerin birçok tanımı vardır. Çalışmada Grünwald-Letnikov yaklaşım metodu kısaca açıklanmıştır.

Grünwald-Letnikov Metodu ile Kesir Dereceli Analiz

Kesirli analizde yaygın olarak kullanılan bir başka popüler tanım, Anton Karl Grünwald ve ardından Aleksey Vasilievich Letnikov tarafından önerilmektedir (Petráš, 2011). Riemann-Liouville tanımlarından farklı olarak, Grünwald-Letnikov tanımları probleme temel türev kavramından yaklaşır. Kesirli türev için birçok tanım vardır. Grünwald-Letnikov tanımlamasına göre, α derecesi için eşitlik Denklem (1) ile ifade edilir.

$${}_a D_x^\alpha f(x) = \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{\Delta_h^\alpha f(x)}{h^\alpha} \quad (1)$$

D, diferintegral operatörü ve h adım sayısı olarak tanımlanmaktadır. Denklem (2) ile $\Delta_h^\alpha f(x)$ verilmektedir;

$$\Delta_h^\alpha f(x) = \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \binom{\alpha}{j} f(x - jh) \quad (2)$$

olarak tanımlanırsa, sonuçların toplamının r’ye kadar yapılmasını denklem (3) ile;

$$\sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \binom{\alpha}{j} = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{\Gamma(r+1-\alpha)}{\Gamma(r+1)} \quad (3)$$

$\Gamma(x)$ gama fonksiyonudur ve h zaman içinde küçük bir değişikliktir ve $h = \frac{(x-a)}{r}$ ile ifade edilir. Son olarak Grünwald-Letnikov tanımı denklem (4) ile ifade edilmektedir.

$${}_a D_x^\alpha f(x) = \lim_{r \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\left(\frac{(x-a)}{r} \right)^{-\alpha}}{\Gamma(-\alpha)} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\Gamma(j-\alpha)}{\Gamma(j+1)} f \left(x - j \left(\frac{(x-a)}{r} \right) \right) \right\} \quad (4)$$

Denklem (4) ile verilen eşitlikte a başlangıç değerini, α rasgele bir sayıyı ve Γ Euler Gama fonksiyonunu tanımlamaktadır. Genel olarak, D hem integral alıcı hem de türev alıcıları ifade etmek için kullanılabilir. a türev alıcılar için pozitif ve integral alıcılar için negatiftir.

Kaos Tabanlı Haberleşme Sistemleri ve Senkronizasyon

Kaotik sinyaller, rastgele benzeri yapıları ve geniş güç spektrumları ile karakterize edilir. Böylece, kaotik sinyallere bilgi saklayarak, veri güvenliğini önemli ölçüde artırmak mümkündür. Kaotik sinyaller, geniş bantlı olmaları nedeniyle geleneksel yayılı spektrumlu sinyallerin avantajlarını devralırlar. Kaotik sinyaller, düşük güç spektral yoğunluğu ve büyük bant genişliklerine sahip yayılı spektrum sinyallerdir. Bu özelliklerinden dolayı bilginin gizlenmesine yardımcı olur ve bilgi sinyalinin fark edilmesini engeller. Ayrıca, başlangıç koşullarına ve parametre değişimlerine hassas bağımlılığın bir sonucu olarak çok sayıda yayılan dalga biçimi kolaylıkla üretilebilir. Böylelikle kaotik tabanlı haberleşme sistemleri, geniş band spektrumuna sahip düşük maliyetli ve güvenli bir haberleşme yöntemi sağlar. Önerilen yöntemlerin çoğunda temel olarak, sayısal tabanlı bilgi sinyallerini periyodik olmayan kaos işaretleri ile anahtarlamaktır. Örneğin, kaos kaydırmalı anahtarlama (CSK) haberleşme sisteminde, bir çatalanma parametresinin farklı değerlerini kullanan dinamik bir sistemden veya birkaç farklı dinamik sistemden üretilen farklı kaos sinyalleri bilgi sinyalleri ile anahtarlanarak eşlenmesi sağlanır. Alıcı devrede taşıyıcı sinyal olan kaos sinyali senkronize edilmişse iletilmek istenen bilgi sinyali yeniden elde edilebilir (Kolumban vd., 1998; Dedieu vd., 1993; Parlitz vd., 1992). Bu haberleşme sistemlerine coherent haberleşme sistemi, senkronize sağlanmadan bilgi sinyallerinin elde edilmesini sağlayan haberleşme sistemlerine ise non-coherent haberleşme sistemi denilmektedir (Kennedy ve Kolumban (2000). Sayısal tabanlı bilgi sinyalinin iletilmesini sağlayan bir diğer modülasyon tekniği, diferansiyel anahtarlama yaklaşımına dayanan, diferansiyel kaos kaydırmalı anahtarlama (DCSK) olarak bilinir (Kolumban vd., 1996). Bu haberleşme sisteminde, alıcı devrede taşıyıcı kaotik sinyal senkronize edilmeden bilgi sinyali elde edilir. DCSK haberleşme sisteminde iletilen her sembol, iki kaotik sinyal örnek seti ile temsil edilir. Birincisi referans örneklenen sinyali, ikincisi ise bilgi sinyalinin örneklemini ifade eder. Alıcı devrede, iki kaotik örneklemin ilişkilendirilmesiyle basit bir şekilde korelatör çıktısını bir eşik değeri ile karşılaştırarak bilgi sinyali ayırt edilebilir. Ayrıca kaotik sinyallerin üretilmesi kolaydır, böylece yayılı spektrumlu sistem yapısına nispeten düşük maliyetli bir yöntem sunar.

PC(Pecora-Carroll) senkronizasyon yöntemi, kaos tabanlı haberleşme sistemleri için en temel sürekli senkronizasyon yöntemlerindedir. PC yönteminde alıcı-verici devrede kaos sinyaller senkronize edilir. Bunun için dinamik yapılardan bir durum değişkeni alıcı devreye iletilir. Haberleşme sisteminde durum değişkeninin üretildiği kısım sürücü (master), yeniden durum değişkeninin elde edildiği kısım ise cevap (slave) olarak adlandırılır. PC yönteminde sürücü ve cevap kısımlarındaki dinamik denklemler sürekli olarak senkronize olurlar (Cuomo vd., 1993; Pecora ve Carroll, 1990). Pecora ve Carroll tarafından önerilen yöntemde verici ve alıcı devrelerdeki dinamik yapıların sürekli senkronizasyonda kalabilmeleri için verici ve alıcı devrelerdeki dinamik yapıların Lyapunov üstellerinin negatif olması gerekmektedir.

Verici ve alıcı devrelerde dinamik yapıların senkronize olmalarını sağlayan bu yöntemde;

$$\dot{u} = f(u), \quad u = (u_1, \dots, u_n) \quad (5)$$

Denklem (5) ile tanımlanan kaotik yapı,

$$\begin{aligned} \dot{v} &= g(v, w) \\ \dot{w} &= h(v, w) \end{aligned} \quad (6)$$

Denklem (6) gibi iki gruba ayrılır. m ve n dinamik sistemlerin hücre indeksini ifade eder. Buna göre;

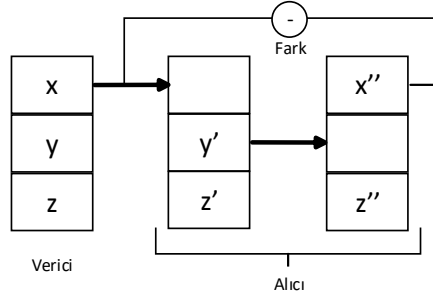
$$v = (v_1, \dots, v_m), \quad g = (g_1, \dots, g_n), \quad w = (w_1, \dots, w_{n-m}), \quad h = (h_1, \dots, h_{n-m}) \quad (7)$$

denklemleri elde edilir ve nihai elde edilen denklem 8 ile ifade edilir. Böylelikle verici devrede iletilen w durum değişkeni, alıcı devrede w' olarak gösterilir.

$$\begin{aligned} \dot{v} &= g(v, w) \\ \dot{w} &= h(v, w) \\ \dot{w}' &= h(v, w') \end{aligned} \quad (8)$$

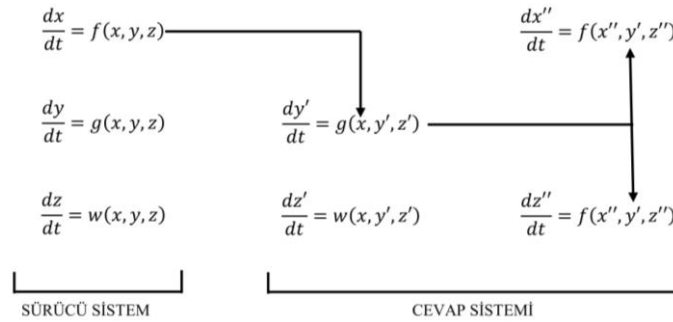
PC tekniğinde sürücü ve cevap kısımları senkronize olana kadar belli bir süre geçmektedir. Senkronize olduklarında iletilen durum değişkeninin hata payı sıfır olur ve sistemin Lyapunov üstellerinin negatif değer alır (Linsay, 1981).

Şekil 1 PC senkronizasyon tekniğinin blok diyagramını göstermektedir. Diyagramda verici devrede sürücü sistem ve alıcı devrede cevap sistemine ait gösterim bulunmaktadır.



Şekil 1. PC Senkronizasyon Sisteminin Blok Diyagramı

Ayrıca PC tekniğine ait denklemlerle ifade edilen bir diğer gösterim ise Şekil 2 ile gösterilmektedir.



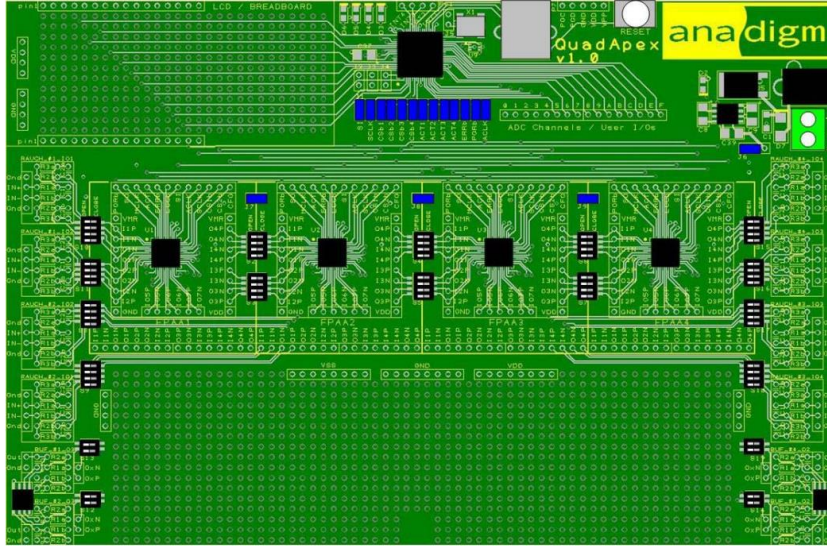
Şekil 2. PC Senkronizasyon Sisteminin Denklemler ile Gösterimi

PC tekniğinde sürücü ve cevap sisteminde durum değişkeni senkronize olana kadar bir zaman geçmektedir. Senkronizasyondaki bu gecikme haberleşme sisteminde kayıplara neden olur. Haberleşme sisteminin senkronizasyon süresinin kısaltılması bu bilgi kayıplarını da azaltır.

Analiz incelendiğinde sürücü ve cevap sisteminde senkronizasyon sağlanabilmesi için bir zaman geçmesi gerekmektedir. Bu zaman içerisinde ise hata fonksiyonu oluşmaktadır.

FPAA Tabanlı Analog Tasarım

Günümüzde birçok problemin çözümü elektronik devre kontrollü sistemler ile gerçekleştirilmektedir. Bu devrelerin çoğunun sayısal tabanlı olması ve bu devrelerin bazı büyüklükleri tam olarak karşılayamaması sistemlerden beklentileri tam olarak karşılayamamaktadır. Dünyadaki birçok büyüklüğün analog olması bu büyüklüklerin kontrollünde de analog tabanlı tümleşik devrelerin kullanılması bir zorunluluk olmuştur. Ancak analog devrelerin tasarımında ayırık devre elemanlarının kullanımındaki zorluklar devre tasarımlarında kolay, ekonomik platformlar bir gereklilik haline gelmiştir. Yeniden yapılandırılabilen ve yeniden programlanabilen bir devre platformu olan FPAA, analog fonksiyonları kullanarak zengin sistem çeşitliliğinin gerçekleştirilmesinde öne çıkmaktadır. FPAA, analog fonksiyonlar da dahil olmak üzere çok çeşitli sistemlerin uygulanması için programlanabilir bir platformdur. Bu platform, bileşen değerlerini ve ara bağlantılarını programlı olarak değiştirmek için kullanılabilen bir özelliğe sahip olduğundan, dinamik olarak yeniden yapılandırılabilir. Bu, yeniden yapılandırılabilir FPAA cihazı ile bir tasarım değişikliğinin veya tamamen yeni bir tasarımın uygulanabileceği anlamına gelmektedir. Bu işlem için sistemi kapatmaya veya sistemi sıfırlamaya gerek yoktur. Bu özelliklere ek olarak FPAA analog dinamik sistem tasarımları için daha verimli ve ekonomik çözümler sunar. FPAA'ler kullanılarak, farklı kaotik sistemler dahil olmak üzere çeşitli dinamik sistemler daha az maliyetle, çok daha küçük boyutta ve artırılmış güvenilirlik ve bileşen kararlılığı ile uygulanabilir. Deneysel çalışmalarda Şekil 3'de gösterilen Anadigm AN231K04-QUAD4 Quad geliştirme kartı kullanılmıştır.



Şekil 3. Anadigm AN231K04-QUAD 3.3V Geliştirme Kartı

Diğer taraftan FPGA gibi sayısal tabanlı platformların ondalıklı kesirlerdeki yuvarlama hatasından dolayı, bir süre sonra kendini tekrarlaması analog tabanlı tasarımlarda kullanılabilirliğini azaltmıştır. Bu nedenle analog tabanlı programlanabilir yapılar ön plana çıkmaktadır. Çalışmalar neticesinde analog tabanlı programlanabilir FPAA yapılar ortaya konmuştur. FPAA'ler aslında FPGA'lerin analog eşdeğeri olarak düşünebilir. Yapısında bulundurduğu Yapılandırılabilir Analog Bloklar (Configurable Analog Blocks, (CAB)) sayesinde kuvvetlendirme, filtreleme, toplama/fark alma, integral alma ya da karşılaştırma gibi çeşitli analog işlemler gerçekleştirilir. 4 tane CAB bloğuna sahip olan FPAA yapısı Şekil 3'de görülmektedir. Bir ara yüz programı ile tasarlanan FPAA modelleri daha sonra karta yüklenerek deneysel sonuçlar elde edilir. FPAA yapılar, haberleşme (Salih, 2021; Günay ve Altun, 2017), sinyal işleme (Schlottmann ve Hasler, 2013; Hall vd., 2005), kontrol (Li vd., 2017), yapay sinir ağları (Moreno vd., 2021; Günay ve Altun, 2018; Hasler ve Shah, 2017), kaotik osilatörler (Altun, 2021) ve diğer mühendislik uygulamaları (Kozioł, 2020; Yong vd., 2012; Baccigalupi ve Liccario, 2007) gibi birçok alanda kullanılmıştır.

FPAA üzerinde uygulanmak istenen kaotik sistemin uygulamadan önce matematiksel analizleri ve bilgisayar simülasyonu yapılır. Simülasyon sonuçlarına göre sistemde yer alan durum değişkenlerinin gerilim seviyeleri belirlenir. FPAA kartları ± 1.5 V'luk bir sınır değerlerine sahiptir. Bu sebepten dolayı belirlenen gerilim değerlerinin ± 1.5 V'tan büyük olması halinde sisteme ölçeklendirme işlemi uygulanır. Burada amaç sistemde yer alan durum değişkenlerinin sahip olduğu gerilim seviyelerini farklı katsayılara bölerek ± 1.5 V seviyesi aralığında tutmaktır. Ölçeklendirme işlemi sonrasında elde edilen sisteme Laplace dönüşümü uygulanarak SumFilter bloğu yapısına uygun hale getirilir. Daha sonra sistemin Laplace dönüşümü alınmış hali FPAA uygulaması için hazır hale gelmiştir. Bu noktada AnadigmDesigner2 ara yüzü kullanılarak modelleme işlemine geçilir. Modellenecek sistemde bulunan değişkenlere uygun CAM kütüphanesinden hazır bloklar seçilir ve modelleme gerçekleştirilir. Kullanılan her bir CAM modülünün farklı ayarlamaları bulunmaktadır. Frekans, kazanç değeri, girişlerin sayısı ve durumu (eviren/evirmeyen) gibi parametreler tanımlanır. Deneysel düzenek de hazırlanınca elde edilen model FPAA kartına seri bir port aracılığıyla yüklenir. Kart üzerinde giriş/çıkış bağlantıları yapıldıktan sonra deneysel sonuçlar analog veya dijital bir osiloskop aracılığıyla gözlemlenir. Bu sonuçların simülasyon sonuçlarıyla uyumlu olması halinde FPAA uygulamasında başarılı olunmuştur. Aksi takdirde oluşturulan FPAA modelinin kazanç değerlerinde veya kullanılan frekans değerlerinde düzenlemeler yapmak gerekmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

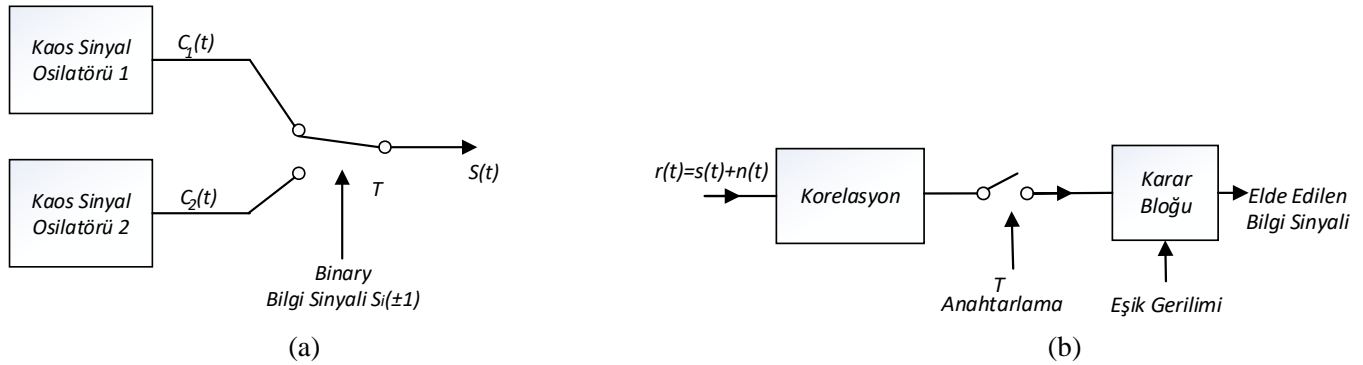
Yapılan çalışma ile kesir dereceli kaotik sinyallerin analog tabanlı FPAA yapıları kullanılarak kaotik haberleşme sistemlerinin tasarımı amaçlanmıştır. Kesir dereceli integratör kullanılarak elde edilen kaotik sinyallerin tahmin edilebilirliği azaltılarak özellikle haberleşme sistemlerinde daha güvenilir bir taşıyıcı sinyalin elde edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca analog tabanlı FPAA yapısı kullanılarak sayısal tabanlı FPGA yapılarında kaotik sinyallerdeki uzun periyotlardaki yuvarlama hatalarından kaynaklanan periyodikliğe girme probleminin aşılması amaçlanmıştır. Çalışma ile kesir dereceli dinamik sistemler Grünwald–Letnikov's yaklaşım yöntemi ile tasarlanarak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Kaotik sistemler geleneksel hesaplama yöntemleri ile en az üçüncü dereceden dinamik sistemlerle ifade edilebilmekteydi. Kesir dereceli sistem yaklaşımlarında kaotik bir sistemin modellenmesi için kesir dereceli bir türev alıcı kullanılmaktadır. Bu çalışmada MATLAB Simulink çalışması ve analog tabanlı FPAA deneysel çalışması için kesir derecesi, frekans domeninde ifade edilmiştir. Bunun için Grünwald–Letnikov’s yaklaşım metodu kullanılmıştır. Öncelikle Simulink daha sonrada FPAA uygulaması yapılacak Sprott_h kaotik sistemi için frekans domeninde kesir dereceli transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Sprott H sistemi için durum denklemleri aşağıda verilmiştir (Sprott, 1994).

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -y + z^2 \\ \frac{dy}{dt} &= x + 0,5y \\ \frac{dz}{dt} &= x - z\end{aligned}\quad (9)$$

(9) nolu denklemlerde x, y, z durum değişkenlerini (*state controls*), ifade etmektedir. Sistemin başlangıç şartları $x(0)=0.05$, $y(0)=0.05$, $z(0)=0.05$ şeklindedir.

Çalışmada DCC (Direct Chaotic Communication) haberleşme sistemlerinden CSK haberleşme sistemi kullanılmıştır. Bunun nedeni basit yapısı nedeniyle FPAA CAB ‘lerin içerisine sığabilmesidir. CSK haberleşme sistemi bilgi sinyaline göre Sprott_h kaotik sinyalin iki durum değişkeninin anahtarlama ile modülasyonu elde edilir. Bu sinyale ortam gürültüsü eklenir. Aşağıdaki verici blok şemasında bu anahtarlama modellenmiştir.



Şekil 4. a) CSK Verici Blok Şeması, b) CSK Alıcı Blok Şeması (Dedieu vd., 1993)

Denklem (10) ile verici blok şeması ifade edilmek istenirse CSK modülasyon sisteminde iletilen bilgi sinyali için anahtarlama $c_1(t)$ ve $c_2(t)$ kaotik durum denklemleri gösterilmiştir.

$$s(t) = \begin{cases} c_1(t), & \text{'1' bilgisi iletildiğinde} \\ c_2(t), & \text{'-1' bilgisi iletildiğinde} \end{cases}\quad (10)$$

Denklem (11) ile vericide elde edilen modüleli sinyale eklenen gürültü sinyali gösterilmektedir.

$$s_{CSK}(t) = s(t) + n(t)\quad (11)$$

Alıcı girişinde gürültü eklenen modüleli sinyal denklem (12) ile gösterilmektedir. Şekil 4. (b) ile gösterilen alıcı blok şemadaki $s_{CSK}(t)$ sinyali alıcı girişinde korelasyonu tabi tutularak integrali alınmaktadır.

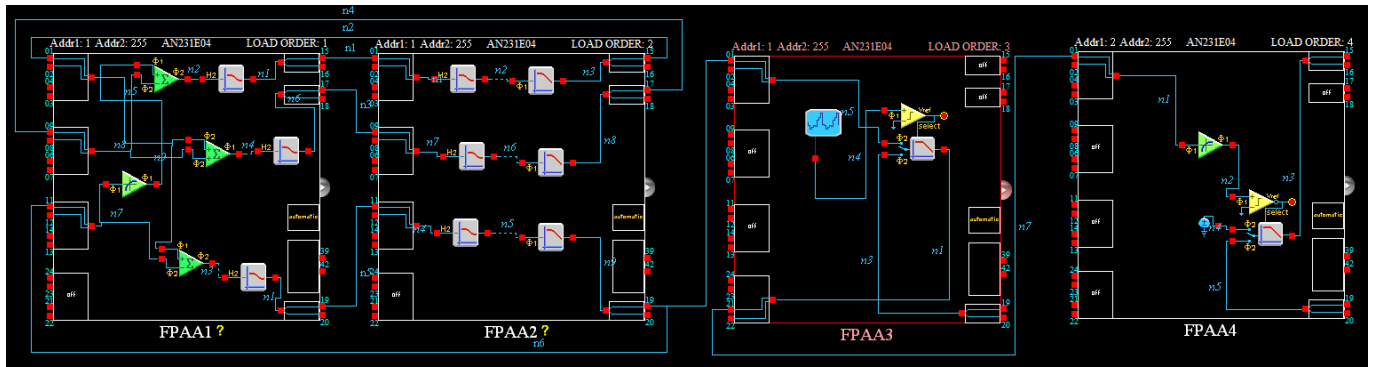
$$\begin{aligned}z_i &= \int_T r^2(t) dt = \int_T [s(t) + n(t)]^2 dt \\ &= \int_T s^2(t) dt + 2 \int_T s(t) \cdot n(t) dt + \int_T n^2(t) dt\end{aligned}\quad (12)$$

İntegratör çıkışındaki sinyal eşik karar bloğuna uygulanarak elde edilen sinyal sıfırdan büyükse +1 olmakta değilse sıfır olmaktadır. Böylece verici devreden iletilen sinyal kaotik taşıyıcı kullanılarak alıcı devreye iletilmiş ve bilgi

sinyali elde edilmiştir. Çalışmanın deneysel gösterimi Şekil 5 ile gösterilmiştir. Şekil 6’da ise FPAA ile haberleşme sisteminin tasarımı verilmektedir.



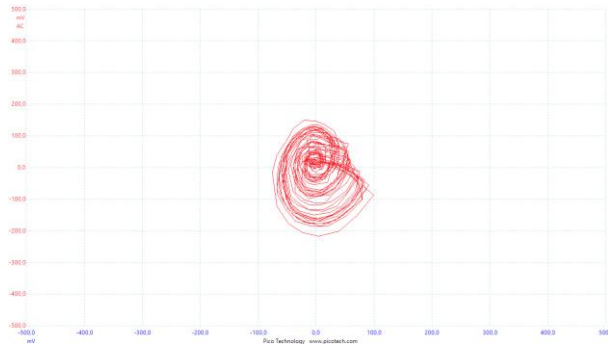
Şekil 5. AN231K04-QUAD4 Tipi FPAA Geliştirme Kartı ve Picoscope Osiloskop Deneysel Kurulum



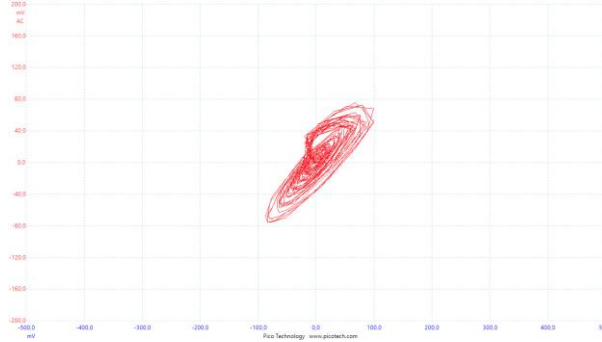
Şekil 6. AnadigmDesigner2 Gerçekleştirim Şeması

Şekil 6’da gösterildiği gibi tasarlanan haberleşme sisteminde kullanılan blokların işlevleri ise Tablo 1 ile açıklanmıştır. Buna göre; “FILTERBILINEARBLOCK-POLE AND ZERO” bloğu kesir derecesi hesaplanan dinamik denklemdeki kutup ve sıfır noktalarının frekans aralığının belirlenmesini, “FILTERBILINEARBLOCK-LOW PASS” bloğu kesir derecesi hesaplanan dinamik denklemdeki alçak kesim frekanslarının belirlenmesini, “SUMDIFF BLOCK” girişindeki değerlerin toplanmasını, “TRANSFER BLOCK” girişindeki sinyal değerine göre matematiksel ifadelerin hesaplanmasını, “GAINSWITCH BLOCK” referans değerine göre anahtarlama yaparak giriş seçiminin yapılmasını, “PERIODIC WAVE BLOCK” istenilen değerlerde sinyal üretimini, “DC VOLTAGE SOURCE BLOCK” denklemlerdeki sabit değerlerin üretilmesinde kullanılır.

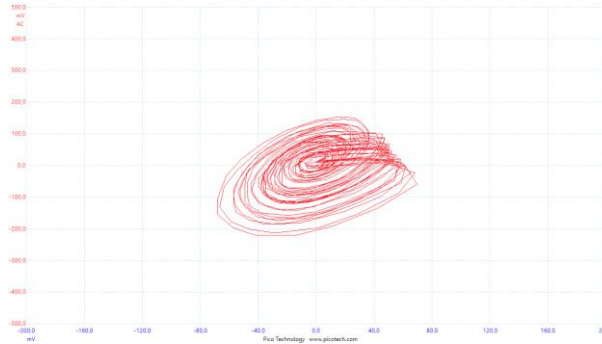
Çalışmada taşıyıcı işaret olarak kullanılan Sprott_h kaotik sisteme ait Şekil 7 ile x-y faz uzay gösterimi, Şekil 8 ile x-z faz uzay gösterimi ve Şekil 9 ile y-z faz uzay gösterimi verilmiştir.



Şekil 7. Sprott H Kaotik Osilatörün FPAA Platformunda x-y Faz-Uzay Gösterimi

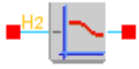
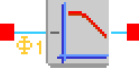



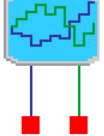
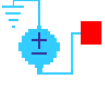


Şekil 8. Sprott H Kaotik Osilatörün FPAA Platformunda x-z Faz-Uzay Gösterimi



Şekil 9. Sprott H Kaotik Osilatörün FPAA Platformunda y-z Faz-Uzay Gösterimi.

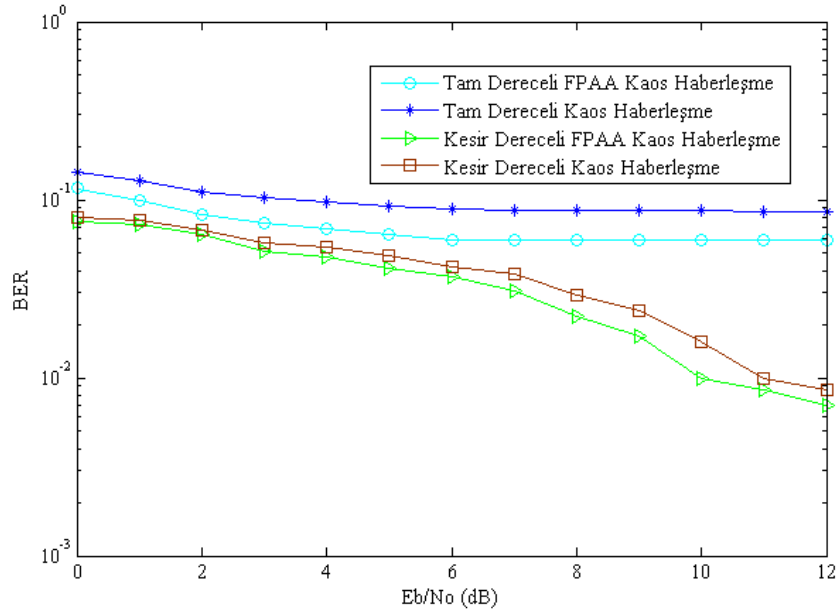
Tablo 1. FPAA Gerçekleştirim Blok Şeması

FILTERBILINEAR BLOCK-POLE AND ZERO		FILTERBİLİNEAR BLOCK, FPAA1 ve FPAA2'de Laplace dönüşümlerini kullanarak bulunan kutup ve sıfır noktalarının frekanslarının tanımlanmasını sağlar.
FILTERBILINEAR BLOCK-LOW PASS		FILTERBİLİNEAR BLOCK, FPAA1 ve FPAA2'de Laplace dönüşümlerini kullanarak bulunan alçak geçiren filtre frekanslarının tanımlanmasını sağlar.
SUMDIFF BLOCK		SUMDIFF BLOCK, girişteki değerlerin toplanmasını sağlar.
TRANSFER BLOCK		TRANSFER BLOCK, bir değere bağlı matematiksel denklemlerin kullanıcı tarafından tanımlanmasını sağlar.
GAINSWITCH BLOCK		GAINSWITCH BLOCK, Giriş sinyalini referans değerine göre anahtarlama olarak çalıştırır.
PERIODIC WAVE BLOCK		PERIODIC WAVE bloğu, FPAA3'te Additive White Gauss Gürültüsünü eklemek için kullanılır.
DC VOLTAGE SOURCE BLOCK		DC VOLTAGE SOURCE, matematiksel ifadelerdeki sabit değeri eklemek için kullanılır.

DCC haberleşme sisteminde BER/SNR oranı denklem (13) ile hesaplanmaktadır. Denklem (13)'de E_b kaotik modülörün çıkışındaki bit enerjisini ve erfc hata fonksiyonunu ifade ederken, $N_0/2$ gürültü dağılımını ifade etmektedir (Sushchik vd., 2000).

$$BER = 1/2 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_0} \left(1 + \frac{\beta N_0}{2E_b} \right)^{-1}} \right) \quad (13)$$

Her bir gürültü seviyesi için Matlab Simulink'te Error Rate Calculation bloğu kullanılırken, deneysel çalışmada ise iletilen ve elde edilen sinyallerin verileri dijital osiloskop girişinde usb bellek ile kaydedilerek karşılaştırma işlemi yapılmış elde edilen sonuçlar Şekil 10' da verilmiştir.



Şekil 10. Kesir Dereceli Kaos Üreticinin Benzetim ve FPAA BER-SNR Performansı

Çalışmada gerçekleştirilen uygulama neticesinde elde edilen benzetim ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca Anadigm tasarımı da uygulama adımlarına eklenmiş ve sonuç eğrileri eklenmiştir. Bu yöntem ile özellikle kontrol sistemlerinde modellenecek yapıların tam olarak davranışları gözlemlenerek karar mekanizmalarının kontrolü daha kesin ve doğru bir şekilde yapılabilecektir. Benzer şekilde non-coherent kaotik haberleşme sistemlerinde senkronizasyon gerektirmeden alıcı ve verici devrelerde aynı kaotik sinyalin üretilmesi sağlanmıştır. Böylelikle kesir dereceli kaotik sistem kullanılarak gerçekleştirilen non-coherent yapı kaotik haberleşme sistemleri, tam dereceli kaotik alıcı sistemlerine göre daha kısa sürede senkronize olacağından BER/SNR performansını artırmaktadır. Ayrıca non-coherent kaotik sistemlerde ise kaotik sinyalin gerçek dinamik davranışını sergilemesine yardımcı olacağı için güvenilir bir haberleşme ortamı sağlayacaktır. Elde edilen benzetim ve deneysel sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çalışmada tasarlanan haberleşme sisteminin daha iyi performans gösterdiği ortaya konulmuştur.

SONUÇLAR

Bu çalışma neticesinde mevcut sayısal tabanlı kaotik haberleşme yöntemlerine göre daha iyi BER/SNR performansı gösteren bir kaotik haberleşme tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tam dereceli kaotik sinyallerin öncelikle kesir dereceli olarak modellenmesi ve bunun sonrasında analog tabanlı bir platformda deneysel uygulamasını gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Gerek benzetim gerekse de deneysel çalışmalar kesir dereceli ve analog tabanlarda gerçekleştirilen sistemin BER/SNR performansının daha iyi olduğu sonuçlarına ulaşmıştır. Ayrıca kesir dereceli tasarımın kaotik sistemin gerçek davranışının elde edilmesinde kullanıldığından sistemin karmaşıklığını artırmakta ve dışarıdan istenmeyen şekilde yeniden elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum taşıyıcı olarak kullanıldığı haberleşme sisteminin güvenilirliğini de artıracak bir parametre olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, H. N., & Valenzuela, A. A. (2011). Performance evaluation of FM-COOK chaotic communication system. *Journal of Signal and Information Processing*, 2(3), 175-177.
- Altun, K. (2021). FPAA implementations of fractional-order chaotic systems. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 30(15), 2150271.
- Baccigalupi, A., & Liccardo, A. (2007). Field programmable analog arrays for conditioning ultrasonic sensors. *IEEE Sensors Journal*, 7(8), 1176-1182.
- Chua, L. O., & Yang, L. (1988). Cellular neural networks: Theory. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 35(10), 1257-1272.
- Chua, L. O., Desoer, C. A., & Kuh, E. S. (1987). Linear and nonlinear circuits. McGraw-Hill College.
- Cuomo, K. M., Oppenheim, A. V., & Strogatz, S. H. (1993). Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 40(10), 626-633.
- Dedieu, H., Kennedy, M. P., & Hasler, M. (1993). Chaos shift keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 40(10), 634-642.
- Günay, E., & Altun, K. (2017). A performance comparison study of programmable platforms: FPAA and FPGA implementation of COOK communication system. In 2017 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD).
- Günay, E., & Altun, K. (2018). Switched state controlled-CNN: an alternative approach in generating complex systems with multivariable nonlinearities using CNN. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 28(06), 1830019.
- Hall, T. S., Twigg, C. M., Gray, J. D., Hasler, P., & Anderson, D. V. (2005). Large-scale field-programmable analog arrays for analog signal processing. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 52(11), 2298-2307.
- Hasler, J., & Shah, S. (2017). VMM+ WTA embedded classifiers learning algorithm implementable on SoC FPAA devices. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 8(1), 65-76.
- Herzallah, M. A. (2014). Notes on some fractional calculus operators and their properties. *J. Fract. Calc. Appl*, 5(19), 1-10.
- Holmes, P. (1990). Poincaré, celestial mechanics, dynamical-systems theory and "chaos". *Physics Reports*, 193(3), 137-163.
- Jin, Y., Chen, Y. Q., & Xue, D. (2011). Time-constant robust analysis of a fractional order [proportional derivative] controller. *IET Control Theory & Applications*, 5(1), 164-172.
- Kennedy, M. P., & Kolumban, G. (2000). Digital communications using chaos. *Signal Processing*, 80(7), 1307-1320.
- Kolumbán, G. (1997). Performance improvement of chaotic communication systems. In Proc. ECCTD'97 (pp. 284-289).
- Kolumbán, G., Kennedy, M. P., & Chua, L. O. (1998). The role of synchronization in digital communications using chaos. II. Chaotic modulation and chaotic synchronization. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 45(11), 1129-1140.
- Kolumbán, G., Vizvári, B., Schwarz, W., & Abel, A. (1996). Differential chaos shift keying: A robust coding for chaos communication. In Proc. NDES (Vol. 96, pp. 87-92).
- Kozioł, S. (2020). Multi-Objective Path Planning for Autonomous Robots Using Reconfigurable Analog VLSI. *IEEE Access*, 8, 80134-80147.
- Li, C. B., Thio, W. J. C., Sprott, J. C., Zhang, R. X., & Lu, T. A. (2017). Linear synchronization and circuit implementation of chaotic system with complete amplitude control. *Chinese Physics B*, 26(12), 120501.

- Linsay, P. S. (1981). Period doubling and chaotic behavior in a driven anharmonic oscillator. *Physical Review Letters*, 47(19), 1349.
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of Atmospheric Sciences*, 20(2), 130-141.
- Ma, S., Zheng, J., & Li, Y. (2014). Chaos control and synchronization of a new fractional order chaotic system. *Journal of Information & Computational Science*, 11(10), 3469-3479.
- Moreno, D. G., Del Barrio, A. A., Botella, G., & Hasler, J. (2021). A cluster of FPAA's to recognize images using neural networks. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 68(11), 3391-3395.
- Nishimoto, K. (1984). *Fractional Calculus*, Decartess Press, Koriama.
- Oldham, K., & Spanier, J. (1974). *The fractional calculus theory and applications of differentiation and integration to arbitrary order*. Elsevier.
- Ott, E., Grebogi, C., & Yorke, J. A. (1990). Controlling chaos. *Physical Review Letters*, 64(11), 1196.
- Oustaloup, A., Levron, F., Mathieu, B., & Nanot, F. M. (2000). Frequency-band complex noninteger differentiator: characterization and synthesis. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 47(1), 25-39.
- Parlitz, U., Chua, L. O., Kocarev, L., Halle, K. S., & Shang, A. (1992). Transmission of digital signals by chaotic synchronization. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2(04), 973-977.
- Pecora, L. M., & Carroll, T. L. (1990). Synchronization in chaotic systems. *Physical Review Letters*, 64(8), 821.
- Peitgen, H. O., Jürgens, H., Saupe, D., & Feigenbaum, M. J. (1992). *Chaos and fractals: new frontiers of science* (Vol. 7). New York: Springer.
- Petráš, I. (2011). *Fractional-order nonlinear systems: modeling, analysis and simulation*. Springer Science & Business Media.
- Petráš, I., & Bednářová, D. (2011). Control of fractional-order nonlinear systems: A review. *Acta Mechanica et Automatica*, 5(2), 96-100.
- Podlubny, I. (1999). Fractional differential equations. *Mathematics in Science and Engineering*, 198, 41-119.
- Salih, T. A. (2021). Design and Implementation of a Low Power Consumption of ASK, FSK PSK, and QSK Modulators Based on FPAA Technology, *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, 11(4), 1288.
- Schlottmann, C. R., & Hasler, J. (2013). High-level modeling of analog computational elements for signal processing applications. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 22(9), 1945-1953.
- Sprott J. C., (1994). Some simple chaotic flows. *Physical Review E*, 50(2):R647.
- Sushchik, M., Tsimring, L. S., & Volkovskii, A. R. (2000). Performance analysis of correlation-based communication schemes utilizing chaos. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 47(12), 1684-1691.
- Tolba, M. F., Said, L. A., Madian, A. H., & Radwan, A. G. (2018). FPGA implementation of the fractional order integrator/differentiator: Two approaches and applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 66(4), 1484-1495.
- Udita, N. K. (2014). A new approach to generalized fractional derivatives. *Bulletin of Mathematical Analysis and Applications*, 6(4), 1-15.
- Yong, Y. K., Bhikkaji, B., & Moheimani, S. R. R. (2012). Design, modeling, and FPAA-based control of a high-speed atomic force microscope nanopositioner. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 18(3), 1060-1071.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 21.11.2022
Kabul Tarihi : 04.03.2023

Received Date : 21.11.2022
Accepted Date : 04.03.2023

DALGACIK EVRİŞİMSEL SİNİR AĞI YÖNTEMİ İLE KORONAVİRÜS HASTALIĞININ TESPİTİ

DETECTION OF CORONAVIRUS DISEASE USING WAVELET CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK METHOD

Abidin ÇALIŞKAN¹ (ORCID: 0000-0001-5039-6400)

¹ Batman Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Batman, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Abidin ÇALIŞKAN, abidin.caliskan@batman.edu.tr

ÖZET

Koronavirüs (Kovid-19), 2019 yılından itibaren dünya genelinde hissedilen ve ölümcül sonuçları olan RNA tipi bir virüs türüdür. Kovid-19 virüsü, genellikle akciğerde etkinliğini göstermekte olup, çeşitli solunum yolu enfeksiyonlarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, Kovid-19 tanısını gerçekleştirebilen yapay zekâ tabanlı yeni bir Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) modeli önerilmiştir. Uzamsal ve spektral yaklaşımlar, görüntü analizlerinde ve nesne tanımlama gibi işlemlerde sıkça kullanılmaktadır. ESA modellerinde genellikle görüntüler uzamsal alanlarda işlenir ve eğitim sürecini buradan elde ettikleri öznelikleri kullanarak tamamlarlar. Bu çalışmada önerilen ESA modeline farklı bir bakış açısı katabilmek için girdi görüntülerini mekânsal ve spektral olarak işlenmesi gerçekleştirildi. Böylece çok çözünürlüklü farklı özneliklerin çıkartılması sağlandı. Çok çözünürlüklü analiz adımlarının eksik kısımlarını dalgacık dönüşümü denilen yöntem kullanılarak tamamlandı. Sonuç olarak, önerilen yaklaşım olan Dalgacık ESA (D-ESA) ile gerçekleştirilen deneysel analizlerde %98,48 genel doğruluk başarıları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, evrişimsel sinir ağı, dalgacık sinir ağı, solunum hastalıkları, koronavirüs.

ABSTRACT

Coronavirus (Covid-19) is a type of RNA-type virus that has been felt around the world since 2019 and has deadly consequences. The Covid-19 virus, usually shows its effectiveness in the lungs and causes various respiratory tract infections. In this study, a new artificial intelligence-based Convolutional Neural Network (CNN) model that can diagnose Covid-19 has been proposed. Spatial and spectral approaches are frequently used in image analysis and operations such as object identification. CNN models, on the other hand, generally process images in spatial areas and complete the training process by using the attributes obtained from there. In order to add a different perspective to the CNN model proposed in this study, the spatial and spectral processing of the input images was carried out. Thus, it was possible to extract different multi-resolution features. The missing parts of the multi-resolution analysis steps were completed using the so-called wavelet transform method. As a result, the overall accuracy of 98.48% was achieved in the experimental analyzes performed with the proposed approach, Wavelet CNN (W-CNN).

Keywords: Deep learning, convolutional neural network, wavelet neural network, respiratory diseases, coronavirus.

GİRİŞ

Kovid-19 salgını dünyada büyük endişe kaynağı olmuş ve milyonlarca kişinin ölümüne de neden olmuştur (Le Dinh vd., 2022). Kovid-19 virüsü RNA tipli bir virüs olup, çeşitli varyantlarının zaman içerisinde ortaya çıkmasından dolayı, virüse karşı mücadele güçlendirmiştir (Muneer vd., 2022). Salgın süresinde dünyada uzun süren kapanmalar nedeniyle ülke ekonomileri zarar görmüş ve birçok insan geçim sıkıntısı yaşamıştır. Kovid-19 virüsünün genetik evrime sahip olması tanı/tedavi süreçlerini olumsuz etkilemiştir (Toğaçar, 2021; Alyasseri vd., 2022). Bütün bu süreçler bilim insanlarını Kovid-19 virüsünün tanı/tedavi sürecine odaklanmasına neden olmuştur. Kovid-19 hastalığının doğrudan etkilediği ve zarar verdiği organ akciğerlerdir (Shahin vd., 2022). Akciğerlere verdiği tahribat ile solunum yolu enfeksiyonlarına yol açmakta ve hastaların nefes alış verişlerini zayıflatmaktadır. Hastalığın tanı sürecinde genellikle akciğer görüntüleri ve polimeraz zincir reaksiyonu kullanılmıştır. Bu görüntüler, çeşitli görüntüleme teknikleri (X-ışın, Röntgen, vb.) kullanılarak elde edilmiştir (Bhardwaj & Kaur, 2021; Fan vd., 2022).

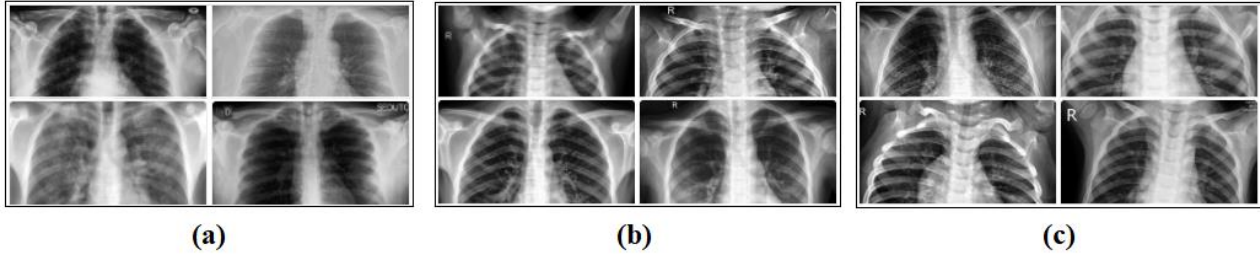
Tıbbi görüntüler son zamanlarda araştırmacılar ve bilim adamları tarafından ilgi görmeye başlamıştır ve bu ilgi disiplinler arası çalışmaların ortaya çıkmasını sağlamıştır (Jin vd., 2022). Yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar tıbbi görüntülerde hastalığın tanı sürecine katkı sunmuştur (Yu vd., 2021). Kovid-19 hastalığının tespitinde yapay zekâ tabanlı birçok çalışma literatürde yer almıştır (Zhan & Santos-Paulino, 2021; Subramanian vd., 2022).

Bu çalışmalardan bazıları incelendiğinde; Abdulkareem vd., Kovid-19 hastalığının tespiti için ESA, yığılanmış otomatik kodlayıcı ve Derin Öğrenme (DÖ) sinir ağı modellerini kullanarak, çalışmalarında %88,30 genel doğruluk başarısı elde etmişlerdir (Abdulkareem vd., 2022). Kini vd., Kovid-19 hastalığının tespitinde topluluk öğrenme modeline dayalı hibrit bir model tasarladılar (Kini vd., 2022). Önerdikleri model, ResNet ve DenseNet mimarilerini birleştiren bir yaklaşım içermiştir. Deneysel analizlerde %98,98 genel doğruluk başarısı elde ettiler. Apostolopoulos & Mpesiana (2020), 224 Kovid-19, 700 Bakteriyel Pnömoni ve 504 Normal X-ray görüntüsünü içeren, 1427 X-ray görüntüsünün veri setini sırasıyla; %96,78, %98,66 ve %96,46 doğruluk, duyarlılık ve özgüllük ile sınıflandırmak için transfer öğrenme yaklaşımını önermişlerdir. Maghdid vd., 310 normal, 330 bakteriyel pnömoni, 327 viral pnömoni ve 284 Kovid-19 pnömoni görüntüsü üzerinde transfer öğrenme yaklaşımı uygulamışlardır (Maghdid vd., 2021). Deneylerin sonucunda, önceden eğitilmiş ağ üzerinden kullanılan modellerde; %98 doğruluk, modifiye ESA kullanılarak da %94,1 doğruluk elde etmişlerdir. Deb vd., DÖ ile dört farklı ESA modelinin özellikleri kullanılarak önerdikleri modelde %88,98 doğruluk oranı elde etmişlerdir (Deb vd., 2022). Karthik vd., Kovid-19 pnömonisi, viral pnömoni, bakteriyel pnömoni vakaları ve normal göğüs röntgenlerini kullanarak belirli pnömoni sınıflarını belirlemek için çift dallı artık ESA önererek, %99,8 doğruluk (Karthik vd., 2021), Zhang vd., kombine model, DenseNet optimizasyonu ve transfer öğrenmeye dayalı yöntem geliştirerek önerdikleri modelde %96,30 oranında doğruluk elde edilmişlerdir (Zhang vd., 2021). Narin vd., transfer öğrenme tekniği ile iki sınıf (normal ve Kovid-19) için bir sinir ağı önererek, ResNet-50 modeli kullanarak maksimum %98 tanıma oranı, önerilen diğer iki model olan InceptionV3 ve Inception-ResNetV2 ile de sırasıyla %97 ve %87 doğruluk (Narin vd., 2021), Panwar vd., çalışmalarında hastalıklı bölgeyi renklendirmek için VGG16 transfer öğrenme yöntemi ve gradyan sınıf aktivasyon haritası yöntemlerini kullanarak, %95,61 doğruluk oranı elde etmişlerdir (Panwar vd., 2020).

Makalenin deneysel analizlerinde gerçekleştirilmesi istenen hedef, X-ışınlarından elde edilmiş göğüs görüntülerini kullanarak Kovid-19 hastalığının diğer türlere (zatürre, normal) göre başarılı bir şekilde sınıflandırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, ESA modellerinden farklı bir yaklaşım izlenerek tasarlanmış olan D-ESA modeli, çalışmanın deneysel analizlerinde kullanılmıştır. Bu makale şu şekilde organize edilmiştir; veri kümesi ve önerilen yaklaşım hakkında detaylı bilgiler sırasıyla Bölüm 2 ve Bölüm 3'te verilmiştir. Gerçekleştirilmiş deneysel analiz ve sonuçları Bölüm 4'te verilmiştir. Son iki bölüm sırasıyla Tartışma ve Sonuç bölümlerinden oluşmuştur.

VERİ KÜMESİ

Veri kümesi, X-ışınlı göğüs görüntülerinden oluşan kamuya erişimi açık görüntülerden oluşmaktadır (Raikote, 2019). Verilerin sınıf türleri; Kovid-19, normal ve zatürre olmak üzere, üç tür sınıf görüntülerinden oluşmaktadır. Görüntü kümesi "jpeg" formatında sıkıştırılmış ve çözünürlük boyutları sabit değildir. Görüntüler uzman doktorlar ve radyologlar tarafından kontrol edilmiş ve sınıflandırılmıştır. Veri kümesi Montreal Üniversitesi araştırmacıları tarafından kamuya sunulmuştur ve zatürre verileri RSNA web sitesinden temin edilmiştir. Her bir görüntü derinliği 8 bittir. Veri kümesi eğitim ve test olmak üzere iki klasörden oluşmaktadır. Görüntü kümesi hakkında bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Veri kümesinin sınıf türlerine göre alt görüntü örnekleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Veri kümesi türleri; (a) Kovid-19, (b) Normal ve (c) Zatiirre

Tablo 1. Veri Kümesi Hakkında İstatistiki Bilgiler

Veri kümesi	Sınıftürü	Görüntü sayısı	Toplam
Eğitim	Kovid-19	111	251
	Normal	70	
	Zatiirre	70	
Test	Kovid-19	26	66
	Normal	20	
	Zatiirre	20	

YAPAY ZEKÂ MODELLERİ

Evrışimsel Sinir Ağı

ESA, canlıların doğal görsel algılama mekanizmasından esinlenen bir DÖ mimarisidir (Gu vd., 2018). ESA modellerinin temel bileşenleri çok benzemekle beraber, literatürde çok sayıda ESA mimarisi vardır (Wang vd., 2020; Sunitha vd., 2022). ESA; evrışimsel, havuzlama ve tam bağlantılı katmanlar gibi çoklu yapıları kullanarak, geri yayılım yoluyla özelliklerin uzamsal hiyerarşilerini uyarlanabilir ve otomatik bir şekilde öğrenmek için tasarlanmıştır (Yamashita vd., 2018; Umer vd., 2022).

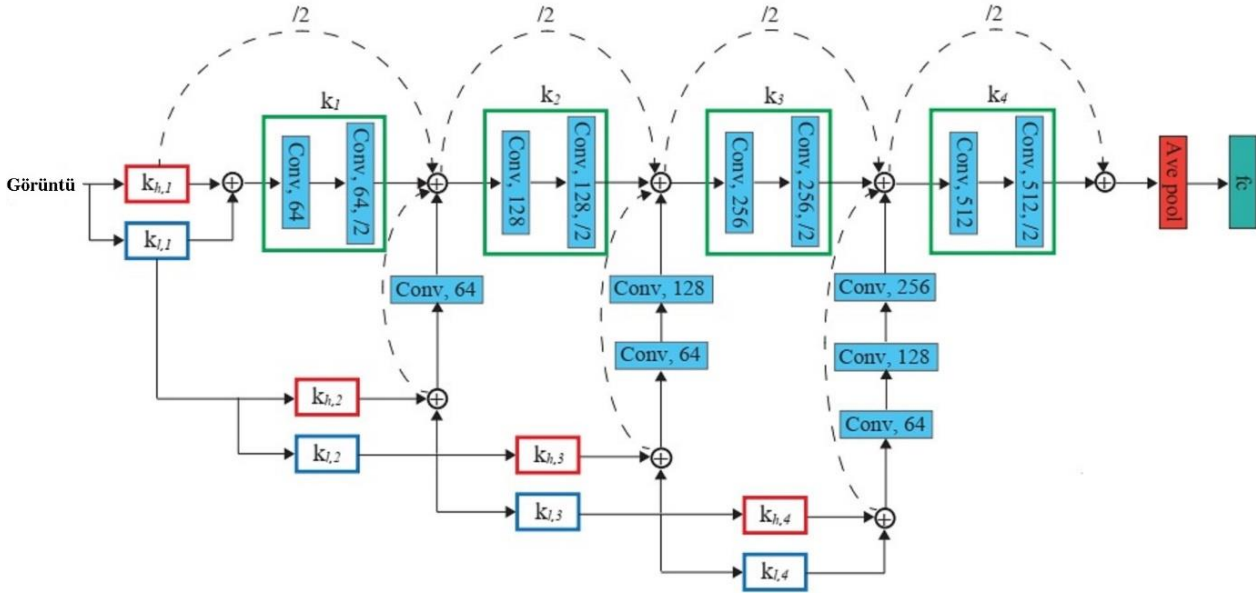
Evrışim ve havuzlama katmanları, özellik çıkarma işlemlerini gerçekleştirirken, tam bağlantılı katman da çıkarılan özellikleri sınıflandırır. Evrışim katmanı, özel bir doğrusal işlem türü olan evrışim gibi bazı matematiksel işlemlerden oluşan ESA da önemli bir rol oynar.

ESA'lar öncelikle girdinin görüntülerden oluşacağı temelini esas alarak, belirli veri türleri ile ilgilenme ihtiyacına en iyi uyacak şekilde kurulacak mimariye odaklanırlar (Sarvamangala & Kulkarni, 2021). ESA'nın temel farklılıklarından biri, ESA içindeki katmanların nöronların, girdinin yükseklik, genişlik olan uzamsal boyutluluğu ve derinlik olmak üzere üç boyutlu nöronlardan oluşmasıdır. Derinlik; Yapay Sinir Ağlarının (YSA) katman sayısı toplamını değil, aktivasyonun üçüncü boyutunu ifade etmektedir. YSA'dan farklı olarak, bir katmandaki nöronlar önceki katmanın sadece küçük bir bölgesine bağlanmaktadır (O'Shea & Nash, 2015).

Önerilen Yaklaşım: Dalgacık Evrışimsel Sinir Ağı Modeli

Çok çözünürlüklü analizi ve ESA'ları tek bir modelde birleştiren yeni bir ESA mimarisi olan, D-ESA modeli önerilmiştir (Fujieda vd., 2018). Bir ESA, çok çözünürlüklü bir analizin sınırlı bir biçimi olarak görülebilir. Dalgacık dönüşümü yoluyla, çoklu çözünürlüklü analizin eksik kısımları tamamlanıp, tüm mimariye ek bileşenler olarak entegre edilebilir. D-ESA, geleneksel ESA'larda çoğunlukla kaybolan ancak, çoğu görüntü işleme görevinde faydalı olan spektral bilgiyi kullanmamıza izin verir. Deneyler, D-ESA'nın geleneksel ESA'lardan önemli ölçüde daha az parametreye sahipken, her iki görevde de mevcut modellerden daha iyi doğruluk elde edebildiğini göstermektedir (Nneji vd., 2021).

D-ESA'ların geleneksel ESA'lardan önemli ölçüde daha az sayıda eğitilebilir parametre ile daha iyi veya rekabetçi doğruluklar elde etmektedirler. Bu nedenle de modelin eğitilmesi daha kolay olup, geleneksel ESA'lardan daha az bellek tüketir ve aşırı doyuma da daha az eğilimlidirler (Singh & Singh, 2021; AbdulQader vd., 2023). Şekil 2, giriş görüntüsünün dört seviyeli ayrıştırılmasıyla D-ESA modelinin genel görünümünü göstermektedir.



Şekil 2. D-ESA Modelinin Genel Görünümü (Fujieda vd., 2018)

Şekil 2 de; k_l alçak geçiş filtre, k_h yüksek geçiren filtre, \oplus kanal bazında birleştirme, $- \rightarrow$ projeksiyon kısayolunu ifade etmektedir.

D-ESA, girdi görüntüsünü 3×3 çekirdekli ve 1×1 dolgu evrişim katmanları ile işler. Çıktının kanal sayısını evrişimden sonraki sayı belirtir. Özellik haritalarının boyutunu küçültmek için iki ve 1×1 dolgu adımı 3×3 evrişimli çekirdekler kullanılır. Ek olarak, girdi görüntüsü çoklu çözünürlüklü analiz yoluyla ayrıştırılır ve ayrıştırılan görüntüler kanal bazında birleştirilir. Projeksiyon kısayolları 1×1 kıvrımlarla yapılır. Evrişim katmanlarının çıktısı, küresel ortalama havuzlama ve ardından tamamen bağlı bir katman (fc) ile vektörleştirilir. Çıktının boyutu, girdi veri kümesine dâhil edilen sınıfların sayısına eşittir (Fujieda vd., 2018).

DENEYSSEL SONUÇLAR

Çalışmanın deneysel analizleri Jupyter Notebook arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, önerilen model python dilinde tasarlanmıştır. Donanımsal gereksinimler için Google Colab (2021) sunucusu kullanıldı. Deneysel analizlerin ölçümü için karmaşıklık matrisi kullanıldı. Karmaşıklık matrisinde, çeşitli metrikleri hesaplamak için, gerçek ve tahmin edilen kayıtların tutulduğu dört farklı performans metriği bulunmaktadır. Karmaşıklık matrisinin tanımlanmasında kullanılan metrikler; duyarlılık (Du), hassasiyet (Ha), özgüllük (Öz), f-skoru (F-skor) ve doğruluk (Do)'tur (Toğaçar vd. 2021). Metriklerin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmıştır (Denklem 1-5). Denklemler için kullanılan değişkenler şunlardır; doğru pozitif (DP), doğru negatif (DN), yanlış pozitif (YP), yanlış negatif (YN)'tir (Çalışkan, 2022). Burada DP ve DN, doğru tanımlanmış pozitif ve negatif kayıtların sayısını gösterir. YP ve YN, yanlış tahmin edilen pozitif ve negatif sınıflara ait kayıt sayısını temsil eder.

Karmaşıklık matrisi Tablo 2'de, önerilen model için tercih edilen parametre değerleri de Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Karmaşıklık Matrisi

		Tahmin	
		Normal	Hastalıklı
Gerçek	Normal	DP	YN
	Hastalıklı	YP	DN

$$D_u = \frac{DP}{(DP + YN)} \quad (1)$$

$$Ö_z = \frac{DN}{(DN + YP)} \quad (2)$$

$$H_a = \frac{DP}{(DP + YP)} \quad (3)$$

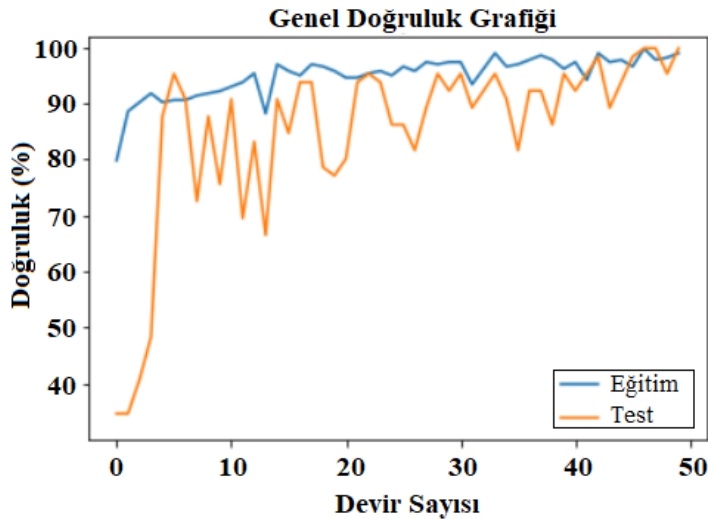
$$F - \text{skor} = \frac{(2xDP)}{(2xDP + YP + YN)} \quad (4)$$

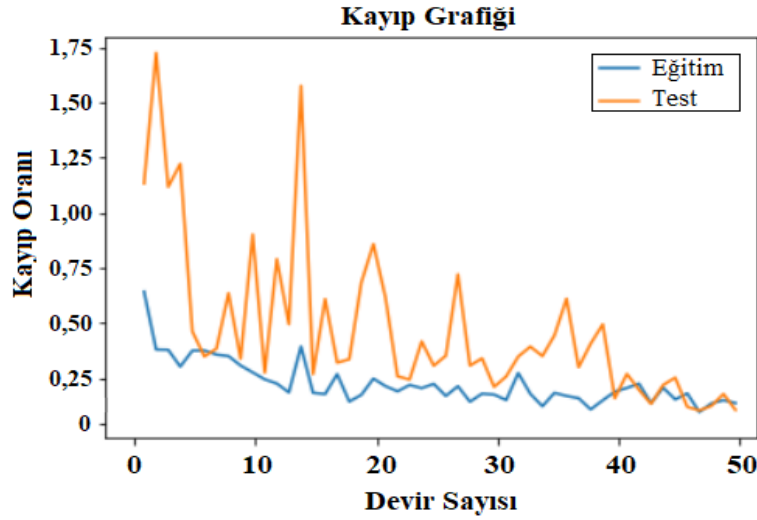
$$D_o = \frac{(DP + DN)}{(DP + DN + YP + YN)} \quad (5)$$

Tablo 3. D-ESA Modeli İçin Tercih Edilen Parametreler ve Tercihleri

Parametre	Değer / Tercih
Devir sayısı	50
Optimizasyon	Adam
Öğrenme oranı	10^{-4}
Sınıflandırma yöntemi	Softmax
Sınıflandırma metriği	Kategorik çapraz entropi
Kesme aralığı (eğitim verileri için)	0,1
Yakınlaştırma aralığı (eğitim verileri için)	0,1
Yatay flip (eğitim verileri için)	Doğru
Minimum boyut/parti değeri	8

Önerilen model ile Kovid-19 görüntülerinin tanınması için, veri setinde bulunan görüntülerin %80'i eğitim için kullanılırken, %20'si test amacıyla rastgele seçilerek kullanılmıştır. Önerilen model ile veri setinin eğitilmesi sonucu, modelin genel doğruluk oranı %98,48 olarak belirlenmiştir. Modelin eğitim ve kayıp grafiği sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3'e bakıldığı zaman eğitim ve test verilerinin eğitiminin 40. devir sayısından sonra çok fazla değişmediği, benzer şekilde yine Şekil 4'e bakıldığı zaman 40. devir sayısından sonra yakınsama değerine ulaşıldığı görülmektedir. Dolayısıyla veri setinde belirlenmiş olan devir sayısı değerinin model eğitimi için uygun olduğu söylenebilir. Karmaşıklık matrisi ise Şekil 5'te, modelin performans sonuçları ise Tablo 4'te verilmiştir.

**Şekil 3.** Önerilen D-ESA Modelinin Genel Doğruluk Başarı Grafiği



Şekil 4. Önerilen D-ESA Modelinin Genel Doğruluk Kayıp Grafiği

		Tahmin Etiket		
		Kovid	Normal	Zatürre
Gerçek Etiket	Kovid	25	1	0
	Normal	0	20	0
	Zatürre	0	0	20
		Kovid	Normal	Zatürre

Şekil 5. Deneysel Analizin Eğitim-Test Verilerine Ait Karmaşıklık Matrisi

Tablo 4. Deneysel Analizden Elde Edilen Karmaşıklık Matrisinin Metrik Sonuçları (%)

Önerilen yaklaşım	Tür	F-Skor	Du.	Öz.	Ha.	Do.	Genel Do.
D-ESA	Kovid-19	98,03	96,15	100	100	98,48	98,48
	Normal	97,56	100	97,82	95,23	98,48	
	Zatürre	100	100	100	100	100	

TARTIŞMA

X-ışınlarından elde edilmiş göğüs görüntüleri kullanılarak; Kovid-19, normal ve zatürre olmak üzere, üç çeşit sınıf görüntülerinden oluşan veri seti kullanılmıştır. Görüntüler, uzman doktorlar ve radyologlar tarafından kontrol edilmiş ve etiketlenmiştir. Deneysel analizler gerçekleştirilerek, geleneksel ESA modellerinden farklı bir yaklaşım izlenerek tasarlanmış olan D-ESA modeli, çalışmanın deneysel analizlerinde kullanılarak Kovid-19 hastalığı, diğer türlere (zatürre, normal) göre başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır.

Birçok çalışma da Kovid-19, normal ve zatürre olmak üzere, üç çeşit sınıf görüntülerini kullanarak sağlıklı kişilerin otomatik sınıflandırılması için DÖ modelleri kullanılmıştır. Tablo 5 benzer veri setleri ve aynı veri seti ile gerçekleştirilmiş olan çalışmaların karşılaştırılmasını özetlemektedir. Çoğu, halka açık veri kümelerinin X-ray görüntüleri kullanılarak geliştirilmiş ve doğrulanmış olsa da, klinik vaka görüntüleri ile doğrulanmamıştır.

Shorfuzzaman & Hossain (2021), Kovid-19 vakalarının otomatik tespitinde göğüs X-ray görüntülerinin analizini hızlandırmak için derin meta öğrenmeye dayalı bir yapay zeka sistemi önermişlerdir. Kovid-19 vakalarının sınıflandırılması için bir siyam ağından yararlanmak üzere, karşılaştırmalı öğrenmeyi önceden eğitilmiş bir ConvNet kodlayıcıyla entegre etmek için sinerjik bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen model ile göğüs X-ray görüntülerinin Kovid-19 teşhisinde, %95,60 doğruluk elde etmişlerdir. Nishio vd., önerdikleri modelde önceden eğitilmiş olan VGG16'yı ve veri artırma yöntemleri olarak, geleneksel yöntem ile bir kombinasyon kullanmışlardır (Nishio vd., 2020). Önceden eğitilmiş olan diğer model türleri, VGG16 tabanlı modellerle karşılaştırılarak, bilgisayar destekli sistemin üç kategorili doğruluğu, Kovid-19 pnömonisi, Kovid-19 dışı pnömoni ve sağlıklılar arasında %83,60 olarak elde etmişlerdir. Wehbe vd., referans standart olarak ters transkripsiyon polimeraz zincir reaksiyonu test sonuçları ile ön göğüs radyografilerinde Kovid-19'u saptamak için geliştirilmiş bir ESA topluluğu olan DeepCOVID-XR'ı önermişlerdir (Wehbe vd., 2021). DeepCOVID-XR'nin doğruluğunu %82 olarak elde etmişlerdir. Nasiri ve Hasani (2022), X-ışını görüntülerinden Kovid-19 hastalığının teşhisi için DenseNet169 ESA modelini kullanmışlardır. Çıkarılan öznetelikler daha sonra sınıflandırma görevini gerçekleştirmek için XGBoost algoritmasına girdi olarak verilerek, deneyler iki ve üç sınıflı problemlerde sırasıyla; %98,23 ve %89,70 doğruluk, %99,78 ve %100 özgüllük, %92,08 ve %95,20 duyarlılık göstermiştir. Tran vd. önerdikleri protokol ile MNIST veri seti ve gerçek hayattaki bir uygulama veri seti olan Kovid-19 üzerinde çalışarak, Kovid-19 veri setinde %95,02 doğruluk elde etmişlerdir (Tran vd., 2021). Önerilen modelde protokolün güvenliği sağlanmıştır. Bu çalışmada önerilen dense ağ modeli ile devir sayısı değeri verilmiş fakat ağı eğitimi önemli olan mini-batch size değeri, sinir ağınnın ağırlıklarının eğitilmesi için kullanılan optimizasyon algoritması ve öğrenme oranı gibi hiper-parametreler ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemiştir. Dolayısıyla aynı veri seti ile yapılan bu çalışma da aynı hiper parametreler kullanılarak doğrudan bir karşılaştırma yapılamamıştır. Huang, Kovid-19 verileri üzerinde ESA ve İleri Beslemeli Sinir Ağı (İBSA) modellerini kullanarak, ESA için %100, İBSA için ise %96,88 doğruluk elde edilmiştir (Huang, 2021). Bu çalışmada aşırı uyma probleminin bir dezavantaj olduğu ve bu problemin giderilmesi için daha fazla veri toplanarak, yeni sınıflandırma algoritmaları ile problemin test edilmesi veya çapraz doğrulama testlerinin eklenmesi gerektiği söylenebilir.

Tablo 5. Benzer Veri Setleri ile Gerçekleştirilmiş Çalışmaların Karşılaştırılması

Makale	Yıl	Sınıftürü	Model / Yöntem	Doğruluk (%)
Shorfuzzaman & Hossain	2021	Kovid-19, normal, zatürre	Siyam sinir ağına dayalı MetaCOVID metodu	95,60
Nishio vd.	2020	Kovid-19, normal, zatürre	VGG16	83,60
Wehbe vd.	2021	Kovid-19, normal, zatürre	DeepCOVID-XR	82
Nasiri ve Hasani	2022	Kovid-19, normal, zatürre	DarkCovidNet DenseNet169 + XGBoost	89,370 89,70 - 98,24
Tran vd.	2021	Kovid-19 ve MNIST	Secure Inference Protocol	95,02
Huang	2021	Kovid-19, normal, zatürre	İBSA, ESA	96,88 - 100
Bu çalışma	2022	Kovid-19, normal, zatürre	D-ESA model	98,48

SONUÇ

Bu çalışmada önerilen ESA modeline, farklı bir bakış açısı katabilmek için girdi görüntülerinin mekânsal ve spektral olarak işlenmesi gerçekleştirilerek, çok çözünürlüklü farklı özneliklerin çıkartılması sağlanmıştır. Çok çözünürlüklü analiz adımlarının eksik kısımları, dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak tamamlandı. Sonuç olarak, önerilen yaklaşım olan D-ESA ile gerçekleştirilen deneysel analizlerde genel doğruluk başarısı %98,48 olarak elde edilmiştir.

Bir sonraki çalışmada, farklı veri setleri kullanılarak Kovid-19 hastalığının tanı sürecinde DÖ tabanlı yeni yaklaşımlar modellenecektir. Eğitim ve doğrulama sırasında modelin girdi verilerinden ne öğrendiğini daha iyi anlamak için, bir model yorumlama aracı yardımı ile nitel sonuçlar üretilerek çalışmanın genişletilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdulkareem, K. H., Mostafa, S. A., Al-Qudsy, Z. N., Mohammed, M. A., Al-Waisy, A. S., Kadry, S., Lee, J., & Nam, Y. (2022). Automated System for Identifying COVID-19 Infections in Computed Tomography Images Using Deep Learning Models. *Journal of Healthcare Engineering*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/5329014>
- AbdulQader, D. A., Saadoon, A. T., Naser, M. T., & Jabbar, A. H. (2023). Classification of COVID-19 from CT chest images using convolutional wavelet neural network. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13(1), 1078-1085. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1>
- Alyasseri, Z. A. A., Al-Betar, M. A., Doush, I. A., Awadallah, M. A., Abasi, A. K., Makhadmeh, S. N., Alomari, O. A., Abdulkareem K. H., Adam A., Damasevicius R., Mohammed M. A., & Zitar R. A. (2022). Review on COVID-19 diagnosis models based on machine learning and deep learning approaches. *Expert systems*, 39(3), e12759. <https://doi.org/10.1111/exsy.12759>
- Apostolopoulos, I. D., & Mpesiana, T. A. (2020). Covid-19: automatic detection from x-ray images utilizing transfer learning with convolutional neural networks. *Physical and engineering sciences in medicine*, 43(2), 635-640. <https://doi.org/10.1007/s13246-020-00865-4>
- Bhardwaj, P., & Kaur, A. (2021). A novel and efficient deep learning approach for COVID-19 detection using X-ray imaging modality. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 31(4), 1775-1791. <https://doi.org/10.1002/ima.22627>
- Çalışkan, A. (2022). Classification of Tympanic Membrane Images based on VGG16 Model. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 5(1), 105-111. <https://doi.org/10.34088/kojose.1081402>
- Deb, S.D., Jha, R.K., Jha, K. & Tripathi, P.S. (2022). A multi model ensemble based deep convolution neural network structure for detection of COVID19. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103126. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103126>
- Fan, X., Feng, X., Dong, Y., & Hou, H. (2022). COVID-19 CT image recognition algorithm based on transformer and CNN. *Displays*, 72, 102150. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2022.102150>
- Fujieda, S., Takayama, K., & Hachisuka, T. (2018). Wavelet convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1805.08620. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.08620>
- Google Colab Notebooks- Colaboratory, Google. (2021). <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb/> Erişim Tarihi 09.06.2021.
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Liu, T., Wang, X., Wang, G., Cai, J., & Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern recognition*, 77, 354-377. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>
- Huang, X. (2021). COVID-19 Image Diagnosis on CT Images Using Deep Learning. In *2021 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering (ICAICE)*, IEEE, 77-80. <https://doi.org/10.1109/ICAICE54393.2021.00023>
- Jin, G., Liu, C. & Chen, X. (2022). An efficient deep neural network framework for COVID-19 lung infection segmentation. *Information Sciences*, 612, 745-758. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.08.059>

- Karthik, R., Menaka, R., & Hariharan, M. (2021). Learning distinctive filters for COVID-19 detection from chest X-ray using shuffled residual CNN. *Applied Soft Computing*, 99, 106744. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106744>
- Kini, A. S., Gopal Reddy, A. N., Kaur, M., Satheesh, S., Singh, J., Martinecz, T., & Alshazly, H. (2022). Ensemble deep learning and internet of things-based automated COVID-19 diagnosis framework. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2022, 7377502. <https://doi.org/10.1155/2022/7377502>
- Le Dinh, T., Lee, S.H., Kwon, S.G., & Kwon, K.R. (2022). COVID-19 Chest X-ray Classification and Severity Assessment Using Convolutional and Transformer Neural Networks. *Applied Sciences*, 12(10), 4861. <https://doi.org/10.3390/app12104861>
- Maghdid, H. S., Asaad, A. T., Ghafoor, K. Z., Sadiq, A.S., Mirjalili, S., & Khan, M. K. (2021). Diagnosing COVID-19 pneumonia from X-ray and CT images using deep learning and transfer learning algorithms. *In Multimodal image exploitation and learning 2021*, 11734, 99-110. <https://doi.org/10.1117/12.2588672>
- Muneer, A., Fati, S. M., Akbar, N. A., Agustriawan, D., & Wahyudi, S. T. (2022). iVaccine-Deep: Prediction of COVID-19 mRNA vaccine degradation using deep learning. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(9), 7419-7432. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.10.001>
- Narin, A., Kaya, C., & Pamuk, Z. (2021). Automatic detection of coronavirus disease (covid-19) using x-ray images and deep convolutional neural networks. *Pattern Analysis and Applications*, 24(3), 1207-1220. <https://doi.org/10.1007/s10044-021-00984-y>
- Nishio, M., Noguchi, S., Matsuo, H., & Murakami, T. (2020). Automatic classification between COVID-19 pneumonia, non-COVID-19 pneumonia, and the healthy on chest X-ray image: combination of data augmentation methods. *Scientific reports*, 10(1), 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74539-2>
- Nasiri, H., & Hasani, S. (2022). Automated detection of COVID-19 cases from chest X-ray images using deep neural network and XGBoost. *Radiography*, 28, 732-738. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2022.03.011>
- Nneji, G. U., Cai, J., Jianhua, D., Chikwendu, I. A., Oluwasanmi, A., James, E. C., & Mgbejime, G. T. (2021). Enhancing low quality in radiograph datasets using wavelet transform convolutional neural network and generative adversarial network for COVID-19 identification. In 2021 4th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI), IEEE, (pp. 146-151). <https://doi.org/10.1109/PRAI53619.2021.9551043>
- O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1511.08458. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.08458>
- Panwar, H., Gupta, P. K., Siddiqui, M. K., Morales-Menendez, R., Bhardwaj, P., & Singh, V. (2020). A deep learning and grad-CAM based color visualization approach for fast detection of COVID-19 cases using chest X-ray and CT-Scan images. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140, 110190. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110190>
- Raikote, P. (2019). Covid-19 Image Dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/pranavraikokte/covid19-image-dataset/> Erişim Tarihi 20.05.2022.
- Sarvamangala, D. R., & Kulkarni, R. V. (2021). Convolutional neural networks in medical image understanding: a survey. *Evolutionary intelligence*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00540-3>
- Shahin, O. R., Abd El-Aziz, R. M. & Taloba, A. I. (2022). Detection and classification of Covid-19 in CT-lungs screening using machine learning techniques. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 25(3), 791-813. <https://doi.org/10.1080/09720502.2021.2015097>
- Shorfuzzaman, M., & Hossain, M. S. (2021). MetaCOVID: A Siamese neural network framework with contrastive loss for n-shot diagnosis of COVID-19 patients. *Pattern recognition*, 113, 107700. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107700>
- Singh, K. K., & Singh, A. (2021). Diagnosis of COVID-19 from chest X-ray images using wavelets-based depthwise convolution network. *Big Data Mining and Analytics*, 4(2), 84-93. <https://doi.org/10.26599/BDMA.2020.9020012>
- Subramanian, N., Elharrouss, O., Al-Maadeed, S., & Chowdhury, M. (2022). A review of deep learning-based detection methods for COVID-19. *Computers in Biology and Medicine*, 105233. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105233>

Sunitha, G., Arunachalam, R., Abd-Elnaby, M., Eid, M. M., & Rashed, A. N. Z. (2022). A comparative analysis of deep neural network architectures for the dynamic diagnosis of COVID-19 based on acoustic cough features. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 32(5), 1433-1446. <https://doi.org/10.1002/ima.22749>

Toğaçar, M. (2021). X-ışınli Göğüs İmgelerini Kullanarak Solunum Yolu Hastalıklarının Tespitinde Kuantum Transfer Öğrenme Modelinin Rolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 1754-1765. <https://doi.org/10.29130/dubited.903358>

Toğaçar, M., Ergen, B., & Cömert, Z. (2021). Tumor type detection in brain MR images of the deep model developed using hypercolumn technique, attention modules, and residual blocks. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59(1), 57-70. <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02290-x>

Tran, A. T., Luong, T. D., Ha, C. C., Hoang, D. T., & Tran, T. L. (2021). Secure Inference via Deep Learning as a Service without Privacy Leakage. In *2021 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)*, IEEE, 1-6. <https://doi.org/10.1109/RIVF51545.2021.9642089>

Umer, M., Ashraf, I., Ullah, S., Mehmood, A., & Choi, G. S. (2022). COVINet: A convolutional neural network approach for predicting COVID-19 from chest X-ray images. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13(1), 535-547. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-02917-3>

Yamashita, R., Nishio, M., Do, R. K. G., & Togashi, K. (2018). Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. *Insights into imaging*, 9(4), 611-629. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0639-9>

Yu, C. S., Chang, S. S., Chang, T. H., Wu, J. L., Lin, Y. J., Chien, H. F., & Chen, R. J. (2021). A COVID-19 pandemic artificial intelligence-based system with deep learning forecasting and automatic statistical data acquisition: development and implementation study. *Journal of medical Internet research*, 23(5), e27806.

<https://doi.org/10.2196/27806>

Wang, L., Lin, Z. Q., & Wong, A. (2020). Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76550-z>

Wehbe, R. M., Sheng, J., Dutta, S., Chai, S., Dravid, A., Barutcu, S., Wu, Y., Cantrell, D. R., Xiao, N., Allen, B. D., MacNealy, G. A., Savas H., Agrawal, R., Parekh, N., & Katsaggelos, A. K. (2021). DeepCOVID-XR: an artificial intelligence algorithm to detect COVID-19 on chest radiographs trained and tested on a large US clinical data set. *Radiology*, 299(1), E167. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020203511>

Zhan, J. X., & Santos-Paulino, A. U. (2021). Investing in the Sustainable Development Goals: Mobilization, channeling, and impact. *Journal of International Business Policy*, 4(1), 166-183. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00093-3>

Zhang, Y. D., Satapathy, S. C., Zhang, X., & Wang, S. H. (2021). Covid-19 diagnosis via DenseNet and optimization of transfer learning setting. *Cognitive computation*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09776-8>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 24.11.2022
Kabul Tarihi : 23.01.2023

Received Date : 24.11.2022
Accepted Date : 23.01.2023

KAİSER CIVATALI MOMENT BİRLEŞİMLERİN DAVRANIŞININ VE SİSMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION ON BEHAVIOR AND SEISMIC PERFORMANCE OF KAISER MOMENT CONNECTIONS

Ahmet Serdar EROL¹ (ORCID: 0000-0001-5291-7628)
Alırza İlker AKGÖNEN¹ (ORCID: 0000-0001-7384-8764)

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Alırza İlker AKGÖNEN

ÖZET

Kaiser Cıvatalı Moment (KCM) birleşimleri ülkemizde tanınmamakta ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de (TBDY-2018) performansı kanıtlanmış moment aktaran birleşimler arasında yer almamaktadır. Bu çalışmada KCM birleşimlerin davranış karakteristiği ve deprem bölgelerinde kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Avrupa çelik profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak tasarlanmış sayısal modeller monotonik ve çevrimsel yükleme altında ANSYS programı kullanılarak incelenmektedir. Sayısal model, geçmiş çalışmalarda bulunan deneysel bir çalışma ile karşılaştırılarak doğrulandıktan sonra parametrik çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca birleşimin temel karakteristik özelliklerini veren denklemler elde etmek amacıyla parametrik çalışma sonuçları kullanılarak çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmaktadır. Çalışmalar neticesinde çeşitli geometrik değişimlerine bağlı olarak KCM birleşimlerin davranış karakteristiğinin ve sismik performansının hangi yönde etkilendiği ayrıntılı olarak tespit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaiser cıvatalı moment birleşimi, parametrik çalışma, regresyon analizi, sonlu eleman analizi

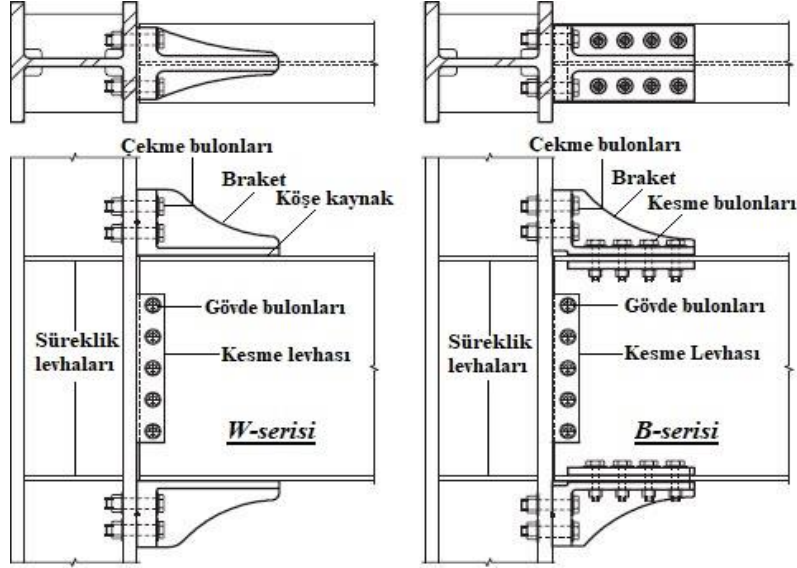
ABSTRACT

KCM connections are not recognized in Türkiye and are not among the prequalified moment connections in the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBDY-2018). In this study, the behavior characteristics of KCM connections and their usability in earthquake zones are investigated. Numerical models designed using European steel profiles and steel grades are analyzed using the ANSYS program under monotonic and cyclic loading. After the numerical model is verified by comparing it with an experimental study found in previous studies, parametric studies are carried out. Furthermore, multiple linear regression analyzes are performed using parametric study results to obtain equations giving the basic characteristics of the connection. As a result, it is determined in detail how the behavior characteristics and seismic performance of KCM joints are affected due to various geometric changes.

Keywords: Kaiser bolted bracket moment connection, parametric study, regression analysis, finite element analysis

GİRİŞ

Çelik çerçevesel taşıyıcı sistemlerin deprem yükü altındaki performansında kolon-kiriş birleşimleri önemli rol oynamaktadır. 1994 Northridge (ABD) ve 1995 Kobe (Japonya) şehirlerinde yıkım gücü yüksek depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerde çelik çerçeve sistemlerin deprem yükleri altındaki performanslarında beklenmeyen sonuçlar meydana gelmiş ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ciddi hasarlar gözlemlenmiştir. Bu hasarlar göz önünde bulundurularak, kolon-kiriş birleşimlerinin performansını arttırmak ve birleşim güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve birçok yeni birleşim türü önerilmiştir. Kaiser Cıvatalı Moment (KCM) birleşimi, bu yeni birleşim türlerinden birisidir.



Şekil 1. Kaiser Cıvatalı Moment Birleşim (AISC 358-16, 2016)

KCM birleşimi kolon, kiriş, iki adet braket, kesme levhası ve cıvatalardan (Şekil 1.) oluşmaktadır. Gerekliğinde kolon panel bölgesinde takviye ve süreklilik levhaları da kullanılabilir. Braketler yüksek derece ısıl işlem uygulanarak tek döküm çelik profil olarak imal edilmektedir. Kiriş gövdesi, kolon başlığına kesme levhası kullanılarak sabitlenmektedir. Bu birleşimler çelik çerçevesel moment birleşimlerde şantiye kaynağını ortadan kaldırmakta ve çerçeve montajını kolaylaştırmaktadır. KCM birleşiminin tescilli tasarımı Steel Cast Connection (LLC) firmasının elinde bulunan 6.073.405 sayılı ABD patentinde korunmaktadır (AISC 358-16, 2016).

İki farklı türde KCM birleşimi (Şekil 2.) kullanılmaktadır: Bunlardan birincisi, W-serisi kaynaklı birleşim tipidir. Braketler kiriş alt ve üst başlığına köşe kaynak ile fabrikada kaynaklanmakta, kolona ise şantiyede cıvatalanmaktadır. İkincisi ise B-serisi cıvatalı birleşim tipidir. B serisi birleşimde braketler kaynak kullanmaya ihtiyaç duyulmadan hem kolona hem de kirişe cıvata kullanılarak sabitlenmektedir.



Şekil 2. Braket Tipleri (W ve B-serisi) (AISC 358-16, 2016)

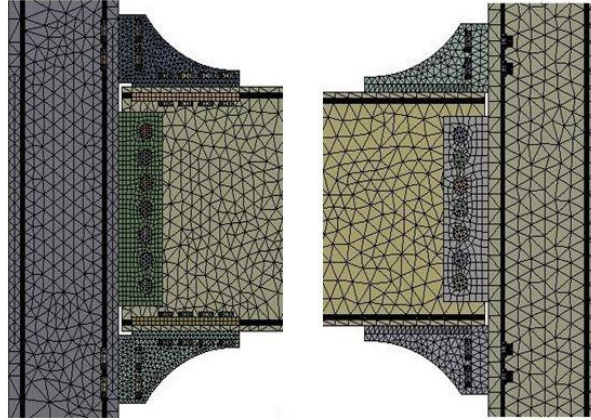
KCM birleşimlerinin deprem bölgelerine kullanımının genel olarak uygun olduğu (Kasai vd. , 1998; Adan & Gibb , 2009; Shahidi vd. , 2013), ancak derin kirişlerin kullanıldığı KCM birleşimli çelik moment çerçevelerinde ise yeterli sismik performansın elde edilemediği (Shahidi vd. , 2013) geçmiş çalışmalarda belirtilmektedir. ABD’de yaygın olarak kullanılan kaynaklı birleşimler ile KCM birleşimleri karşılaştırmış ve KCM birleşimlerinin kaynaklı birleşimlere yakın bir rijitliğe sahip olduğunu ve çevrimsel yük altında KCM birleşimlerinin kaynaklı birleşimlere göre daha yüksek sismik performans sergilediği (Kasai vd. , 1998) belirtilmiştir. Ayrıca KCM birleşimlerinin yeni binalar dışında

depremde hasar görmüş çelik yapı birleşimlerinin onarımı için kullanabilecek bir birleşim tipi olduğu (Kasai vd. , 1998; Adan & Gibb, 2009) ifade edilmektedir. KCM birleşimlerin kullanılması durumunda özellikle kiriş başlığı ile braketlerin bağlantısında cıvata kullanılması durumunda kesit kaybı sebebiyle bu bölgede prematüre hasarlar meydana gelebileceği ve bu bölgenin dikkatli detaylandırılması gerektiği (Kasai vd. , 1998; Adan & Gibb, 2009) vurgulanmaktadır.

Geçmiş çalışmalarda, KCM birleşimlerin deprem yükleri altında sünek davranış sergilediği ve yönetmelikte (AISC 358-16, 2016) belirtilen asgari performans ölçütlerine sahip olduğu belirtilmektedir. KCM birleşimler yabancı ülkelerde yaygın olarak kullanılan tercih edilmesine rağmen ülkemizde tanınmamakta ve TBDY-2018’de (AFAD, 2018) performansı kanıtlanmış moment birleşimleri arasında yer almamaktadır. Bu sebeple Avrupa profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak imal edilmiş KCM birleşimlerin geometrik değişimlere bağlı olarak davranışının tespit edilmesi, KCM birleşim modeli ile tasarlanacak yapı davranışının tespiti ve sismik performansın öngörülmesi yönüyle oldukça önemlidir. Yüksek lisans tezi olarak yürütülmüş olan bu çalışmada (Erol, 2020) KCM birleşimlerin geometrik değişikliklere bağlı olarak moment-dönme davranışının ve sismik performansının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Çalışma sonucunda Kaiser birleşimde kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde kullanılan braket tipi büyüdükçe birleşim rijitliği ve enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) doğrulama çalışmasında tespit edilen sonuçlar kullanılarak KCM birleşimlerin elastik bölge rijitliği, plastik bölge rijitliği, elastik moment kapasitesi ve elastik dönme kapasitesi bilgilerini veren ampirik formüller türetilmiştir.

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Yapılan çalışmada, KCM birleşimler farklı braket tipleri ve farklı birleşim geometrileri için incelenmiştir. Moment-dönme ilişkisinin tespiti için sonlu elemanlar modeli ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Shahidi vd. (2013) tarafından yapılan deney sonuçları ile simülasyon sonuçları kıyaslanarak simülasyon çalışmasının başarısı kontrol edilmiştir.



Şekil 3. Solid186 ve Solid187 ağ modelleri

Sonlu Eleman Modeli

Sonlu elemanlar modelinde yer alan 3-boyutlu katı elemanlar kolon, kiriş, braket, kesme levhası ve bulonlar SOLID186 ve SOLID187 kullanılarak (Şekil 3.) modellenmiştir. SOLID186 katı elemanı, ikinci dereceden yer değiştirme davranışı gösteren 3-boyutlu, 20 düğüm noktasına ve SOLID187 katı elemanı ise, 3-boyutlu, 10 düğüm noktasına sahiptir. SOLID186 ve SOLID187 katı elemanları x, y ve z yönlerinde düğüm başına üç adet serbestlik derecesine sahiptirler. Katı elemanlar malzeme olarak plastisite, hiper-elastisite, sürtünme, gerilme pekleşmesi ve büyük yer değiştirme özelliklerinin modellenebilmesine imkân tanımaktadır. Katı elemanların yüzeylerinin birbirine teğetsel olarak değmesine temas adı verilmektedir. Yapılmış olan sonlu eleman modelinde “TARGE170 ve CONTA174” temas elemanları kullanılmıştır. Üç boyutlu sayısal modellerde kullanılan TARGE170 elemanı, 3 adet deplasman ve 3 adet dönme serbestliği olmak üzere toplamda 6 adet serbestlik derecesine sahiptir. 8 adet düğüm noktası ve her düğüm noktasında üç adet yer değiştirme serbestliği bulunan CONTA174 temas elemanı 3-boyutlu yüzeyler arasında kayma ve temas durumunun modellenmesi için kullanılmaktadır. Braketlerin kiriş başlıklarına kaynak yapıldığı yüzeylerde (Bonded) yüzey temas türü, cıvataların temas halinde olduğu yüzeylerde ise sürtünlü (Frictional) yüzey temas türü kullanılmıştır (ANSYS, 2022).

Malzeme Özellikleri

Kolon, kiriş, kesme levhası, braket ve cıvatalar için monotonik yüklemeye çift doğrulu izotrop pekleşmeli “Bilinear Isotropic Hardening” malzeme modeli, çevrimsel yüklemeye ise Chaboche kinematik pekleşmeli malzeme modeli kullanılmıştır. Chaboche malzeme modeli; artan çevrimlerde malzemede meydana gelen plastikleşme ile birlikte birleşimdeki rijitlik ve mukavemet kaybını hassas olarak modelleme imkânı sunmaktadır. Ayrıca deney sonucu elde edilen çevrimsel grafikte gözlemlenen “Bauschinger etkisi”, Chaboche malzeme modeli kullanılarak simüle edilebilmektedir. Çelik malzemesinin Poisson oranı 0,3 olarak kabul edilmiştir.

Referans çalışmada (Shahidi vd. , 2013) kolon profili (W14x233) ve kiriş profili (W30x108)’dir. Kolon uzunluğu 4270 mm ve kiriş uzunluğu 4366 mm olarak belirlenmiştir. Referans çalışmadaki veriler dikkate alınarak kirişin ve kesme levhasının akma mukavemeti 366 MPa, kolonun akma mukavemeti 321 MPa, braketin akma mukavemeti 510 MPa ve cıvataların akma mukavemeti 800 MPa olarak alınmıştır. Elastisite modülü (E) 200000 MPa, Tanjant modülü ise elastisite modülünün yaklaşık 30’da biri (6500 MPa) şeklinde tanımlanmıştır. Referans çalışmada kullanılan numune malzeme ve geometrik özellikleri Tablo 1 ve 2 ‘de sırasıyla verilmiştir. Tablolarda kiriş en kesit yüksekliği d_b , kolon ve kirişteki cıvata sayısı sırasıyla n_{cb} ve n_{bb} , braket yatay yarıçapı r_h , profil en-kesit gövde kalınlığı ise t_w ile gösterilmektedir.

Tablo 1. Referans Deneysel Çalışmanın Malzeme Özellikleri (Shahidi vd. , 2013)

Profil	Akma mukavemeti (f_y)	Kopma mukavemeti (f_u)
Kiriş, Kesme Levhası	366	462
Kolon	321	453
Braket	510	710
Bulon	800	1050

Tablo 2. Referans Alman Deneysel Çalışmanın Profil Detayları ve Numune Ölçüleri (Shahidi vd. , 2013)

Profil	b_f (mm)	d_b (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	r (mm)	L (mm)
Kolon	404	407	43,7	27,2	15	4270
Kiriş	266	758	19,3	13,8	17	4366
Numune	L_{bb}	h_{bb}	b_{bb}	n_{cb}	g	b_{dia}
W2.1	450	222	241	4	165	38
B2.1	450	222	250	4	165	38
Numune	d_e	p_b	t_s	r_v	r_h/n_{bb}	w/b_{dia}
W2.1	57	88	50	400	965/---	22/---
B2.1	50	88	50	400	---/8-10	---/28

Sınır Koşulları ve Yükün Uygulanması

Referans çalışmasında (Shahidi vd. , 2013) numune mesnetleri sabit mesnettir. Numunenin üst ve alt mesnet koşullarında ($\Delta_x=0$, $\Delta_y=0$, $\Delta_z=0$, $R_x=$ Serbest, $R_y=0$, $R_z=0$) kabul edilmiştir. Sınır koşulları ve koordinat eksenleri Şekil 4’de gösterilmektedir. Referans çalışmada monotonik yüklemeye sonuçları verilmemiş, sadece çevrimsel grafikler sunulmuştur.

Monotonik yer değiştirme yükü iki aşamada uygulanmıştır. Birinci aşamada W-serisi kaynaklı birleşim modeli için, kolon ile braketini birbirine sabitleyen bulonlara 658,3 kN, kesme levhasında bulunan bulonlara ise 355,8 kN ön-çekme kuvveti verilmiştir. B-serisi cıvatalı birleşim modeli için kolon ile braketini birbirine sabitleyen bulonlara 458,0 kN, kiriş ile braketini birbirine sabitleyen bulonlara 257,0 kN, kesme levhasında bulunan bulonlara 198,0kN ön-çekme kuvveti uygulanmıştır. İkinci aşamada ise kirişe kolon yüzünden 4366 mm uzaklıkta, 30 saniyede ve 1 saniye adımla kirişin ucuna 300 mm yer değiştirme yükü tekrarlı bir şekilde uygulanmıştır. Kaynaklı ve cıvatalı birleşimler için ayrı ayrı monotonik yük altında doğrulama çalışması yapılmıştır.

Sonlu elemanlar modelinin çevrimsel yüklemeye altında analizi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada monotonik yüklemeye açıklanan ön-çekme kuvvetleri bulonlara uygulanmıştır. İkinci aşamada ise ATC-24 yüklemeye protokolüne (Tablo 3.) göre çevrimsel yük uygulanmıştır.

Tablo 3. ATC-24 yönetmeliği yükleme protokolü (ATC-24, 1992)

Yükleme adımı	Tepe deformasyonu	Çevrim sayısı, n
1	0.00375	3
2	0,00500	3
3	0.00750	3
4	0.010	3
5	0.015	3
6	0.020	3
7	0.030	2

Moment-Dönme Grafiğinin Elde Edilmesi

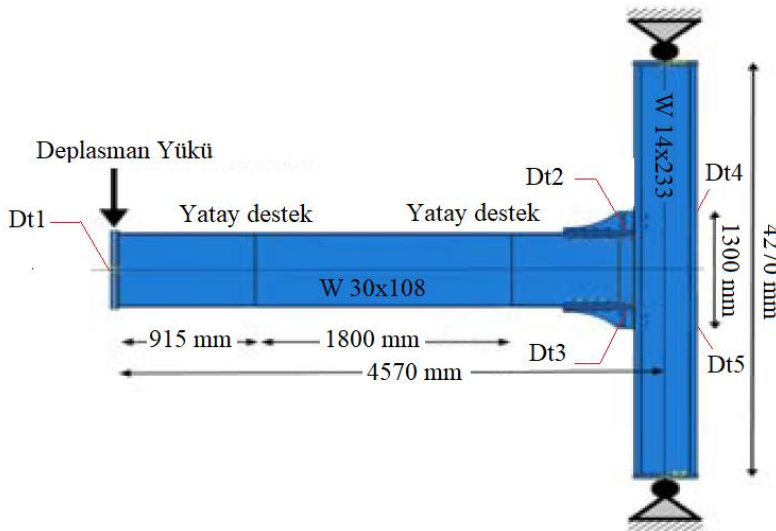
Referans çalışmasında belirtilen (Dt1, Dt2 ve Dt3) ölçüm noktaları kullanılarak simülasyonların moment-dönme grafikleri elde edilmiştir. Ölçüm noktalarında tespit edilen X yönündeki yer değiştirme δ_{DTx} , Y yönündeki yer değiştirme ise δ_{DTy} olarak ifade edilmektedir. Uygulanan moment kolu mesafesi (kolon merkezinden yer değiştirme yükünün uygulanacağı noktaya kadar olan mesafe) 4570 mm alınmış ve KCM birleşimin dönme değerleri kolon merkezinde okunmuştur. Referans çalışmasındaki moment kolu mesafesi, yer değiştirme yük konumu ve mesnetlenme koşulları Şekil 4'te gösterilmiştir. Sonlu elemanlar doğrulama çalışmasında toplam dönme, kolon dönmesi, kolon ile birleşimin toplam dönmesi ve kiriş toplam dönmesi değerleri Denklem 1- 4 kullanılarak hesap edilmiştir.

$$\varphi_{toplam(kolon+kiriş+birleşim)} = \text{atan}\left(\frac{\delta_{DTz1}}{L_1}\right) \quad (1)$$

$$\varphi_{kolon} = \text{atan}\left(\frac{\delta_{DTy4} - \delta_{DTy5}}{L_{4-5}}\right) \quad (2)$$

$$\varphi_{kolon+birleşim} = \text{atan}\left(\frac{\delta_{DTy2} - \delta_{DTy3}}{L_{2-3}}\right) \quad (3)$$

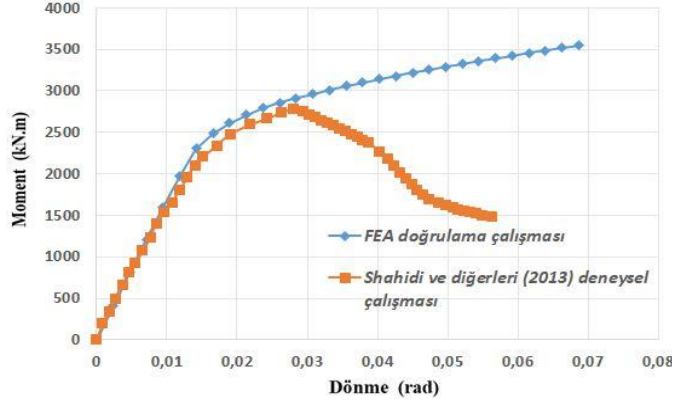
$$\varphi_{kiriştoplam} = \varphi_{toplam} - \varphi_{(kolon+birleşim)} \quad (4)$$



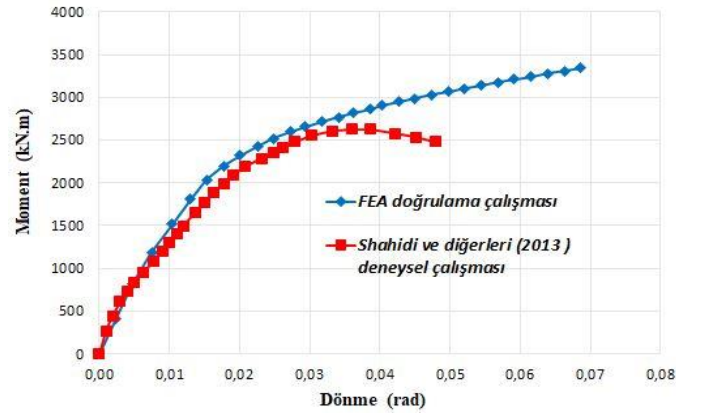
Şekil 4. Referans Alınan Çalışmanın Deney Düzenegi (Shahidi vd. , 2013)

Sonlu Elemanlar Modelinin Doğrulanması

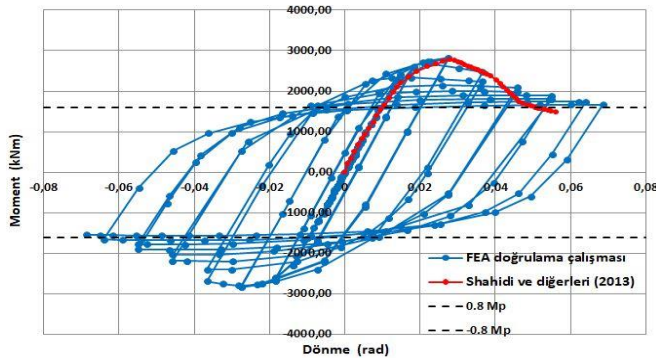
Referans deneysel çalışmaya ait çevrimsel grafiklerin +x ve +y yönünde akma noktaları birleştirilerek zarf eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu zarf eğrileri simülasyon grafikleri ile karşılaştırılarak doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalar Şekil 5-8'de gösterilmiştir.



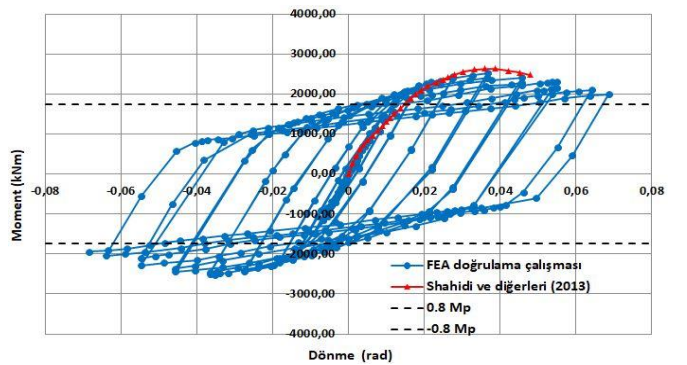
Şekil 5. W-serisi Monotonik Yükleme Grafiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 6. B-serisi Monotonik Yükleme Grafiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 7. Çevrimsel Yük Altında Deneysel Çalışma ile W-serisi FEA Kıyaslaması

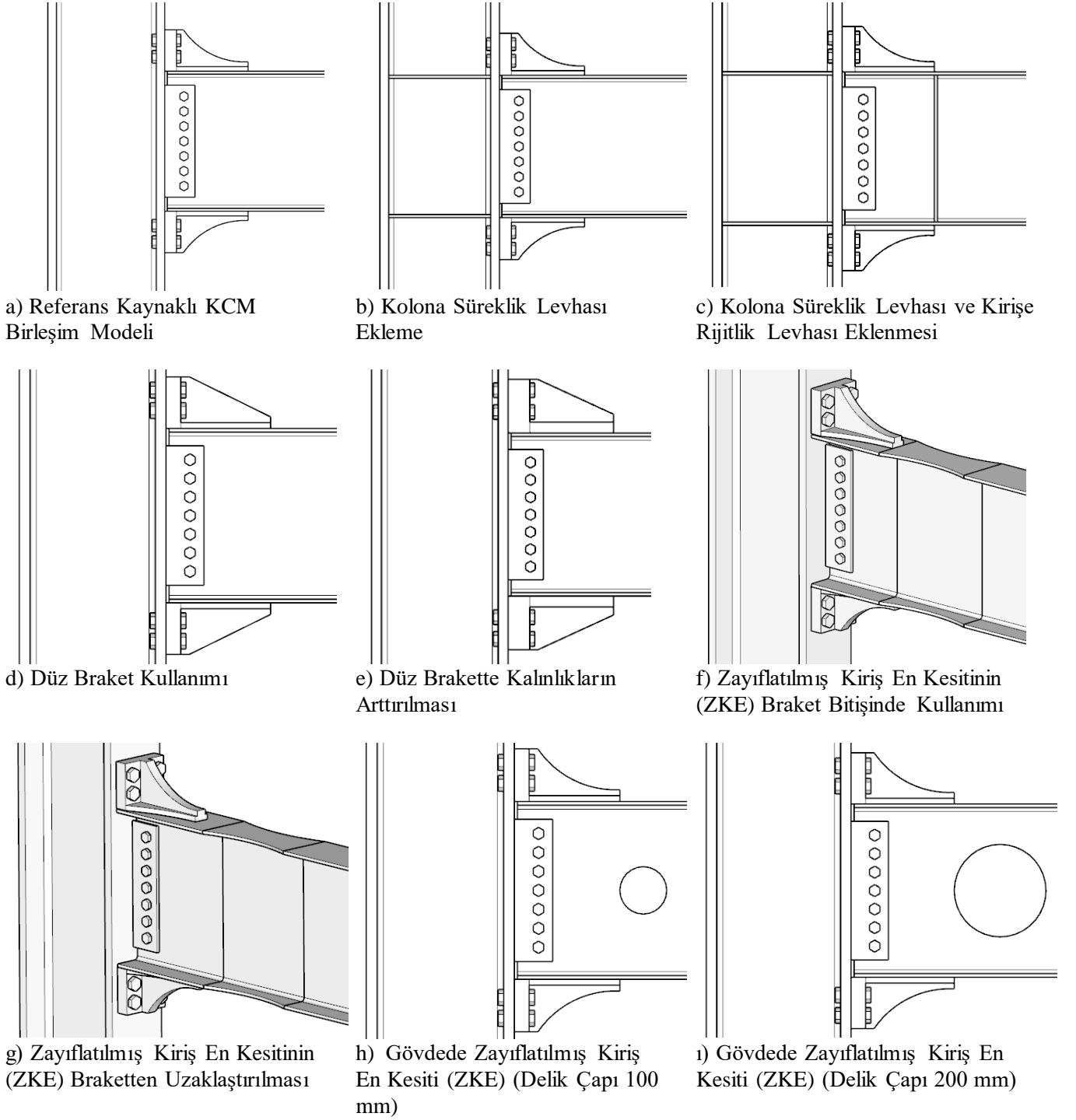


Şekil 8. Çevrimsel Yük Altında Deneysel Çalışma ile B-serisi FEA Kıyaslaması

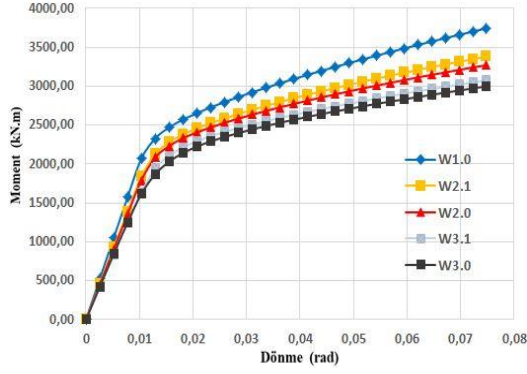
Simülasyon grafikleri, kaynaklı model için 0,01 radyan, civatalı model için ise 0,0085 radyan toplam dönme açısına kadar deneysel çalışma grafikleri ile oldukça iyi bir uyum sergilemiştir. Kaynaklı modelde 0,01 ile 0,027 radyan arasında, civatalı modelde ise 0,0085 ile 0,03 radyan arasında deneysel çalışmanın moment eğrisine göre daha rijit bir davranış gözlemlenmiştir. Her iki grafikte yaklaşık 0,03 radyan dönme açısından sonra plastik deformasyonlar meydana geldiği için grafikler arasındaki uyum azalmıştır. Malzeme eksenel çekme test verilerinin (gerilme-şekil değiştirme grafiği) referans alınan çalışmada verilmemiş olması sebebiyle deneyde kullanılan A572-Gr50 çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi sayısal olarak oluşturulmuştur.

PARAMETRİK ÇALIŞMA

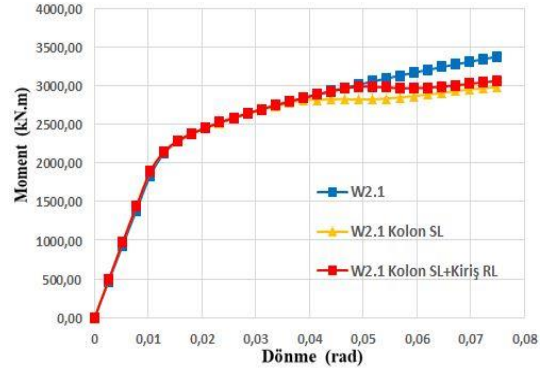
Bu bölümde doğrulanmış KCM birleşim modellerine ait farklı parametreler için moment-dönme grafikleri incelenmiştir. Farklı tip braketlerin kullanımı, kolon panel bölgesine süreklilik levhası kullanımı, kiriş plastik mafsallık bölgesinde rijitlik levhası kullanımı, braket eğrilik yarıçapının (r_v) iptal edilmesi, braket kalınlığının (t_s) değişimi, kirişin plastik mafsallık bölgesinde zayıflatma yapılması ve kirişin plastik mafsallık bölgesinde dairesel delik açılması gibi birçok parametre (Şekil 9) değişken kabul edilmiştir.



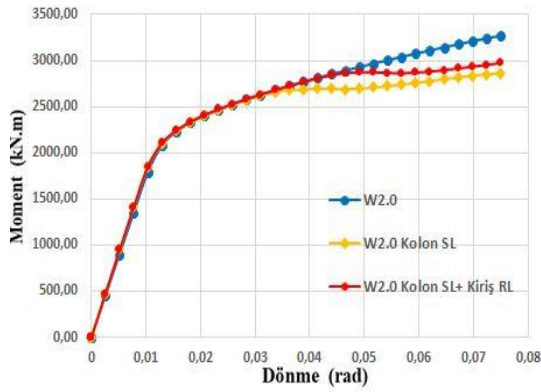
Şekil 9. Parametrik Çalışmada Kullanılan Geometrik Modeller



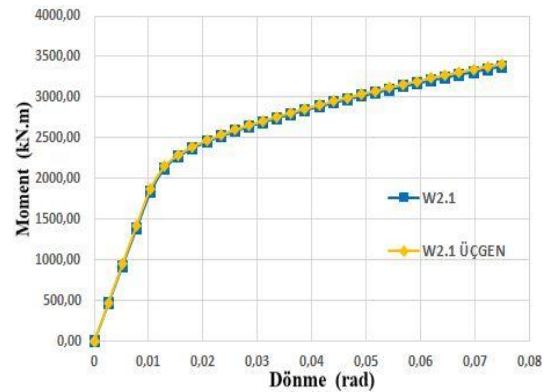
Şekil 10. W-Serisi Farklı Braket Tiplerinin Monotonik Grafiği



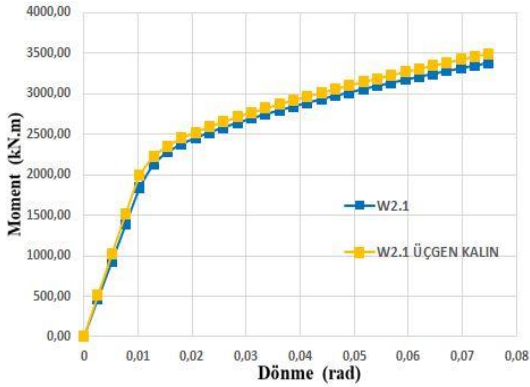
Şekil 11. W2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



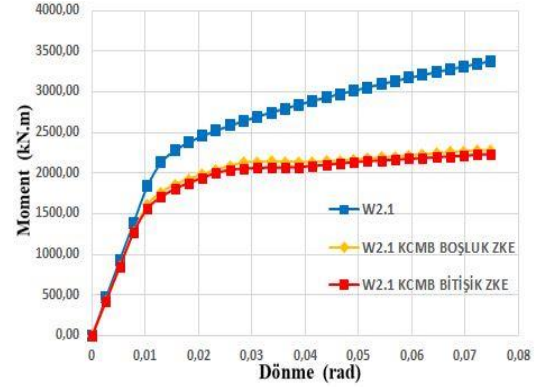
Şekil 12. W2.0 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



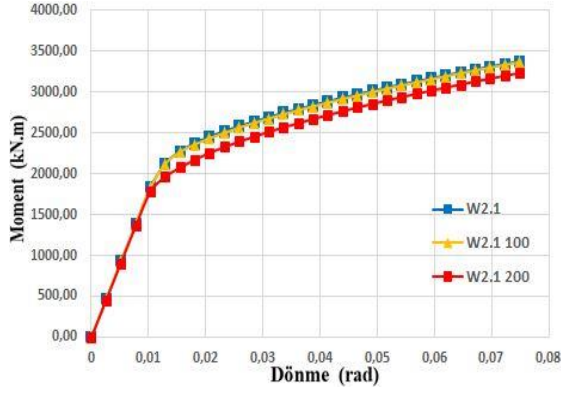
Şekil 13. W2.1 Birleşimde Braket Eğrilik Yarıçapının (r_v) İptal Edilmesi



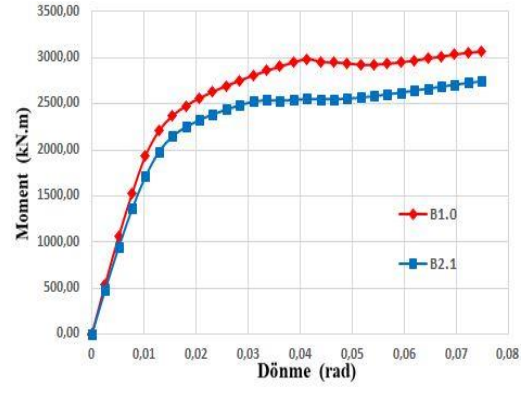
Şekil 14. W2.1 Birleşimde Braket Eğrilik Yarıçapının (r_v) İptali ve Braket Kalınlığının (t_s) Değişimi



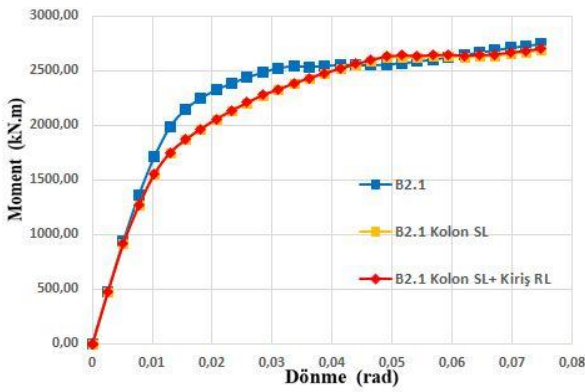
Şekil 15. W2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Zayıflatma Yapılması



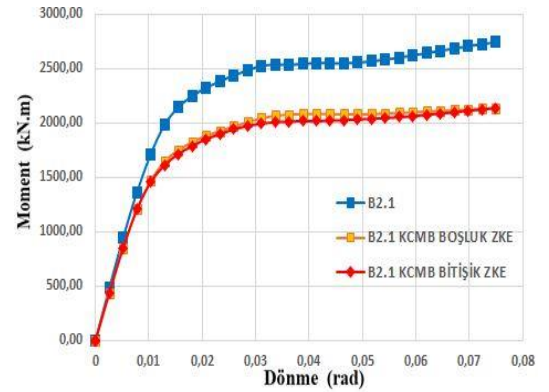
Şekil 16. W2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Farklı Çaplarda Dairesel Delik Açılması



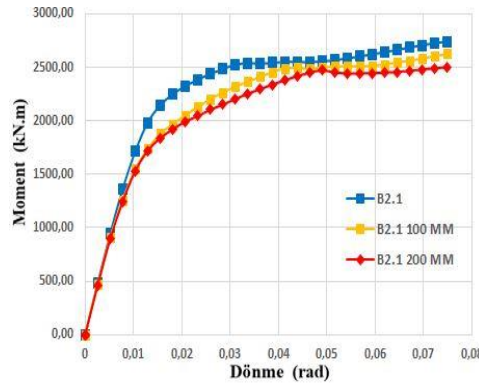
Şekil 17. B-serisi Farklı Braket Tiplerinin Kullanımı



Şekil 18. B2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



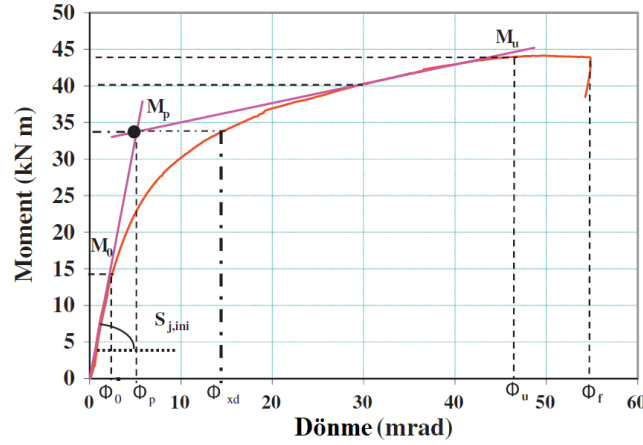
Şekil 19. B2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Zayıflatma Yapılması



Şekil 20. B2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Farklı Çaplarda Dairesel Delik Açılması

Moment-Dönme Eğrilerinin Doğrulaştırılması

Abidelah vd. (2012) tarafından geliştirilen yöntemde moment-dönme eğrisinin elastik ve plastik bölge eğimleri iki teğet yardımıyla Şekil 21’de görüldüğü gibi keşiştirilerek birleşimin elastik moment kapasitesi “ M_p ” ve elastik dönme açısı “ ϕ_p ” değerleri belirlenmektedir. Toplam dönme elastik rijitlik “ K_1 ”, toplam dönme plastik rijitlik “ K_2 ” şekilde gösterilen teğetlerin hesap edilmesi ile tespit edilmiştir.



Şekil 21. Elastik Moment Kapasitesinin Bulunması (Abidelah vd., 2012)

Monotonik yük altında birleşim davranışının incelenmesi**Tablo 4. Monotonik Yükleme Sonuçları**

Braket Tipi	K_1 (kN.m/rad)	K_2 (kN.m/rad)	M_p (kN.m)	ϕ_p (rad)
W1.0	202579	16933	2704,82	0,01334
W2.1	179231	13588	2560,03	0,01427
W2.0	174507	12657	2508,51	0,01437
W3.1	160796	11111	2410,48	0,01498
W3.0	161486	10868	2344,27	0,01450
W2.1 Kolon SL	186548	17182	2362,94	0,01266
W2.1 Kolon SL + Kiriş RL	186633	17856	2372,26	0,01270
W2.0 Kolon SL	182663	16079	2302,58	0,01259
W2.0 Kolon SL + Kiriş RL	182808	17241	2313,14	0,01265
W2.1 Üçgen	183724	14089	2558,68	0,01392
W2.1 Üçgen Kalın	196472	14865	2578,66	0,01312
W2.1 Boşluk ZKE	163746	12151	1903,08	0,01162
W2.1 Bitişik ZKE	163813	9055	1889,41	0,01153
W2.1 (100 mm)	178960	13715	2540,00	0,01418
W2.1 (200 mm)	175747	14121	2373,57	0,01350
B1.0	199482	19643	2427,05	0,01213
B2.1	177597	18937	2161,12	0,01214
B2.1 Kolon SL	178261	15668	2042,35	0,01144
B2.1 Kolon SL + Kiriş RL	178522	15863	2039,07	0,01141
B2.1 Boşluk ZKE	157723	15637	1726,70	0,01091
B2.1 Bitişik ZKE	157914	14077	1709,99	0,01079
B2.1 (100 mm)	166421	16770	1990,89	0,01191
B2.1 (200 mm)	164048	16671	1878,17	0,01140

KCM birleşimlerde, monotonik yükleme altında, AISC 358-16 Bölüm 9.9 Tablo 9.1-2 dikkate alınarak W-serisi kaynaklı birleşim için farklı tiplerdeki braketlerin birleşim davranışına etkisi incelenmiştir.

- W-serisinde farklı braket kullanımının moment-dönme grafiğine etkisi Şekil 10'da görülmektedir. Braket uzunluğu (L_{br}), braket yüksekliği (h_{br}), braket genişliği (b_{br}), kolon civata sayısı (n_{cb}) vb. arttıkça (W3.0 braketinden W1.0 braketine doğru) birleşimin elastik rijitliği " K_1 " değeri %25,446, birleşimin plastik rijitliği " K_2 " değeri %55,806 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment " M_p " değeri ise %15,381 oranında artmıştır.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde süreklilik ve rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 11'de görülmektedir. Kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %4,082, birleşim plastik rijitliği " K_2 " değeri %26,449 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment " M_p " değeri ise %7,698 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme " ϕ_p " değeri "W2.1 Kolon SL" birleşimi için 0,01266 rad olarak tespit edilmiştir.

W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsalsal bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %4,129, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %31,411 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %7,334 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.1 Kolon SL+Kiriş RL” birleşimi için 0,01270 rad, olarak tespit edilmiştir.

- W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde süreklilik ve rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 12’de görülmektedir. Kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin W2.0 modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %4,673, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %27,036 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri %8,209 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.0 Kolon SL” birleşimi için 0,01259 rad olarak tespit edilmiştir.

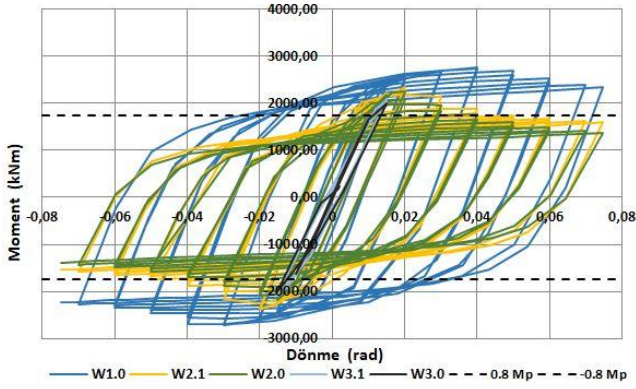
W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsalsal bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin, W2.0 modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %4,756, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %36,217 oranında artış göstermiştir. Başlangıç moment “ M_P ” değeri %7,788 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.0 Kolon SL+Kiriş RL” birleşimi için 0,01265 rad, olarak tespit edilmiştir.

- W2.1 braket eğrilik yarıçapı (rv) iptal edilerek oluşturulmuş modelin birleşim davranışına etkisi Şekil 13’de görülmektedir. W2.1 braket eğrilik yarıçapının (rv) iptal edilmesi ile oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %2,506, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %3,687 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri %0,052 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değerleri “W2.1 Üçgen” birleşim için 0,01392 rad olarak tespit edilmiştir.
- W2.1 braket kalınlığının (ts) değişimi ile oluşturulmuş modelin birleşim davranışına etkisi Şekil 14’de görülmektedir. W2.1 braket kalınlığının (ts) değişimi ile oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %9,619, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %9,397 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %0,727 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.1 Üçgen Kalın” birleşim için 0,01312 rad olarak tespit edilmiştir.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde braketin uç kısmında, kirişte oluşması beklenen plastik mafsalsal bölgede zayıflatma yapılarak oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 15’de görülmektedir. W2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %8,639, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %10,575 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %25,661 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değerleri “W2.1 Boşluk ZKE” birleşim için 0,01162 rad olarak tespit edilmiştir. W2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %8,602, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %33,361 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %26,195 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değerleri “W2.1 Bitişik ZKE” birleşim için 0,01153 rad olarak tespit edilmiştir.
- Kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100-200 mm yarıçaplı dairesel delik açılmasının birleşim davranışına etkisi Şekil 16’de görülmektedir. W2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,151 oranında azalma, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %0,934 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %0,782 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.1 100 mm” birleşim için 0,01418 rad olarak tespit edilmiştir. W2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %1,943 oranında azalma, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %3,922 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç

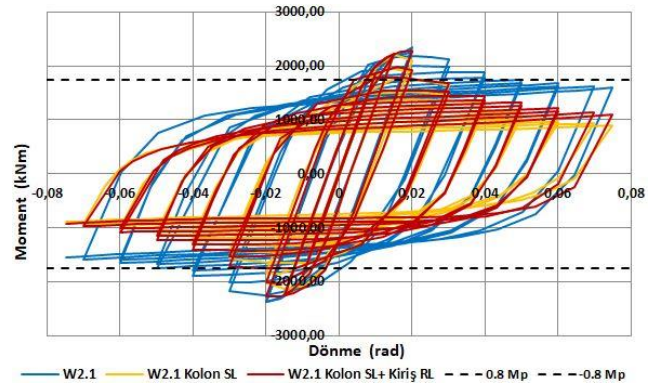
moment “ M_p ” değeri ise %7,283 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “W2.1 200 mm” birleşim için 0,01350 rad olarak tespit edilmiştir.

- AISC 358-16 Bölüm 9.9 Tablo 9.1-3 dikkate alınarak B-serisi civatalı birleşim için farklı tiplerdeki braketlerin birleşim davranışına etkisi Şekil 17’de görülmektedir. B-serisi civatalı birleşim modelleri için braketlerin geometrik özellikleri (Braket uzunluğu (L_{br}), Braket yüksekliği (h_{br}), Braket genişliği (b_{br}), Kolon civata sayısı (n_{cb}) vb.) arttıkça (B2.1 braketinden B1.0 braketine doğru) birleşimin elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %12,322, birleşimin plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %3,728 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %12,305 oranında artış göstermiştir.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde süreklilik ve rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 18’de görülmektedir. B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,373 oranında artış, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %17,262 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %5,465 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 Kolon SL” birleşimi için 0,01068 rad olarak tespit edilmiştir. B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsalsal bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,521 oranında artış, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %16,232 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %5,647 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 Kolon SL+Kiriş RL” birleşimi için 0,01141 rad, olarak tespit edilmiştir.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde braketin uç kısmında, kirişte oluşması beklenen plastik mafsalsal bölgesinde zayıflatma yapılarak oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 19’da görülmektedir. B2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %11,190, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %17,426 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %20,101 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değerleri “B2.1 Boşluk ZKE” birleşim için 0,01091 rad olarak tespit edilmiştir. B2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %11,083, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %25,664 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %20,874 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değerleri “W2.1 Bitişik ZKE” birleşim için 0,01079 rad olarak tespit edilmiştir.
- Kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100-200 mm yarıçaplı dairesel delik açılmasının birleşim davranışına etkisi Şekil 20’de görülmektedir. B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %6,292, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %11,443 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %7,876 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 100 mm” birleşim için 0,01191 rad olarak tespit edilmiştir. B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,629, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %11,965 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %13,092 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 200 mm” birleşim için 0,01140 rad olarak tespit edilmiştir.

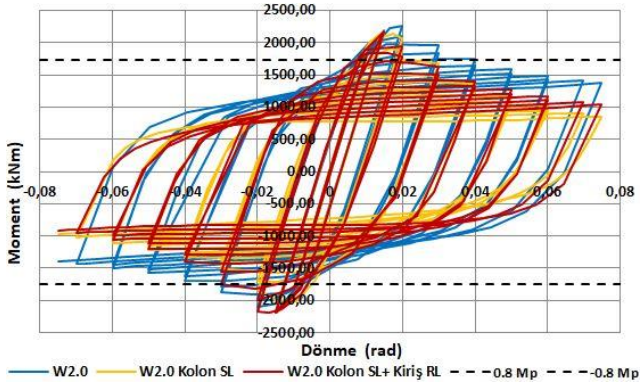
Çevrimsel yük altında sismik performansın incelenmesi



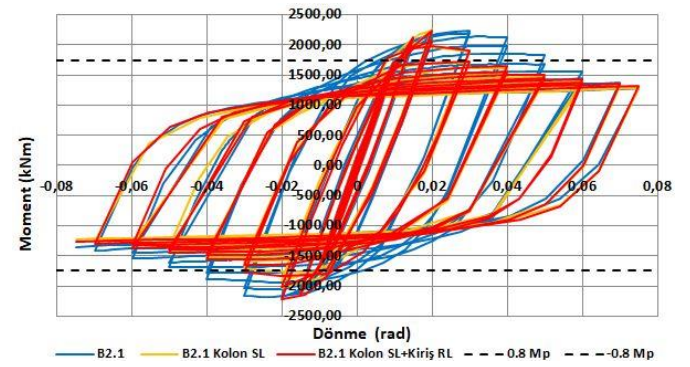
Şekil 22. W Serisi Farklı Braket Tiplerinin Çevrimsel Grafiği



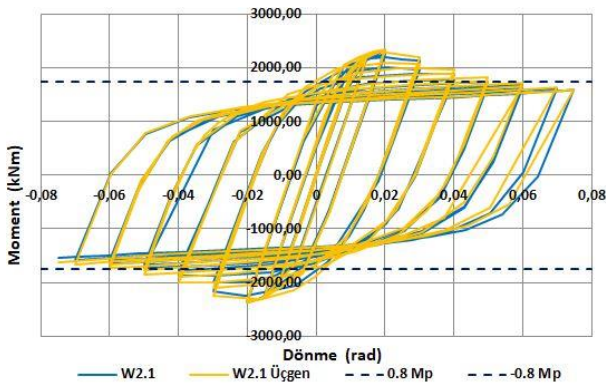
Şekil 23. W2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



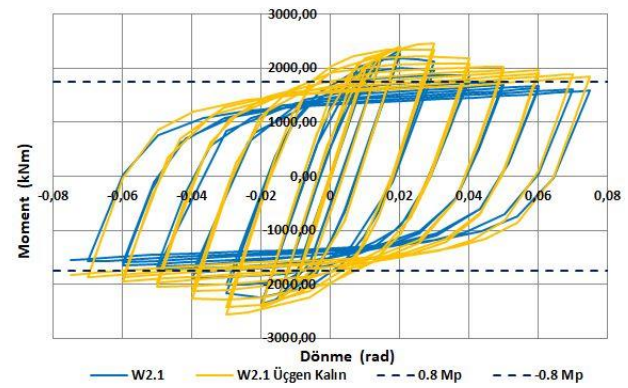
Şekil 24. W2.0 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



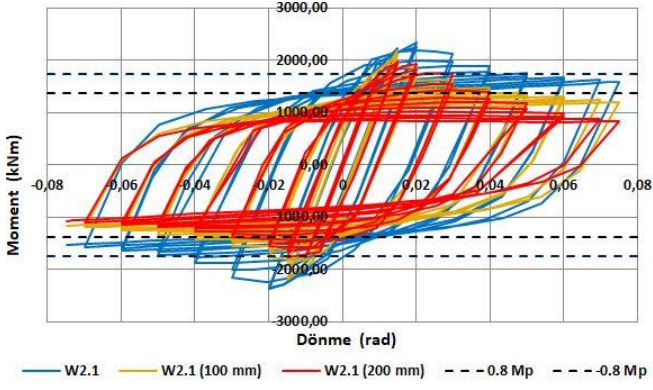
Şekil 25. B2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



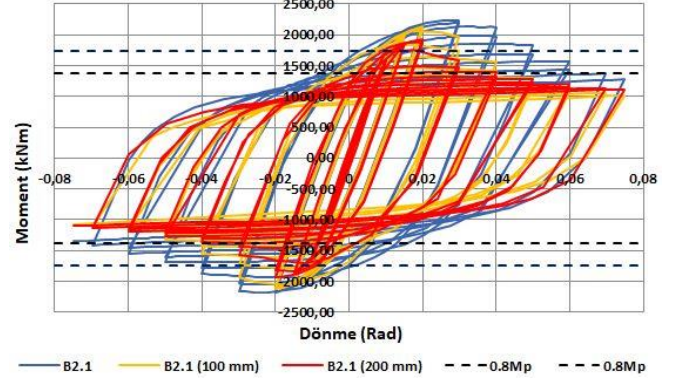
Şekil 26. W2.1 Braket Eğrilik Yarıçapı (r_v) İptal Edilmesi



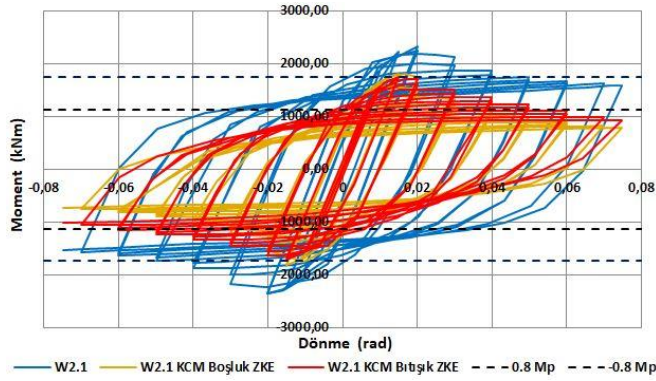
Şekil 27. W2.1 Braket Eğrilik Yarıçapı (r_v) İptali ve Braket Kalınlığının (t_s) Arttırılması



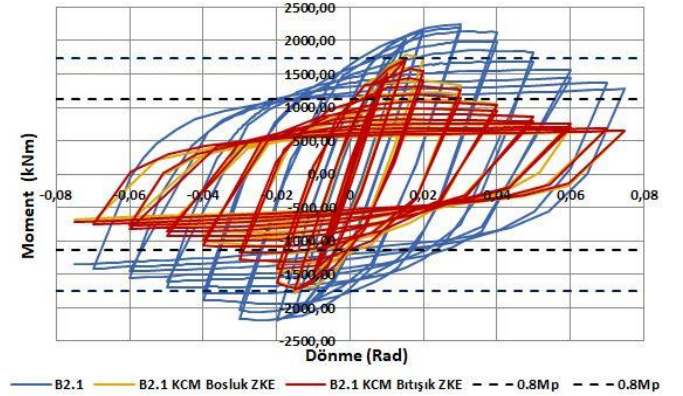
Şekil 28. W2.1 Birleşimde Kiriş Gövdesinde (Plastik Mafsal Bölgesinde) Dairesel Delik Açılması



Şekil 29. B2.1 Birleşimde Kiriş Gövdesinde (Plastik Mafsal Bölgesinde) Dairesel Delik Açılması



Şekil 30. W2.1 Birleşimde Kiriş Başlığında (Plastik Mafsal Bölgesinde) Zayıflatma Yapılması



Şekil 31. B2.1 Birleşimde Kiriş Başlığında (Plastik Mafsal Bölgesinde) Zayıflatma Yapılması

Tablo 5. Çevrimsel Yükleme Sonuçları

W ve B serisi Braket Tipleri	K_1 (kN.m/ rad)	$M_{0,04}$ (kN.m)	M_{max} (kN.m)	M_{min} (kN.m)	ϕ_{max} (rad)	$E_{0,07}$ (KJ)
W1.0	215914	2768,50	2768,50	-2711	0,0749	3416,4
W2.1	189249	1875,60	2335,50	-2368,50	0,0499	2392,5
W2.0	184402	1756,30	2256,40	-2189,50	0,0399	2172,4
W3.1	174645	---	2083,10	-2088	0,0149	80,64
W3.0	174420	---	2001,70	-1989,20	0,0149	22,25
W2.1 Kolon SL	191427	1328,90	2219,90	-2230	0,0199	1703,2
W2.1 KolonSL+KirişRL	191506	1436,90	2279,80	-2261,50	0,0199	1868,5
W2.0 Kolon SL	186691	1370,40	2174,10	-2186,60	0,0199	1735
W2.0 KolonSL+KirişRL	186811	1405,60	2182,90	-2190,30	0,0199	1835
W2.1 Üçgen	193816	1972,10	2350,30	-2372,20	0,0499	2461,1
W2.1 Üçgen Kalm	203208	2190,20	2458,90	-2546,10	0,0749	2793
W2.1 Boşluk ZKE	170113	1128,90	1817,10	-1821	0,0199	1382,7
W2.1 Bitişik ZKE	171052	1358,70	1748,60	-1720,70	0,0199	1676,4
W2.1 (100 mm)	189018	1469,50	2194,30	-2202,10	0,0199	1993,4
W2.1 (200 mm)	185543	1397,30	1965,70	-1762,70	0,0199	1754,2
B2.1	182807	2131	2240	-2181,80	0,0499	2274,1
B2.1 Kolon SL	183912	1609,70	2260,40	-2029,60	0,0299	1974,7

B2.1 Kolon SL+Kiriş RL	184743	1699,30	2266,70	-2256,90	0,0299	2132,4
B2.1 Boşluk ZKE	169776	1057,40	1778,40	-1786,50	0,0149	1323,3
B2.1 Bitişik ZKE	169439	1033,90	1721	-1729,60	0,0149	1351,1
B2.1 (100 mm)	182491	1561,70	2103,20	-2134,30	0,0299	1880
B2.1 (200 mm)	179011	1387,20	1936,20	-1935,30	0,0199	1929,9

Toplam dönme elastik rijitlik " K_1 ", 0,04 radyan toplam dönme için birleşimin taşıdığı moment değeri " $M_{0,04}$ ", maksimum-minimum moment değerleri " $M_{max}-M_{min}$ ", maksimum toplam dönme miktarı " φ_{max} " ve 0,07 radyan toplam dönmeye ulaşana kadar tüketilen enerji miktarı değerleri " $E_{0,07}$ " oluşturulan simülasyon modelleri için çevrimsel yükleme altında tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler aşağıda sıralanmıştır.

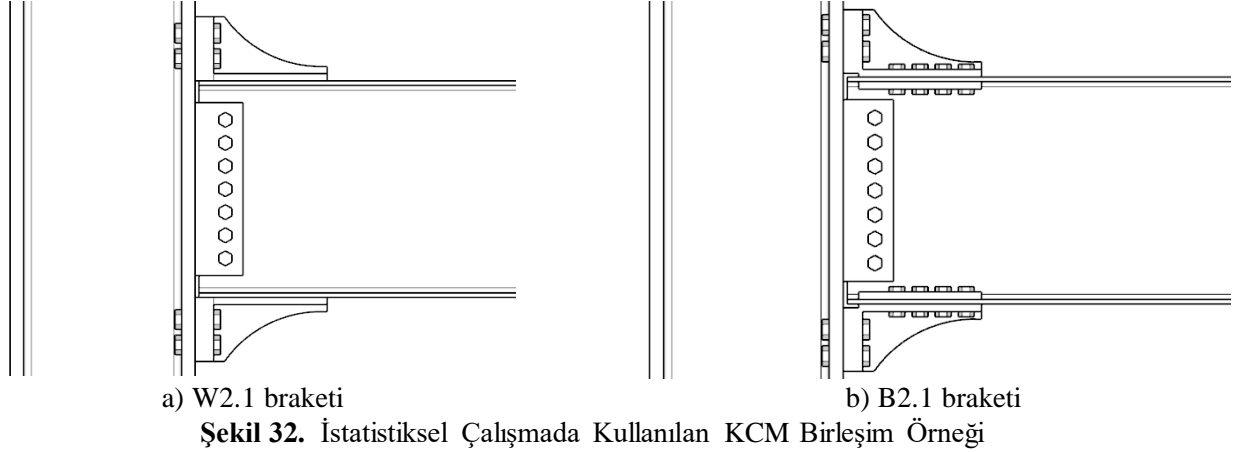
- W-serisi kaynaklı birleşim modelleri için braket büyüklüğü arttıkça (Şekil 22.) (W2.0 braketinden W1.0 braketine doğru) birleşimin elastik rijitliği " K_1 " değeri %17,088, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %57,632 oranında artış göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %57,263 oranında artış göstermiştir.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 23.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,151 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %29,148 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %28,811 oranında azalma göstermiştir.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsallık bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 23.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,192 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %23,389 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %21,901 oranında azalma göstermiştir.
- W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 24.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,241 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %21,972 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %20,134 oranında azalma göstermiştir.
- W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsallık bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 24.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,306 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %19,968 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %15,531 oranında azalmıştır.
- B2.1 birleşimi için (Şekil 25.) birleşim elastik rijitliği değeri " K_1 " 182807 kN.m/rad, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment değeri " $M_{0,04}$ " 2131 kN.m ve 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " ise 2274,1 kJ olarak tespit edilmiştir.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 25.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %0,604 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %24,462 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %13,143 oranında azalmıştır.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsallık bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 25.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,059 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %20,258 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %6,231 oranında azalmıştır.

- W2.1 braket eğrilik yarıçapının (rv) iptal edilmesi ile oluşturulmuş modelin (Şekil 26.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %2,413, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %5,145 oranında artış göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %2,867 oranında artmıştır.
- W2.1 braket eğrilik yarıçapının (rv) iptal edilmesi ve braket kalınlığının (ts) değişimi ile oluşturulmuş birleşimin (Şekil 27.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,375, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %16,373 oranında artış göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %16,739 oranında artmıştır.
- W2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 28.) doğrulanmış modele birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,122, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %21,651 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %16,681 oranında azalmıştır.
- W2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 28.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %1,958, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %25,501 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %26,679 oranında azalmıştır.
- B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 29.) doğrulanmış modele birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,172, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %26,715 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %17,329 oranında azalmıştır.
- B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 29.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %2,076, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %34,903 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %15,135 oranında azalmıştır.
- W2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele (Şekil 30.) kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %10,111, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %39,811 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %42,206 oranında azalmıştır.
- W2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele (Şekil 30.) kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %9,615, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %27,559 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %29,931 oranında azalmıştır.
- B2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim (Şekil 31.) elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,128, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %50,380 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %41,809 oranında azalmıştır.
- B2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim (Şekil 31.) elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,312, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %51,482 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %40,587 oranında azalmıştır.

İSTATİKSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde FEA doğrulama çalışmasında tespit edilen sonuçlar kullanılarak KCM birleşimlerin elastik bölge rijitliği, plastik bölge rijitliği, elastik moment kapasitesi ve elastik dönme kapasitesi bilgilerini veren ampirik formüllerin türetilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla W serisi kaynaklı birleşim tiplerinden W2.1 braketi ve B serisi civatalı birleşim tiplerinden B2.1 braketi (Şekil 32.) referans alınarak ayrı ayrı 24 adet toplam da 48 adet simülasyon

modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde kolon profiller uç kısmında sabit mesnetlidir. Kiriş ucuna 300 mm monotonik yer değiştirme yükü, kolon yüzeyinden 4000 mm uzaklıkta, 30 saniyede ve 1 saniye adımla uygulanmıştır. Moment ve toplam dönme değerleri kolon yüzünde tespit edilmiştir.



a) W2.1 braketli

b) B2.1 braketli

Şekil 32. İstatistiksel Çalışmada Kullanılan KCM Birleşim Örneği

İstatistiksel çalışmada W2.1 ve B2.1 braketleri için “braket başlık kalınlığı (t_{tf}), braket gövde kalınlığı (t_{ts}), kiriş uzunluğu (L_b), kolon uzunluğu (L_c), kiriş en-kesit profili plastik mukavemet momenti (W_{pb}) ve kolon en-kesit profili plastik mukavemet momenti (W_{pc})” değişken parametreler olarak kabul edilmiştir. Simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen elastik rijitlik ($K_{elastik}$), plastik rijitlik ($K_{plastik}$), elastik moment kapasitesi (M_p) ve elastik toplam dönme kapasitesi (ϕ_p) değerleri DATAFIT programına diğer parametrelerle birlikte girilerek 8 adet denklem türetilmiştir. Elde edilen denklemler aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6. W2.1 Braketli için ANSYS ve DATAFIT Sonuçlarının Karşılaştırılması

t_{tf}	t_{ts}	L_b	L_c	W_{pb}	W_{pc}	$K_{elastik}$ ANSYS	Data Fit	$K_{plastik}$ ANSYS	Data Fit	M_p ANSYS	Data Fit	ϕ_p ANSYS	Data Fit
0,053	0,025	4	4	0,0046	0,0103	186218	166377	11711	11239	2619	2535	0,0140	0,0154
0,073	0,025	4	4	0,0046	0,0103	189958	179895	12973	12844	2614	2560	0,0137	0,0143
0,083	0,025	4	4	0,0046	0,0103	191751	186654	13692	13646	2601	2573	0,0135	0,0138
0,093	0,025	4	4	0,0046	0,0103	193274	193413	14532	14448	2578	2586	0,0133	0,0134
0,063	0,035	4	4	0,0046	0,0103	190503	179633	12656	11994	2597	2590	0,0136	0,0145
0,063	0,045	4	4	0,0046	0,0103	191412	186129	12931	11946	2583	2633	0,0134	0,0142
0,063	0,055	4	4	0,0046	0,0103	193483	192626	13003	11898	2576	2676	0,0133	0,0139
0,063	0,065	4	4	0,0046	0,0103	194616	199123	13218	11850	2562	2719	0,0131	0,0136
0,063	0,025	3	4	0,0046	0,0103	214500	215994	8036	10892	3144	2888	0,0146	0,0130
0,063	0,025	5	4	0,0046	0,0103	160102	156265	14371	13000	2332	2379	0,0145	0,0155
0,063	0,025	6	4	0,0046	0,0103	138519	139393	14137	13958	2216	2210	0,016	0,0161
0,063	0,025	7	4	0,0046	0,0103	121328	122522	13388	14916	2139	2042	0,0176	0,0168
0,063	0,025	4	3	0,0046	0,0103	187680	181513	12369	11968	2615	2541	0,0139	0,0141
0,063	0,025	4	5	0,0046	0,0103	180373	164758	12391	12115	2606	2554	0,0144	0,0156
0,063	0,025	4	6	0,0046	0,0103	159471	156381	12418	12188	2595	2560	0,0162	0,0165
0,063	0,025	4	7	0,0046	0,0103	142794	148003	12150	12262	2551	2567	0,0178	0,0173
0,063	0,025	4	4	0,0020	0,0103	50224	49528	4914	5016	1083	1094	0,0215	0,0216
0,063	0,025	4	4	0,0025	0,0103	65084	72450	6070	6319	1335	1364	0,0205	0,0201
0,063	0,025	4	4	0,0039	0,0103	109395	139526	8998	10131	2051	2152	0,0187	0,0164
0,063	0,025	4	4	0,0053	0,0103	158413	207278	11765	13982	2724	2949	0,0171	0,0134
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0113	190505	177933	12871	12141	2595	2560	0,0136	0,0145
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0123	192949	183075	12581	12247	2604	2573	0,0134	0,0141
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0147	196708	194498	12577	12483	2607	2602	0,0132	0,0133
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0169	199531	205823	12446	12716	2613	2631	0,0130	0,0125

W-serisi kaynaklı birleşim modeli için denklemler:

$$K_{elastik} = 675900t_{tf} + 649682t_{ts} - 16871L_b - 8378L_c + 48359906W_{pb} + 494503W_{pc} - 60606 \quad (5)$$

$$K_{plastik} = 80225t_{tf} - 4799t_{ts} + 958L_b + 73L_c + 2748790W_{pb} + 102084W_{pc} - 10844 \quad (6)$$

$$M_p = 1289t_{tf} + 4294t_{ts} - 169L_b + 6L_c + 5685984W_{pb} + 12611W_{pc} + 236 \quad (7)$$

$$\varphi_p = e^{(-3t_{tf} - 2t_{ts} + 4L_b + 5L_c - 147W_{pb} - 25W_{pc} - 3)} \quad (8)$$

Tablo 7. B2.1 Braketi için ANSYS ve DATAFIT Sonuçlarının Karşılaştırılması

t_{tf}	t_{ts}	L_b	L_c	W_{pb}	W_{pc}	$K_{elastik}$	Data	$K_{plastik}$	Data	M_p	Data	φ_p	Data
0,053	0,025	4	4	0,0046	0,0103	177081	163883	13239	14025	2324	2159	0,0130	0,0130
0,073	0,025	4	4	0,0046	0,0103	176246	170050	13060	13513	2299	2203	0,0130	0,0128
0,083	0,025	4	4	0,0046	0,0103	176457	173134	13052	13264	2266	2225	0,0128	0,0128
0,093	0,025	4	4	0,0046	0,0103	176336	176217	13039	13020	2243	2247	0,0126	0,0127
0,063	0,035	4	4	0,0046	0,0103	176140	171171	13030	13605	2368	2252	0,0134	0,0130
0,063	0,045	4	4	0,0046	0,0103	178549	175376	13081	13445	2392	2324	0,0133	0,0132
0,063	0,055	4	4	0,0046	0,0103	179750	179580	13180	13287	2401	2396	0,0133	0,0133
0,063	0,065	4	4	0,0046	0,0103	180828	183784	13547	13131	2400	2467	0,0132	0,0134
0,063	0,025	3	4	0,0046	0,0103	192678	183268	13443	13990	2612	2232	0,0134	0,0118
0,063	0,025	5	4	0,0046	0,0103	155519	150665	13055	13547	2227	2129	0,0143	0,0142
0,063	0,025	6	4	0,0046	0,0103	135627	134363	12837	13331	2144	2078	0,0158	0,0156
0,063	0,025	7	4	0,0046	0,0103	118738	118062	13427	13118	2076	2026	0,0174	0,0172
0,063	0,025	4	3	0,0046	0,0103	182061	173013	13171	13874	2374	2130	0,013	0,0121
0,063	0,025	4	5	0,0046	0,0103	178166	160921	13240	13660	2363	2232	0,0132	0,0138
0,063	0,025	4	6	0,0046	0,0103	163915	154874	13454	13554	2345	2282	0,0143	0,0148
0,063	0,025	4	7	0,0046	0,0103	140069	148828	13417	13449	2329	2333	0,0166	0,0159
0,063	0,025	4	4	0,0020	0,0103	47279	47796	4628	4741	930	991	0,0190	0,0186
0,063	0,025	4	4	0,0025	0,0103	63117	69896	6145	5777	1129	1212	0,0170	0,0174
0,063	0,025	4	4	0,0039	0,0103	103893	134563	12878	10303	1315	1857	0,0126	0,0143
0,063	0,025	4	4	0,0053	0,0103	147829	199883	20127	18480	1512	2510	0,0102	0,0117
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0113	184930	171857	13306	13237	2367	2201	0,0127	0,0127
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0123	187303	177101	13392	12693	2364	2222	0,0126	0,0125
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0147	191044	188748	10808	11562	2257	2269	0,0118	0,0120
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0169	193773	200294	10812	10540	2257	2316	0,0116	0,0115

B-serisi bulonlu birleşim modeli için denklemler:

$$K_{elastik} = 308361t_{tf} + 420447t_{ts} - 16302L_b - 6046L_c + 46623878W_{pb} + 5041999W_{pc} - 42437 \quad (9)$$

$$K_{plastik} = -2t_{tf} - 1t_{ts} - 2L_b - 7L_c + 417W_{pb} - 40W_{pc} + 8 \quad (10)$$

$$M_p = 2211t_{tf} + 7154t_{ts} - 52L_b + 51L_c + 465578W_{pb} + 20504W_{pc} - 510 \quad (11)$$

$$\varphi_p = e^{(-0,6t_{tf} + 0,8t_{ts} + 0,09L_b + 0,06L_c - 143W_{pb} - 17W_{pc} - 4)} \quad (12)$$

İSTATİKSEL ÇALIŞMA KATSAYILARININ ELDESİ

Korelasyon (r), Nash-Sutcliffe Etkinlik (NSE), Centred Root-Mean-Square Error (CRMSE), Mean Relative Error (MRE) istatistiksel çalışma katsayıları (Dis vd. , 2018) kullanılarak elde edilen formüllerin hata oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 8. ve Tablo 9.'de sunulmuştur.

Tablo 8. W-serisi ANSYS Sonuçları ile Denklem Sonuçları Arasındaki İstatistik Katsayıları

Denklem	r	NSCE	MRE	CRMSE%
$K_{elastik}$	0,942	0,87	3×10^{-11}	8,37
$K_{plastik}$	0,907	0,78	$-3,5 \times 10^{-12}$	8,46
M_p	0,976	0,95	$8,54 \times 10^{-7}$	7,48
φ_p	0,882	0,72	$1,69 \times 10^{-4}$	3,73

Tablo 9. B-serisi ANSYS Sonuçları ile Denklem Sonuçları Arasındaki İstatistik Katsayıları

Denklem	r	NSCE	MRE	CRMSE%
$K_{elastik}$	0,928	0,84	$-1,83 \times 10^{-11}$	9,04
$K_{plastik}$	0,960	0,91	$7,36 \times 10^{-4}$	5,98
M_p	0,792	0,40	$-3,31 \times 10^{-6}$	12,27
φ_p	0,942	0,87	$9,71 \times 10^{-5}$	4,8

SONUÇLAR

Kaynaklı ve bulonlu birleşim modelleri için monotonik yükleme altında gerçekleştirilen analizlerde aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir.

Monotonik yükleme

- Braket değişimine bağlı olarak kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde elastik-plastik bölge rijitlikleri ve Elastik moment kapasitesi önemli oranda değişiklik göstermektedir. Kaiser birleşimde kullanılan braket tipi taşıyıcı sistem davranışını etkilemektedir.
- W-serisi birleşimlerde kolon süreklilik levhası kullanımı, kiriş rijitlik levhası kullanımı, braket geometrisindeki değişikliklerin birleşim davranışına ciddi bir etkisi gözlemlenmemiştir.
- B serisi birleşimlerde kolonda süreklilik levhası kullanımı sebebiyle kirişte meydana gelen plastik deformasyonlar daha erken başlamıştır. Ancak elastik ve plastik bölge rijitlikleri ve elastik moment kapasitesi ciddi oranda etkilenmemiştir.
- Bulonlu ve kaynaklı birleşimlerde kiriş başlığında ve gövdesinde yapılan zayıflatmaların birleşim elastik rijitliğine ciddi bir etkisi olmamıştır. Yapılan zayıflatmalar ile kolonda meydana gelen gerilmeler azalmıştır ve plastik deformasyonlar kirişe yönlendirilmiştir.

Çevrimsel yükleme

- W serisi birleşimde braket ölçüsü büyüdükçe enerji tüketimi önemli ölçüde artmıştır.
- W ve B serisi birleşimde süreklilik levhası kullanımı ile kiriş başlığı daha erken burkulmuş ve enerji tüketimi azalmıştır. Rijitlik levhası kullanımı sismik performansı çok ciddi etkilememiştir.
- W Serisi braketten eğrilik yarıçapının iptali çevrimsel davranışı etkilememiştir. Braket kalınlığı değişimi çevrimsel performansı olumlu etkilemiştir.
- W ve B serisi birleşimde kiriş gövdesinde 100 mm delik açılması birleşim moment kapasitesini beklemedik bir şekilde azaltmıştır. Ayrıca kiriş gövdesinde 100 mm delik açılan model ile 200 mm delik açılan modelin çevrimsel performansları birbirine yakın elde edilmiştir.

- W ve B serisi birleşimde ZKE'nin brakete yaklaşması çevrimsel davranışı iyileştirmiştir. Gövde ve başlıkta kesit zayıflatma miktarı özenli seçilmelidir. Kesit zayıflatması sonrasında 0,04 radyan dönme açısında birleşim moment kapasitesinin $0.8M_{pb}$ nin altına düşmemesi gerekir.

İstatistiksel çalışma

- $K_{elastik}$, $K_{plastik}$ ve φ_p için elde edilen istatistik katsayıları (r) ve (NSCE)'nin 1'e yakın değer aldığı, (CRMSE) ve (MRE)'nin de 0'a yakın değer aldığı tespit edilmiştir. M_p denklemi için elde edilen istatistiksel performansın diğer denklemlere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abidelah, A., Bouchaïr, A., & Kerdal, D. E. (2012). Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 13-27.
- Adan, S. M., & Gibb, W. (2009). Experimental evaluation of kaiser bolted bracket steel moment-resisting connections. *ENGINEERING JOURNAL-AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION INC*, 46(3), 181-195.
- AFAD. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <https://www.afad.gov.tr/tr/24210/Turkiye-Bina-Deprem-Yonetmeliği>.
- ANSYS Workbench Release 19.2. (2018). ANSYS Inc, Canonsburg, Pennsylvania.
- ANSYS Mechanical. Release 18.2 - © ANSYS, Inc.
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_SOLID186.html Accessed 14.04.2022.
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_SOLID187.html Accessed 14.04.2022.
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_TARGE170.html Accessed 14.04.2022
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_CONTA174.html Accessed 14.04.2022
- AISC 358-16.(2016). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames For Seismic Applications.
- ATC-24. (1992). "Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures". ATC-24, Redwood City, CA.
- DATAFIT version 9.1.32., DATAFIT Systems Inc, Oakdale Engineering, 1995-2014.
- Dis, M. O., Anagnostou, E. & Mei, Y. (2018). Using high-resolution satellite precipitation for flood frequency analysis: case study over the Connecticut River Basin, *Journal of Flood Risk Management* 11, S514-S526.
- Erol, Ahmet Serdar (2020). Kaiser cıvatalı moment birleşimlerin sismik performansının incelenmesi. MS thesis. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kasai, K., Hodgson, I., & Bleiman, D. (1998). Rigid-bolted repair method for damaged moment connections. *Engineering structures*, 20(4-6), 521-532.
- Shahidi, F., NATEGHI, A., & Razzaghi, M. S. (2013). Influential factor in improving the seismic performance of the kaiser bolted bracket moment connection.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.11.2022
Kabul Tarihi : 27.12.2022

Received Date : 28.11.2022
Accepted Date : 27.12.2022

TÜRKİYE'DEKİ LİSANSIZ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİM KAYIPLARININ BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF PRODUCTION LOSSES AT UNLICENSED SOLAR PLANTS IN TURKEY

Mehmet BAYRAK^{1*} (ORCID: 0000-0001-5225-0640)
Ecem ASLAN¹ (ORCID: 0000-0003-0212-0893)

¹Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet BAYRAK, bayrak@sakarya.edu.tr

ÖZET

Dünyada elektrik enerjisi üretiminde sera gazlarının azaltılması yönünde alınan tedbirler sonucu yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumu artmaktadır. Ülkemizde de özellikle güneş enerji santrallerinin kurulumunda son yıllarda büyük artış yaşanmaktadır. Fakat, lisanssız elektrik enerjisi üretimi için getirilen bazı yönetmeliklerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu çalışmada, ülkemizde bir yılda şebeke bağlantı yönetmeliğinden kaynaklanan üretim kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerçek ışımaya verileri ve teknik kayıplar kullanılmıştır. Teknik kayıpların doğru olarak bulunabilmesi için modül sıcaklığının kestirimi için farklı yöntemlerle hesaplanan değerler gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Bütün kayıplar gerçeğe yakın olarak hesaplandıktan sonra bütün güneş enerjisi santrallerinde saatli üretilen enerji hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların ardından Türkiye'de bir yılda üretilmeyen elektrik enerjisi bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi santralleri, teknik kayıplar, üretim kayıpları.

ABSTRACT

As a result of the measures taken to reduce greenhouse gases in electrical energy production in the world, the installation of renewable energy plants is increasing. There has been a great increase in the installation of solar power plants in Turkey in recent years. However, any regulations for unlicensed electricity generation have been done until now. In this study, generation losses due to grid connection regulation in one year in our country were calculated. Real radiation data and technical losses are used for power calculations. In order to find the technical losses correctly, the values calculated by different methods for the estimation of the module temperature were compared with the real data. After real calculations of all losses, the hourly energy produced in all solar power plants was calculated. After these calculations, the electrical energy that cannot be produced in a year in Turkey has been found.

Keywords: Solar power plant, technical losses, production losses.

GİRİŞ

ToCite: BAYRAK, M. & ASLAN, E, (2023). TÜRKİYE'DEKİ LİSANSIZ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİM KAYIPLARININ BELİRLENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 233-240.

Dünyada fosil yakıtların hızlı biçimde tükenmesi ve özellikle son on yılda fotovoltaik endüstrisinin gelişmesi sonucu güneş enerji sistemlerinin kullanımı ve toplam enerji üretimindeki payı artmaya başlamıştır. Güneş enerjisi ilk başlarda ısıtma amaçlı doğrudan kullanılmasına karşılık, günümüzde büyük çoğunlukla elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılmakta ve soğutma amacıyla da farklı teknolojiler bulunmaktadır. Ayrıca güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte düşük maliyetli yüksek verimli eviriciler geliştirilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) raporuna göre, 2050 yılına kadar dünya enerji ihtiyacının %11'i güneş enerjisinden sağlanması beklenmektedir (IEA, 2021). Bunun sonucunda 2050 yılına kadar atmosfere salınan CO₂ emisyonları 100 giga ton olacaktır. Ülkemizde de bu amaçlı son yıllarda birçok güneş enerji santralleri kurulmuş ve hala devam eden projeler bulunmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin planlanmasında yıllık olarak üretecekleri elektrik enerjisinin doğru olarak tahmin edilmesi yatırımın fizibilitesi açısından çok önemlidir. Bu fizibilitenin en doğru şekilde yapılabilmesi için oluşabilecek kayıpların iyi hesaplanması ve bunların en aza indirilmesi gerekmektedir. Santrallerde elektrik enerjisi üretiminde oluşan kayıplar en temelde teknik ve üretim kayıpları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Teknik kayıplar genellikle malzeme yapısı, ortam koşulları, yaşlanma, tasarım hatası v.b. etkenlere bağlı iken, üretim kayıpları tamamen kişilere ve yönetmeliklere bağlıdır.

Ülkemizde fotovoltaik elektrik enerjisi santrallerinin kurulumu lisanslı ve lisanssız olarak ikiye ayrılır. Güneş enerjisine dayalı elektrik santrallerinin kurulu gücü haziran 2022 sonu itibarıyla 8,479 MW olup, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35'dir. (Yolcan, 2020). Bu santrallerin de büyük çoğunluğunu lisanssız santraller oluşturmaktadır. Üreticiler lisanssız elektrik enerjisi santrali kurmadan önce belirli güce kadar şebekeye bağlantı izni almakta ve daha sonra tesisi kurmaktadır. Santral sahiplerinin hemen hemen tamamı AC bağlantı gücünden daha büyük DC güneş enerjisi modül gücü kullanmaktadır. EPDK yönetmeliklerine göre, şebekeye bağlantı izninden daha büyük bir güç verilmesi durumunda üreticiler o ay için ürettikleri enerji bedelini tahsil edememektedirler. Bu durum üretim kayıplarına neden olabildiğinden, şimdiye kadar ne kadar yıllık kayıpların olabileceği ayrıntılı olarak hesaplanamamıştır.

TEKNİK KAYIPLAR

Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemlerinde elektrik enerjisi üretimi kullanılan elemanların özelliklerine, coğrafi konuma, sistem konfigürasyonuna, ışınmı etkileyen parametrelere dolayısıyla modül sıcaklığına ve modüllerin yerleşim biçimine bağlıdır. Bu kayıplara ekti eden etkenlerden önemli olanları aşağıdaki biçimdedir:

Gölgelenme

Güneş enerji sistemlerinde herhangi bir ışımada üretilecek enerjinin maksimum olması için seri bağlı bütün modüllerin yüzeylerine aynı şiddette ışımanın gelmesi gerekir. Fakat güneş yörüngesi, bulutlar, ağaçlar, yapılar vb. etkiler gölgelenmeye neden olduğundan modüller üzerine gelen ışınlarda farklılıklar olabilir. Bu farklılıklar bütün sistemi olumsuz etkilediğinden sistemin performansı önemli derecede etkilenir. Modüller arasındaki mesafeler artırılarak sabah ve akşam saatlerinde güneş yörüngesinden dolayı oluşacak gölgelenme kayıpları azaltılabilir. Fakat, bu durumda modüllerin yerleşimi için çok daha fazla alana ihtiyaç olacağından arazi maliyetleri artacaktır. En uygun mesafenin bulunması çok karmaşık bir problem olup, bunun için PVSYSYT gibi özel yazılımlar kullanılmaktadır.

Tozlanma

Büyük güçlü güneş enerji santralleri kırsal alana kurulmakta olup, etraflarında birçok toz ve kir kaynağı bulunmaktadır. Bu tozlar zamanla modüllerin üzerine birikerek, hücreye gelen ışınmı bir miktar engellemektedir. Tozlanmadan dolayı oluşan kayıpların miktarları tam olarak bilinmese de bu konuda birçok araştırma yapılmıştır (Sayyah vd., 2014). Bu çalışmalardan bazılarında tozlanma kayıplarının ülkeden ülkeye çok değiştiği sonucuna varılmıştır (Maghami vd., 2016).

Modül Eğimi

Güneşten maksimum güç elde etmek için fotovoltaik modüller yatay düzlem ile bir açı oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece güneş ışıkları özellikle ışımanın en fazla olduğu öğle saatlerinde modüle dik bir açıyla düşebilir. Modüllere düşen radyasyon seviyesi enlemlere göre farklılıklar gösterdiğinden, en uygun eğim açısının bulunması çok önemlidir. Bu açı, üretilecek enerjinin maksimum olması için aylık, mevsimlik veya yıllık olabilir. En uygun modül eğiminin bulunması için birçok yöntem geliştirilmesine rağmen, genellikle aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır. Dünya belirli bir açı ile kendi etrafında ve yıllık olarak güneş etrafında döndüğünden ilk önce

$$\delta = 23,5 \sin \left(\frac{360}{365} (J + 284) \right) \quad (1)$$

bağıntısı ile güneşin sapma açısı bulunmalıdır. Burada J değeri 1 ocaktan başlamak üzere yılın kaçmıncı gün olduğunu göstermektedir (Talebizadeh vd., 2011). Günlük modül eğimi ise,

$$\beta_{opt} = \phi - \delta \quad (2)$$

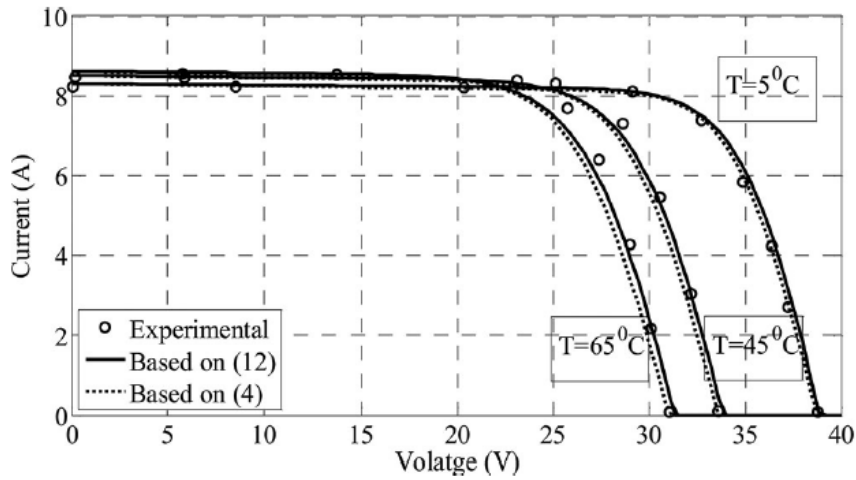
bağıntısı ile bulunur. Burada β modül eğimini ve ϕ tesisin bulunduğu konumun enlem açısını gösterir. Modül eğiminin günlük ve aylık değiştirilmesi için ilave donanım gerekeceğinden ve bu da maliyetli olacağından modül eğimleri yıllık üretilen enerjiyi maksimum yapacak şekilde sabit tutulur. Bunun için,

$$Enlem - 10 < Eğim < Enlem \quad (3)$$

genel ifadesi bir fikir vermektedir (Boztepe). Daha hassas hesaplamalar için karmaşık bağıntılar veya özel programlar kullanılmalıdır.

Modül Sıcaklığı

Güneş enerji sistemlerinde elektrik enerjisi üretimi güneş radyasyonuna bağlı olduğu gibi, ortam sıcaklığına ve dolayısıyla modül sıcaklığı ve rüzgar hızına da bağlıdır. Diğer bir ifadeyle modüllerin maksimum gücü ürettiği nokta çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklıkta bunlardan en önemli olanıdır. Modül sıcaklığı arttıkça modül kısa devre akımı artmakta, gerilimi de buna göre daha hızlı düşmektedir. Bunun sonucunda modül çıkış gücü ciddi derecede azalmaktadır. Modüllerin sıcaklığa bağlı olarak akım-gerilim eğrileri Şekil 1'de verilmiştir (Farivar, 2011):



Şekil 1. Modül Sıcaklığına Bağlı Olarak Gerilim-Akım Eğrileri

Modül çıkış akımdaki artış ile gerilimdeki düşüş gücün sıcaklıkla çok fazla azalmasına neden olmaktadır. Eğer modül sıcaklığı ölçülebilirse güçteki azalma da kolaylıkla hesaplanabilir. Modül sıcaklığının ölçülmesinin zor olduğu durumlarda dış ortam sıcaklığına göre modül sıcaklığının kestirilmesi gerekir. Bu amaçla birçok bilimsel çalışmalar yapılmıştır (Segado vd., 2015). Nominal hücre çalışma sıcaklığı modeli, Faiman modeli, Ross modeli, King modeli, Muzzathik (Muzathik, 2014) modeli ve sonlu farklar yöntemi bunlardan bazılarıdır. Bazı çalışmalarda modül sıcaklığını kestirmek için rüzgar hızı dikkate alınmamaktadır. Ross modelinde modül sıcaklığını kestirmek için aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi ortam sıcaklığı ile güneş radyasyonu kullanılır (Ross, 1976).

$$T_{pv} = T_a + kG \quad (4)$$

Burada T_a ortam sıcaklığını, G radyasyon ışınmasını ve k ise katsayıyı gösterir. Bazı durumlarda bu katsayı $0,3 \text{ cm}^2\text{C}/\text{mW}$ olarak alınır.

Rüzgar hızının dikkate alındığı Faiman modül sıcaklığı,

$$T_{pv} = T_a \frac{G}{U_0 + U_1 v} \quad (5)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada U_0 ve U_1 ısı kayıp katsayılarını ve v rüzgar hızını gösterir. Isıl kayıp katsayıları sırasıyla 25 ve 6,84 alınabilir. King modeli Sandia Ulusal Laboratuvarında çalışan bir grup araştırmacı tarafından

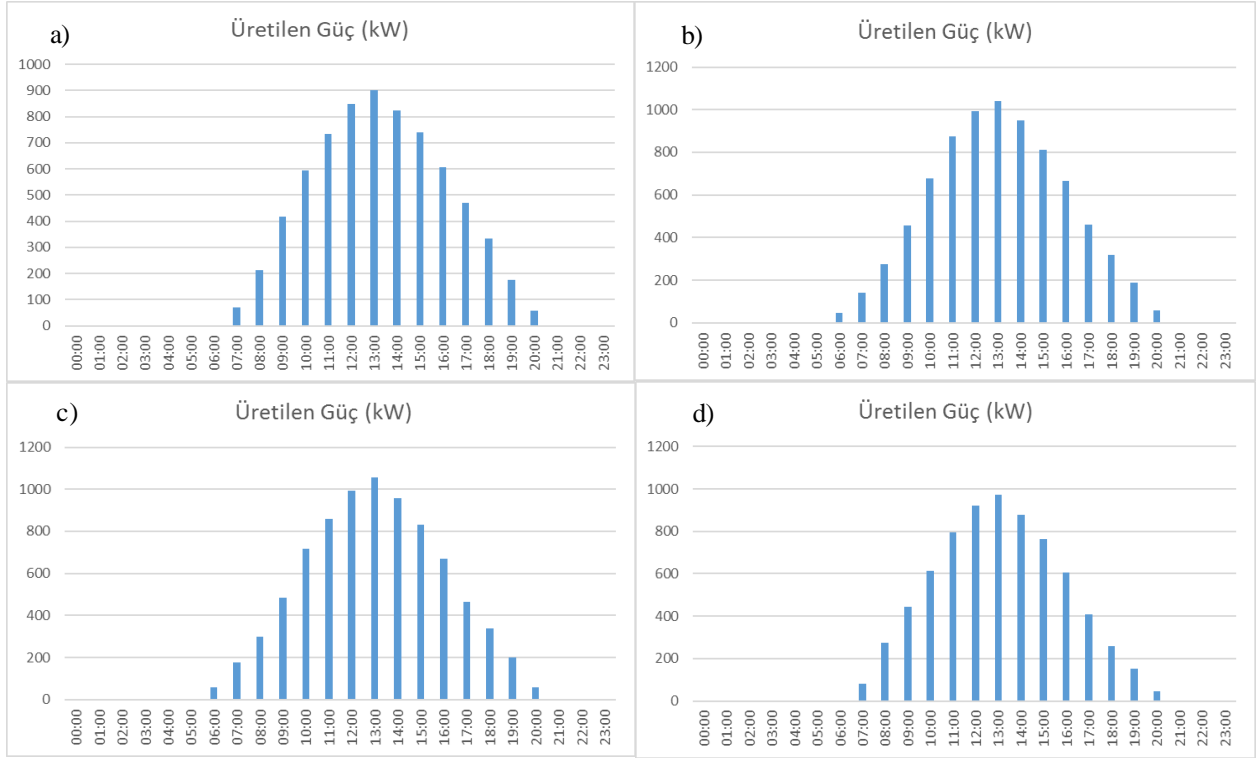
Saat	Işıma (W/m ²)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Modül Sıcaklığı (°C) Ölçülen	Modül Sıcaklığı (°C) Faimann	Modül Sıcaklığı (°C) Muzathik	Modül Sıcaklığı (°C) Ross	Modül Sıcaklığı (°C) King
01:00	0	21	25	25	22	21	22
02:00	0	20	24	24	21	20	21
03:00	0	19	24	24	20	19	20
04:00	0	18	24	24	20	18	19
05:00	0	16	25	25	22	16	18
06:00	0	15	26	26	23	15	17
07:00	0	16	27	27	23	16	18
08:00	57	17	28	29	24	17	20
09:00	193	18	29	34	26	27	24
10:00	330	20	31	41	28	36	29
11:00	455	22	34	48	31	38	33
12:00	592	24	37	56	35	42	38
13:00	706	26	42	64	39	50	43
14:00	774	28	44	75	42	52	49
15:00	706	30	45	73	43	55	49
16:00	603	30	43	67	41	52	46
17:00	467	29	40	59	39	48	42
18:00	330	28	36	49	34	42	37
19:00	199	27	30	36	28	37	31
20:00	57	26	28	30	25	32	27
21:00	0	25	27	27	24	25	25
22:00	0	24	26	26	24	24	23
23:00	0	23	25	25	22	23	22
24:00	0	22	25	25	21	22	22

Üretilmeyen elektrik enerjisini bulmak için yukarıdaki şekilde verilen bütün santrallerin bir yıl boyunca saatlik ürettiği enerjiyi hesaplamak gerekir. Bunun için bütün illerdeki güneş ışıması değerlerinin bilinmesi ve o illerdeki santrallerde oluşacak teknik kayıpların doğru olarak hesaplanması gerekir. Tozlanma, gölgelenme, modül uyumsuzluğu, inverter ve diğer etkilerden dolayı oluşacak kayıplar genellikle birbirine yakındır. Fakat güneş enerji santrallerinde sıcaklıktan dolayı oluşan kayıplar çok önemlidir ve bazı bölgelerde özellikle yaz mevsiminde % 15'e kadar çıkabilmektedir. Modül üreticileri sıcaklık başına oluşabilecek kayıpları üretim kataloglarında vermektedir. Fakat, gerçek çalışma koşullarında modül sıcaklığının ne olacağı bilinmemektedir. Modül sıcaklığının dış ortam ve hava koşullarından hesaplanması için geliştirilen yöntemlerden bazıları yukarıda belirtilmiştir. Bu yöntemlerin doğruluğunu karşılaştırmak için Kocaeli ilinde güneş santralinden alınan gerçek veriler (Alkan, 2016) ve hava koşulları kullanılmış, hesaplanan sıcaklıklar Tablo 1'de verilmiştir.

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi, Muzathik yöntemi ile hesaplanan modül sıcaklığı gerçeğe en yakın bulunmuştur. Bu nedenle güneş enerji santrallerinin bulunduğu bütün illerde bir yıl boyunca modül sıcaklıkları meteorolojik veriler ve güneş ışıması değerleri kullanılarak Muzathik yöntemiyle hesaplanmıştır. Bütün güneş enerji santrallerinin bir yıl boyunca üretebileceği saatlik şebekeye verilebilecek güç miktarları gerçek veriler kullanılarak,

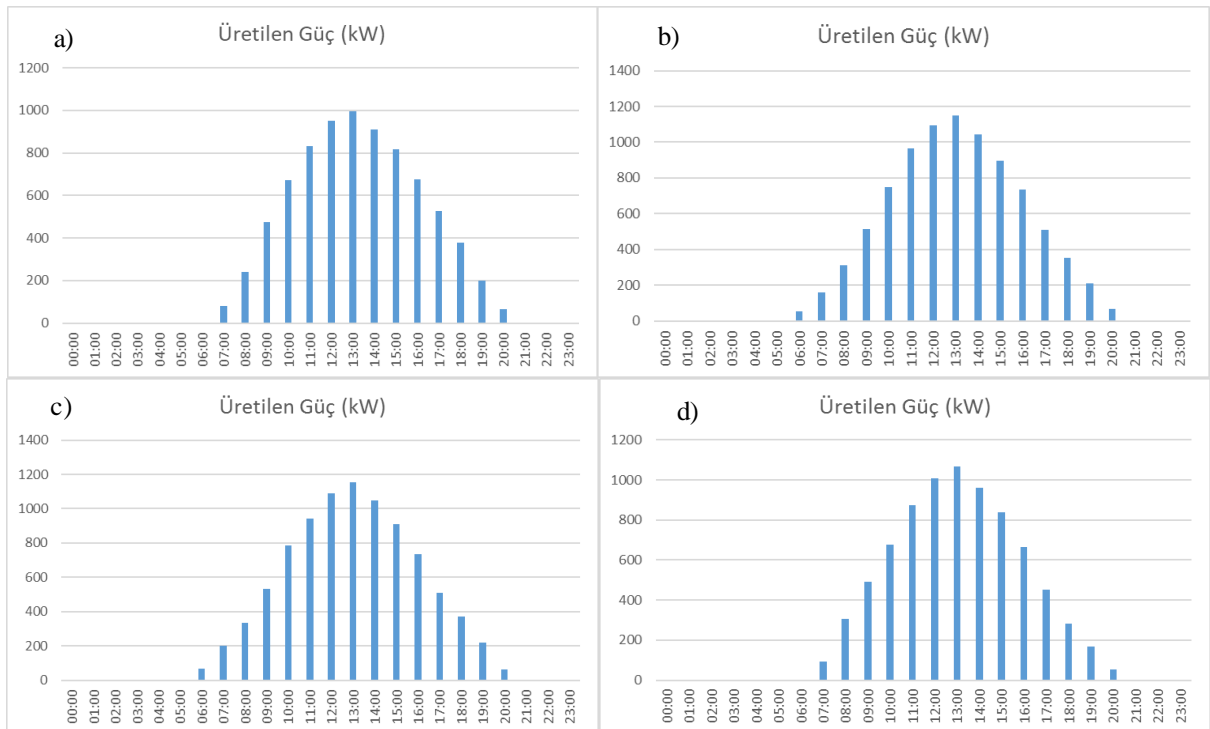
$$P_{\text{şebeke}} = G_{\text{güneş}} \cdot A \cdot N \cdot \eta_m \cdot \eta_i \cdot \eta_d \quad (8)$$

bağıntısıyla bulunmuştur. Burada G ilgili ildeki saatlik güneş ışıması değerini, A modül alanını, N modül sayısını, η_m ışımaya bağlı olarak modül verimini, η_i inverter verimini ve η_d bütün kayıpların dahil edildiği diğer verimi göstermektedir. Hesaplanan güçler bir saat ile çarpılarak saatte üretilen enerji bulunmuştur. Bu hesaplamalar bütün illerdeki lisanssız güneş enerjisi santralleri için gerçek ışıma değerleri ve meteorolojik veriler dahil edilerek bulunan modül sıcaklığı değerleri kullanılarak bulunmuştur. Fakat, saatlik üretilen güçler mayıs, haziran, temmuz ve ağustos ayları olmak üzere seçilen bazı iller için şekil olarak verilmiştir.

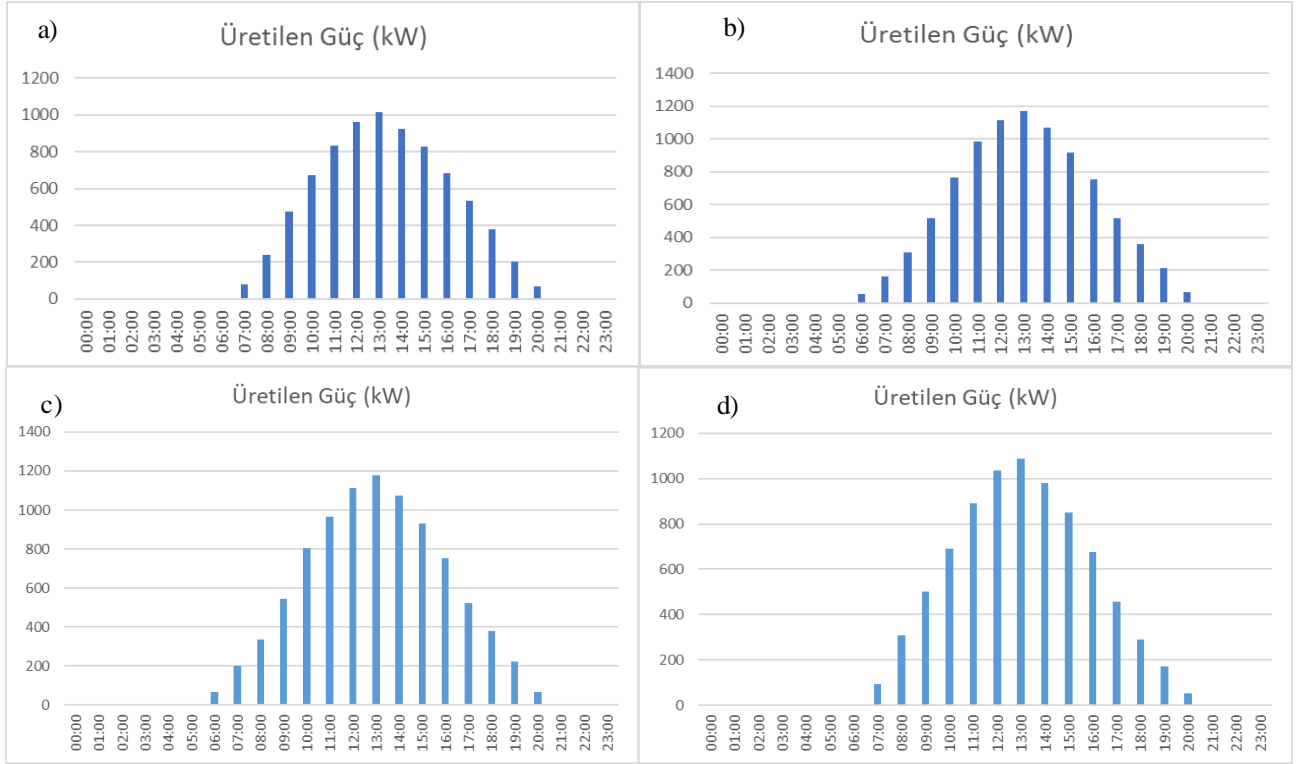


Şekil 3. Balıkesir İlinde 1 MW Kurulu Güçteki Lisanssız Santralin Ürettiği Gücün Aylara Göre Değişimi, a) Mayıs, b) Haziran, c) Temmuz, d) Ağustos

Şekillerden de görüldüğü gibi, Balıkesir ilinde mayıs ayında sözleşme gücü aşılmamış, haziran ayında öğle saatinde 70 kW, temmuz ayında 75 kW ve ağustos ayında 40 kW güçlerinde aşım olmuştur. Kahramanmaraş ilinde mayıs ayında öğle saatinde sözleşme gücünden 50 kW, haziran ayında 120 kW, temmuz ayında 130 kW ve ağustos ayında 90 kW güçlerinde aşım vardır. Konya ilinde mayıs ayında öğle saatinde sözleşme gücünden 55 kW, haziran ayında 140 kW, temmuz ayında 1145 kW ve ağustos ayında 95 kW'lık bir aşım olmuştur. Diğer aylarda sözleşme gücünden daha fazla güç üretimi oluşmadığından grafiklerde gösterilmemiştir.



Şekil 4. Kahramanmaraş İlinde 1 MW Kurulu Güçteki Lisanssız Santralin Ürettiği Gücün Aylara Göre Değişimi, a) Mayıs, b) Haziran, c) Temmuz, d) Ağustos



Şekil 5. Konya İlinde 1 MW Kurulu Güçteki Lisanssız Santralin Ürettiği Gücün Aylara Göre Değişimi,
a) Mayıs, b) Haziran, c) Temmuz, d) Ağustos

Yukarıda bazı iller için 1 MW'lık güneş enerjisi santralinin ürettiği güçler incelendiğinde, yaz aylarında öğle saatlerinde bağlantı gücünün aşıldığı görülmektedir. EPDK yönetmeliklerine göre bağlantı gücünden daha fazla güç şebekeye verilemeyeceğinden, aradaki fazlalık kadar bir güç, dolayısıyla enerji kaybı oluşmaktadır. Bu da üretilmeyen enerji olarak maddi kayba neden olmaktadır. Ülkemizdeki bütün güneş enerjisi santrallerinde de benzer durum yaşandığından, Türkiye'de bulunan bütün güneş enerjisi santralleri için gerçek ışıma değerleri ve hava parametreleri kullanılarak ayrı ayrı üretilmeyen enerji hesaplanmış ve aylara göre toplam üretilmeyen enerji aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'de Üretilmeyen Elektrik Enerjisi Miktarının Aylara Göre Değişimi

Aylar	Toplam Üretilmeyen Enerji (MWh)
Mayıs	11535,89
Haziran	88113,18
Temmuz	90752,03
Ağustos	37609,80

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi, ülkemizde bir yılda üretilmeyen elektrik enerjisi toplam 228010,90 MWh'i bulmaktadır. Bu kayıp çok fazla olup, aynı enerjiyi 26 MW'lık bir elektrik santrali bir yıl boyunca çalıştırarak üretebilir. Enerji açısından birincil kaynaklarda dışa bağımlı olduğumuzdan bu güç azımsanamayacak kadar büyüktür.

SONUÇLAR

Güneş enerjisi santrallerinde gölgeleme kayıpları, inverter kayıpları, kablo kayıpları ve diğer kayıplar yaklaşık olarak bulunabilir ve bunların toplamı % 5-7 arasında olur. Fakat, modül sıcaklığının 25 °C'yi aşması durumunda kayıplar her bir derece için % 0,35 artar. Özellikle yaz aylarında bazı bölgelerde hava sıcaklığının 45 °C'ye çıkması durumunda modül sıcaklığı da 65 °C civarında olacaktır. Bu durumda sıcaklıktan dolayı oluşacak ilave kayıplar da % 16 civarında olacaktır. Bu kayıpları hesaplayabilmek için modül sıcaklığının ölçülmesi veya dış ortamdaki hava parametreleri kullanılarak kestirilmesi gerekir. Bunun için geliştirilen yöntemler incelenmiş, gerçek ölçüm verileriyle karşılaştırılmış ve en uygun yöntemin Muzathik tarafından geliştirilen bağlantı olduğu bulunmuştur.

Lisanssız güneş enerji santrallerinde EPDK yönetmeliklerine göre AC bağlantı gücünden daha fazla bir güç şebekeye verilememektedir. Santral işletmecileri tesislerde bağlantı gücünden daha büyük DC güç kullandığından, özellikle

yaz aylarında cezaya girmemek için enerji üretmede bazı sınırlamalar getirmektedirler. Türkiye'deki hemen hemen bütün lisanssız santrallarda benzer durum olduğundan EPDK yönetmeliğinden kaynaklanan üretim kayıpları gerçek veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Bütün santralların yaz aylarında öğle saatlerinde şebeke bağlantı gücünden daha fazla üretebileceği güçler, dolayısıyla enerjiler, hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, ülkemizde bir yılda EPDK yönetmeliklerinden kaynaklı 228010,90 MWh'lik bir enerji kaybı oluşmaktadır. Günümüz ortalama enerji tarifesine göre ülkemiz üretilmeyen elektrik enerjisinden dolayı yıllık en az 684 milyon TL maddi kayba uğratılmaktadır.

KAYNAKLAR

Alkan, A., (2016), Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Enerji Bakanlığı, www.enerji.gov.tr; Erişim tarihi: 15 Kasım 2022.

EPDK, (2016), Dağıtım Sistemine Bağlantı Anlaşması, 16 Nisan.

Farivar, G., and Asaei, B., (2011), A New Approach for Solar Module Temperature Estimation Using the Simple Diode Model, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 26(4), 1118-1126.

IEA, (2021), Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, October.

King, D.L. Boyson, W.E., and Kratochvil, J.A., (2004), Photovoltaic array performance model, SAND, vol. 2004-3535.

Lorente, D. G., Pedrazzi, S., Zini, G., Dalla Rosa, A., & Tartarini, P. (2014). Mismatch losses in PV power plants. *Solar Energy*, 100, 42-49.

Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1307-1316.

Muzathik, A.M., (2014), Photovoltaic Modules Operating Temperature Estimation Using a Simple Correlation, *International Journal of Energy Engineering*, 4(4), 151-158

Ross, R.G., (1976), Interface design considerations for terrestrial solar cell modules, in: 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Baton Rouge, Louisiana, pp. 801-806.

Sayyah, A., Horenstein, M.N. and Mazumder, M.K., (2014), Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, *Solar Energy*, 107, 576-604.

Segado, P.M. Carretero, J., and Cardona, M.S., (2015), Models to predict the operating temperature of different photovoltaic modules in outdoor conditions, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23, 1267-1282.

Talebizadeh, P., Mehrabian, M.A. and Abdolzadeh, M., (2011), Determination of Optimum Slope Angles of Solar Collectors Based on New Correlations, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(17), 1567-1580.

Yolcan, O.O., Köse, R., (2020), Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6(2), 196-215.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 19.12.2022
Kabul Tarihi : 23.01.2023

Received Date : 19.12.2022
Accepted Date : 23.01.2023

SU ALMA AĞIZLARINDAN HAVA GİRİŞİNİN BULANIKLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

THE EFFECTS OF AIR ENTERING FROM WATER INTAKES ON TURBIDITY

Ercan GEMİCİ^{1*} (ORCID: 0000-0001-8464-4281)
Betül Tuba GEMİCİ² (ORCID: 0000-0003-1731-536X)

¹ Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın, TÜRKİYE
² Bartın Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bartın, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ercan GEMİCİ, egemici@bartin.edu.tr

ÖZET

Rezervuarlarda su seviyesinin düşük olduğu durumlarda su ile birlikte hava girişi de meydana gelmektedir. Hava girişiyle beraber oluşan çevrinti, su yüzeyinde ve askıda bulunan ince maddelerin suyla beraber boru hatlarına girmesine ve suyu bulandırmasına sebep olmaktadır. Hava girişinin başladığı kritik batıklık (S_c) olarak adlandırılan su ağız ile su yüzeyi arasındaki mesafe çok sayıda faktöre göre değişmektedir. Su alma ağzının boyutu, şekli, debisi, su alma ağzının yakınındaki engeller bu faktörlerden sadece bazılarıdır. Bu çalışmada dairesel kesitli bir boru ile farklı debilerle kum serili rezervuardan su çekilmesi durumunda oluşan kritik batıklık yükseklikleri belirlenmiştir. Kritik batıklık yüksekliğinin hemen üzerinde ve kritik batıklık yüksekliğinde suyun bulanıklık değerleri ölçülerek kritik batıklık ve debinin bulanıklık üzerine etkileri araştırılmıştır. Froude sayısı ve debi değerlerinden boyutsuz kritik batıklık/su alma borusu çapı oranının (S_c/D) belirlenmesine yönelik regresyon denklemleri kurulmuş ve denklemlerin anlamlılıkları test edilmiştir. Ayrıca bulanıklık değerlerinin belirlenmesine yönelik denklemler oluşturulmuştur. Oluşturulan denklemler istatistiksel olarak bulanıklığın, debi ve S_c/D değerleri kullanılarak yaklaşık olarak belirlenebileceğini göstermiştir. Su alma ağzlarının kanal tabanına yakın olmasının bulanıklığı önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Hava girişi ile beraber bulanıklığın %700-800 kadar arttığı durumlar olmaktadır. Su alma ağzlarının kritik batıklık yüksekliği dikkate alınarak tasarlanması, su kalitesinin korunması bakımından da oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Bulanıklık, hava girişi, kritik batıklık, su alma ağızı

ABSTRACT

In reservoirs, when water level is low, air entering also occurs with the water. The vortex occurs with air entering causes the fine substances on the water surface and suspended to enter the pipelines with water and muddy the water. The distance between the water mouth and the water surface, which is called the critical submergence (S_c), where the air entering starts, varies according to many factors. The size, shape, flow rate and obstructions near the intake are just some of these factors. In this study, S_c that occur when water is drawn from a sand laid reservoir with different flow rates with a circular pipe were determined. The turbidity values of the water were measured just above the critical submergence height and at the critical submergence height, and the effects of critical submergence and flow on turbidity were investigated. Regression equations were established to determine the dimensionless critical submergence/water intake pipe diameter ratio (S_c/D) from Froude number and flow rate values, and significance of the equations was tested. In addition, equations for the determination of turbidity values were generated. The generated equations statistically showed that turbidity can be approximated using flow rate and S_c/D values. It has been observed that the closeness of the water intake openings to the bottom of the channel significantly increases the turbidity. It has been determined that turbidity increases by 700-800% with air entering. It is also very important for the water intakes to be designed considering the critical submergence height in terms of maintaining water quality.

Keywords: Turbidity, air entering, critical submergence, water intake

ToCite: GEMİCİ, E., & GEMİCİ, B.T., (2023). SU ALMA AĞIZLARINDAN HAVA GİRİŞİNİN BULANIKLIK ÜZERİNE ETKİLERİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 241-249.

GİRİŞ

İçme ve kullanma suları rezervuarlarda, su depolarında biriktirilerek borularla şebekelere dağıtılmaktadır. Rezervuarlardan boru ile su alınması sırasında boru ağzı ile su yüzeyi arasında yükseklik düşük ise su ile beraber boruya çevrintili bir hava girişi de olmaktadır. Çevrintili hava girişinin başladığı zamandaki su alma ağzı ile su üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklık kritik batıklık (S_c) olarak adlandırılır. Araştırmacılar tarafından kritik batıklığın analitik ve deneysel çalışmalarla formüle edilmesine dair çalışmalar günümüze kadar devam etmektedir (Hashid vd., 2021; Sarkardeh vd., 2010; Eroğlu ve Bahadır, 2007; Yıldırım ve Kocabaş, 1995). Hem miktar hem de kalite bakımından verimli bir su çekimi yapılabilmesi için su alma ağzının üzerindeki su yüksekliğinin (H) kritik batıklık yüksekliğinden fazla olması gerekir. Akarsu ile beraber doğal veya yapay su haznelere katı maddeler de taşınmaktadır. Özellikle suyun bulanıklaşmasına neden olan kil, silt, çok küçük inorganik ve organik maddeler, algler, çözünmüş renkli organik bileşikler, plankton ve diğer mikroskobik organizmalar hafif oldukları için su içerisindeki hafif çalkantılardan dahi etkilenecek yüzeye doğru hareketlenirler. Taban kayma gerilmesi yeterince büyük olduğunda tabandaki sediment tabakası da gevşer (Bohling, 2009) ve partiküller üst tarafta bulunan su kütesine doğru tortu hareketine başlar (Tang vd., 2019). Su hızlarının yüksek olduğu durumlarda, su ile karışan malzeme miktarı çok daha fazlalaşır ve tabandaki ince malzemeler askıya geçerek daha yüksek bulanıklığa neden olur.

Bulanıklık, bir sıvının göreceli berraklığının ölçüsüdür ve suyun optik bir özelliğidir. Hem su yaşamı hem de insan sağlığı için zararlı olan patojenlerin, bakterilerin, çok küçük inorganik ve organik maddelerin ve diğer kirleticilerin varlığını belirtmek için bulanıklık ölçümü yapılmaktadır (APHA/AWWA/WEF, 2012). Bu nedenle içme suyu ve atık su sistemlerinde bulanıklık önemli parametreler arasındadır. Laboratuvarında veya sahada özel optik ekipman kullanılarak bulanıklık ölçümü yapılabilir. Bir su örneğine bir ışık yönlendirilir ve saçılan ışık miktarı ölçülür. Ölçüm birimi Nefelometrik Bulanıklık Birimi (NTU) olarak adlandırılır (ISO, 2016; APHA/AWWA/WEF, 2012; Davies-Colley ve Smith, 2001). Işığın saçılması ne kadar büyük olursa, bulanıklık da o kadar yüksek olur. Düşük bulanıklık değerleri, yüksek su berraklığını gösterir; yüksek değerler düşük su berraklığını gösterir.

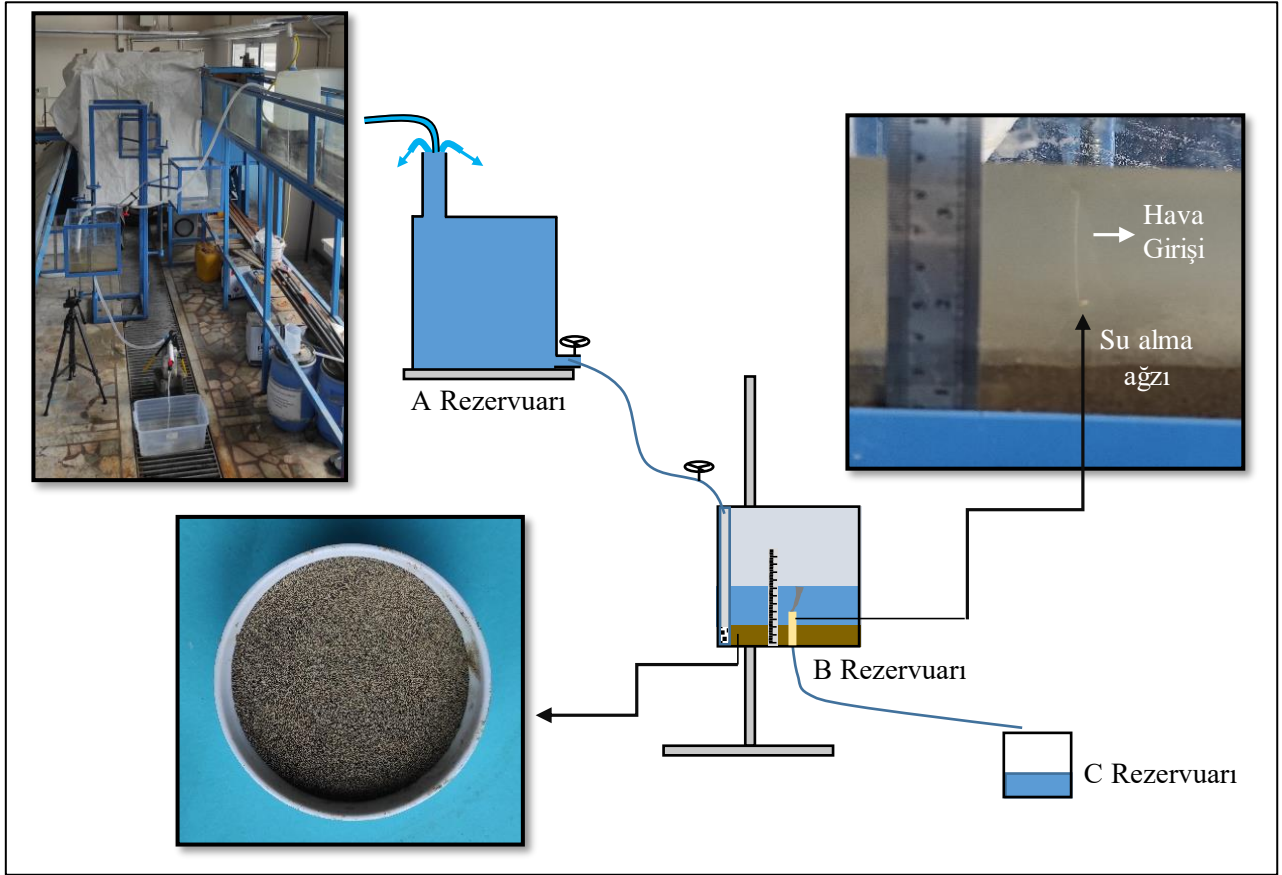
Bulanıklık, su kalitesinin bir göstergesidir ve patojenik mikroorganizmaların büyümesine neden olur. Yüksek kalitede su devamlılığını sağlamak için suyun bulanıklığının değerlendirilmesi ve izlenmesi oldukça önemlidir. Ancak, çoğu durumda bulanıklık değerlendirmesi üzerinde yeterince durulmamakta ve bulanıklığın neden kaynaklandığı çoğu kez bilinmemektedir. Oysa düşük bulanıklık, suda patojen miktarının az olduğunun ve suyun güvenilir olduğunun temel göstergelerindedir. Birçok çalışma, yüksek bulanıklık durumuyla çeşitli hastalık salgınlarmı ilişkilendirmektedir. (Halder ve Islam, 2015; Mann vd., 2007; Hruday ve Hruday, 2004). Ayrıca bulanıklık içme suyu arıtma tesislerinin çalışma performansını da doğrudan etkileyebilir. Bu riskleri en aza indirmek için etkili bir strateji oluşturmak ve içme suyu kaynaklarının bulanıklığını önceden tahmin etmek gerekir (Zhang vd., 2021).

MATERYAL VE YÖNTEM

Deney Düzenegi

Deneyler Bartın Üniversitesi Hidrodinamik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Düzenek üç adet rezervuardan oluşmaktadır (Şekil 1). A rezervuarı yüksek debi ile beslenerek sürekli tam dolu olan bir depo görevini üstlenmektedir. Bu sayede su kotu sabit olan A rezervuarından B rezervuarına su akışı permenan olarak sağlanmaktadır. B rezervuarı hava girişinin gözlemlendiği rezervuardır. Bu rezervuara giren suyun debisi, A rezervuarından çıkan boruya bağlı vana yardımıyla ayarlanabilmektedir. B rezervuarı hareket edebilen bir mekanizmaya bağlıdır, bu haznede su üst kotu ve su çıkış kotları değiştirilerek farklı akış koşulları elde edilebilmektedir. Suyun bulanmasına neden olan katı malzeme bu rezervuarda bulunmaktadır. Dere kenarından elde edilen ve 0.6 mm elekten geçirilen ince kum 3 cm kalınlığında tabana serilmiştir. Tabanda bulunan dişli parçaya, farklı su alma ağzları yerleştirilerek su alma ağzının özellikleri değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada dairesel kesitli 15 mm çapında bir su alma ağzı kullanılmıştır. Su alma ağzı kum tabakasıyla aynı seviyede ($c=0$ cm) ve kum seviyesinden 3.5 cm yükseklikte ($c= 3.5$ cm) olacak şekilde iki farklı durum oluşturularak kanal tabanı yüksekliğinin kritik batıklık ve su bulanıklığı üzerine etkileri de araştırılmıştır. Kumun yıkanması dolayısıyla bulanıklık zamanla azalacağı için her bir deney aynı koşulda kumun rezervuara serilmesi ile tekrarlanmıştır. B haznesinden hacmi belli C haznesine boşalan suyun dolma süresi bulunarak borudan geçen suyun debisi belirlenmektedir. Bu hazneye boşalan sudan alınan örneklerin bulanıklığı, bulanıklık ölçerle ölçülmektedir. Bulanıklığın belirlenebilmesi amacıyla hava girişi başlamadan önce sık sık numune alınmakta ve hava girişi başlamasından önce alınan son örnek hava girişi

öncesi bulanıklık tayininde kullanılmaktadır. Hava girişinin başladığının görülmesiyle alınan örnek de hava girişi sonrası bulanıklık tayininde kullanılmaktadır.



Şekil 1. Deney Düzenegi

Regresyon Analizi

Regresyon analizi, Montgomery vd. (2013) tarafından, değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak ve modellemek için kullanılan istatistiksel bir metot olarak ifade edilmiştir. Regresyon modellerinde, bağımlı değişken ve bağımsız değişken ya da değişkenler bulunur. Basit doğrusal regresyonda, y_i yanıt değişkeni, x_i açıklayıcı değişkeni, β_0 ve β_1 bu değişkenin bilinmeyen parametrelerini ve ε_i şansa bağlı hata terimlerini ifade etmek üzere basit doğrusal regresyon modeli Eşitlik 1-3 kullanılarak kurulur (Kutner vd., 2005).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ için} \quad (1)$$

$$\beta_1 = (\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})) / \sum (x_i - \bar{x}) \quad (2)$$

$$\beta_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (3)$$

Polinom regresyon, bağımsız bir x değişkenine bağlı olarak y bağımlı değişkeninin değişiminin ölçüldüğü çoklu regresyonun özel bir durumudur. Doğrusal modellere kıyasla, değişkenler arasında iyi bir doğrusal ilişki olmayan veri kümeleri için doğrusal olmayan polinom modelleri tercih edilir. Tek değişkenli polinom regresyon modeli aşağıdaki Eşitlik 4 ile ifade edilmektedir. Burada k polinomun derecesidir. Polinomun derecesi modelin sırasındır.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \dots + \beta_k x_i^k + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ için} \quad (4)$$

Modelde β_0 regresyon modelinin sabiti, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ regresyon modelinin eğim katsayıları veya bağımsız değişkenin katsayı değerleri, ε ise modelin hata terimidir (Aggrey, 2002).

Regresyon analizinde verilen noktaları temsil eden en iyi denklemi bulma işleminde yaygın olarak kullanılan yöntem en küçük kareler (EKK) yöntemidir. EKK yöntemi hem birinci dereceden fonksiyonlar için hem de polinomlar için kullanılabilir (Rawlings, 1998).

Regresyon denklemlerinin geçerliliğini kontrol etmek için genel olarak % 95 güven aralığında F ve t-testleri kullanılmaktadır. t-testi, denklemlerin R değerlerinin önem seviyesini belirlemek için kullanılmaktadır. Regresyonların önemini araştırmak amacıyla t-testine ilave olarak, % 95 güven düzeyinde regresyon varyans analizi (F-testi) uygulanmaktadır. Regresyon denklemleri için hesaplanan F değerlerinin, F_{tablo} değerlerinden yüksek olması F testi açısından regresyonların anlamlı olduğunu göstermektedir (Gökçe, 2020; Karakul ve Özaydın 2019).

Regresyon analizlerinde bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak; S_c/D : kritik batıklık/su alma borusu çapı oranı, Q : debi, T : Bulanıklık ve F_r : boyutsuz froude sayısı kullanılmıştır. Froude sayısı Eşitlik 5 ile hesaplanmaktadır.

$$F_r = v/(gD)^{0.5} \quad (5)$$

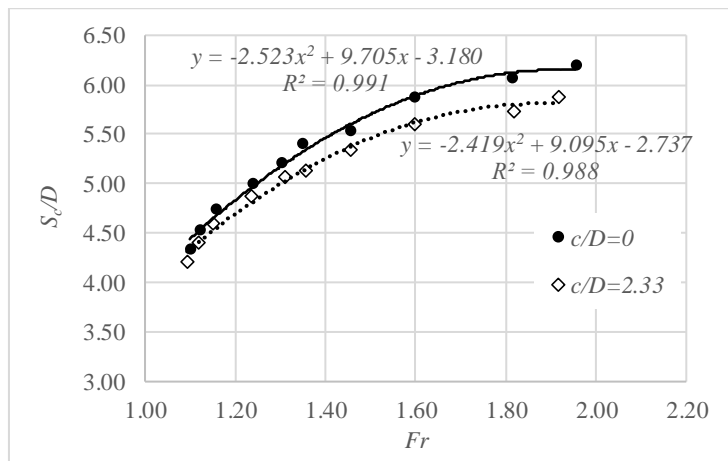
Burada; v : borudaki suyun hızı, g : yerçekimi ivmesi ve D : boru çapıdır.

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

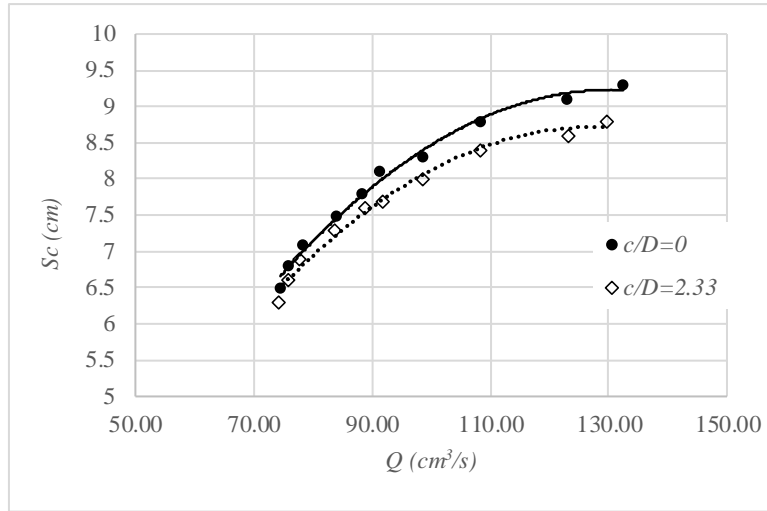
Regresyon denklemi EKK yöntemi ile tahmin edildiğinde modellerin tüm katsayıları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. $c/D=0$ olması durumunda regresyon denklemi $S_c/D = -2.523F_r^2 + 9.705F_r - 3.180$ belirlilik katsayısı $R^2=0.991$ olarak bulunmuş varyans testi sonucu $F=375.27$ ve anlamlılık F değeri (F_{sig}) 10^{-7} 'den küçük elde edilmiştir. $c/D=2.33$ iken $S_c/D = -2.419F_r^2 + 9.095F_r - 2.737$ belirlilik katsayısı $R^2=0.988$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda da $F=277.86$ ve anlamlılık F değeri $<3 \times 10^{-7}$ hesaplanmış ve bir bütün olarak regresyon denklemi anlamlı bulunmuştur. Bu şartlar altında Tablo 1 ve Şekil 2, boyutsuz S_c/D değerinin boyutsuz Froude sayısı kullanılarak yaklaşık olarak tahmin edilebileceğini göstermektedir. Aynı şekilde deney parametreleri altında debi değerlerine bağlı olarak kritik batıklık değerleri (S_c) Şekil 3 üzerinden okunabilecektir. Tabloda verilen b değerleri değişkenlerin katsayılarını, sb standart hataları, t değeri hesaplanan t istatistiklerini ve p değeri hesaplanan p istatistiklerini göstermektedir.

Tablo 1. Froude Sayısına Bağlı Polinom Regresyonu Parametre İstatistikleri

Model	Değişken	b	s_b	t	p
$c/D=0$	sabit	-3,180	0,75	-4,26	0,00374
	x	9,705	1,02	9,52	0,00003
	x^2	-2,523	0,34	-7,50	0,00014
$c/D=2.33$	sabit	-2,737	0,79	-3,46	0,01054
	x	9,095	1,09	8,33	0,00007
	x^2	-2,419	0,36	-6,64	0,00029



Şekil 2. Froude Sayısı ile S_c/D Değişimi

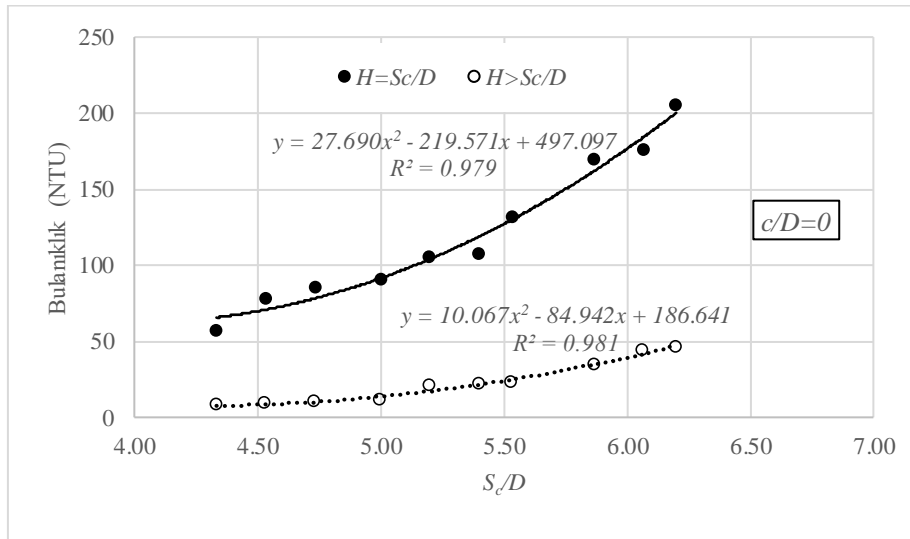


Şekil 3. Debi ile Kritik Batıklık (S_c) Değişimi

Tablo 2. $c/D=0$ Koşullarında Kritik Batıklığa Bağlı Polinom Regresyonu Parametre İstatistikleri

Model	Değişken	b	s_b	t	p
$H=S_c/D$	sabit	497,097	217,71	2,28	0,05636
	x	-219,571	83,23	-2,64	0,03352
	x^2	27,690	7,87	3,52	0,00975
$H>S_c/D$	sabit	186,641	61,06	3,06	0,01842
	x	-84,942	23,35	-3,64	0,00383
	x^2	10,067	2,21	4,56	0,00260

$c/D=0$ olması durumunda su ağızından hava girişi başlamış ise bulanıklık değerini tahmin eden regresyon denklemi $T=27.69(S_c/D)^2-219.571(S_c/D)+497.097$ belirlilik katsayısı $R^2=0.979$ olarak hesaplanmış, varyans testi sonucu $F=159.37$ ve anlamlılık F değeri 2×10^{-6} 'nın altında bulunmuştur. $c/D=0$ ve hava girişi henüz başlamamışken bulanıklık tahmini için polinom regresyon denklemi $T=10.067(S_c/D)^2-84.942(S_c/D)+186.641$, belirlilik katsayısı $R^2=0.981$ olarak belirlenmiştir. Bu denklem için $F=177.96$ ve anlamlılık F değeri $<10^{-6}$ hesaplanmış ve bir bütün olarak regresyon denklemi anlamlı bulunmuştur. Tablo 2 ve Şekil 4 $c/D=0$ durumunda boyutsuz S_c/D değeri kullanılarak bulanıklık değerinin yaklaşık olarak tahmin edilebileceğini göstermektedir.

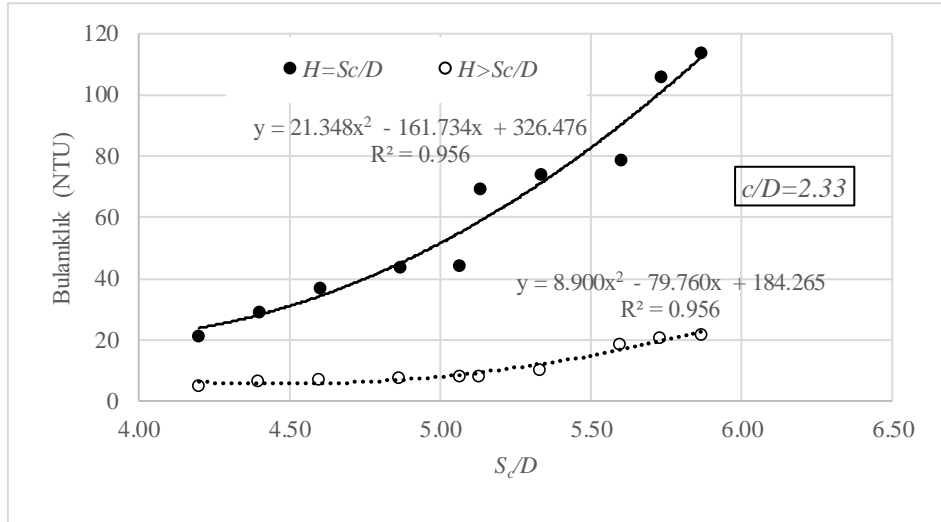


Şekil 4. $c/D=0$ Koşullarında Kritik Batıklığın (S_c) Bulanıklık Üzerine Etkisi

Tablo 3. $c/D=2.33$ Koşullarında Kritik Batıklığa Bağlı Polinom Regresyonu Parametre İstatistikleri

Model	Değişken	b	s_b	t	p
$H=S_c/D$	sabit	326,476	235,81	1,38	0,20874
	x	-161,734	94,199	-1,72	0,12969
	x^2	21,348	9,32	2,29	0,05581
$H>S_c/D$	sabit	184,265	46,88	3,93	0,00567
	x	-79,760	18,73	-4,26	0,00375
	x^2	8,900	1,85	4,80	0,00196

$c/D=2.33$ koşullarında su alma ağzından hava girişi başlamış ise bulanıklık değeri tahmininde kullanılabilir regresyon denklemi $T=21.348(S_c/D)^2-161.734(S_c/D)+326.476$ belirlilik katsayısı $R^2=0.956$ olarak elde edilmiş, anova testi sonucunda $F=75.58$ ve anlamlılık F değeri 2×10^{-5} 'den küçük hesaplanmıştır. $c/D=2.33$ ve su derinliği hava girişinin başladığı kritik batıklık yüksekliğinin üzerinde iken bulanıklık tahmini için polinom regresyon denklemi $T=8.9(S_c/D)^2-79.76(S_c/D)+184.265$ ve belirlilik katsayısı $R^2=0.956$ bulunmuştur. Bu regresyon denklemi için $F=76.31$ ve anlamlılık F değeri $<2 \times 10^{-5}$ olarak bulunarak regresyon denkleminin bütün olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

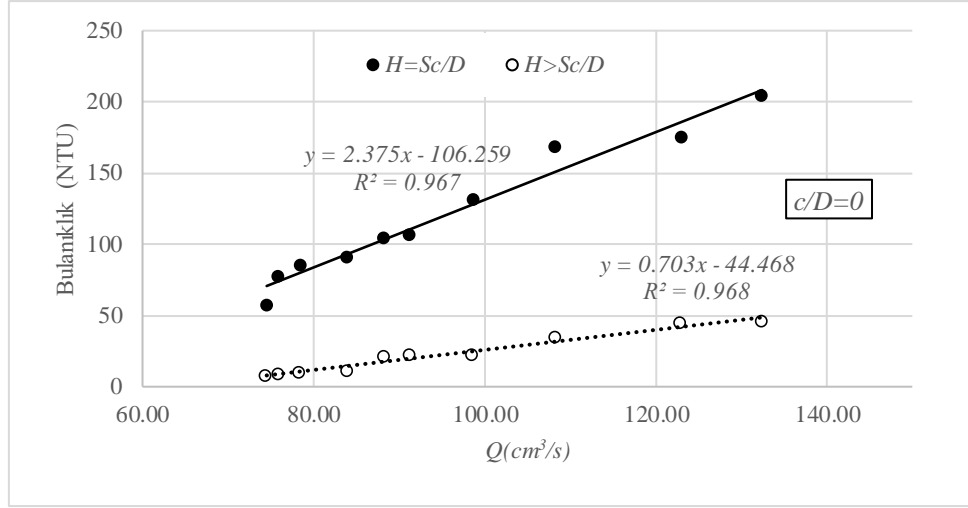
**Şekil 5.** $c/D=2.33$ Koşullarında Kritik Batıklığın (S_c) Bulanıklık Üzerine Etkisi

Rezervuar içerisinde su yüksekliğinin kritik batıklık değerine düşmesi ve su alma ağzına hava girişinin olmasıyla beraber bulanıklığın önemli ölçüde arttığı Şekil 4 ve Şekil 5'den görülmektedir.

Tablo 4. $c/D=0$ Koşullarında Debiye Bağlı Doğrusal Regresyon Parametre İstatistikleri

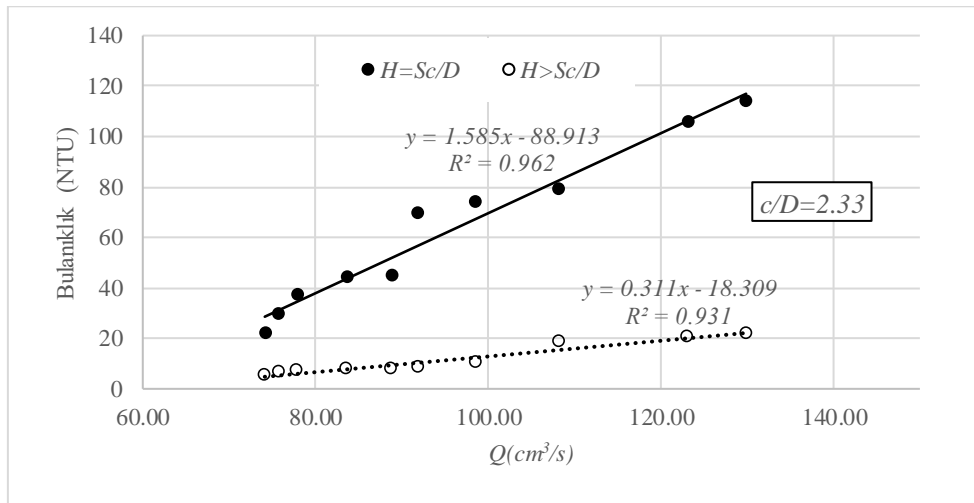
Model	Değişken	b	s_b	t	p
$H=S_c/D$	sabit	-106,259	14,99	-7,09	0,00010
	x	2,375	0,15	15,42	$3,1 \times 10^{-7}$
$H>S_c/D$	sabit	-44,468	4,42	-10,06	$8,1 \times 10^{-6}$
	x	0,703	0,05	15,50	3×10^{-7}

$c/D=0$ koşulunda su ağzından hava girişi başlamış ise debi değerine bağlı olarak bulanıklık değerini tahmin eden doğrusal regresyon denklemi $T=2.735Q-106.259$ ve belirlilik katsayısı $R^2=0.967$ olarak hesaplanmış, varyans testi sonucu $F=237.84$ ve anlamlılık F değeri 4×10^{-7} 'nin altında bulunmuştur. $c/D=0$ ve hava girişi henüz başlamamışken bulanıklık tahmini için regresyon denklemi $T=0.703Q-44.468$ ve belirlilik katsayısı $R^2=0.968$ olarak belirlenmiştir. Bu denklem için $F=240.09$ ve anlamlılık F değeri $<3 \times 10^{-7}$ hesaplanmış ve bir bütün olarak regresyon denklemi anlamlı olmaktadır.

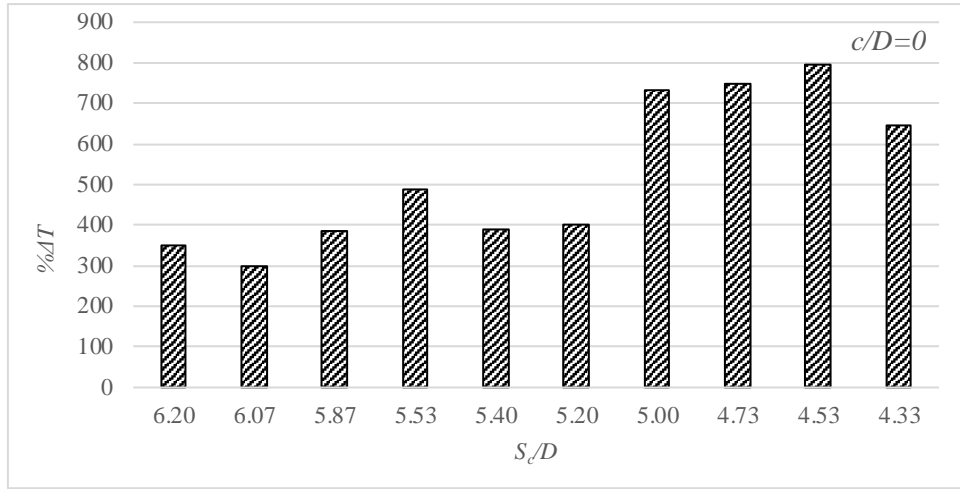
Şekil 6. $c/D=0$ Koşullarında Debinin (Q) Bulanıklık (T) Üzerine EtkisiTablo 5. $c/D=0$ Koşullarında Debiye Bağlı Doğrusal Regresyon Parametre İstatistikleri

Model	Değişken	b	s_b	t	p
$H=Sc/D$	sabit	-88,913	10,75	-8,27	$3,4 \times 10^{-5}$
	x	1,585	0,11	14,31	$5,6 \times 10^{-7}$
$H>Sc/D$	sabit	-18,309	2,91	-6,30	0,00023
	x	0,311	0,03	10,40	$6,3 \times 10^{-6}$

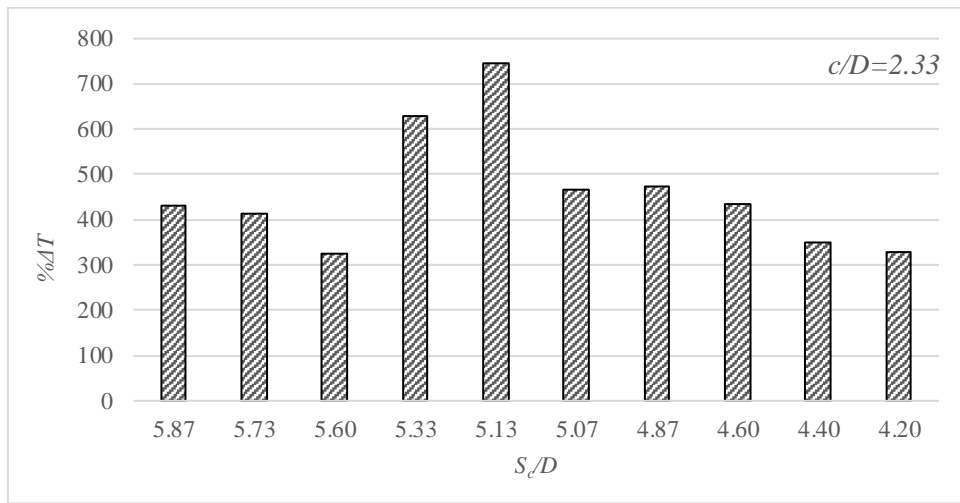
$c/D=2.33$ iken boruya hava girmeye başladığında debiye bağlı olarak bulanıklığı tahmin eden doğrusal regresyon denklemi $T=1.585Q-88.913$ ve belirlilik katsayısı $R^2=0.962$ olarak bulunmakta, varyans testi sonucunda $F=204.63$ ve anlamlılık F değeri 6×10^{-7} 'nin altında olmaktadır. $c/D=2.33$ ve hava girişi henüz yok iken bulanıklık tahmini için regresyon denklemi $T=0.311Q-18.309$ ve belirlilik katsayısı $R^2=0.931$ olarak hesaplanmaktadır. Bu denklemin F değeri 108.10 ve anlamlılık F değeri $<6.4 \times 10^{-6}$ olmakta ve bir bütün olarak regresyon denkleminin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmaktadır.

Şekil 7. $c/D=2.33$ Koşullarında Debinin (Q) Bulanıklık (T) Üzerine Etkisi

Rezervuarlarda hava girişinin başlamasıyla beraber bulanıklıklarda görülen değişim yüzdesel olarak Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Su alma ağzının taban seviyesinde olduğu durumda ($c/D=0$) hava girişi oluşmasıyla beraber bulanıklığın %300 ile %800 arasında arttığı görülmektedir (Şekil 8). Özellikle kritik batıklık seviyesinin düşük olduğu değerlerde bulanıklığın %600'ün üzerinde arttığını göstermektedir.



Şekil 8. $c/D=0$ Koşullarında Hava Girişi Etkisiyle Bulanıklığın Değişimi



Şekil 9. $c/D=2.33$ Koşullarında Hava Girişi Etkisiyle Bulanıklığın Değişimi

$c/D=2.33$ koşullarında %325 ile %750 arasında arttığı görülmektedir (Şekil 9). Genel olarak hava girişiyle beraber suya karışan malzemeler ortalama %400'ün üzerinde bulanıklık değerini yükseltmektedir (Şekil 9).

SONUÇLAR

Elde edilen denklemlerin anlamlılığını araştırmak için %95 güven aralığında F ve t -testleri kullanılmıştır. 10'ar adet örneğin kullanıldığı çalışmada tablo F değeri 5.32 ve tablo t -değeri 2.262'dir. Hesaplanan F ve t değerlerinin tablo F ve t değerlerinden büyük olması ile bütün denklemlerde belirlilik katsayılarının yüksek olması ($R^2 > 0.930$) regresyon denklemlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu anlamlılık rezervuarlardan çekilen suyun bulanıklığının, bilinen S_c/D veya çekilen suyun debisi ile tahmin edilebileceğini ifade etmektedir.

Rezervuarlardan alınan suların bulanıklığını azaltmak için su alma ağzlarının tabandan yeterince yüksek yapılması ve su alma ağzı ile suyun üst yüzeyi arasında mesafenin kritik batıklık değerinden yüksek olması gerektiği belirlenmiştir. Bu mesafenin kritik batıklık değerinde olması durumunda bulanıklık değeri, hava girişinin henüz başlamadığı durumdaki su yüksekliğine göre %300'ün üzerinde fazla bulunmuştur. Su alma ağzının üzerinde yüksekliğinin kritik batıklığa düşmesiyle bulanıklığın %800 seviyelerine kadar arttığı görülmüştür. Özellikle su alma ağzı taban seviyesinde olduğunda kritik batıklık değerinin küçük olduğu durumlarda bulanıklığın %600'ün üzerinde arttığı görülmektedir. Su alma ağzlarından hava girişinin olması mekanik hasarlara ve hidrolik problemlere yol açabileceği gibi aynı zamanda su kalitesinin de düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlayabilmek açısından su kirliliğine yol açan faktörler daha detaylı incelenmelidir. Suyu kirlüten faktörün kaynağında yok edilmesi veya azaltılması hem iş gücünün azaltılması hem de maliyetin daha az olması bakımından en uygundur. Su alma ağzlarının tasarımında da bulanıklık gibi su kalitesi parametrelerinin dikkate alınması gereklidir.

KAYNAKLAR

- APHA/AWWA/WEF (2012). Standard method 2130: turbidity. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd edition. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation.
- Aggrey, S. E. (2002). Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry Science Association*, 81(12), 1782-1788. <https://doi.org/10.1093/ps/81.12.1782>
- Bohling, B. (2009). Measurements of threshold values for incipient motion of sediment particles with two different erosion devices. *Journal of Marine Systems*, 75, 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.014>
- Davies-Colley, R. J., and Smith, D. G. (2001). Turbidity Suspended Sediment, and Water Clarity: A Review. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1085-1101. doi:10.1111/j.1752-1688.2001.tb03624.x
- Eroglu, N., ve Bahadırli, T. (2007). Prediction of critical submergence for a rectangular intake. *Journal of Energy Engineering*, 133(2), 91-103. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(2007\)133:2\(91\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9402(2007)133:2(91))
- Halder, J. N., and Islam, M. N. (2015) Water pollution and its impact on the human health. *Journal of Environment and Human*, 2(1), 36-46. doi: 10.15764/EH.2015.01005
- Hashid, M., Hussain, A., Ahmad, Z. (2021) Critical submergence for side circular intake in an open channel flow. *Journal of Hydraulic Research*, 59(1), 136-147. doi: 10.1080/00221686.2020.1744749
- Hrudey, S. E. and Hrudey, E. J. (2004) Safe drinking water—lessons from recent outbreaks in affluent nations. IWA Publishing, London, UK
- ISO (2016). International Standard ISO 7027-1:2016(E): Water quality – determination of turbidity. Part 1: quantitative methods. Geneva: International Organization for Standardization.
- Gökçe, H. (2020). Bakır Malzemenin Delinme Performansının Kesme Kuvveti ve Takım Sıcaklığı Açısından İncelenmesi. *El-Cezeri*, 7(3), 1039-1053. doi.org/10.31202/ecjse.730812
- Karakul, A., ve Özaydın, G. (2019). Türkiye'nin İnovasyon Göstergeleri Arasındaki İlişkilerin Değişen Varyans Problemlili Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon İle Modellenmesi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 125-139.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., Li, W., (2005). Applied linear statistical models. McGraw-Hill Irwin Companies Inc. New York.
- Mann, A. G., Tam, C. C., Higgins, C. D., and Rodrigues, L. C. (2007) The association between drinking water turbidity and gastrointestinal illness: a systematic review. *BMC Public Health*, 7(1), 1-7. doi.org/10.1186/1471-2458-7-256
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining G.G. (2013). Linear Regression Analysis. 5th. John Wiley & Sons.
- Ostertagová, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48, 500-506. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.545
- Rawlings D, John O, Pantula, Sastry G, Dickey, David A. (1998). Applied Regression Analysis (2nd ed.): A Research Tool, Springer Science & Business Media.
- Sarkardeh, H., Zarrati, A. R., Roshan, R. (2010). Effect of intake head wall and trash rack on vortices. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 108-112. <https://doi.org/10.1080/00221680903565952>
- Tang C. Y., Li, Y., Acharya, K., Du, W., Gao, X., Luo, L., and Yu, Z. (2019). Impact of intermittent turbulent bursts on sediment resuspension and internal nutrient release in Lake Taihu, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26:16519-16528. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04847-2>
- Yıldırım, N., and Kocabas, F. (1995). Critical submergence for intakes in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), 900-905. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:12\(900\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:12(900))
- Zhang, Y., Yao, X., Wu, Q., Huang, Y., Zhou, Z., Yang, J., and Liu, X. (2021). Turbidity prediction of lake-type raw water using random forest model based on meteorological data: A case study of Tai lake, China. *Journal of Environmental Management*, 290, 112657. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112657>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.12.2022
Kabul Tarihi : 04.02.2023

Received Date : 26.12.2022
Accepted Date : 04.02.2023

DETECTION OF NAIL DISEASES USING ENSEMBLE MODEL BASED ON MAJORITY VOTING

ÇOĞUNLUK OYUNA DAYALI TOPLULUK MODELİ İLE TIRNAK HASTALIKLARININ TESPİTİ

*Senar Ali YAMAÇ*¹ (ORCID: 0000-0003-0880-9202)
*Orhun KUYUCUOĞLU*¹ (ORCID: 0000-0002-3415-6068)
*Şeyma Begüm KÖSEOĞLU*¹ (ORCID: 0000-0001-7621-6850)
Sezer ULUKAYA^{1,*} (ORCID: 0000-0003-0473-7547)

¹Trakya University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Edirne, Turkey

*Corresponding Author: Sezer ULUKAYA, sezerulukaya@trakya.edu.tr

ABSTRACT

Nail diseases are disorders that can have serious effects on human quality of life. With the developing computational methods and technology, anomalies on the nail may be detected quickly and in a non-invasive way. This study proposes a model that provides better performance by combining the results of different deep learning networks with the ensemble learning method. The performance of 7 different deep learning architectures was examined using a database containing 17 disease classes. The proposed method achieved 75 % accuracy, resulting in significant increases in precision and recall metrics compared to individual deep-learning architectures. Thanks to a mobile application that will be developed, the proposed model for large-scale screening may be used as an assistive decision support system for medical professionals. When the results are observed, we predict that early detection of nail diseases (in a remote way) on the hand, which is one of our most used limbs, can reduce hospital visits and costs. In addition, the proposed method can be integrated into dermatoscopy devices used for skin diseases and mole analysis.

Keywords: Deep learning, telehealth, nail diseases, majority voting, ensemble learning

ÖZET

Tırnak hastalıkları, insanın yaşam kalitesini ciddi şekilde etkileyebilen bozukluklardır. Gelişen hesaplamalı yöntemler ve teknoloji ile tırnaktaki anomaliler hızlı ve girişimsiz bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu çalışma, farklı derin öğrenme ağlarının sonuçlarını topluluk öğrenme yöntemiyle birleştirerek daha iyi performans sağlayan bir model önermektedir. 7 farklı derin öğrenme mimarisinin performansı, 17 hastalık sınıfı içeren bir veritabanı kullanılarak incelenmiştir. Önerilen yöntem % 75 doğruluk elde etti ve bireysel derin öğrenme mimarilerine kıyasla kesinlik ve duyarlılık metriklerinde önemli artışlar sağladı. Önerilen model geliştirilebilecek bir mobil uygulama sayesinde, büyük ölçekli taramalarda tıp profesyonelleri için yardımcı bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir. Sonuçlara bakıldığında en çok kullandığımız uzuvlarımızdan biri olan eldeki tırnaklarımızda meydana gelen hastalıkların (uzaktan) erken tespit edilmesinin hastane ziyaretlerini ve maliyetleri azaltabileceğini öngörüyoruz. Ayrıca önerilen yöntem cilt hastalıkları ve ben analizi için kullanılan dermatoskopi cihazlarına entegre edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, tele sağlık, tırnak hastalıkları, çoğunluk oylaması, topluluk modeli

INTRODUCTION

Early disease detection plays an important role in improving the quality of life. In the field of public health, there are different ways to diagnose diverse diseases in the human body. Many of the conditions can be detected by observing symptoms such as the variation in the pigmentation, appearance, size, and structure of the nail (Nijhawan et al., 2017). Minor changes in the nails may be overlooked as a result of the examination by specialists, and these changes can have painful consequences in the long run. It can negatively affect a person's quality of life and activities (Chelidze & Lipner, 2018). With the development of artificial intelligence, deep learning and computer vision-based techniques are used for early disease diagnosis (Mehra et al., 2021). These techniques include image processing technologies and algorithms in the deep learning area (Abdulhadi et al., 2021). Deep learning and machine learning have brought many benefits in the field of dermatology in detecting diseases (Azad et al., 2021).

Our preliminary study on nail diseases is presented in Yamaç et al. (2022). In this manuscript, to summarize, more disease classes and images were used, more deep learning networks were employed, an innovative method based on majority voting was proposed to the related field, and to make deep learning networks explainable the related examples were shown. In this work, different deep-learning models were used to classify and identify nail diseases using an ensemble model based on majority voting. In our study, 17 nail diseases were detected. Darier's disease, Muehrcke's lines, Alopecia areata, Beau's lines, Bluish nail, Clubbing, Eczema, Half and half nails (Lindsay's nails), Koilonychia, Leukonychia, Onycholysis, Red lunula, Pale nail, Splinter hemorrhage, Terry's nail, White nail, Yellow nails are the names of the detected diseases. Shape or growth changes in nails are common symptoms of Clubbing, Koilonychia, Onycholysis, Beau's lines, and Yellow nail diseases (Fawcett et al., 2004). As a result of Terry's nails, Half and half nails, Muehrcke's lines, and Splinter hemorrhage diseases, color changes may occur in the nails. Raynaud's disease can be detected from the symptoms of Beau's lines, Koilonychia, and Yellow nails diseases (Fawcett et al., 2004). Lack of oxygen has been stated as the reason for the blue color of the nails. In addition, this disease can cause lung infection (Pandit & Shah, 2013). The most common symptoms of Alopecia areata are small pits on the nail and the occurrence of trachyonychia (Chelidze & Lipner, 2018). Terry's nails occur in the vast majority of patients diagnosed with cirrhosis of the liver. It is stated that the nail layer on Terry's nail is whitish with a tight pink line (Safira et al., 2019). Onycholysis disease occurs when the nail layer is separated from the nail bed, and this is generally originated from a trauma. White discoloration occurs in the area of trauma (Fawcett et al., 2004).

RELATED WORKS

The work of Indi and Gunge (2016), constructed a decision tree using the C4.5 algorithm and a color detection approach. An accuracy rate of 65 % was achieved. The main aim of the study was to compare the performances of classifier models used in the prediction of five nail diseases.

Nijhawan et al. (2017), in their study, the use of various classification models such as a k-nearest neighbor (k-NN), random forest, support vector machine (SVM), and convolutional neural network (CNN) was tested for best performance. A deep learning approach was designed to identify eleven nail diseases. The employed dataset consists of 4190 images. CNN (in a hybrid way) was used for feature extraction in this study. The most successful result was achieved with the CNN model with 80.45 %.

In the work of Safira et al. (2019), performed feature extraction using a gray-level co-occurrence matrix (GLCM) and classification utilizing k-NN. This research aims to identify abnormalities in the so-called Terry's nails. They tested image classification systems by converting images from RGB to grayscale. Dataset was divided into two classes as healthy nails and Terry's nails. 60 % of the data was employed for training and 40 % of the data was employed for testing. 5 different tests were performed for the dataset.

In their study, Mehra et al. (2021), 4 of the CNN deep learning models were tested. The VGG16 method was the best-performing method. An accuracy of 92 % was obtained. Healthy nails, subungual melanoma, and yellow nail syndrome were detected. A total of 1040 images were used.

In the work of Thahira Banu and Devi (2021), GLCM with a filter-based approach was used for feature extraction. A new hybrid method was used for classification combining k-NN and SVM models. In this study, 8 nail abnormalities were detected and 480 nail images were used. 70 % of the data was utilized for training and 30 % of the data for testing. Classification accuracy was 71.11 % with the SVM algorithm and 80.26 % with the k-NN algorithm. When hybrid classification was performed, it was shown that it provides 98.55 % overall accuracy.

In their study, Begum et al. (2021), a transfer learning approach was implemented using the MobileNetV2 model. The dataset consists of 2500 images at first, then it was expanded to 7500 images. Using the deep learning method, 4 skin diseases and 2 nail diseases were detected. An accuracy of 92.50 % was reached and an application named “DermaDoc” was developed.

Yani (2019) used CNN for the identification of Terry’s nail disease. Healthy and Terry’s nails were detected. In this study, 95.24 % accuracy was obtained with the transfer learning method using the Inception-V3 model. It was stated that 115 of the images which belong to Terry’s nail class were obtained from Google images, and 100 of the images which belong to the healthy nail class were obtained from Telkom University.

The work of Sah et al. (2019), used the deep learning model VGG16 in their study. This model has been applied to classify 10 dermatological diseases in total, including nail fungus and nail wart diseases. 5500 images were obtained from the Dermnet dataset. In this study, the highest accuracy was obtained as 76.30 %.

In their study, Abdulhadi et al. (2021), five deep-learning approaches were used to detect nail disorders. 92 healthy, 73 nail hyper-pigmentation, 60 nail Clubbing, and 55 nail fungus pictures were utilized. In this study, the highest accuracy was obtained with the ResNet50 and DenseNet201 architectures as 96.39 %.

MATERIAL AND METHODS

Transfer Learning-Based Models

Transfer learning (TL) is the use of knowledge of a previously trained model for a different problem. Training a deep architecture from scratch is practically difficult. TL provides a promising option that takes advantage of a pre-trained model which was already trained by a larger database (Shao et al., 2018).

Deep learning models need large datasets. This is the main reason why TL is preferred. With small amounts of data, successful deep-learning studies can be carried out by using the knowledge of the model that was previously trained with large datasets. In this approach, all layers of the deep model are utilized with pre-trained parameters, without including the last fully connected (FC) stages (Tandel et al., 2021). In these stages, the information is readily used. This process is carried out by the freezing method.

VGG16, ResNet, and DenseNet models are popular deep learning algorithms that are often preferred. In this work, deep learning models trained with the ImageNet dataset were used. The employed architectures in this study are mentioned below.

MobileNet

It is known as a lightweight CNN. This is one of the most useful architectures for mobile applications. This method significantly reduces the number of parameters. It also provides a high speed in training by employing depth-wise separable convolutions (Chowdary et al., 2021). Also, it is one of the first mobile application models of Tensorflow. In our study, in addition to MobileNet, MobileNetV2, the second version, was also employed.

DenseNet

It is a recently recommended densely connected CNN. This network contains 4 dense blocks and is less prone to overfitting (Rahman & Dola, 2021). DenseNet169 and DenseNet121 models were preferred in our study.

VGG-16

It is also called OxfordNet and takes its name from the first letters of the Visual Geometry Group. It contains only convolution and pooling layers. In all its layers, the kernel size is 3x3, the pool size is 2x2. It contains a total of 16 convolution layers and 138 million parameters (Theckedath & Sedamkar, 2020).

ResNet

It is known as a deep residual network. Based on the VGG-19 architecture, the ResNet network uses 34 layers of flat network architecture with fewer filters and lower complexity than VGG networks (Barsha et al., 2021). ResNet101 V2 and ResNet50V2 were used in this work.

Proposed Ensemble Model

In our study, an ensemble model based on the majority voting method was proposed. Majority voting is an ensemble method that creates multiple models and then combines them to produce better results.

There are two main approaches: hard voting and soft voting. In the first approach, each model votes for each test sample, and the final output that gets more than half of the votes is selected. If none of the predictions receives more than half of the votes, it is assumed that this approach may not make useful predictions (Akcan ve Sertbaş, 2021). In the second approach, each classifier gives a probability output that a particular test sample belongs to a target group. Estimations are weighted and aggregated by the importance of the learner. The target class with the most weighted probability sum is the winner of the voting (Taha & Malebary, 2022).

Utilizing a single model may not always provide a high level of accuracy and may be subject to overfitting. Because each model has superior and weak properties related to classification tasks. Majority voting is employed to increase the strength of individual classifiers and reduce their weaknesses (Akcan ve Sertbaş, 2021).

PERFORMANCE EVALUATION

In the ensemble models, it is generally preferred that the number of models is odd. Otherwise, two or more of the voted classes may be equal. In this work, the seven most popular and successful deep learning models were used. As a result of the predictions made by 7 different deep learning models for the test dataset, the most voted class was selected for each image. The visual representation of the proposed model can be observed in Figure 1.

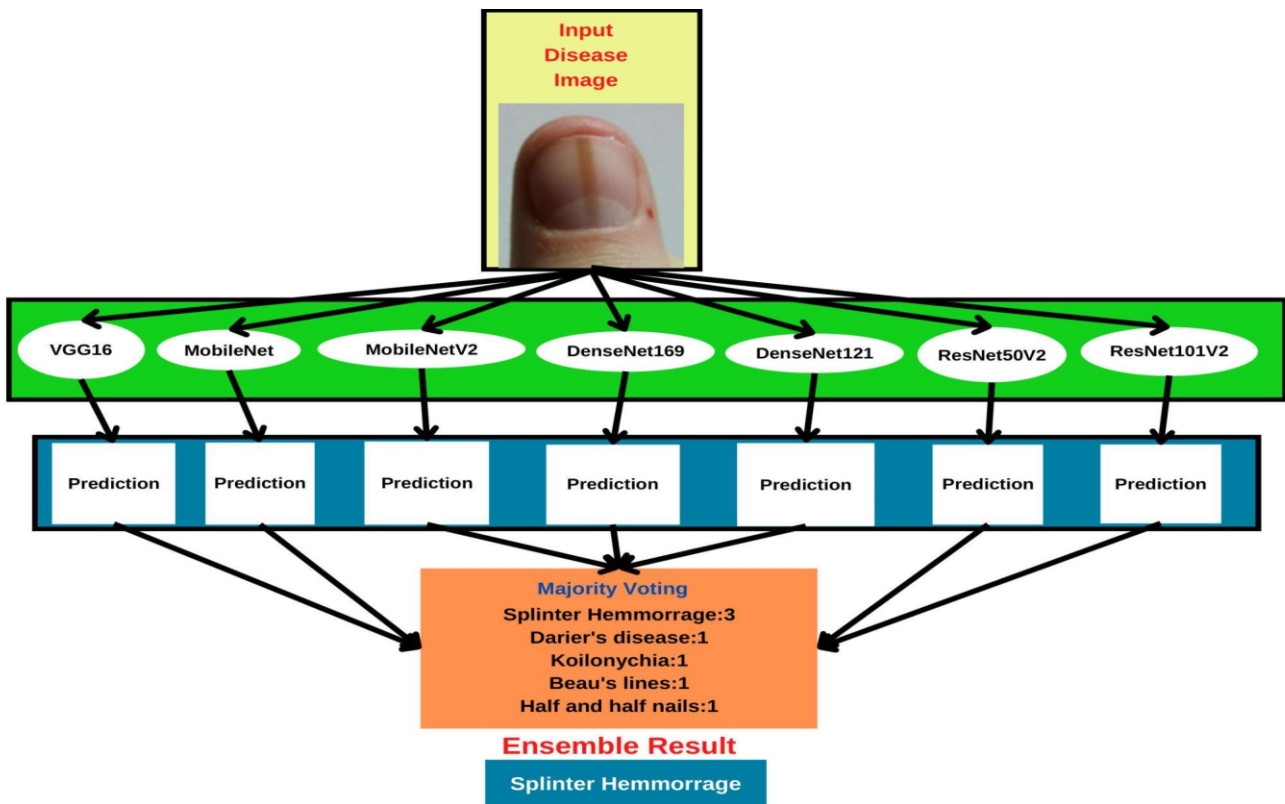


Figure 1. Majority Voting Based Proposed Ensemble Model

Dataset

Dataset is one of the vital inputs in deep learning works. The size of the dataset is the factor that directly affects accuracy. While looking for a dataset on nail diseases, we observed that most of the datasets were inadequate in size. In this study, a dataset containing 17 nail disease classes was preferred due to the high number of class varieties (Reubenindustrustech, 2022). It includes 655 images. The dimensions of the images are in the range of 23x47 and 594x471 showing variety in resolution. All images located in the dataset are in PNG format. The number of images for each class is as follows: Alopecia areata 47, Beau's lines 42, Bluish nail 50, Clubbing 40, Darier's disease 47,

Eczema 45, Half and half nails 38, Koilonychia 38, Leukonychia 31, Muehrcke's lines 33, Onycholysis 50, Pale nail 35, Red lunula 15, Splinter hemorrhage 62, Terry's nail 36, White nail 19, Yellow nails 27.

Implementation Details and Training Procedure

Before the training of our models, images of different sizes were resized as 128x128x3 to be given to the model. Then, the dataset was split into two groups: train (80 % of the dataset) and test (20 % of the dataset) groups. As a result of the splitting process, the dataset was formed as 524 train and 131 test images. Then, the data augmentation method (given in the next subsection) was applied to temporarily extend the number of images only in the training set and to enable the model to learn better. Tesla T4 GPU provided by Google Colab was used for the training.

Data Augmentation

This method enables the creation of processed synthetic copies by applying various operations to the audio, image, and text data in the preprocessing stage, and adding these copies to the existing training dataset to form a large training dataset. Although deep learning methods have led to successful results in many areas in recent years, it also brings a hunger for data (Summers & Dinneen, 2019). In cases where the training dataset is not sufficient, we will inevitably encounter an overfitting problem. In order to reduce this effect, labeled training examples can be increased by applying various operations to the images with data augmentation (Stivaktakis et al., 2019). These transformations may contain noise addition, rescaling, rotating, vertical and horizontal flips, etc. The new copies obtained as a result of these transformations are integrated into the training dataset. In this study, we used 7 different data augmentation approaches (rotation, shearing, horizontal shift, vertical shift, horizontal flip, zoom, and padding) due to the insufficiency of the dataset. In this way, the training dataset (524 images) has been temporarily increased to 7 times. Thus, before the training process, the training dataset was increased to 3668 images.

Hyperparameter Optimization

Hyperparameter optimization is the process of determining the hyperparameters that show the best success in the set of metric values while building the model.

Table 1. The Hyperparameter Values And Accuracy Of The Proposed Majority Voting Algorithm

Number of Epochs	Learning Rate	Batch Size	Number of Neurons	Accuracy
50	0.001	32	100	0.63
30	0.0001	4	512	0.73
30	0.0001	8	512	0.73
25	0.0001	4	512	0.73
25	0.0001	8	512	0.75
25	0.0001	8	1024	0.69
20	0.001	8	512	0.70
20	0.0001	4	512	0.69

When constructing a convolutional neural network structure, hyperparameters such as the number of convolution layers, epochs, batch size, learning rate, and the number of fully connected layers directly affect the success of our model. For this reason, it is of great importance to determine the values that will make the model most successful (Gülcü & Kuş, 2019). For hyperparameter optimization, we used the GridSearchCV method in this study. This algorithm builds models with all combinations for the hyperparameters and their values to be optimized and returns the most successful hyperparameter values according to the specified metric. In this study, the accuracy value of the majority voting algorithm was compared while determining the most appropriate hyperparameter values. The optimized values are the number of epochs, batch size, learning rate, and neurons of the added fully connected layers. In Table 1, the hyperparameter values that make the majority voting algorithm the most successful are given. When

Table 1 is examined, the hyperparameter values that make the proposed ensemble model the most successful with an accuracy rate of 75 % are in the fifth row.

Performance Comparison and Experimental Results

The average accuracy with F1-score, precision, and recall rates per class is given in Table 2.

Table 2. Performance Of The Proposed Algorithm Per Classes

Classes	Precision	Recall	F1-Score
Darier's Disease	0.82	1.00	0.90
Muehrcke's Lines	1.00	0.71	0.83
Alopecia Areata	0.78	0.78	0.78
Beau's Lines	0.45	0.62	0.53
Bluish Nail	0.80	0.80	0.80
Clubbing	0.88	0.88	0.88
Eczema	0.69	1.00	0.82
Half and Half Nail	1.00	0.62	0.77
Koilonychia	1.00	0.38	0.55
Leukonychia	0.57	0.67	0.62
Onycholysis	0.60	0.60	0.60
Pale Nail	0.86	0.86	0.86
Red Lunula	1.00	1.00	1.00
Splinter Hemorrhage	0.71	0.92	0.80
Terry's Nail	0.67	0.57	0.62
White Nail	1.00	0.50	0.67
Yellow Nail	0.75	0.60	0.67
Performance Metrics			
Accuracy			0.75
Weighted Average	0.78	0.75	0.74

While the proposed method achieved the most successful results in the Red Lunula class, the least successful results (in terms of F1-score) were observed in Beau's Lines class in Table 2. The average accuracy for 17 classes was found to be 75 % in Table 2.

In Table 3, the proposed majority voting-based approach is compared to 7 state-of-the-art architectures in terms of accuracy, precision, and recall metrics. It is seen that the proposed method outperforms all the architectures in each metric. When other methods are examined, it is seen that DenseNet169 is the second most successful architecture in terms of accuracy, and VGG16 is the architecture with the lowest performance. This is also seen in the accuracy graph in Figure 2 and the loss graph in Figure 3 of the trained models. With the training of seven different CNN models separately, the total training time took approximately 10 minutes.

Table 3. Performance Of The Proposed Algorithm With State-Of-The-Art Deep Learning Approaches

Model	Precision	Recall	Accuracy
VGG16	0.46	0.43	0.47
MobileNet	0.65	0.58	0.59
MobileNetV2	0.64	0.60	0.61
DenseNet169	0.73	0.71	0.70
DenseNet121	0.70	0.62	0.63
ResNet50V2	0.63	0.58	0.59
ResNet101V2	0.63	0.55	0.56
Majority Voting	0.80	0.74	0.75

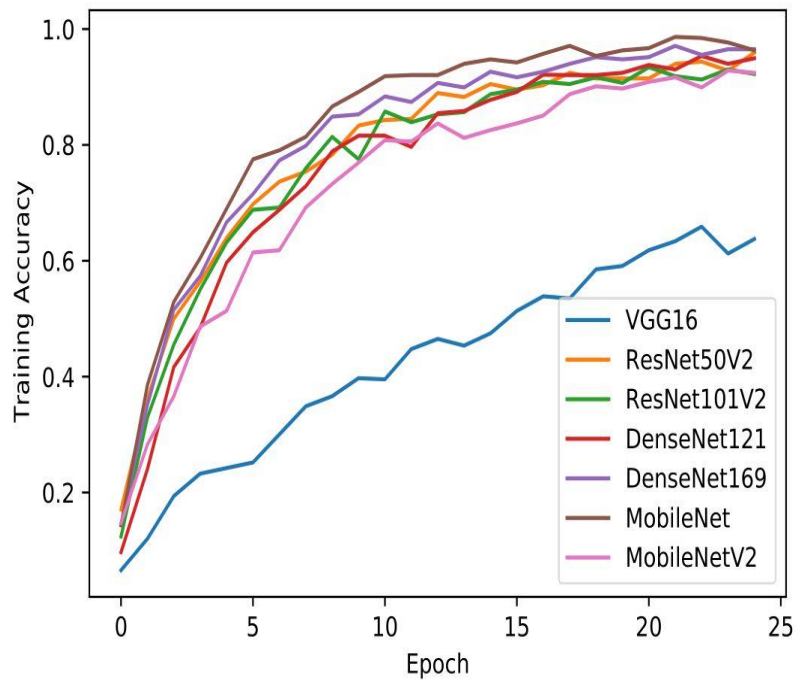


Figure 2. Training Accuracy Graph For All Models

number of disease classes. In the related works section, studies on nail disease detection were summarized. Considering the studies by the number of diseases, the work of Nijhawan et al. (2017) (at most in 11 classes) achieved an accuracy of 80.45 %. Although the databases and disease types used are different, in order to compare this study with ours, we randomly reduced the number of disease classes to 11. Our dataset was reduced to 495 images. We achieved an 81 % success rate with the proposed majority voting method. A direct comparison could not be made as each study reported results on a different database and a different number/type of nail diseases. Therefore, the performance of the state-of-the-art deep learning methods and the method we propose were compared. One can conclude that a significant improvement in the performance of the nail disease classification problem has been achieved with the proposed approach. In recent years, as the number of images increased, we observe that deep learning methods come to the forefront compared to classical machine learning methods.

Although each individual deep model doesn't give satisfactory results, it was aimed to increase success by creating an ensemble model with the majority voting approach. In recent years, we have seen that ensemble learning has increased performance in various fields (Ocal & Barisci, 2022; Taha & Malebary, 2022; Sünnetci & Alkan, 2022b, 2022a; Ilhan et al., 2022; Tandel et al., 2021; Barsha et al., 2021; Solmaz et al., 2020; Sadaei et al., 2019).

Being interpretable is a very important feature of a deep learning model. Gradient-based sensitivity analysis method (Grad-CAM) can be used to visualize the classification output and produce an explainable heatmap (Jiang et al., 2020). These heatmaps help us to explore visually which parts of the image our model is making predictions based on and help anyone to validate the model. The produced heatmap is initially equal in size to the feature maps in the last layer of the encoder. But later it is scaled up to the input image size. The Relu function is used in feature maps to reveal effective information about the class of interest (Xiaou et al., 2021). In Figure 5, example images and their obtained heatmaps are visualized. The regions close to the red color in the heatmap are the regions that our model focuses on when making its predictions. When we examine these images, we can say that the deep learning model concentrates on the anomaly regions and is able to detect these regions.

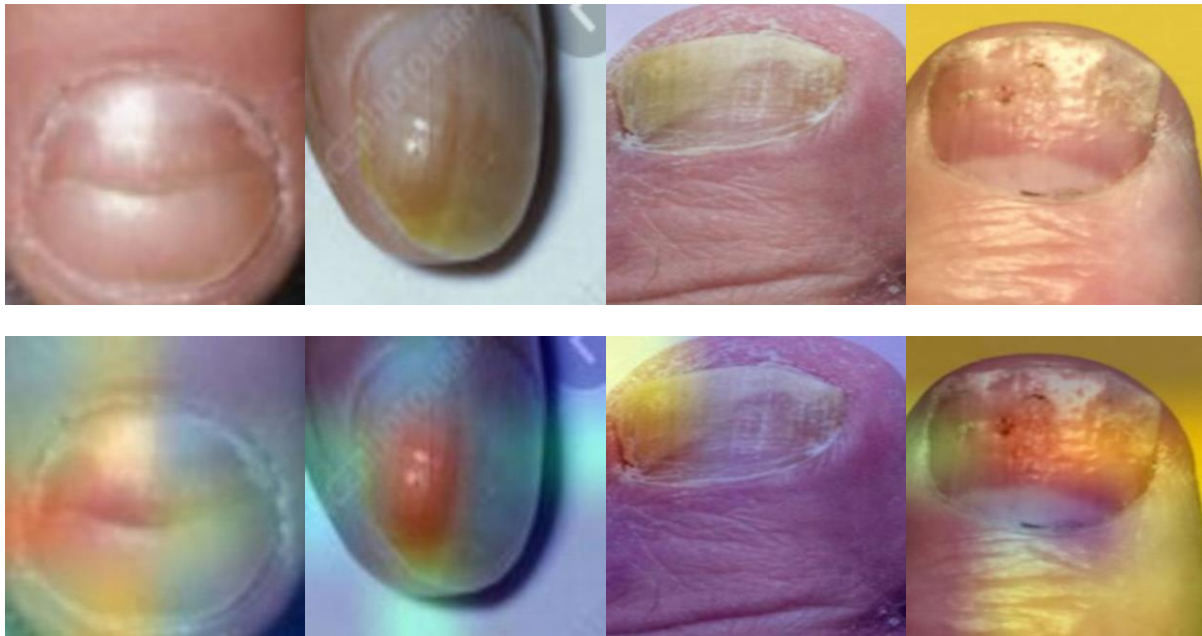


Figure 5. Sample Images (Upper Row) and Their Related Heatmap Representation (Bottom Row)

CONCLUSION

In this work, we have proposed a supervised deep neural network that will facilitate the detection of 17 different nail diseases with the majority voting approach, by using the transfer learning method and the knowledge of different deep learning models. Throughout this work, we used accuracy as a success metric. In order to achieve the maximum

accuracy value, we found the parameters with hyperparameter optimization. With the help of hyperparameter optimization, we compared the individual deep learning methods with the model we proposed and validated it visually. Although a direct comparison is not possible since the related studies in the literature were conducted on fewer classes and different databases, in this study, a successful ensemble model comparable to the literature was proposed, which surpasses the individual performance of state-of-the-art deep learning models on a more comprehensive database.

As a limitation of the study, the datasets of nail diseases are quite inadequate in size. If the dataset is large enough, the model learns the different features of different classes readily, and the probability of making successful predictions during the classification phase increases. For this reason, open-source datasets on nail diseases could be increased in terms of the number of images.

From a future perspective, we intend to build a mobile application that can be used by healthcare professionals and the public free of charge and that can help to detect many nail diseases in a remote and non-invasive way.

REFERENCES

- Abdulahadi, J., Al-Dujaili, A., Humaidi, A. J., & Fadhel, M. A. R. (2021). Human nail diseases classification based on transfer learning. *ICIC Express Letters*, 15(12), 1271–1282.
- Akcan, F., & Sertbaş, A. (2021). Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Göğüs Kanseri Teşhisi. *Electronic Turkish Studies*, 16(2). <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies>
- Azad, M. M., Ganapathy, A., Vadlamudi, S., & Paruchuri, H. (2021). Medical diagnosis using deep learning techniques: a research survey. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(6), 5591-5600.
- Barsha, N. A., Rahman, A., & Mahdy, M. R. C. (2021). Automated detection and grading of Invasive Ductal Carcinoma breast cancer using ensemble of deep learning models. *Computers in Biology and Medicine*, 139, 104931.
- Begum, M., Dhivya, A., Krishnan, A. J., & Keerthana, S. D. (2021, June). Automated Detection of skin and nail disorders using Convolutional Neural Networks. In *2021 5th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)* (pp. 1309-1316). IEEE.
- Chelidze, K., & Lipner, S. R. (2018). Nail changes in alopecia areata: an update and review. *International Journal of Dermatology*, 57(7), 776-783.
- Chowdary, M. K., Nguyen, T. N., & Hemanth, D. J. (2021). Deep learning-based facial emotion recognition for human-computer interaction applications. *Neural Computing and Applications*, 1-18.
- Fawcett, R. S., Linford, S., & Stulberg, D. L. (2004). Nail abnormalities: clues to systemic disease. *American Family Physician*, 69(6), 1417-1424.
- Gülcü, A., & Kuş, Z. (2019). A Survey of Hyper-parameter Optimization Methods in Convolutional Neural Networks. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 503-522.
- Ilhan, H. O., Serbes, G., & Aydin, N. (2022). Decision and feature level fusion of deep features extracted from public COVID-19 data-sets. *Applied Intelligence*, 52(8), 8551-8571.
- Indi, T. S., & Gunge, Y. A. (2016). Early stage disease diagnosis system using human nail image processing. *IJ Information Technology and Computer Science*, 7, 30-35. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2016.07.05>
- Jiang, H., Xu, J., Shi, R., Yang, K., Zhang, D., Gao, M., ... & Qian, W. (2020, July). A multi-label deep learning model with interpretable grad-CAM for diabetic retinopathy classification. In *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 1560-1563). IEEE.
- Mehra, M., D'Costa, S., D'Mello, R., George, J., & Kalbande, D. R. (2021, January). Leveraging Deep Learning for Nail Disease Diagnostic. In *2021 4th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Nijhawan, R., Verma, R., Bhushan, S., Dua, R., & Mittal, A. (2017, December). An integrated deep learning framework approach for nail disease identification. In *2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)* (pp. 197-202). IEEE.

- Ocal, H., & Barisci, N. (2022). Prostate segmentation via dynamic fusion model. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(8), 10211-10224. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06502-w>
- Pandit, H., & Shah, D. M. (2013, March). A system for nail color analysis in healthcare. In *2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP)* (pp. 221-223). IEEE.
- Rahman, M. T., & Dola, A. (2021, December). Automated Grading of Diabetic Retinopathy using DenseNet-169 Architecture. In *2021 5th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EICT54103.2021.9733431>
- Reubenindustrustech (2022). Nail dataset. <https://www.kaggle.com/reubenindustrustech>
- Sadaei, H. J., e Silva, P. C. D. L., Guimarães, F. G., & Lee, M. H. (2019). Short-term load forecasting by using a combined method of convolutional neural networks and fuzzy time series. *Energy*, 175, 365-377.
- Safira, L., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2019, July). K-Nearest Neighbour Classification and Feature Extraction GLCM for Identification of Terry's Nail. In *2019 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)* (pp. 98-104). IEEE.
- Sah, A. K., Bhusal, S., Amatya, S., Mainali, M., & Shakya, S. (2019, October). Dermatological diseases classification using image processing and deep neural network. In *2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)* (pp. 381-386). IEEE.
- Shao, S., McAleer, S., Yan, R., & Baldi, P. (2018). Highly accurate machine fault diagnosis using deep transfer learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2446-2455. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2864759>.
- Solmaz, R., Alkan, A., & Günay, M. (2020). Mobile diagnosis of thyroid based on ensemble classifier. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 915-924. <https://doi.org/10.24012/dumf.687898>
- Stivaktakis, R., Tsagkatakis, G., & Tsakalides, P. (2019). Deep learning for multilabel land cover scene categorization using data augmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(7), 1031-1035.
- Summers, C., & Dinneen, M. J. (2019, January). Improved mixed-example data augmentation. In *2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)* (pp. 1262-1270). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WACV.2019.00139>
- Sünneci, K. M., & Alkan, A. (2022a). Lung cancer detection by using probabilistic majority voting and optimization techniques. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 32(6), 2049-2065.
- Sünneci, K. M., & Alkan, A. (2022b). Biphasic majority voting-based comparative COVID-19 diagnosis using chest X-Ray images. *Expert Systems with Applications*, 119430.
- Taha, A. A., & Malebary, S. J. (2022). A Hybrid Meta-Classifer of Fuzzy Clustering and Logistic Regression for Diabetes Prediction. *CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA*, 71(3), 6089-6105.
- Tandel, G. S., Tiwari, A., & Kakde, O. G. (2021). Performance optimisation of deep learning models using majority voting algorithm for brain tumour classification. *Computers in Biology and Medicine*, 135, 104564. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104564>
- Thahira Banu, V., & Devi, M. R. (2021). Hybrid classifier to classify the finger nail abnormalities. *Information Technology In Industry*, 9(1), 549-555. <https://doi.org/10.17762/itii.v9i1.168>
- Theckedath, D., & Sedamkar, R. R. (2020). Detecting affect states using VGG16, ResNet50 and SE-ResNet50 networks. *SN Computer Science*, 1(2), 1-7.
- Xiao, M., Zhang, L., Shi, W., Liu, J., He, W., & Jiang, Z. (2021, September). A visualization method based on the Grad-CAM for medical image segmentation model. In *2021 International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS)* (pp. 242-247). IEEE.
- Yamaç, S. A., Kuyucuoğlu, O., Köseoğlu, Ş. B., & Ulukaya, S. (2022, July). Deep learning based classification of human nail diseases using color nail images. In *2022 45th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)* (pp. 196-199). IEEE.
- Yani, M. (2019, May). Application of transfer learning using convolutional neural network method for early detection of terry's nail. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1201, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 22.11.2022
Kabul Tarihi : 25.01.2023

Received Date : 22.11.2022
Accepted Date : 25.01.2023

A NEW IMAGE ENCRYPTION METHOD BASED ON A 6D HYPERCHAOTIC MAP AND GENETIC OPERATORS

HİPERKAOTİK HARİTA VE GENETİK OPERATÖRLERE DAYALI YENİ BİR GÖRÜNTÜ ŞİFRELEME YÖNTEMİ

Mehmet DEMİRTAŞ¹* (ORCID: 0000-0002-9018-3124)

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet DEMİRTAŞ, mdemirtas@erbakan.edu.tr

ABSTRACT

This paper presents a novel and secure image encryption method. The plain image's pixels are confused using the N-point crossover operation of genetic algorithms. Randomly paired rows and columns are determined by the two state variables of a six-dimensional hyperchaotic map. The number of crossover points, which are calculated by the two other state variables of the hyperchaotic map, differ from each other for each row or column pair. The crossover positions are specified according to the number of crossover points with the help of the last two state variables. The proposed algorithm generates the diffusion stage's encryption key using the SHA-256 hash value of the plain image. Mutation and crossover operators are implemented using the 16-bit subblocks of the 256-bit hash value. The scrambled image's pixels are altered with the generated encryption key and previously encrypted pixels. Keyspace and sensitivity, histogram, correlation, information entropy, differential, data loss, noise attack, and computational time analyzes are performed to test the safety and effectiveness of the encryption method. The experiments and simulation results show that the proposed encryption technique is highly secure and efficient since it can resist various attacks.

Keywords: chaos, crossover, genetic operations, hyperchaos, image encryption

ÖZET

Bu makale, yeni ve güvenli bir görüntü şifreleme yöntemi sunmaktadır. Düz görüntünün pikselleri, genetik algoritmaların N noktalı çaprazlama işlemi kullanılarak karıştırılır. Rastgele eşleştirilmiş satırlar ve sütunlar, altı boyutlu bir hiper kaotik haritanın iki durum değişkeni tarafından belirlenir. Hiperkaotik haritanın diğer iki durum değişkeni tarafından hesaplanan geçiş noktalarının sayısı, her satır veya sütun çifti için birbirinden farklıdır. Geçiş konumları, son iki durum değişkeni yardımıyla geçiş noktalarının sayısına göre belirlenir. Önerilen algoritma, düz görüntünün SHA-256 hash değerini kullanarak difüzyon aşamasının şifreleme anahtarını üretir. Mutasyon ve çaprazlama operatörleri, 256 bitlik hash değerinin 16 bitlik alt blokları kullanılarak gerçekleştirilir. Karıştırılan görüntünün pikselleri, oluşturulan şifreleme anahtarı ve önceden şifrelenmiş piksellerle değiştirilir. Şifreleme yönteminin güvenliğini ve etkinliğini test etmek için anahtar alanı ve duyarlılığı, histogram, korelasyon, bilgi entropisi, diferansiyel, veri kaybı, gürültü saldırısı ve hesaplama süresi analizleri yapılır. Deneyler ve simülasyon sonuçları, önerilen şifreleme tekniğinin çeşitli saldırılara karşı koyabilmesi nedeniyle oldukça güvenli ve verimli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: çaprazlama, genetik işlemler, hiperkaos, kaos, görüntü şifreleme

INTRODUCTION

A secure transfer of data between the sender and the receiver is of great importance in today's world of digitization. Digital images, as a type of digital data, are extensively used in people's daily lives due to advancements in information technology. For example, a great number of digital images are shared between people who use social networks. However, a confidential and private image could be intercepted, tampered with, and duplicated during the process of transmission over public networks. It is a significant task to develop ways for protecting the privacy of digital images. One of the methods to ensure secure image transmission is cryptography. Cryptosystems aim to make the plain image unrecognizable by an intruder who can access the transmission channel.

Chaotic maps can be used in the architecture of cryptosystems for image encryption since they are extremely sensitive to initial conditions, unpredictable and non-periodic (Muthu and Murali, 2021). On the other hand, hyperchaotic maps, which contain more than one positive Lyapunov exponent, have more complex chaotic behavior than chaotic maps (Boriga, Dăscălescu, and Priescu, 2014). Hyperchaotic systems can also generate several random sequences with larger key space so that the encryption algorithm could be designed more securely (Q. Zhang and Han, 2021). Hyperchaotic systems can be constructed by modifying traditional chaotic maps. A new hyperchaotic Lorenz system was proposed by (Jia, 2007) by adding a state feedback controller to the well-known Lorenz system. Similarly, a hyperchaotic 4D Chua system was created (Xi, Yu, Zhang, Deng, and Xi, 2010) in which a state feedback controller was introduced to the second and third equation of the conventional 3D Chua system. A 5D conservative hyperchaotic system was offered by Dong et.al (2019). This hyperchaotic system, which has two positive Lyapunov exponents, was obtained by adding an extra function to a 4D chaotic system. In (Wang Fa-Qiang, 2006), an extra state variable was added to the Liu chaotic system to form a new 4D hyperchaotic system. Another novel multi-wing hyperchaotic attractor was proposed by Grassi et.al (2009). The system couples two identical Lorenz systems to generate a 6D hyperchaotic system.

Similar to chaotic maps, hyperchaotic maps are utilized in image encryption techniques (Demirtaş, 2022; Kaur and Kumar, 2020). Cao et.al (2018) created a novel 2D hyperchaotic map and used the map to implement a bit-level encryption method. Similarly, a 2D hyperchaotic map, which combines a sine map with a Henon map, was analyzed (Natiq, Al-Saidi, Said, and Kilicman, 2018) and this map is used to confuse and diffuse a plain image. Kaur et.al (2020) produced the secret keys of an encryption algorithm with larger key space using a 7D hyperchaotic map. In the study (Luo, Zhou, Liu, Cao, and Ding, 2018), a 4D hyperchaotic system was used to create an encryption matrix and permutation sequences. Pseudo-random sequences generated by a 6D hyperchaotic map were used to rotate the bit-plane matrix (Xu, Sun, and Wang, 2020) for a grayscale image encryption algorithm. A bit level-permutation process was implemented using the chaotic sequences generated by a hyperchaotic sequence with the help of the SHA-256 hash value of the plain image (Patro, Acharya, and Nath, 2019). Chen et.al (2020) suggested a new method to obtain a pseudorandom number generator (PRNG) using four-wing hyperchaotic systems and they used the designed PRNG in an image encryption method. A color image encryption algorithm was implemented by Cheng, Wang, Chen, and Chaos (2019) by generating the key streams of the diffusion phase using a 5D multi-wing hyperchaotic map. A 7D hyperchaotic map's initial values were generated by the SHA-512 hash function and the calculated chaotic sequences were used in the confusion and diffusion operations in (Sun, Guo, and Wu, 2019). Zhu and Zhu (2019) created a new discrete 5D hyperchaotic map by combining a logistic map and a discrete Lorenz map. The formed map was used in a block-based image encryption scheme. A 5D conservative hyperchaotic system (Zhou and Wang, 2020) was used both in the permutation and substitution phases of a novel image encryption method. Hyperchaos is not only used in the confusion-diffusion image encryption scheme but also have been combined with other techniques such as DNA encoding (Hui, Liu, and Fang, 2021; Mohamed, ElKamchouchi, and Moussa, 2020; T. Wang and Wang, 2020; Wu, Shi, and Li, 2020), cellular automata (Yaghouti Niyat, Moattar, and Niazi Torshiz, 2017; Zeng and Wang, 2021), and fractional calculus (Gao, Yu, Banerjee, Yan, and Mou, 2021; P. Li, Xu, Mou, and Yang, 2019; Yang, Mou, Liu, Ma, and Yan, 2020).

Crossover and mutation are examples of genetic operators that are inspired by biological evolution mechanisms (Katoch, Chauhan, and Kumar, 2021). These operators can be used in the image encryption processes. For example, a selection-crossover-mutation-based image encryption method was proposed (Xingyuan Wang and Xu, 2014). Guesmi et.al (2016) used a two-point crossover operation to shuffle the rows and columns of a color image's R, G, and B channels. In (Mozaffari, 2018), single-point crossover and flipping mutation operations were used for permutation and substitution of the plain image's pixels. Chai et.al (2021) suggested a novel encryption method in which DNA encoded sequences were permuted by double crossover operation and diffused by mutation operation.

In the work (Y.-Q. Zhang, He, Li, and Wang, 2020), Different types of mutations and two-point crossover operations were used to encode a plain image's pixels at the bit level. Niu et.al (2020) used selection, crossover, and mutation operators along with DNA encoding and Henon map to scramble and diffuse pixels. Gupta et.al (2021a) employed single-point and two-point crossover with mutation operator to obtain a session key which is used to encrypt a plain image. In a similar study (Gupta, Gupta, and Shukla, 2021b), a session key was generated with the help of a chaotic map and a two-point crossover operation.

This paper proposes a novel encryption method based on a 6D hyperchaotic map and genetic operators such as N-point crossover and mutation. The plain image is shuffled twice with the parameters generated by the 6D hyperchaotic map using the N-point crossover operation. The crossover operation creates new offspring by exchanging the genes of the parents. The plain image's rows and columns can be considered parents. The pixels of the plain image represent genes. The rows and columns of the plain image are paired with each other pseudo-randomly with the help of the chaotic sequences generated by the two state variables of the hyperchaotic map. The number of crossover points and the positions of the crossover points are also determined by the state variables of the 6D hyperchaotic map for each row or column pair. In the second round of permutation, the initial values of the hyperchaotic map are updated. Consequently, the row and column pairs, the number of crossover points, and the positions of the crossover points are recalculated. A 256-bit secret key is produced by using the SHA-256 hash algorithm from the plain image for the diffusion stage. The secret key is divided into 16 subblocks consisting of 16 bits. A mutation operation is implemented on each subblock by flipping one bit. In addition, a two-point crossover operation is performed between different subblocks to further scramble the secret key. The modified secret key depends on the plain image which makes the encryption method resistive against chosen-plaintext and chosen-ciphertext attacks. This secret key is used in the diffusion process which alters the values of the pixels of the permuted image. The image encryption algorithm can withstand statistical and differential attacks with the help of the diffusion process. To sum up, a novel and safe image encryption architecture which can effectively resist several attacks is presented in this work.

The remaining of this paper is planned as follows: Section 2 gives details of the methods used in the image encryption algorithm. Section 3 explains the proposed cryptosystem. Section 4 presents various simulation results of the proposed method. In Section 5, the conclusion part summarizes the overall work.

MATERIALS AND METHODS

6D Hyperchaotic Map

The 6D hyperchaotic system (Grassi et al., 2009) used in the scrambling operation of the proposed algorithm can be expressed as follows:

$$\begin{cases} \dot{x} = a(y - x) \\ \dot{y} = bx - y - xz + \sigma_1(w - u) \\ \dot{z} = xy - cz \\ \dot{w} = a(u - w) \\ \dot{u} = bw - u - vw + \sigma_2(x - y) \\ \dot{v} = wu - cv \end{cases} \quad (1)$$

where $x, y, z, w, u,$ and v are the state variables, and a, b, c are the system parameters and σ_1 and σ_2 are the scaling factors of the linear coupling terms. When $a = 10, b = 28, c = 8/3, \sigma_1 = 0.1, \sigma_2 = 0.01$ are chosen as the parameters for the system given in Eq. (1), then the four-wing attractors of the (x, w, z) and (x, u, v) spaces can be obtained as shown in Fig. 1, respectively.

The Shuffling Process by N-Point Crossover Operation

As a well-known genetic operator, the crossover operation essentially exchanges genetic information between parents to generate new offspring. N-point crossover operation requires N different crossover points so that a total of N+1 segments can be obtained for each parent. The genetic information in between the crossover points is swapped between the parents. If N is greater than or equal to three, then genetic information between at least two segments is exchanged. For instance, three segments are exchanged between parents if N is equal to five or six. The length of each segment might be different from each other and is determined by the positions of the crossover points.

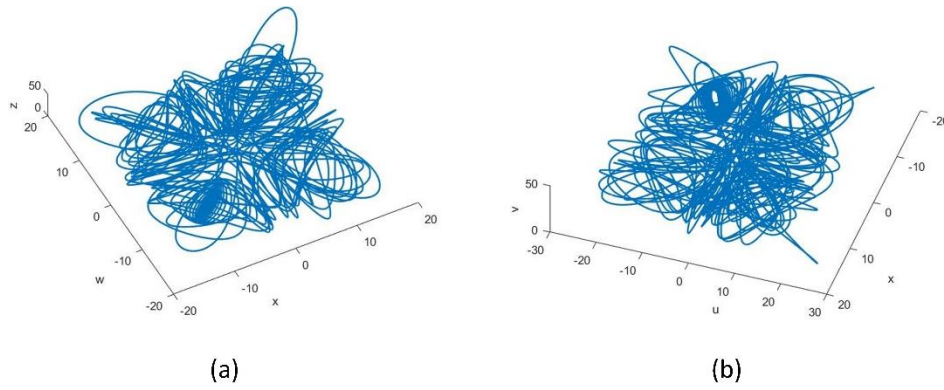


Figure 1. The Four-Wing Attractors of the 6D Hyperchaotic System

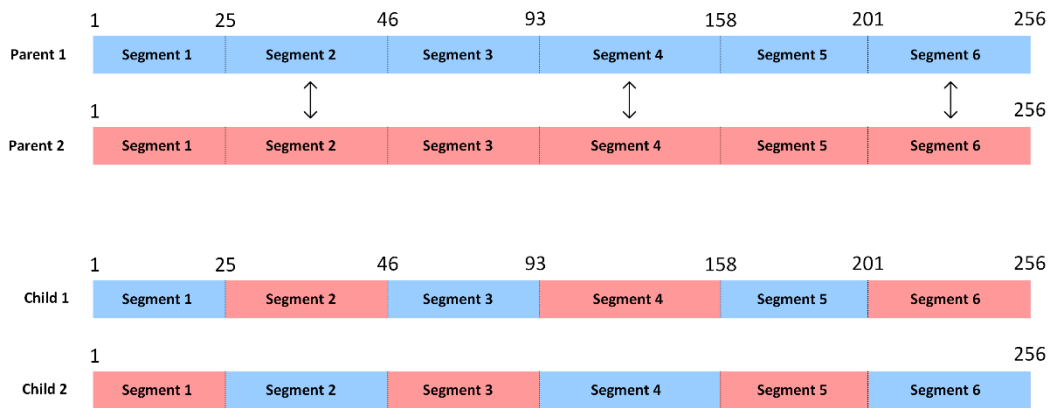


Figure 2. An Example of a 5-Point Crossover Operation

In the confusion stage of the proposed algorithm, two rounds of N-point crossover operation are implemented to shuffle the pixels of the plain image. First of all, parents should be selected from the rows and columns of the plain image to perform the crossover operation. The pseudo-random sequences generated by the state variables x and y in Eq. (1) are used to generate the row pairs and column pairs, respectively. The whole row or column can be regarded as chromosomes or parents and each pixel can be regarded as genes. The number of crossover points that specify the number of exchanged segments varies for different row and column pairs. The pseudo-random sequences produced with the help of the state variables z and w of Eq. (1) are utilized to calculate the number of crossover points of the row pairs and column pairs, respectively. After the determination of the pairs and the number of crossover points, the length and content of segments for each pair are identified. The position of the crossover points determines the length and content of segments on each chromosome. The state variables u and v in Eq. (1) create two pseudo-random sequences that determine the crossover positions for row and column pairs, respectively. In the second round, all of the initial conditions of the hyperchaotic map are varied and the above-mentioned processes are re-implemented. To sum up, the pixels are shuffled with the help of the N-point crossover operation whose shuffling parameters are calculated from the random sequences generated by Eq. (1). In Fig. 2, an illustration of a 5-point crossover operation example is shown. Parent 1 and Parent 2 could be rows or columns of the plain image with a length of 256 pixels. Randomly chosen five crossover points are 25, 46, 93, 158, and 201 which creates six segments. Segment 2, segment 4, and segment 6 are exchanged between Parent 1 and Parent 2 so that Child 1 and Child 2 are obtained as the new generation.

Key Generation for the Diffusion Stage

Hash functions are used to generate fixed-size output data from input of arbitrary size. As a member of the Secure Hash Algorithm (SHA) family, SHA-256 gives an output with a digest length of 256 bits for any given input. In this work, the SHA-256 hash value of the plain image is utilized in the key generation for the diffusion stage. The 256-bit hash value is divided into 16 blocks with a length of 16 bits as shown in Eq. (2).

$$K_i = \{K_1, K_2, \dots, K_{16}\} \tag{2}$$

where i denotes the block number and each K consists of 16 bits. Mutation and crossover operations of genetic algorithms are used to further complicate the encryption key of the diffusion stage. Initially, the i th block's i th bit where $i = 1, 2, \dots, 16$ is flipped for mutation operation. Subsequently, a two-point crossover operation is implemented on the mutated blocks. The i th block is paired with the j th block where $j=17-i$ and $i = 1, 2, \dots, 8$. Starting from the $(i+1)$ th position, $j-5$ bits are swapped between the paired blocks. For example, K_1 and K_{16} blocks are paired with each other and eleven bits from the second position to the twelfth position are exchanged between the blocks. K_i' is the generated 256-bit sequence which consists of 16 blocks after the genetic operations.

THE PROPOSED IMAGE ENCRYPTION ALGORITHM

The proposed image encryption algorithm consists of two main stages. In the first stage, the plain image's pixels are confused using the N-point crossover operation after its parameters are computed with the aid of a 6D hyperchaotic system. Additionally, the shuffled image is diffused with the keys which are obtained by applying mutation and crossover operations to the hash value of the plain image. The plain image P with a size of $M \times N$ is given as the input, where M and N are the numbers of rows and columns, respectively. The proposed encryption algorithm's steps are listed as follows:

Step 1. The 6D hyperchaotic system in Eq. (1) is iterated for $1000 + L$ times with the initial conditions $x_0, y_0, z_0, w_0, u_0, v_0$. The system parameters a, b, c , and the scaling factors σ_1 and σ_2 are selected properly so that the system is ensured to be hyperchaotic. A total of six pseudo-random sequences are produced by the state variables x, y, z, w, u , and v . The first 1000 values in those sequences are discarded to get rid of the transient effects.

Step 2. The rows and columns of the plain image are paired with each other with the help of the pseudo-random sequences generated by the state variables x and y , respectively. The elements in the obtained sequences $S_x = \{x_{1001}, x_{1002}, \dots, x_{1000+M}\}$ and $S_y = \{y_{1001}, y_{1002}, \dots, y_{1000+N}\}$ are sorted in ascending order. The positions of the sorted values are found in the sequences S_x and S_y so that the position arrays $R = (r_1, r_2, \dots, r_M)$ and $C = (c_1, c_2, \dots, c_N)$ can be obtained. Starting from the first element, every two adjacent elements in the position arrays R and C are grouped sequentially. Each group consisting of two rows or columns are the paired parents whose genes will be exchanged between them.

Step 3. The number of crossover points for each row and column pair is calculated using the pseudo-random sequences produced through the state variables z and w , respectively. A total of $M/2$ and $N/2$ crossover points are determined for the row and column pairs, respectively. The following equations shown in Eq. (3) and Eq. (4) are used to find the number of crossover points.

$$N_r = \text{mod} (\lfloor \text{abs}(z(i)) \times 10^{10} \rfloor, N_{\max} - N_{\min} + 1) + N_{\min} \quad (3)$$

$$N_c = \text{mod} (\lfloor \text{abs}(w(j)) \times 10^{10} \rfloor, N_{\max} - N_{\min} + 1) + N_{\min} \quad (4)$$

where N_r and N_c are the sequences which include the number of crossover points for row and column pairs, $i = 1001, 1002, \dots, 1000 + M/2$, and $j = 1001, 1002, \dots, 1000 + N/2$. $N_{\min} \in [1, 4]$ is the minimum N-point, $N_{\max} \in [5, 8]$ is the maximum N-point. N_{\min} and N_{\max} are calculated using the following formulas with the help of the 256-bit hash value of the plain image K_i .

$$N_{\min} = \text{mod}(\sum_{i=1}^8 \text{dec}(K_i), 4) + 1 \quad (5)$$

$$N_{\max} = \text{mod}(\sum_{i=9}^{16} \text{dec}(K_i), 4) + 5 \quad (6)$$

where dec converts 16-bit binary numbers to decimal numbers.

Step 4. The positions of the crossover points are determined by the sequences generated using the state variables u and v , respectively. The positions of crossover points are selected between 2 and $M - 1$, and 2 and $N - 1$ for row and column pairs, respectively. The expressions for the crossover positions are given as the following equations.

$$P_r = \text{mod} (\lfloor \text{abs}(u(k)) \times 10^{10} \rfloor, M - 2) + 2 \quad (7)$$

$$P_c = \text{mod} (\lfloor \text{abs}(v(l)) \times 10^{10} \rfloor, N - 2) + 2 \quad (8)$$

where P_r and P_c are the sequences which contain the positions of the crossover points, $k = 1001, 1002, \dots, 1000 + \sum_i N_r(i)$ and $l = 1001, 1002, \dots, 1000 + \sum_j N_c(j)$. Therefore, the maximum number of iterations L could be equal to the greatest of $(M/2)N_{max}$ or $(N/2)N_{max}$.

Step 5. The N-point crossover operation is implemented on the input image. The rows of the plain image are transformed using the position arrays R , the number of crossover points N_r and the positions of the crossover points P_r as described in Sect. 2.2. After transforming the rows, the columns of the plain image are modified in the same way using C , N_c and P_c .

Step 6. In the second round of the shuffling phase, the initial conditions $x_0, y_0, z_0, w_0, u_0, v_0$ are updated and the processes from Step 1 to Step 5 are re-implemented.

Step 7. The keys for the diffusion phase are obtained as discussed in Sect. 2.3. There are 16 keys with a length of 16 bits each. The following formulas are used to diffuse the shuffled image P_s with the generated keys K_i' .

$$C(1) = P_s(1) \oplus K_1(1:8) \quad (9)$$

$$C(2) = P_s(2) \oplus K_1(9:16) \quad (10)$$

where $K_1(1:8)$ represents the first eight bits of Key 1, $K_1(9:16)$ represents the last eight bits of Key 1. $P_s(1)$ and $P_s(2)$ are the first two pixels of the shuffled image. $C(1)$ and $C(2)$ are the first two pixels of the encrypted image. The equations in (11) and (12) are used to cipher the rest of the pixels of the shuffled image.

$$C(i) = K_k(1:8) \oplus P_s(i) \oplus C(i-2) \quad (11)$$

$$C(i+1) = K_k(9:16) \oplus P_s(i+1) \oplus C(i-1) \quad (12)$$

where C is the encrypted image, $k = \text{mod} \left(\frac{i+1}{2}, 16 \right) + 1$ and $i = 3, 5, 7, 9, \dots, MN - 1$. The proposed image encryption architecture is illustrated in Fig. 3. The decryption of the ciphered image can be accomplished by following the steps from 7 to 1 sequentially.

EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYZES

Lena, Cameraman, Mandril, and Peppers which are grayscale standard test images with sizes of 256x256 are used in the experimental study. The following analyzes are performed for the test images: Keyspace and key sensitivity, histogram, correlation (adjacent pixel), information entropy, differential, data loss, noise attack, and computational time. The results of these analyzes are compared with the results of many other recently published studies.

Keyspace and Key Sensitivity Analysis

The key space can be found by calculating the total number of all possible keys which are used in the encryption process. To resist an exhaustive search attack that tries every possible key, the key space must be larger than 2^{100} (Alvarez and Li, 2006). The initial values of the 6D hyperchaotic system in the first and second rounds of the shuffling are determined as the secret keys. The initial values are real numbers with a precision of 10^{-15} . The key space can be computed as in Eq. (13) for a plain image with a size of 256×256 pixels.

$$\text{Key Space} = (10^{15})^6 \times (10^{15})^6 \approx 2^{597} \gg 2^{100} \quad (13)$$

Table 1 shows the comparison of key space for different studies. As seen in the table, this study's key space is larger than the referred works' key spaces. The proposed algorithm's key space is sufficiently large to resist an exhaustive-search attack. A reliable image encryption system must be sensitively dependent on the secret keys, which means that a tiny deflection in any key results in a completely unrecognizable decrypted image. The initial conditions of the 6D system which are part of the secret keys are chosen as follows: $x_0 = 0, y_0 = 1, z_0 = 20, w_0 = 0.2, u_0 = 0.2, v_0 = 0.2$ for the first round of shuffling and $x_{02} = 0.1, y_{02} = 2, z_{02} = 21, w_{02} = 0.21, u_{02} = 0.21, v_{02} = 0.21$ for the second round of the shuffling. Figure 4 shows the plain images of Lena, Cameraman, Mandril, and Peppers, their

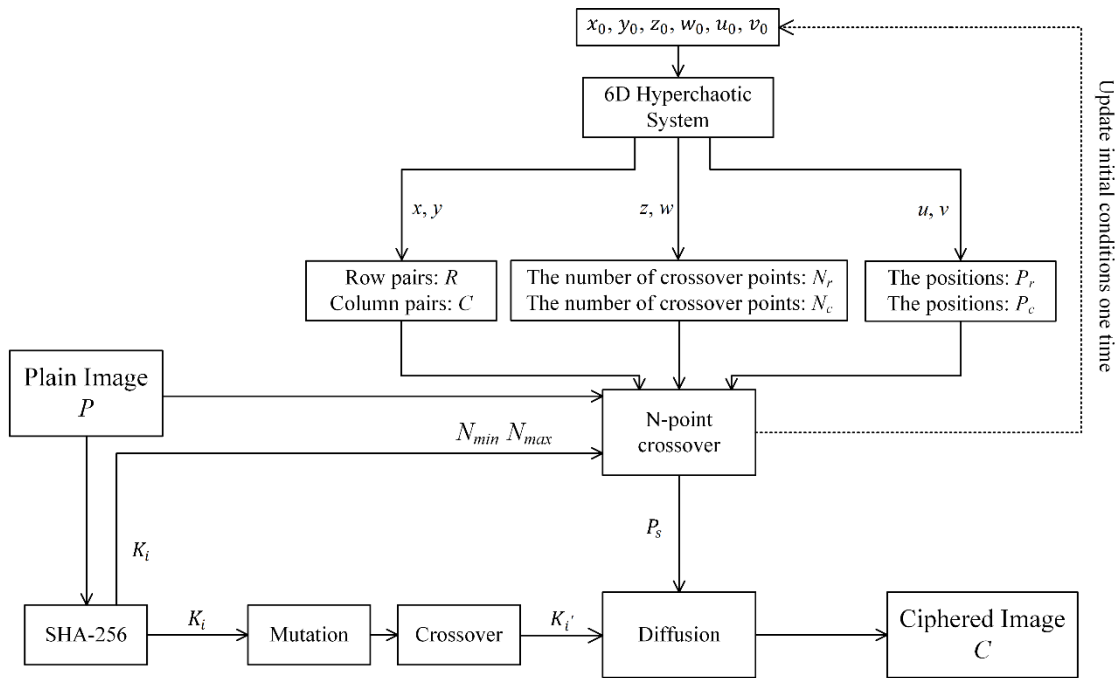


Figure 3. The Proposed Image Encryption Architecture

Table 1. Comparison of Keyspace

	This study	(Q. Zhang and Han, 2021)	(Zhou and Wang, 2020)	(Hui et al., 2021)	(Zeng and Wang, 2021)	(Chai et al., 2021)
Keyspace	2^{597}	2^{536}	2^{399}	$10^{60} \approx 2^{199}$	2^{512}	2^{280}

corresponding encrypted images, and their corresponding decrypted images with the correct keys. To illustrate the encryption method’s sensitivity to the secret keys, encrypted test images are decrypted with slightly altered keys. As shown in Fig. 5, only one secret key is changed very slightly while other secret keys are kept the same for each test image. These decrypted images are incorrectly deciphered and entirely different from the ones which are shown in Fig. 4. Therefore, it can be said that this image encryption scheme is sensitive to the selected secret keys.

Histogram Analysis

The values of pixels in the encrypted images should be uniformly distributed to resist statistical attacks which aim to obtain information by analyzing the distribution of the pixels. The histogram graphs of the test images for plain and encrypted versions are illustrated in Fig. 6. The suggested encryption method provides uniform distribution for the encrypted images so that statistical attacks can be made infeasible.

To quantify how uniformly the pixels are distributed for the plain and encrypted test images, the variance of histograms can be calculated. The variance value should be smaller for a securely encrypted image as an indication of uniform pixel distribution. Ideally, the variance is zero for an 8-bit grayscale image if all 256 tonal values have the same repetition frequency. Table 2 lists the variance values of the histogram plots for plain and encrypted test images. Table 2 indicates that the variances are significantly reduced after the encryption process.

Table 2. Histogram Variances for Plain and Encrypted Images

Test image	Plain	Encrypted
Lena	30785.960	234.047
Cameraman	111408.494	247.890
Mandrill	59087.020	253.663
Peppers	31763.255	250.776

Correlation Analysis

Since a plain image is a visualization of meaningful data, neighboring pixels of the plain image are highly similar in horizontal, vertical, and diagonal directions. Thus, the plain image’s adjacent pixels are highly correlated. One of the

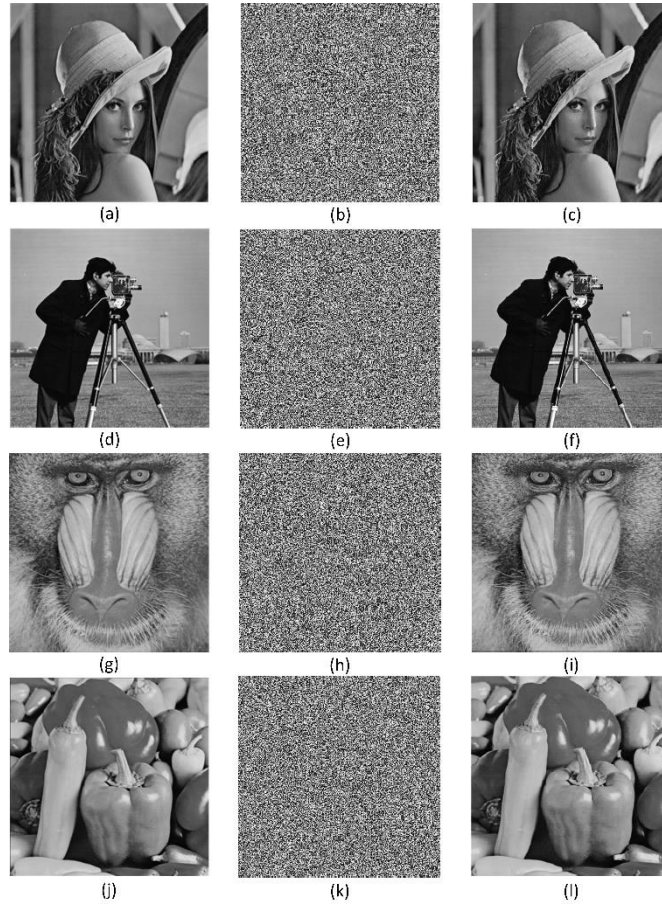


Figure 4. Encryption and Decryption Results with the Correct Keys

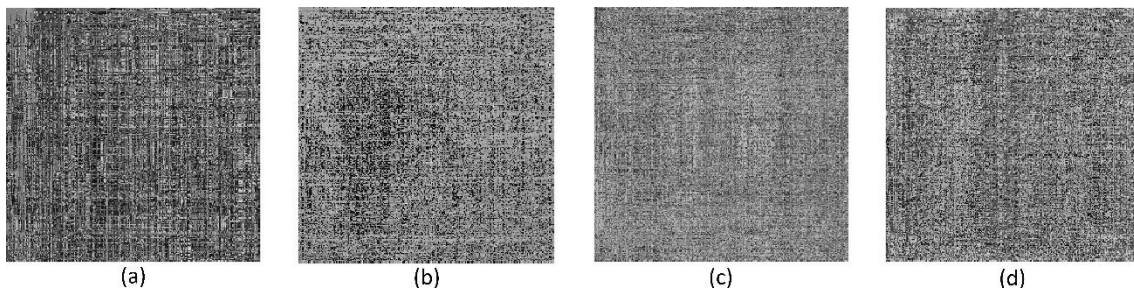


Figure 5. Decryption with Incorrect Keys **a.** Decrypted Lena with $y_0 = 1 + 10^{-15}$ **b.** Decrypted Cameraman with $v_{02} = 0.21 - 10^{-15}$ **c.** Decrypted Mandril with $w_0 = 0.2 + 10^{-15}$ **d.** Decrypted Peppers with $x_{02} = 0.1 - 10^{-15}$

the aims of the image encryption methods is to reduce this correlation between adjacent pixels. A total of 2500 adjacent pixel pairs are selected randomly from the plain and encrypted test images in horizontal, vertical, and diagonal directions. A high correlation between neighboring pixels in all directions can be identified from Fig. 7(a), 7(c), 7(e), and 7(g) for the plain images. As is observed in Fig. 7(b), 7(d), 7(f), and 7(h), however, the strong correlation is significantly reduced in all directions after the encryption process. Thus, it is safe to say that this encryption method can resist statistical attacks.

The correlation coefficient can be used as an evaluation metric to determine the correlation between adjacent pixels and it can be expressed as in Eq. (14).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - E(x))(y_i - E(y))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - E(x))^2 \sum_{i=1}^n (y_i - E(y))^2}} \quad (14)$$

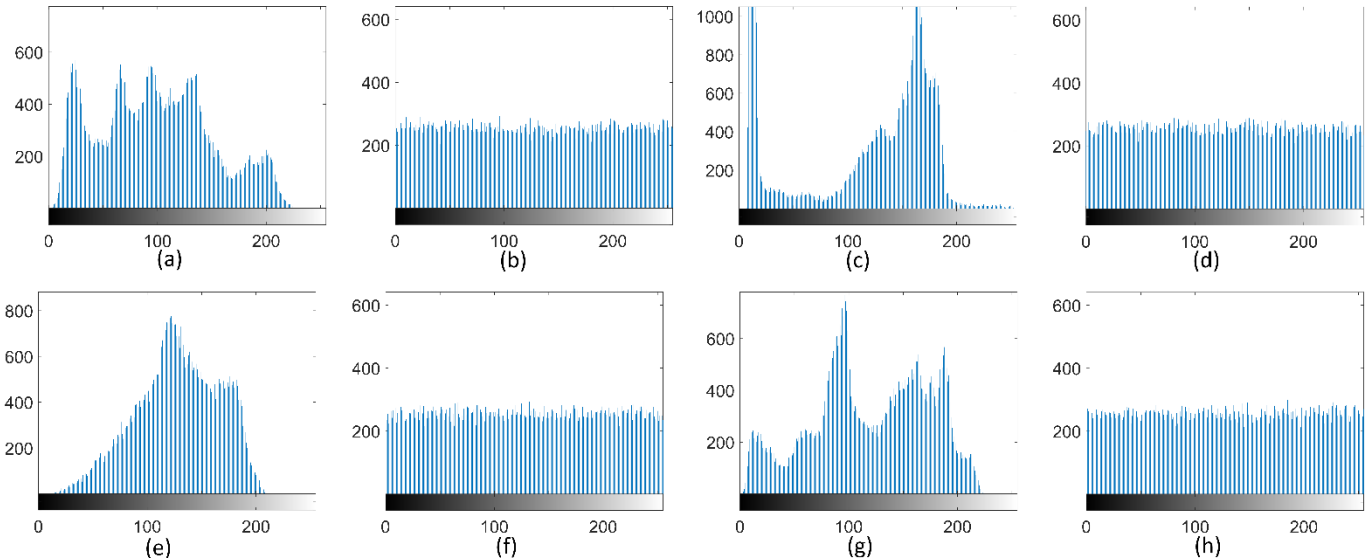


Figure 6. Histogram Graphs **a.** Lena **b.** Encrypted Lena **c.** Cameraman **d.** Encrypted Cameraman **e.** Mandril **f.** Encrypted Mandril **g.** Peppers **h.** Encrypted Peppers

Table 3. Average Correlation Coefficients for Test Images and Comparison with Other Works

Test image	Direction	Plain	Encrypted	(Patro et al., 2019)	(Niu et al., 2020)	(Gupta et al., 2021b)	(J. Wang, Zhi, Chai, and Lu, 2021)	(Xingyuan Wang, Lin, and Li, 2021)
Lena	Horizontal	0.940712	-0.008011	-0.0089	0.0055	0.0057	0.0084	0.0006
	Vertical	0.969795	0.004080	0.0016	0.0305	0.0087	-0.0039	0.0003
	Diagonal	0.917030	0.001165	0.0068	-0.0043	0.0387	-0.0013	0.0020
Cameraman	Horizontal	0.933703	0.000178	-0.0013	-	-	-	0.0007
	Vertical	0.960281	-0.004402	0.0017	-	-	-	0.0024
	Diagonal	0.909464	-0.001455	0.0070	-	-	-	0.0003
Mandril	Horizontal	0.890513	0.003920	-	-0.0138	0.0062	-	-
	Vertical	0.858449	0.007558	-	-0.0267	0.0090	-	-
	Diagonal	0.816526	-0.001011	-	-0.0072	0.0851	-	-
Peppers	Horizontal	0.962784	-0.002207	-	0.0190	-	-	0.0026
	Vertical	0.970404	0.003186	-	0.0029	-	-	0.0010
	Diagonal	0.937218	-0.000596	-	0.0334	-	-	0.0029

where $E(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $E(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, x and y denote the values of the adjacent pixels and n represents the number of randomly chosen pixels. The correlation coefficient ρ must approximate 1 and 0 for plain and encrypted images, respectively. The correlation coefficients in horizontal, vertical, and diagonal directions for plain and encrypted test images can be calculated using Eq. (14). 2500 different adjacent pixel pairs are randomly selected in all directions to compute ρ . This selection and computation procedure is repeated 10 times. The average values of the calculated correlation coefficients are listed for the plain and encrypted test images in Table 3. It can be noticed from Table 3 that the plain images have very high correlation values which are close to 1 in all directions. The correlation coefficient values for the encrypted images, however, are close to zero in all directions. A significant reduction in the correlation coefficients results as a consequence of the applied image encryption method. In Table 3, the suggested method is also compared with some recent studies (Gupta et al., 2021b; Niu et al., 2020; Patro et al., 2019; J. Wang et al., 2021; X. Wang et al., 2021) in terms of correlation coefficients of the encrypted images of the same size. The best correlation coefficient values are marked in bold for the encrypted images in the table. The presented image encryption method provides the best correlation coefficient reduction performance for seven out of twelve calculations.

Information Entropy Analysis

Information entropy can be used as an evaluation metric to measure the randomness of the plain and encrypted images. The information entropy value can be ideally 8 for an 8-bit encrypted grayscale image, whereas its value is smaller for plain images. The information entropy of a signal s can be calculated as expressed in Eq. (15).

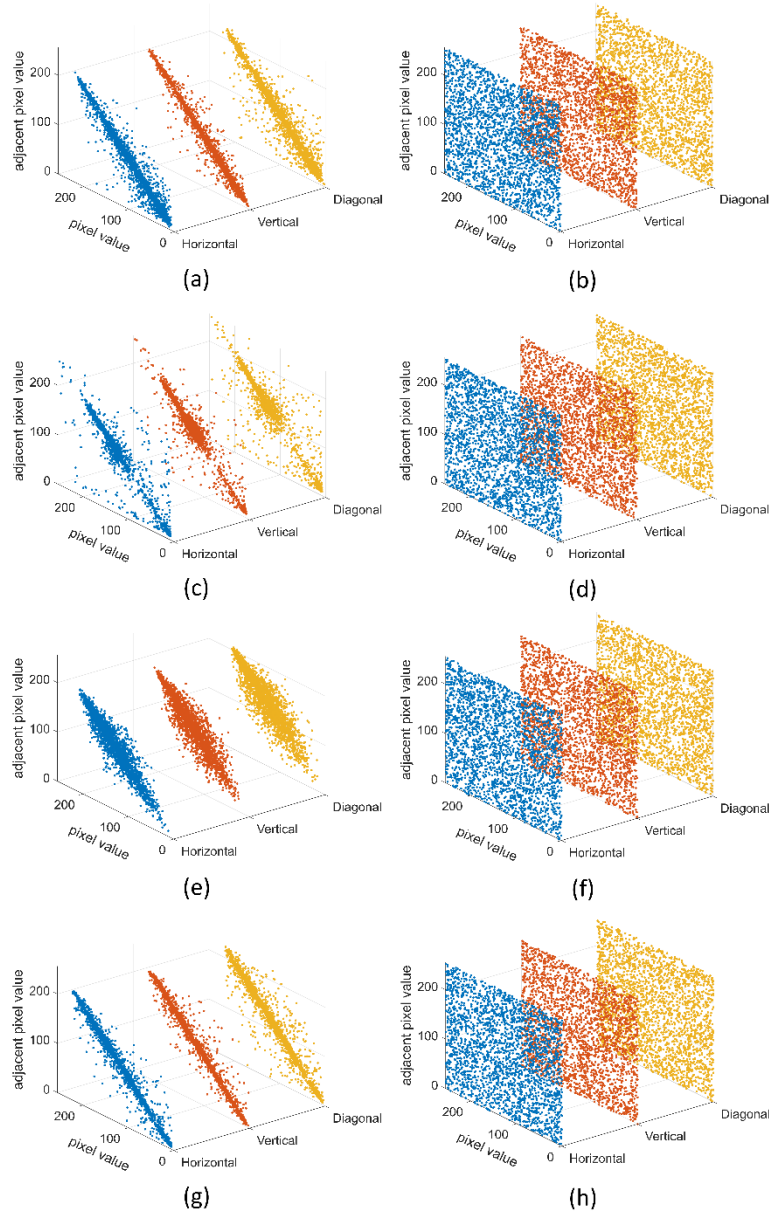


Figure 7. Correlation Between Adjacent Pixels in Horizontal, Vertical, Diagonal directions **a.** Lena **b.** Encrypted Lena **c.** Cameraman **d.** Encrypted Cameraman **e.** Mandril **f.** Encrypted Mandril **g.** Peppers **h.** Encrypted Peppers

Table 4. Information Entropies for Test Images and Comparison with Other Works

Test image	Plain	Encrypted	(Patro et al., 2019)	(Gupta et al., 2021b)	(J. Wang et al., 2021)	(X. Wang, Zhu, and Zhang, 2018)
Lena	7.5683	7.9974	7.9974	7.9971	7.9973	7.9971
Cameraman	7.0097	7.9973	7.9972	-	-	7.9971
Mandril	7.2283	7.9972	-	7.9969	-	-
Peppers	7.5798	7.9972	-	-	-	7.9968

$$IE = -\sum_{i=0}^{255} P(s_i) \log_2 P(s_i) \tag{15}$$

where $P(s_i)$ is the probability of frequency of the symbol s_i . To compute the information entropy of the plain and encrypted test images, $P(s_i)$ can be considered as the probability of occurrence of each pixel value. Table 4 lists the calculated information entropy values for plain and encrypted test images. The information entropy values for the encrypted images are larger than 7.997 which is quite close to the ideal value. This indicates the good randomness of the encrypted images. Compared with existing studies (Gupta et al., 2021b; J. Wang et al., 2021; Patro et al., 2019; X. Wang et al., 2018), this method presents better information entropy results.

Table 5. NPCR and UACI Values of Test Images for Five Different Pixel Changes

Test image	Position of pixel	Pixel value change	NPCR (%)	UACI (%)
Lena	(1,24)	151→150	99.64447	33.35464
	(79,13)	70→71	99.59259	33.50028
	(125,132)	100→99	99.58801	33.50730
	(199,201)	93→94	99.64447	33.24368
	(250,1)	29→28	99.58954	33.36937
Average			99.61182	33.39505
Cameraman	(1,1)	156→155	99.57886	33.57422
	(50,50)	174→175	99.60632	33.31693
	(100,120)	12→13	99.63074	33.45505
	(150,170)	162→163	99.61243	33.38579
	(256,256)	113→112	99.59717	33.45018
Average			99.60510	33.43643
Mandril	(10,250)	124→123	99.62616	33.50114
	(49,155)	130→131	99.59564	33.55044
	(125,3)	104→103	99.61395	33.40848
	(202,256)	135→136	99.59869	33.39330
	(245,23)	159→158	99.57428	33.37628
Average			99.60174	33.44593
Peppers	(25,1)	85→86	99.56360	33.27225
	(115,44)	43→42	99.62006	33.44840
	(177,177)	131→132	99.63684	33.53672
	(200,9)	68→69	99.61853	33.28563
	(250,187)	162→161	99.57733	33.39371
Average			99.60327	33.38734
Overall average			99.60549	33.41619

Differential Analysis

Differential attacks aim to detect a relationship between two ciphered images whose corresponding plain images own one pixel difference. Even if there is a slight difference between two plain images, a robust encryption method should generate completely different encrypted images for those plain images. To defend against differential attacks, sensitivity to the plain image should be provided. Two performance metrics are typically used for differential analysis: Number of Pixel Change Rate (NPCR) and Unified Average Changing Intensity (UACI). NPCR is used to calculate the ratio of the number of different pixels between two encrypted images. Similarly, UACI computes the percentage of the mean difference in intensities between two encrypted images. NPCR and UACI values can be found using the equations in Eq. (16) and Eq. (17) for an image with a size of $M \times N$.

$$NPCR = \frac{1}{M \times N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M D(i, j) \times 100 \% \quad (16)$$

$$UACI = \frac{1}{M \times N \times 255} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M |E_1(i, j) - E_2(i, j)| \times 100 \% \quad (17)$$

where E_1 and E_2 are two images that are encrypted with the proposed algorithm, whose corresponding images contain only one pixel difference. The elements of D , which is an $M \times N$ dimensional matrix, are given as follows.

$$D(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } E_1(i, j) \neq E_2(i, j) \\ 0 & \text{if } E_1(i, j) = E_2(i, j) \end{cases} \quad (18)$$

NPCR and UACI values of the test images are calculated using the equations given in Eq. (16), Eq. (17) and Eq. (18) and are presented in Table 5. One pixel is arbitrarily selected from each test image and the pixel's value is increased or decreased by one. The plain image and the slightly modified image are both encrypted with the same secret keys to obtain E_1 and E_2 . This process is repeated for 5 separate pixels of each test image. The average of five different NPCR values are listed as follows: 99.61182%, 99.60510%, 99.60174%, and 99.60327% for Lena, Cameraman, Mandril, and Peppers images, respectively. The average UACI values are computed as 33.39505%, 33.43643%, 33.44593%, and 33.38734% for Lena, Cameraman, Mandril, and Peppers images, respectively. Table 6 illustrates the comparison of average NPCR and UACI values with recently published studies (Karawia and Elmasry, 2021; X. Wang et al., 2021). The overall average of NPCR and UACI are calculated as 99.60549% and 33.41619%. The ideal

Table 6. Comparison of NPCR and UACI Values with Recent Studies

Test image	This study		(Karawia and Elmasry, 2021)		(X. Wang et al., 2021)	
	NPCR (%)	UACI (%)	NPCR (%)	UACI (%)	NPCR (%)	UACI (%)
Lena	99.61182	33.39505	99.6099	33.4025	99.6078	33.5309
Cameraman	99.60510	33.43643	99.6145	33.5832	99.6215	33.3309
Mandrill	99.60174	33.44593	99.6140	33.4384	-	-
Peppers	99.60327	33.38734	99.6368	33.4185	99.6200	33.4506

Table 7. PSNR And MSE Values for the Test Images

Test image	Data loss ratio	MSE	PSNR (dB)
Lena	1/64	119.802	27.346
	1/8	1188.124	17.382
	1/4	2459.674	14.222
Cameraman	1/64	133.799	26.866
	1/8	1187.897	17.383
	1/4	2503.545	14.145
Mandrill	1/64	108.735	27.767
	1/8	901.682	18.580
	1/4	1767.412	15.657
Peppers	1/64	115.340	27.511
	1/8	920.479	18.490
	1/4	1897.099	15.350

values suggested in the literature (Y. Li, Wang, and Chen, 2017) are 99.61% and 33.46% for NPCR and UACI, respectively. The overall average values are pretty close to the ideal ones which indicate that the proposed encryption scheme can effectively resist differential attacks.

Data Loss Analysis

The data of the encrypted image may be lost during the process of transmission as a consequence of attacks. The attacked and disrupted encrypted image should be decrypted as accurately as possible. Data loss analysis is performed by clipping a certain amount of the encrypted images deliberately. The clipped images are decrypted with the correct keys and the decrypted images are compared with the plain images. Peak signal-to-noise ratio (PSNR) can be used as a parameter to compare plain images and decrypted images. For an 8-bit grayscale image, PSNR can be calculated as in Eq. (19).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^8-1)^2}{MSE} \text{ (dB)} \tag{19}$$

where *MSE* stands for mean squared error and it can be defined as in Eq. (20) for an image with a size of *M* x *N*.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (P(i,j) - D(i,j))^2 \tag{20}$$

where *P* is the plain image and *D* is the decrypted image. Theoretically, if the plain image and the decrypted image are the same, then *MSE* becomes zero and *PSNR* goes to infinity. *PSNR* value will be high if the plain image and the decrypted image are very similar to each other. To test the effect of data loss, 1/64, 1/8, and 1/4 of the upper left corner of the encrypted image are clipped. The data loss analysis visual results are presented in Fig. 8 for *Lena* and *Cameraman* test images. The *PSNR* and *MSE* values for all of the test images are also calculated and presented in Table 7.

As shown in Fig. 8, *Lena* and *Cameraman* images are recovered from the clipped encrypted images. The recovered images are more recognizable for lower data loss ratios due to the lower mean squared error rates. Table 7 shows that if the data loss ratio increases, the *PSNR* value decreases. The highest *PSNR* values are obtained as 27.767 dB, 18.580 dB, and 15.657 dB for 1/64, 1/8, and 1/4 data losses, respectively. A comparison of *PSNR* is shown in Table 8, where the encrypted *Lena* image is cropped by 1/8 or 1/4 from the upper left corner. Comparison with the recently published studies (Karawia and Elmasry, 2021; Xingyuan Wang and Li, 2021; T. Wang and Wang, 2020) shows that the suggested method appears to perform better in terms of recovering images with data loss.

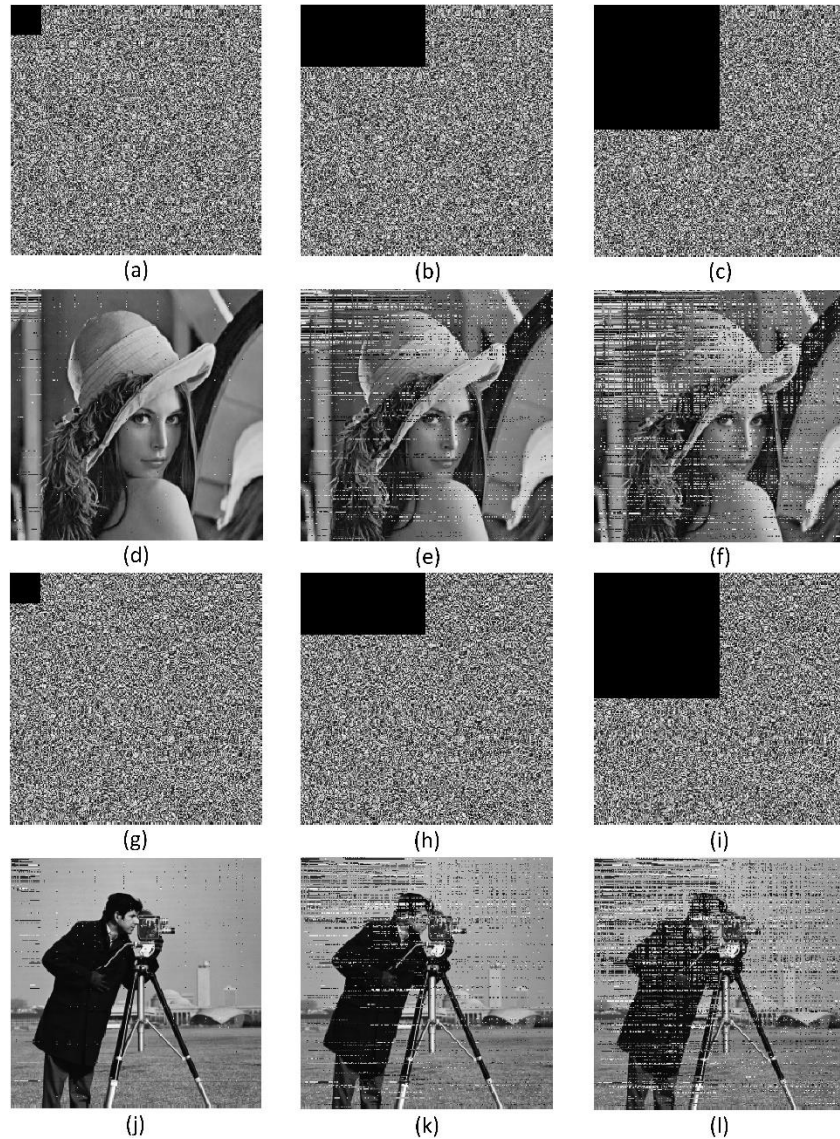


Figure 8. Data Loss Analysis **a.** Lena with 1/64 Loss **b.** Lena with 1/8 Loss **c.** Lena with 1/4 Loss **d.** Decrypted Lena with 1/64 Loss **e.** Decrypted Lena with 1/8 Loss **f.** Decrypted Lena with 1/4 Loss **g.** Cameraman with 1/64 Loss **h.** Cameraman with 1/8 Loss **i.** Cameraman with 1/4 Loss **j.** Decrypted Cameraman with 1/64 Loss **k.** Decrypted Cameraman with 1/8 Loss **l.** Decrypted Cameraman with 1/4 Loss

Table 8. Comparison of PSNR (dB) Value of Lena image with Recent Studies

Test image	Data loss ratio	This study	(T. Wang and Wang, 2020)	(Karawia and Elmasry, 2021)	(Xingyuan Wang and Li, 2021)
Lena	1/8 at the upper left corner	17.382	8.6402	8.8	13.6449
	1/4 at the upper left corner	14.222	8.0511	8.1	10.6747

Noise Attack Analysis

The noise in the transmitted image data might be a problem. A robust image encryption system should recover the noisy encrypted image to a large extent. Possible noise attacks can be simulated by intentionally adding various noise types with different intensities. The encrypted test images are contaminated with salt and pepper noise (SPN) with an intensity of 0.05, 0.1, and 0.15; speckle noise (SN) with an intensity of 0.001, 0.01, and 0.02; and Poisson noise (PN) to test the suggested encryption method's resistance against noise attacks. The noise attack simulation results of Mandril and Peppers test images are presented in Fig. 9 for various types of noises with different intensities. The most identifiable image is detected in Fig. 9(d), whereas the least recognizable one is given in Fig. 9(l). The PSNR

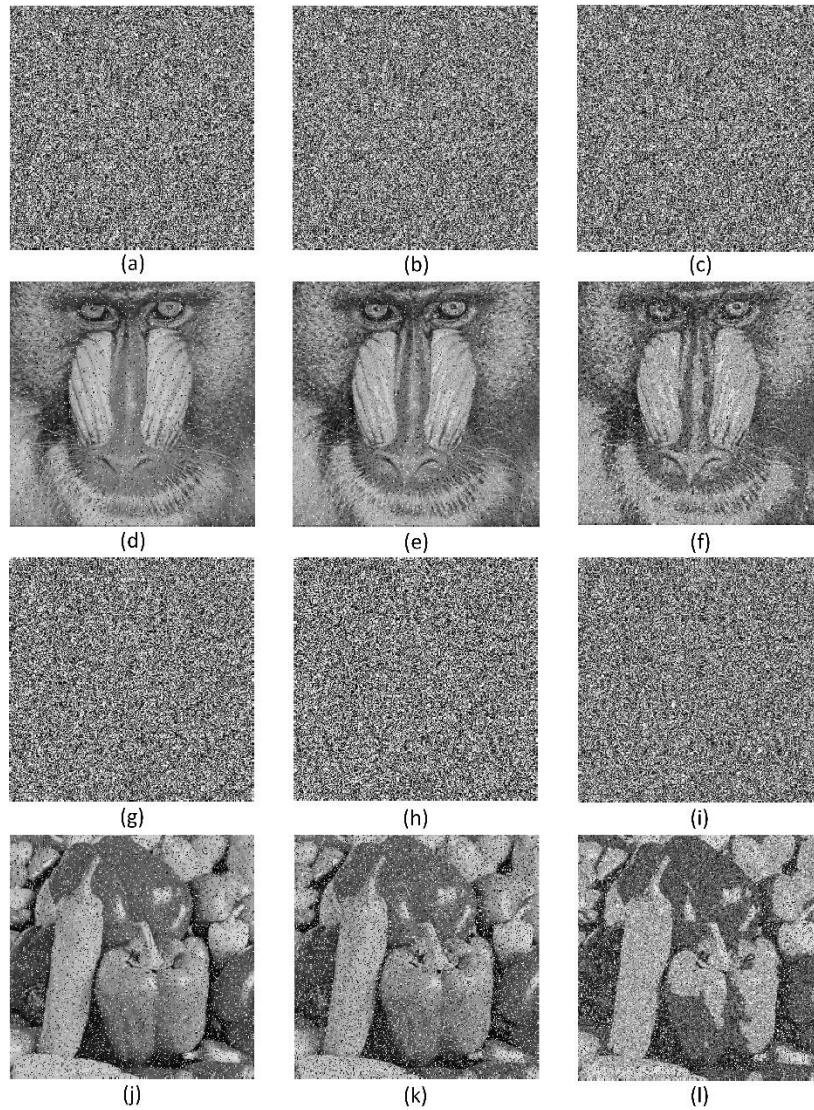


Figure 9. Noise Attack Analysis **a.** Mandril 0.05 SPN **b.** Mandril 0.001 SN **c.** Mandril PN **d.** Decrypted Mandril 0.05 SPN **e.** Decrypted Mandril 0.001 SN **f.** Decrypted Mandril PN **g.** Peppers 0.10 SPN **h.** Peppers 0.15 SPN **i.** Peppers 0.02 SN **j.** Decrypted Peppers 0.10 SPN **k.** Decrypted Peppers 0.02 SN **l.** Decrypted Peppers 0.02 SN

Table 9. PSNR (dB) Values for Various Noise Attacks

Test image	Noise type and intensity						
	SPN 0.05	SPN 0.1	SPN 0.15	SN 0.001	SN 0.01	SN 0.02	PN
Lena	18.660	15.824	14.088	18.839	14.347	13.209	15.116
Cameraman	18.589	15.528	13.872	18.448	14.080	12.959	14.952
Mandril	19.752	17.020	15.387	19.640	15.504	14.392	16.347
Peppers	19.047	16.124	14.415	19.502	15.067	13.834	15.973

Table 10. Comparison of PSNR (dB) Value of Lena Images for Different Noise Attacks

Test image	Noise type and intensity	This study	(T. Wang and Wang, 2020)	(J. Wang et al., 2021)	(Xingyuan Wang and Chen, 2021)
Lena (256x256)	SN 0.00000143	62.999	-	41.4243	-
	SPN 0.00003	55.288	-	52.3022	-
	SPN 0.10	15.824	8.6674	-	-
	SPN 0.15	14.088	8.4304	-	-
Lena (512x512)	SPN 0.05	18.096	-	-	17.101
	SPN 0.10	15.253	-	-	14.286
	SN 0.02	12.471	-	-	10.357
	PN	14.390	-	-	10.827

values of these images are 19.752 dB and 13.834 dB, respectively. Table 9 lists the PSNR values which are calculated between plain images and the noisy encrypted images. The cryptosystem's resistance varies as the noise type changes but the PSNR value always decreases as the noise intensity increases. Also, the noise performance of the suggested method is compared with some recent studies (J. Wang et al., 2021; Xingyuan Wang and Chen, 2021; T. Wang and Wang, 2020) in terms of PSNR values in Table 10. The same size of encrypted Lena images is contaminated with the same types and intensities of noise. This study's noise performance is better than that of (J. Wang et al., 2021) for both SN and SPN. Also, this study's resistance against SPN with intensities of 0.10 and 0.15 is more robust than that of (T. Wang and Wang, 2020). Moreover, the suggested method outperforms the method given in (Xingyuan Wang and Chen, 2021) for SPN, SN, and PN attacks to a 512x512 Lena image.

Computational Time Analysis

The proposed image encryption algorithm is executed on MATLAB 2017b using a PC with an Intel Core 2.80 GHz processor and 16 GB RAM. Average encryption and decryption times are found to be 1.429 seconds and 1.148 seconds for a grayscale image of size 256x256, respectively.

CONCLUSIONS

In this work, a new image encryption method, which is based on a 6D hyperchaotic map and genetic operators, is presented. The 6D hyperchaotic map's state variables are utilized to generate the parameters of the N-point crossover operation. The pseudo-random sequences generated by those state variables are used to pair rows and columns with each other and to determine the number of crossover points and positions. The maximum and minimum values of N are calculated using the SHA-256 hash value of the original image. The 256-bit hash value is also modified by mutation and two-point crossover operations for being used in the diffusion stage. The initial values of the 6D hyperchaotic, which increase the key space, are used as the secret keys. High key space and the key sensitivity to the secret keys protect against exhaustive search attacks. The test images' uniformly distributed histograms show that statistical attacks are infeasible. Also, the correlation between the adjacent pixels of the plain images in horizontal, vertical, and diagonal directions is significantly reduced. For each test image, an information entropy value greater than 7.997 is obtained. This is an indication of the good randomness of the encrypted images. Differential analysis proves that the proposed method's overall NPCR and UACI values are pretty close to the ideal values. Thus, the proposed encryption algorithm can resist differential attacks effectively. Finally, data loss and noise attack analyses prove that the proposed method can effectively recover the encrypted images with data loss or noise. The analysis results prove that the suggested encryption technique can be used for the safe transmission of images. The analysis results of the proposed scheme are also compared with several recently published state-of-the-art works. In most of the comparisons, this method outperforms the others. In future work, the main idea behind the suggested method will be improved and applied to color images.

REFERENCES

- Alvarez, G., & Li, S. (2006). Some Basic Cryptographic Requirements for Chaos-based Cryptosystems. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 16(08), 2129-2151. doi:10.1142/s0218127406015970
- Boriga, R., Dăscălescu, A. C., & Priescu, I. (2014). A new hyperchaotic map and its application in an image encryption scheme. *Signal Processing: Image Communication*, 29(8), 887-901. doi:https://doi.org/10.1016/j.image.2014.04.001
- Cao, C., Sun, K., & Liu, W. (2018). A novel bit-level image encryption algorithm based on 2D-LICM hyperchaotic map. *Signal Processing*, 143, 122-133. doi:https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2017.08.020
- Chai, X., Zhi, X., Gan, Z., Zhang, Y., Chen, Y., & Fu, J. (2021). Combining improved genetic algorithm and matrix semi-tensor product (STP) in color image encryption. *Signal Processing*, 183, 108041. doi:https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108041
- Chen, X., Qian, S., Yu, F., Zhang, Z., Shen, H., Huang, Y., Du, S. (2020). Pseudorandom Number Generator Based on Three Kinds of Four-Wing Memristive Hyperchaotic System and Its Application in Image Encryption. *Complexity*, 2020, 8274685. doi:10.1155/2020/8274685
- Cheng, G., Wang, C., Chen, H. J. I. J. o. B., & Chaos. (2019). A novel color image encryption algorithm based on hyperchaotic system and permutation-diffusion architecture. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 29(09), 1950115. doi:https://doi.org/10.1142/S0218127419501153

- Demirtaş, M. (2022). A new RGB color image encryption scheme based on cross-channel pixel and bit scrambling using chaos. *Optik*, 265, 169430. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169430>
- Dong, E., Yuan, M., Du, S., & Chen, Z. (2019). A new class of Hamiltonian conservative chaotic systems with multistability and design of pseudo-random number generator. *Applied Mathematical Modelling*, 73, 40-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.037>
- Gao, X., Yu, J., Banerjee, S., Yan, H., & Mou, J. (2021). A new image encryption scheme based on fractional-order hyperchaotic system and multiple image fusion. *Scientific Reports*, 11(1), 15737. doi:10.1038/s41598-021-94748-7
- Grassi, G., Severance, F. L., & Miller, D. A. (2009). Multi-wing hyperchaotic attractors from coupled Lorenz systems. *Chaos, Solitons & Fractals*, 41(1), 284-291. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2007.12.003>
- Guesmi, R., Ben Farah, M. A., Kachouri, A., & Samet, M. (2016). Hash key-based image encryption using crossover operator and chaos. *Multimedia Tools and Applications*, 75(8), 4753-4769. doi:10.1007/s11042-015-2501-0
- Gupta, M., Gupta, K. K., & Shukla, P. K. (2021a). Session key based fast, secure and lightweight image encryption algorithm. *Multimedia Tools and Applications*, 80(7), 10391-10416. doi:10.1007/s11042-020-10116-z
- Gupta, M., Gupta, K. K., & Shukla, P. K. (2021b). Session key based novel lightweight image encryption algorithm using a hybrid of Chebyshev chaotic map and crossover. *Multimedia Tools and Applications*, 80(25), 33843-33863. doi:10.1007/s11042-021-11160-z
- Hui, Y., Liu, H., & Fang, P. (2021). A DNA image encryption based on a new hyperchaotic system. *Multimedia Tools and Applications*. doi:10.1007/s11042-021-10526-7
- Jia, Q. (2007). Hyperchaos generated from the Lorenz chaotic system and its control. *Physics Letters A*, 366(3), 217-222. doi:<https://doi.org/10.1016/j.physleta.2007.02.024>
- Karawia, A. A., & Elmasry, Y. A. (2021). New Encryption Algorithm Using Bit-Level Permutation and Non-Invertible Chaotic Map. *IEEE Access*, 9, 101357-101368. doi:10.1109/ACCESS.2021.3096995
- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091-8126. doi:10.1007/s11042-020-10139-6
- Kaur, M., & Kumar, V. (2020). A Comprehensive Review on Image Encryption Techniques. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(1), 15-43. doi:10.1007/s11831-018-9298-8
- Kaur, M., Singh, D., & Kumar, V. (2020). Color image encryption using minimax differential evolution-based 7D hyper-chaotic map. *Applied Physics B*, 126(9), 147. doi:10.1007/s00340-020-07480-x
- Li, P., Xu, J., Mou, J., & Yang, F. (2019). Fractional-order 4D hyperchaotic memristive system and application in color image encryption. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019(1), 22. doi:10.1186/s13640-018-0402-7
- Li, Y., Wang, C., & Chen, H. (2017). A hyper-chaos-based image encryption algorithm using pixel-level permutation and bit-level permutation. *Optics and Lasers in Engineering*, 90, 238-246. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2016.10.020>
- Luo, Y., Zhou, R., Liu, J., Cao, Y., & Ding, X. (2018). A parallel image encryption algorithm based on the piecewise linear chaotic map and hyper-chaotic map. *Nonlinear Dynamics*, 93(3), 1165-1181. doi:10.1007/s11071-018-4251-9
- Mohamed, H. G., ElKamchouchi, D. H., & Moussa, K. H. (2020). A Novel Color Image Encryption Algorithm Based on Hyperchaotic Maps and Mitochondrial DNA Sequences. *Entropy*, 22(2), 158.
- Mozaffari, S. (2018). Parallel image encryption with bitplane decomposition and genetic algorithm. *Multimedia Tools and Applications*, 77(19), 25799-25819. doi:10.1007/s11042-018-5817-8
- Muthu, J. S., & Murali, P. (2021). Review of Chaos Detection Techniques Performed on Chaotic Maps and Systems in Image Encryption. *SN Computer Science*, 2(5), 392. doi:10.1007/s42979-021-00778-3
- Natiq, H., Al-Saidi, N. M. G., Said, M. R. M., & Kilicman, A. (2018). A new hyperchaotic map and its application for image encryption. *The European Physical Journal Plus*, 133(1), 6. doi:10.1140/epjp/i2018-11834-2

- Niu, Y., Zhou, Z., & Zhang, X. (2020). An image encryption approach based on chaotic maps and genetic operations. *Multimedia Tools and Applications*, 79(35), 25613-25633. doi:10.1007/s11042-020-09237-2
- Patro, K. A. K., Acharya, B., & Nath, V. (2019). Secure multilevel permutation-diffusion based image encryption using chaotic and hyper-chaotic maps. *Microsystem Technologies*, 25(12), 4593-4607. doi:10.1007/s00542-019-04395-2
- Sun, S., Guo, Y., & Wu, R. (2019). A Novel Image Encryption Scheme Based on 7D Hyperchaotic System and Row-column Simultaneous Swapping. *IEEE Access*, 7, 28539-28547. doi:10.1109/ACCESS.2019.2901870
- Wang Fa-Qiang, L. C.-X. (2006). Hyperchaos evolved from the Liu chaotic system. *Chinese Physics*, 15(5), 963-968. doi:10.1088/1009-1963/15/5/016
- Wang, J., Zhi, X., Chai, X., & Lu, Y. (2021). Chaos-based image encryption strategy based on random number embedding and DNA-level self-adaptive permutation and diffusion. *Multimedia Tools and Applications*, 80(10), 16087-16122. doi:10.1007/s11042-020-10413-7
- Wang, T., & Wang, M.-h. (2020). Hyperchaotic image encryption algorithm based on bit-level permutation and DNA encoding. *Optics & Laser Technology*, 132, 106355. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106355>
- Wang, X., & Chen, X. (2021). An image encryption algorithm based on dynamic row scrambling and Zigzag transformation. *Chaos, Solitons & Fractals*, 147, 110962. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110962>
- Wang, X., & Li, Y. (2021). Chaotic image encryption algorithm based on hybrid multi-objective particle swarm optimization and DNA sequence. *Optics and Lasers in Engineering*, 137, 106393. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106393>
- Wang, X., Lin, S., & Li, Y. (2021). Bit-level image encryption algorithm based on BP neural network and gray code. *Multimedia Tools and Applications*, 80(8), 11655-11670. doi:10.1007/s11042-020-10202-2
- Wang, X., & Xu, D. (2014). Image encryption using genetic operators and intertwining logistic map. *Nonlinear Dynamics*, 78(4), 2975-2984. doi:10.1007/s11071-014-1639-z
- Wang, X., Zhu, X., & Zhang, Y. (2018). An Image Encryption Algorithm Based on Josephus Traversing and Mixed Chaotic Map. *IEEE Access*, 6, 23733-23746. doi:10.1109/ACCESS.2018.2805847
- Wu, J., Shi, J., & Li, T. (2020). A Novel Image Encryption Approach Based on a Hyperchaotic System, Pixel-Level Filtering with Variable Kernels, and DNA-Level Diffusion. *Entropy*, 22(1), 5.
- Xi, H., Yu, S., Zhang, Z., Deng, K., & Xi, H. (2010, 29-31 Oct. 2010). *Generation of Hyperchaotic Chua System via State Feedback Control*. Paper presented at the 2010 International Workshop on Chaos-Fractal Theories and Applications.
- Xu, C., Sun, J., & Wang, C. (2020). A novel image encryption algorithm based on bit-plane matrix rotation and hyper chaotic systems. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9), 5573-5593. doi:10.1007/s11042-019-08273-x
- Yaghouti Niyat, A., Moattar, M. H., & Niazi Torshiz, M. (2017). Color image encryption based on hybrid hyper-chaotic system and cellular automata. *Optics and Lasers in Engineering*, 90, 225-237. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2016.10.019>
- Yang, F., Mou, J., Liu, J., Ma, C., & Yan, H. (2020). Characteristic analysis of the fractional-order hyperchaotic complex system and its image encryption application. *Signal Processing*, 169, 107373. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2019.107373>
- Zeng, J., & Wang, C. (2021). A Novel Hyperchaotic Image Encryption System Based on Particle Swarm Optimization Algorithm and Cellular Automata. *Security and Communication Networks*, 2021, 6675565. doi:10.1155/2021/6675565
- Zhang, Q., & Han, J. (2021). A novel color image encryption algorithm based on image hashing, 6D hyperchaotic and DNA coding. *Multimedia Tools and Applications*, 80(9), 13841-13864. doi:10.1007/s11042-020-10437-z
- Zhang, Y.-Q., He, Y., Li, P., & Wang, X.-Y. (2020). A new color image encryption scheme based on 2DNLML system and genetic operations. *Optics and Lasers in Engineering*, 128, 106040. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106040>

Zhou, M., & Wang, C. (2020). A novel image encryption scheme based on conservative hyperchaotic system and closed-loop diffusion between blocks. *Signal Processing*, 171, 107484. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2020.107484>

Zhu, S., & Zhu, C. (2019). Plaintext-Related Image Encryption Algorithm Based on Block Structure and Five-Dimensional Chaotic Map. *IEEE Access*, 7, 147106-147118. doi:10.1109/ACCESS.2019.2946208



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 03.10.2022
Kabul Tarihi : 23.01.2023

Received Date : 03.10.2022
Accepted Date : 23.01.2023

BETON DOLGULU ÇELİK TÜP KOLONLARIN YANGIN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF FIRE PERFORMANCE OF CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMNS

Ç. Özge ÖZELMACI DURMAZ^{1*} (ORCID: 0000-0002-9517-776X)
Süleyman İPEK² (ORCID: 0000-0001-8891-949X)
Dia Eddin NASSANİ¹ (ORCID: 0000-0002-4196-8822)
Esra METE GÜNEYİSİ³ (ORCID: 0000-0002-4598-5582)

¹Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

²Bingöl Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bingöl, Türkiye

³Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ç. Özge ÖZELMACI DURMAZ, ocigdem.ozelmaci@hku.edu.tr

ÖZET

Beton dolgulu çelik tüp (BDÇT) kolonlarda, çelik betonu sararak basınç dayanımını artırırken beton çeliğin yerel burkulmasını geciktirir. Bu çalışma ile BDÇT kolonların yangın direncini etkileyen faktörleri kapsayan çalışmalar ile ilgili son gelişmeleri derleyip literatüre kazandırmak amaçlanmıştır. Dolgu türlerine göre yüksek yangın direnci sırasıyla donatılı beton, çelik lifli beton ve yalın beton dolgulu çelik tüp kolonlardan, kesit tipine göre sırasıyla dairesel, eliptik, kare ve dikdörtgen kesitli kolonlardan elde edilmektedir. Kolon kesit alanının büyümesi ile yangın direnci artmaktadır. Çelik tüpün dayanımının artması, yangın direncinin azalmasına yol açarken, çelik tüp kalınlığının önemli etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Bazı çalışmalarda beton dayanımının artmasıyla yangın direncinin arttığı, bazılarında ise azaldığı bildirilmektedir. Ayrıca, karbonatlı agrega içeren beton ile üretilen BDÇT kolonlar silikalı olanlara göre daha yüksek yangın direnci sağladığı elde edilen bulgular arasındadır. BDÇT kolonların yangın direnci uygulanan yük seviyesi ve eksantrisiteden oldukça etkilenmektedir ve her ikisi ile ters orantılıdır.

Anahtar Kelimeler: Beton dolgulu çelik tüp, kompozit kolon, taşıma kapasitesi, yangın performansı

ABSTRACT

In concrete filled steel tube (CFST) columns, while steel confines the concrete and increases the compressive strength, concrete delays the local buckling of the steel. With this study, it is aimed to compile the latest developments related to the factors affecting fire resistance of CFST columns and bring them to the literature. According to infill types, high fire resistance is obtained from steel bar reinforced, steel fiber reinforced and plain CFST columns, respectively, and circular, elliptical, square and rectangular columns according to section type. The fire resistance increases with the increase of the column cross-sectional area. While the increase in the strength of the steel tube leads to a decrease in the fire resistance, it is understood that the thickness of the steel tube does not have a significant effect. In some studies, it is reported that the fire resistance increases with the increase of concrete strength, while in others it decreases. In addition, it is among the findings obtained that the CFST columns produced with concrete containing carbonated aggregate provide higher fire resistance than those with silica. The fire resistance of CFST columns is highly affected by the applied load level and eccentricity and is inversely proportional to both.

Keywords: Concrete filled steel tube, composite column, bearing capacity, fire performance

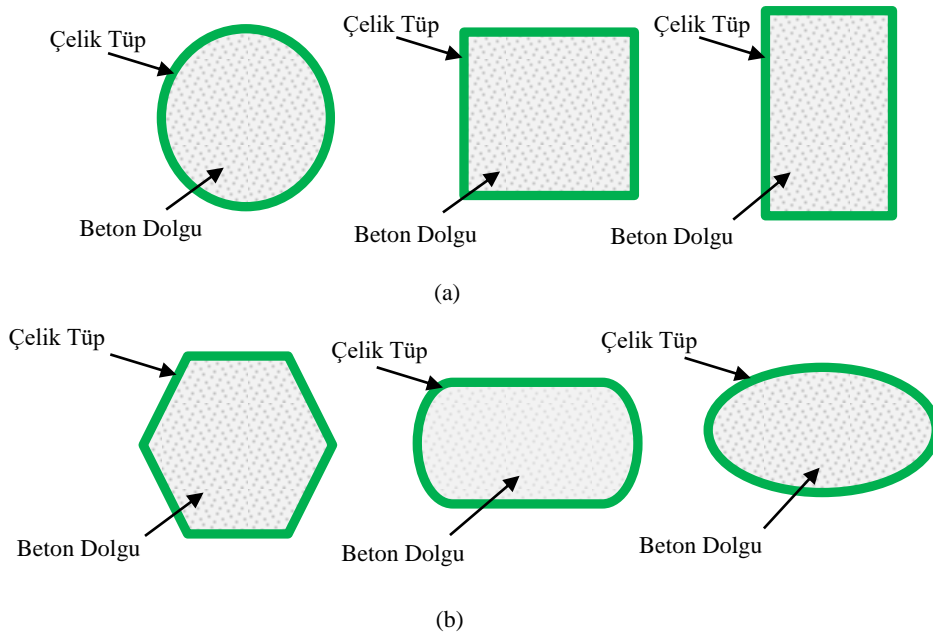
ToCite: ÖZELMACI DURMAZ, Ç. Ö., İPEK, S., NASSANİ, D. E., METE GÜNEYİSİ, E., (2023). BETON DOLGULU ÇELİK TÜP KOLONLARIN YANGIN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 1-4.

GİRİŞ

Beton dolgulu çelik tüp (BDÇT) kolonlar, çelik bir tüp ve tüpün içine doldurulan beton bir çekirdekten oluşan kompozit yapı elemanlarıdır (Yin vd., 2006). Kompozit kolonun bu iki bileşeni birbirini ideal şekilde tamamlar (Romero vd., 2011; Kodur, 2007). Beton ve çeliğin bu birlikteliğinde temel olarak betonun basınç dayanımı ve çeliğin çekme dayanımı özelliklerinden faydalanılır ve bu sayede de hem basınç hem de çekme yüklerine dayanan bir yapı elemanı elde edilir (İpek & Güneyisi, 2020; Güneyisi vd., 2016). BDÇT kolonlarda, çelik betonu sararak basınç dayanımını artırırken beton da çeliğin yerel burkulmasını geciktirir (Alhatmey, 2020; Sancioğlu vd., 2019; Dai & Lam, 2012; Romero vd., 2011; Kodur, 2007)

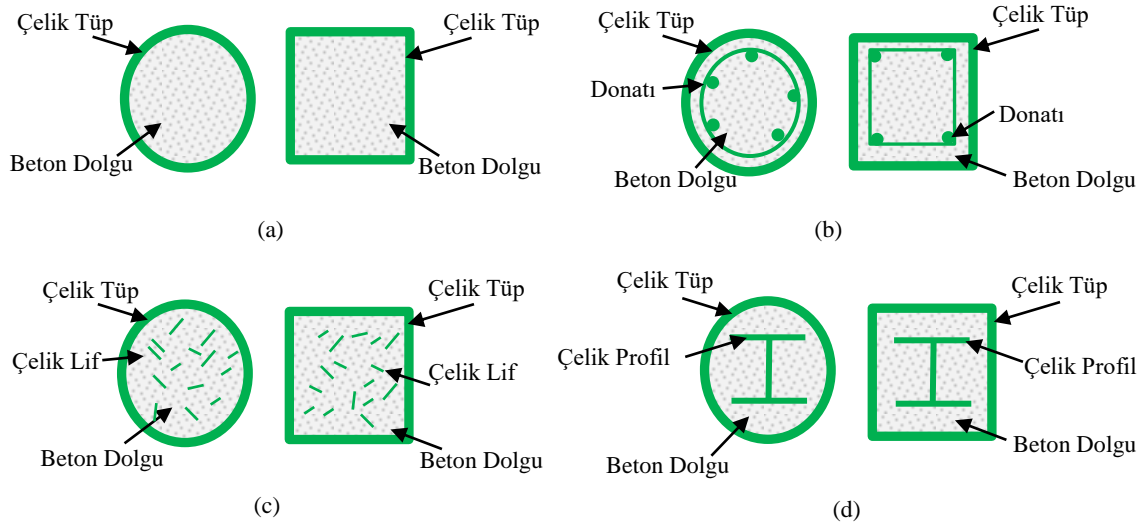
Bu bağlamda, BDÇT kolonlar hem beton hem de çeliğin üstün özelliklerine sahiptir (İpek & Güneyisi, 2020; Etili, 2021). Çelik yüksek rijitlik, süneklik ve mukavemet performansı, beton ise yüksek basınç dayanımı ve ekonomik bir tasarım sunar (Alhatmey, 2020). Bu nedenle geleneksel betonarme veya çelik kolonlara kıyasla oldukça avantajlıdır. Betonun sınırlayıcı etkisiyle çeliğin yerel burkulması gecikir, yerel burkulma sonrası oluşan dayanım problemleri azalır. Öte taraftan, çeliğin sarma etkisiyle de betonun mukavemeti ve böylece kolonun dayanımı ve sünekliği artar (İpek vd., 2021). Ayrıca çelik tüp içerisindeki beton çekirdeğin yangına karşı korunmasını sağlar ve betondaki sıcaklık artışı nispeten geciktirir. Beton ve çelik benzerlerine göre BDÇT kolonlar daha yüksek yangın direncine sahiptir (Alhatmey, 2020). BDÇT kolonlar sağladıkları yüksek dayanım, süneklik, enerji emilim kapasitesi, yük taşıma kapasitesi ve yangın direnci gibi özellikleriyle yapısal açıdan avantajlı olup, çelik tüp kalıp görevi gördüğünden, önemli ölçüde insan gücü, inşaat maliyeti ve zaman tasarrufu da sağlar (Etili and Güneyisi, 2022a). BDÇT kolonların daha küçük kesit alanlarıyla daha yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşması bu kolonları mimari açıdan da avantajlı hale getirir. Bu sayede daha fazla alan kullanımı sağlar. Çeliğin kalınlığı, betonun mukavemeti gibi parametreler farklılaştırılarak farklı yük taşıma kapasitelerine sahip benzer kesitlerde kolonlar imal edilebilir. Bu da kolon boyutunda artış olmadan estetik bir görünüm sağlar (İpek vd., 2021; Alhatmey, 2020; Wang vd., 2019; Ukanwa vd., 2017; Güneyisi vd., 2016; Rush vd., 2012; Kodur, 2007; Yin vd., 2006; Kodur & Lie, 1995; Lie & Chabot, 1992).

BDÇT kolonların kesit ve dolgu modeline göre çeşitli türleri vardır. Kesit tipine göre BDÇT kolonlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Bunlardan kare, dikdörtgen ve dairesel kesitli olanlar (a) daha yaygın kullanılanlardır. Çokgen, eliptik ve yuvarlak uçlu dikdörtgen kesitli olanlar (b) ise genellikle estetik açıdan kullanımı amaçlanan daha özel türlerdir (Kalemi, 2016).



Şekil 1. BDÇT Kolonlar İçin Kesit Modelleri: a) Yaygın Modeller b) Özel Modeller (Kalemi, 2016)

Dolgu türüne göre BDÇT kolonlar ise Şekil 2’de gösterilmiştir. BDÇT kolonların üretiminde kullanılan dolgu türü donatısız beton (buradan sonra bu beton tipi için yalın tabiri kullanılacaktır) (a), donatılı beton (b), çelik lifli beton (c) veya çelik profil gömülü beton (d) olmak üzere farklı türlerde olabilir (Alhatmey, 2020).



Şekil 2. Dolgu Türüne Göre BDÇT Kolon Tipleri: (a) Donatısız (Yalın) Beton, (b) Donatılı Beton, (c) Çelik Lifli Beton, (d) Çelik Profil Gömülü Beton (Alhatmey, 2020)

Açık deniz ve deniz yapıları, köprüler, kuleler, tüneller, yeraltı treni platformları, stadyumlar, yüksek katlı binalar, BDÇT kolonların kullanıldığı çeşitli mühendislik yapılarıdır (Etili and Güneyisi, 2022b; Alhatmey, 2020; Sancioğlu, 2020; İpek & Güneyisi, 2019; Wang vd., 2019; Güneyisi vd., 2016; Yin vd., 2006). BDÇT kolonların yüksek dayanım, rijitlik ve yüksek süneklik performansı göstermesi bu tür yüksek performanslı yapısal eleman ihtiyacı duyan yapılarda tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Ayrıca, yüksek yangın direncine sahip olması BDÇT kolonları oldukça avantajlı hale getirmektedir.

BDÇT kolonlarda beton ve çelik malzemelerinin etkileşimi daha iyi yangın direnci sunar. 600 °C’nin üzerindeki sıcaklıkların olduğu bir yangın esnasında çelik zayıflar ve beton çekirdek olmadan çelik kolonların stabilitesi tehlikeye girer (Wang vd., 2019). Çelik tüp beton ile doldurulduğunda ise çelik, rijitliğini ve dayanımını kaybederken yükü beton çekirdeğe aktarır. Beton çekirdek çeliğin burkulmasını geciktirir. Ayrıca, betonun düşük ısı iletkenliği sayesinde sıcaklık artışı yavaşlar. Çelik tüp ise beton çekirdeği doğrudan yangına maruz kalmaktan korur. Çelik ve betonun yangına maruz kaldığında gösterdiği bu davranış sayesinde sadece beton veya sadece çelik benzerlerine kıyasla daha üstün bir yangın direnci sunar (Alhatmey, 2020; Wang vd., 2019; Rush vd., 2012; Kodur, 2007).

Literatürde, BDÇT kolonların yangın direnci üzerine çeşitli deneysel ve nümerik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda BDÇT kolonların yangın direnci test edilmiş, çeşitli parametrelerin yangın direnci üzerindeki etkisi incelenmiş ve tasarım modelleri oluşturularak bu tarz elemanların yangın dirençleri öngörülme çalışılmıştır. BDÇT kolonların kesit türünün yangın direnci üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda, kare, dikdörtgen, dairesel ve eliptik kesit türlerinin kolonların yangın direnci üzerine etkisi incelenmiştir (Han vd., 2013; Dai & Lam, 2012; Yin vd., 2006; Lie & Chabot, 1992). Bu kapsamda, Lie ve Chabot (1992), BDÇT kolonların yangın direncini öngören basit tasarım denklemleri geliştirmeyi amaçlayan bir araştırma programının parçası olarak yalın BDÇT kare ve dairesel kesitli kolonların yangın direncini test ettikleri bir çalışma gerçekleştirmişler. Öte taraftan, Yin vd. (2006) ise aksel yüklü BDÇT kare ve dairesel kesitli kolonların yangın direncini karşılaştırmışlar. Benzer şekilde, Dai ve Lam (2012), yaptıkları sonlu elemanlar analizi (SEA) tabanlı çalışmada kolon kesit tipinin yangın direnci üzerindeki etkisini incelemişler. Aksel yüklü kare, dikdörtgen, dairesel ve eliptik kesitli BDÇT kolonları, ortam sıcaklığında eşit kesit mukavemeti, eşit çelik kesit alanı ve eşit beton kesit alanı olmak üzere üç farklı kategoride test etmiş ve kolonların sıcaklık dağılımı, kritik sıcaklığı ve yangına maruz kalma süresi geliştirilen simülasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Han vd. (2013) de kesit tipinin, BDÇT kolonların yangın direnci üzerine etkisi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişler. Bu çalışmada, kesit tipine ek olarak, yük seviyesi ve kesit boyutunun etkisi de incelenmiştir. Numuneler aksel

basınç yükü altında test edilmiş ve elde edilen bulgular neticesinde SEA yöntemi kullanılarak bir tasarım modeli geliştirilmiştir.

Yalın BDÇT kolonlara ek olarak donatılı beton, çelik lifli beton ve çelik profil gömülü beton gibi dolgu tiplerinin yangın direnci üzerine etkisi üzerine de çalışmalar mevcuttur (Mao vd., 2020; Ekmekyapar & Alhatmey, 2019; Tao vd., 2016; Kodur & Lie, 1995). Bir araştırma programı kapsamında, Kodur ve Lie (1995), çelik lifli BDÇT dairesel kesitli kolonların yangın direncini belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişler. Bu çalışmada, dolgu tipine ek olarak kolon boyutu ve yük seviyesi de araştırılmıştır. Ayrıca, Tao vd. (2016), yalın ve donatılı, kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonların yangın direncini inceleyip, elde ettikleri bulgular sonucunda SEA yöntemiyle bir tasarım modeli geliştirmişler. Ek olarak, Mao vd. (2020), çelik profil gömülü, kare kesitli BDÇT kolonların yangın direncini incelemiş ve çalışma kapsamında bir tasarım modeli geliştirmişler. Öte taraftan, Ekmekyapar ve Alhatmey (2019), BDÇT kolonların yangın direncini arttırmak amacıyla çelik tüpün iç kısmına belirli aralıklarla dairesel etriye şeklinde donatıları etmiş ve yangın direncini kıyaslayabilmek için yangına maruz bırakılan ve bırakılmayan numuneler eksenel yük altında test edilmiştir.

Literatürde, kolon kesit tipinin ve dolgu türünün yangın direncine etkisine ek olarak, BDÇT kolonların eksenel ve eksenrik gibi farklı yüklemeye şekilleri altındaki yangın direnci de incelenmiştir (Romero vd., 2011; Ukanwa, 2017). Bu kapsamda, Romero vd. (2011), eksenel yüke maruz kalan normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş ve yük seviyeleri farklı, dairesel kesitli BDÇT kolonların yangın direncini incelemişler. Bu çalışmada, yalın beton, donatılı beton ve çelik lifli beton olmak üzere çekirdek tipinin yangın direncine etkisi incelenmiştir. Ukanwa vd. (2017) ise çalışmasında, yalın beton, donatılı beton ve çelik lifli beton beton dolgulu çelik tüp kolonların eksenrik yüklemeye altında yangın direncini incelemişler.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda, çelik ve betonun özelliklerinin BDÇT kolonların yangın direnci üzerine etkisi araştırılmıştır (Xiong & Liew, 2021; Wang & Young, 2013; Lu vd., 2009). Lu vd. (2009), yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton dolgulu çelik tüp kolonların yangın direncini inceledikleri bir çalışma gerçekleştirmiş ve bu çalışmada, kolonların yangın davranışını simüle etmek amacıyla SEA yöntemiyle bir tasarım modeli geliştirmişler. Wang ve Young (2013), yüksek dayanımlı yapı çeliğinin BDÇT kolonların yangın direncine etkisini incelemiş ve çalışma kapsamında SEA yöntemiyle bir tasarım modeli geliştirmişler. Benzer şekilde, Xiong ve Liew (2021), ultra yüksek dayanımlı beton ve yüksek dayanımlı çelik kullanılarak üretilen BDÇT kolonların yangın dirençleri üzerine deneysel ve analitik çalışmalar gerçekleştirmişler.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda araştırmacılar, BDÇT kolonların yangın direncini hesaplamak için yöntemler geliştirmişler. Kodur (2007), tasarım ve yapım aşamasında BDÇT kolonların yangın direncini belirleme konusunda faydalı olacak bir kılavuz geliştirmiştir. Benzer şekilde, Espinos vd. (2012) tarafından eksenel yüklü yalın BDÇT kolonların yangına karşı direncini hesaplamak için Eurocode 4'e dayalı bir yöntem sunulmuştur.

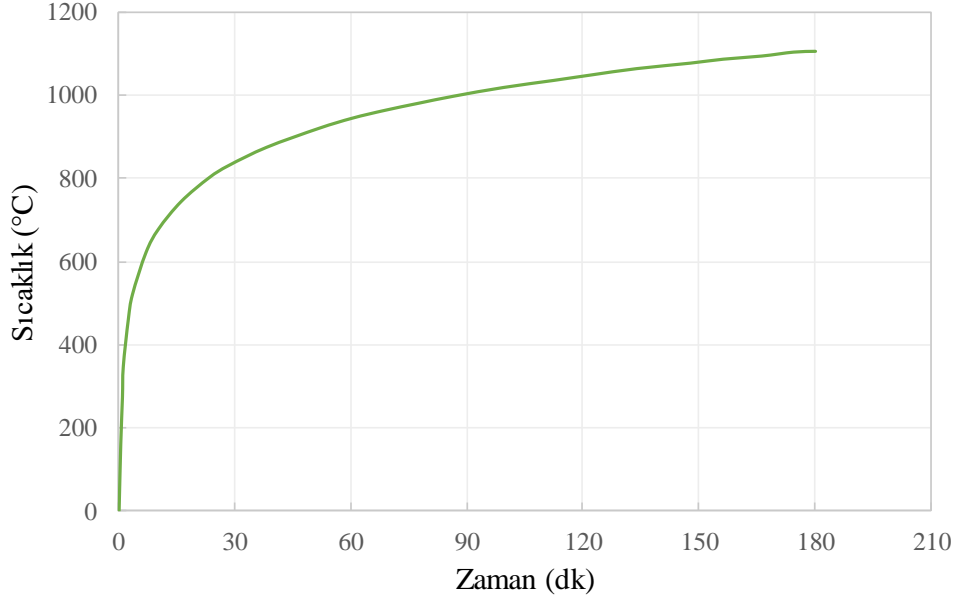
BDÇT KOLONLARIN YANGIN DİRENCİ

BDÇT kolonlar, beton ve çelik benzerlerine kıyasla daha iyi yangın direnci sağlar (Alhatmey, 2020). Çelik tüp, içerisindeki betonun doğrudan yangına maruz kalmasını önlerken aynı zamanda betondaki sıcaklık artışını geciktirir. Daha düşük termal iletkenliğe sahip olan beton, yangın sırasında çeliğin burkulmasını önler ve mukavemet göstermeye devam etmesini sağlar (Alhatmey, 2020; Dai & Lam, 2012; Romero vd., 2011; Kodur, 2007). Sıcaklığın seviyesi ve süresine bağlı olarak çelik ve beton malzeme özelliklerini kaybetmeye başlar. Çelik yüksek termal iletkenliği nedeniyle betondan ayrılma eğiliminde olduğundan yüksek sıcaklıklarda çelik ve beton arasındaki bağ zamanla azalır (Dai & Lam, 2012).

Literatürde BDÇT kolonlar, standart yangına maruz kalma koşulları altında test edilmiştir. Çalışmalarda genel olarak gaz fırınları kullanılmaktadır. Öncelikle kolonların uç plakaları koruma altına alınarak, fırın içerisine uygun şekilde yerleştirilerek sabitlenir. Daha sonra belirli noktalarda sıcaklık ölçümleri yapılabilmesi için ısı çiftleri yerleştirilir. Kolonları, yangına maruz bırakmadan önce yük uygulanır ve bu yük test süresince sabit tutulur. Yangın koşullarını sağlamak için fırın içerisindeki sıcaklık değişimi, Şekil 3'te gösterilen ISO 834-1 (1975) sıcaklık-zaman eğrisi takip edilerek gerçekleştirilir. Sıcaklık artışı neticesinde kolonun kırıldığı veya burkulduğu zaman ve sıcaklık, elemanın yangın direncini belirler (Ukanwa vd., 2017; Lu vd., 2009; Romero vd., 2011; Han vd., 2013; Tao vd., 2016).

Literatürde BDÇT kolonların yangın anındaki deformasyonu 4 aşamada açıklanmıştır. İlk aşamada, ısı genleşme katsayısı daha yüksek olan ve daha hızlı ısınan bir malzeme olduğundan çelik, betona göre daha hızlı genleşir. Böylece uzunlamasına genişleyen çelik tüp, yükün büyük kısmını taşır. Akabinde yanal genişleme de gösteren çelik

ile beton arasında bir boşluk oluşur ve betona ısı geçişi daha yavaş olur. İkinci aşamada, çelik, üzerine aldığı yükten ve sıcaklık artışıyla beraber düşen akma dayanımından ötürü hızla kısalır ve bir noktada yük taşıyamaz hale gelir. Yaklaşık 20-30 dakika içerisinde çeliğin hızla kısalarak büzülmesi, yükün beton çekirdeğe aktarılmasına yol açar. Üçüncü aşamada, betonun düşük termal iletkenliği sayesinde elemandaki sıcaklık artışı yavaşlamaya başlar. Bu aşamada beton çekirdek daha fazla yük taşımaya başlar. Betondaki bozulma belirli bir seviyeye gelene kadar yük, beton çekirdek tarafından taşınmaya devam eder. Dördüncü ve son aşamada ise sıcaklık artışı devam ettikçe beton mukavemetini yitirir ve kolon artık yük taşıyamaz. Betonun kırıldığı veya burkulduğu bu an kolonun yangın direnci olarak ifade edilir (Alhatmey, 2020; Wang vd., 2019; Rush vd., 2012; Kodur, 2007).



Şekil 3. ISO 834 Zaman-Sıcaklık Eğrisi (ISO 834-1, 1975)

BDÇT kolonların yangın direncinin analizi karmaşık bir süreçtir. Farklı termal ve mekanik özelliklere sahip iki malzemeden oluşması nedeniyle yangın direnci incelenirken, sıcaklık dağılımı, yangının seviyesi, yangın süresi ve yükleme etkisi gibi değişkenlerin yanı sıra malzeme özelliklerinin de yangın performansına etkisinin bilinmesi gerekir.

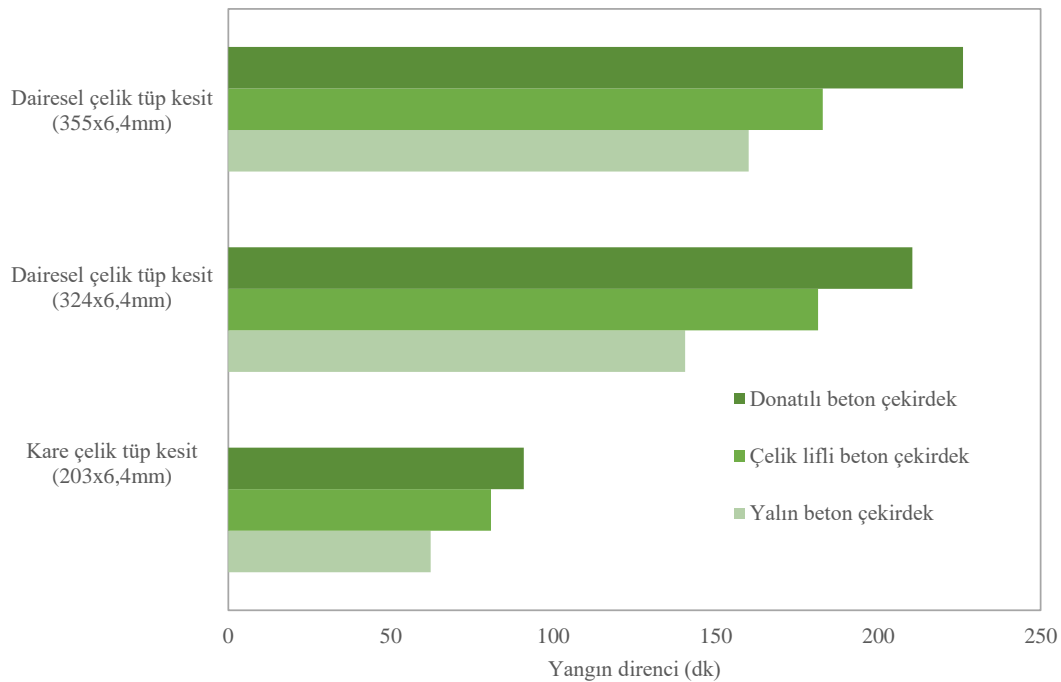
BDÇT KOLONLARIN YANGIN DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Beton Dolgu Tipi

BDÇT kolonların yangın direnci, çelik akma dayanımına ulaştıktan sonra içerisinde bulunan dolgunun türüne bağlıdır (Kodur, 2007). Burada dolgu türü: yalın beton, donatılı beton ve çelik lifli beton olarak sınıflandırılabilir. Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde, yalın beton ile üretilen BDÇT kolonların yangın direnci açısından en ekonomik kolon türü olduğu sonucuna varılabilir. Ancak bazı durumlarda, özellikle kolon boyutunun büyümesiyle yalın BDÇT kolonların yangın direncinin diğerlerine göre nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Donatılı BDÇT kolonlarda, donatılar çatlak yayılmasını ve ani mukavemet kaybını engeller. Kolonun yük taşıma kapasitesinin ve yangın direncinin artmasını sağlar. Çelik lif kullanımı BDÇT kolonların yangın direncini, donatılı olanlar ile kıyaslanabilir derecede artırır. Yük taşıma kapasitesi de belli bir dereceye kadar artar. Ancak donatı ve çelik lif kullanımı maliyeti de arttıracaktır (Kodur, 2007).

Kodur ve Lie (1995) bir çalışmada çelik lifli BDÇT kolonların yangın direncini incelemişler. Çalışma kapsamında, çelik lifli BDÇT kolonların yalın BDÇT kolonlara kıyasla daha yüksek yangın direnci gösterdiği ve çelik liflerin erken çatlamayı önlemeye ve basınç dayanımını arttırmaya katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır. Tao vd. (2016) ise yaptıkları bir çalışmada donatının BDÇT kolonların yangın direnci üzerindeki etkisini araştırmışlar. Deney sonuçları, donatının yangın direnci üzerindeki etkisinin çok önemli olmadığını göstermiştir. Aynı özelliklerde donatılı bir numunenin yangın direnci, donatısız (yalın) olan numune için ölçülen 122 dakikalık yangın direncinden biraz daha (143 dakika) yüksek ölçülmüştür. Ancak, başka iki benzer numune kıyaslandığında ise donatılı numunenin

174 dakikalık bir yangın direncine sahip olduğu, donatısız (yalın) numunenin 197 dakikalık yangın direncinden daha düşük bir sürede göçtüğü görülmüştür. Donatı varlığının yangın direncini arttırması beklenirken elde edilen bu iki farklı sonuç donatı oranının düşüklüğü, yük eksantrikliği veya fırından kaynaklı diğer etkiler gibi nedenlere bağlanmıştır. Kodur (2007) gerçekleştirdiği bir başka çalışmada, daha önce yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda elde ettikleri verilere dayanarak dolgu türünün bu tarz kolonların yangın direncine etkisini incelemişler. Bu çalışmalar sonucunda sunulan grafiklere göre, test sonunda donatılı ve çelik lifli beton ile üretilmiş BDÇT kolonun deformasyon davranışının benzer olduğu belirtilmiştir (Kodur, 2007). Çelik lifli betonun testin başlarında donatılı betona nazaran daha yüksek deformasyon göstermesini ise çelik lifli betonun yüksek termal özellikleri ile ilişkilendirmişler. Şekil 4'te de gösterildiği gibi, donatılı BDÇT kolonların çelik lifli BDÇT kolonlara göre yangın direncinin daha yüksek olduğu ve yalın BDÇT kolonların performansının ise her ikisinininkinden daha düşük olduğu belirtilmiştir (Kodur, 1999). Kodur (2007), yalın BDÇT kolonların yangına iki saate kadar dayanabildiği, donatılı ve çelik lifli BDÇT kolonların üç saat veya daha fazla bir süre yangına dayanabileceğini, bu nedenle iki saatten uzun yangın direnci gerektiğinde beton tipinin çelik lifli veya donatılı olarak tercih edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca Kodur (2007), narin ve eksantrik yüklü kolonlarda da çelik lifli veya donatılı beton kullanımını önermektedir. Eksenel yükün çok fazla olduğu durumlarda da yine yalın betonun yetersiz kalacağını, bu nedenle donatılı beton kullanımı gerektiğini dile getirmiştir. Mao vd. (2020) ise çalışmalarında BDÇT içerisine gömülü profilin yangın direncine etkisini araştırmışlar. Çalışma sonucunda profil çelik oranı arttıkça yangın direncinin arttığı bunun da profil çeliğin beton üzerindeki sarma etkisi ile yangın altında taşıma kapasitesi için uygun koşullar sağlamasından ötürü olduğu belirtilmiştir.



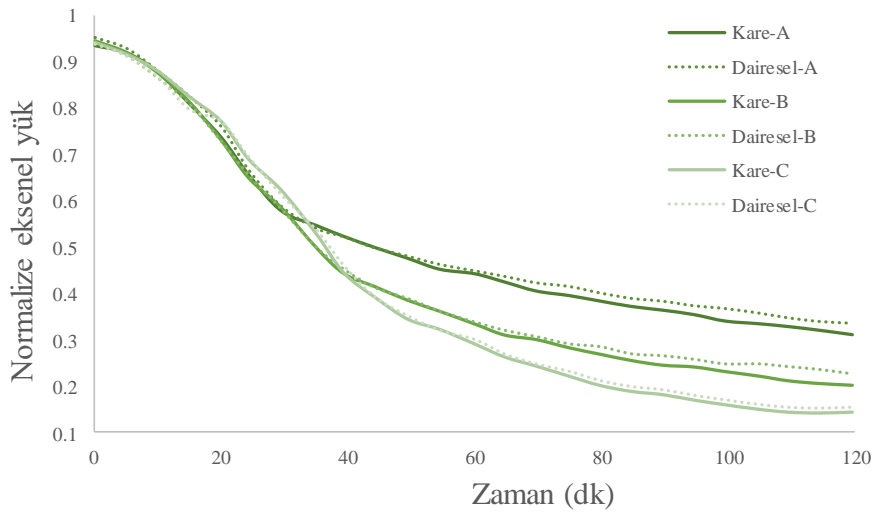
Şekil 4. Beton Dolgu Türünün Yangın Direncine Etkisi (Kodur, 1999)

Kesit Türü

Kesit tipinin BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde etkisi incelendiğinde en yüksek yangın direncinin dairesel kesitli kolonlarda elde edildiği, eliptik kesitli kolonların yangın direncinin dairesel kesitlilere göre daha az olduğu anlaşılmaktadır. Kare kesitli kolonların yangın direnci ise dikdörtgen kesitlilere göre daha fazla, eliptik kesitlilere göre ise daha azdır (Wang vd., 2019; Rodrigues & Laim, 2017; Espinos vd., 2015; Dai & Lam, 2012).

Dairesel kesitli kolonlarda sıcaklık arttıkça çelik tüp beton çekirdeği üniform olarak sınırlar, bu da hem mukavemette hem de deformasyonda artışa katkı sağlar. Kare veya dikdörtgen kesitli kolonlarda ise üniform sınırlama vesilesiyle deformasyonda önemli bir artış görülürken, mukavemette deformasyona kıyasla daha düşük bir artış elde edilir. Ayrıca sıcaklık artışıyla dairesel kesitli kolonlar üniform olarak ısınırken, kare kesitli kolonlarda köşeler daha hızlı ısınır ve bu da kesit içerisinde termal gerilmelere neden olur (Wang vd., 2019).

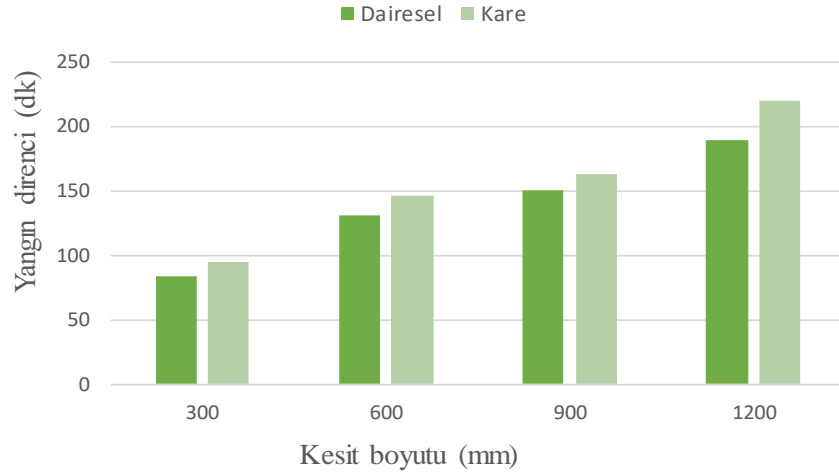
Lie ve Chabot (1992) kare ve dairesel kesitli, yalnız BDÇT kolonların yangın direncini belirlemek için 44 kolon üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada, eşdeğer kesit alanı için dairesel kesitli kolonların yangın direncinin kare kesitli kolonlardan nispeten daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde, Yin vd. (2006), kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonların yangın direncini kıyasladığı çalışmada, Şekil 5'te de gösterildiği gibi, aynı boyut ve özelliklere sahip dairesel kesitli kolonların kare kesitli olanlara (şekildeki A, B ve C etiketli kolonlar aynı boyut ve özelliklere sahiptir) nazaran biraz daha yüksek yangın direnci gösterdiğini bildirmişler. Kodur (2007) da dairesel ve kare kesitli BDÇT kolonlar üzerinde yaptığı bir çalışmada, dairesel kesitli BDÇT kolonlarda aynı kesit alanına sahip kare kesitli BDÇT kolonlardan daha yüksek yangın direnci elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca, Dai ve Lam (2012), dört farklı kesitte (dairese, kare, eliptik ve dikdörtgen) ürettikleri BDÇT kolonların yangın sırasında sergilediği yapısal davranışı incelemek üzere SEA tabanlı bir çalışma yapmışlar. Bu kolonları ortam sıcaklığında eşit kesit mukavemeti, eşit çelik kesit alanı ve eşit beton kesit alanı olmak üzere üç farklı kategoride test etmişler. Eşit kesit mukavemeti ve eşit çelik kesit alanına sahip kolonlar için, dairesel kesitli kolonların, kırılmadan önce en uzun yangına maruz kalma süresine sahip olduğu, bunu eliptik, kare ve dikdörtgen kesitli kolonların izlediğini bildirilmişler. Ancak eşit beton kesit alanı olan kolonlarda kare ve dikdörtgen kesitli kolonların yangına maruz kalma süresinin, dairesel ve eliptik kesitli kolonlara göre daha uzun olduğu belirtilmiştir.



Şekil 5. Kesit Türünün Yangın Direncine Etkisi (Yin vd. 2006)

Kesit Alanı

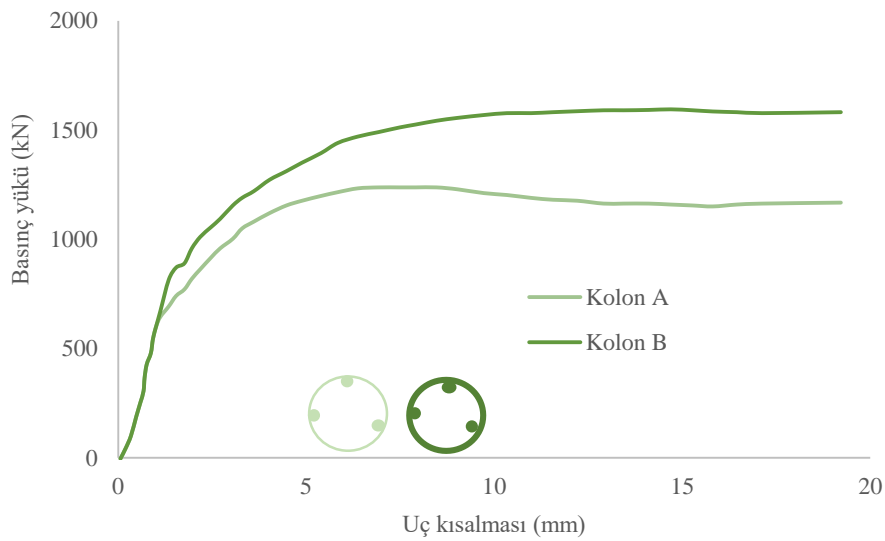
BDÇT kolonların kesit alanının büyümesi (çapı veya eninin artması) ile yangın direncinde olumlu gelişme görülmesi, içerisinde bulunan betonun artması ve buna bağlı olarak sıcaklık geçişinin yavaşlaması nedeniyle beklenen bir sonuçtur (Wang vd., 2019; Yin vd., 2006). Bu bağlamda yapılan çalışmalardan biri olan Lie ve Chabot'ın (1992) çalışmada, kare ve dairesel kesitli, yalnız BDÇT kolonların yangın direnci deneysel olarak irdelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada parametrelerden biri de kesit alanı (boyutları) olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, artan kesit boyutlarının (çap (D) veya en (B)) daha yüksek yangın direncine vesile olduğu bildirilmiştir. Bu durum beton çekirdeğin ısı kapasitesinin kütlesi ile doğru orantılı olarak artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Daha büyük kesit boyutlarına sahip kolonlarda sıcaklığın daha küçük boyutlulara göre daha yavaş yükseldiği belirtilmiştir. Yin vd. (2006), kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonların yangın direncini kıyasladığı çalışmada, kesit alanının yangın direnci üzerindeki etkisini incelemişler. Genel olarak, kesit alanı ne kadar küçük olursa, yangın direncinin o derece azalacağı bildirilmiştir. Bu durum, kesit alanı küçüldükçe ısının daha hızlı aktarılabilmesine ve dolayısıyla malzemelerin bozulmasının da o kadar hızlı olmasına bağlanmıştır. Han vd. (2013), standart yangın testi koşulları altında eksene yüklenmiş beş adet kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonun davranışını incelemişler. Şekil 6'da da gösterildiği gibi bu çalışma neticesinde kesit boyutunun (D veya B), yangın direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve kesit boyutunun artmasıyla yangın direncinin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Kesit boyutu 300 mm'den 1200 mm'ye artırıldığında, yangın direncinin dairesel kesit için 83 dakikadan 188 dakikaya ve kare kesit için 97 dakikadan 222 dakikaya çıktığı bildirilmiştir. Han vd. (2013), bu artışın, daha büyük kesitli bir BDÇT kolonlarda daha fazla beton olmasından ötürü anlaşılabilir bir artış olduğunu, daha fazla beton olduğunda iç kısımdaki sıcaklık artışının daha yavaş olacağını ve bunun da yangın direncini arttıracığını belirtmişlerdir.



Şekil 6. Kesit Boyutunun Yangın Direncine Etkisi (Han vd. 2013)

Çelik Tüpün Kalınlığı

Literatürdeki çelik tüp kalınlığının BDÇT kolonların yangın direnci üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalara bakıldığında bu parametrenin yangın direnci üzerinde önemli derecede etkili olmadığı sonucu çıkarılabilir (Wang vd., 2019). Lie ve Chabot (1992) kare ve dairesel kesitli, yalın BDÇT kolonların yangın direncini belirlemek için yaptıkları deneysel çalışmada incelenen parametrelerden biri de çelik tüpün kalınlığıydı. Çalışmada, aynı yük altında test edilen kolonlar için çelik tüp kalınlığının 4.78 mm'den 6.35 mm'ye çıkarılmasının yangın direncini 76 dakikadan 81 dakikaya çıkardığı rapor edilmiştir. Oysa başka iki numune üzerinde yapılan test sonucunda tersi bir sonuç elde edildiği, çelik tüpün kalınlığının artmasıyla yangın direncinin düştüğü bildirilmiştir. Söz konusu çalışma kapsamında, çelik tüpün kalınlığının yangın direnci üzerinde çok az etkili olduğu belirtilmiştir. Alhatmey (2020), tezinde aynı özellikte numuneleri farklı çelik tüp kalınlıklarıyla hazırlayıp yangın direncini test etmiştir. Şekil 7'de de gösterildiği gibi çelik tüp kalınlığı daha fazla olan BDÇT kolonların (kolon B) daha az olan kolonlara (kolon A) göre daha iyi performans gösterdiğini, kalınlığın artmasının üstün süneklik, daha yüksek tokluk ve daha yüksek rijitlik sağladığını belirtmiştir. Yangına maruz kaldığında aynı malzeme özelliği ve donatı oranına sahip, daha kalın (5.63 mm) çelik tüp ile üretilmiş kolonların daha ince (3.15 mm) çelik tüp ile üretilene oranla %28.6 daha fazla basınç kapasitesi sergilediğini rapor etmiştir.

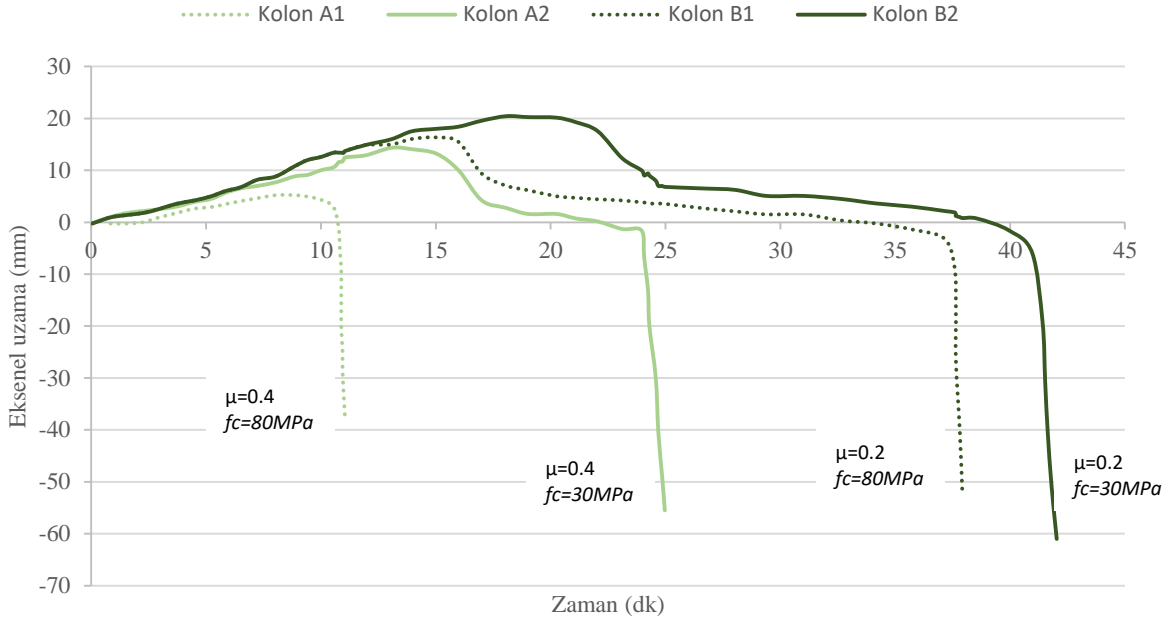


Şekil 7. Çelik Tüp Kalınlığının Kalıntı Basınç Yüküne Karşılık Uç Kısalmasına Etkisi (Alhatmey, 2020)

Çelik ve Betonun Dayanımı

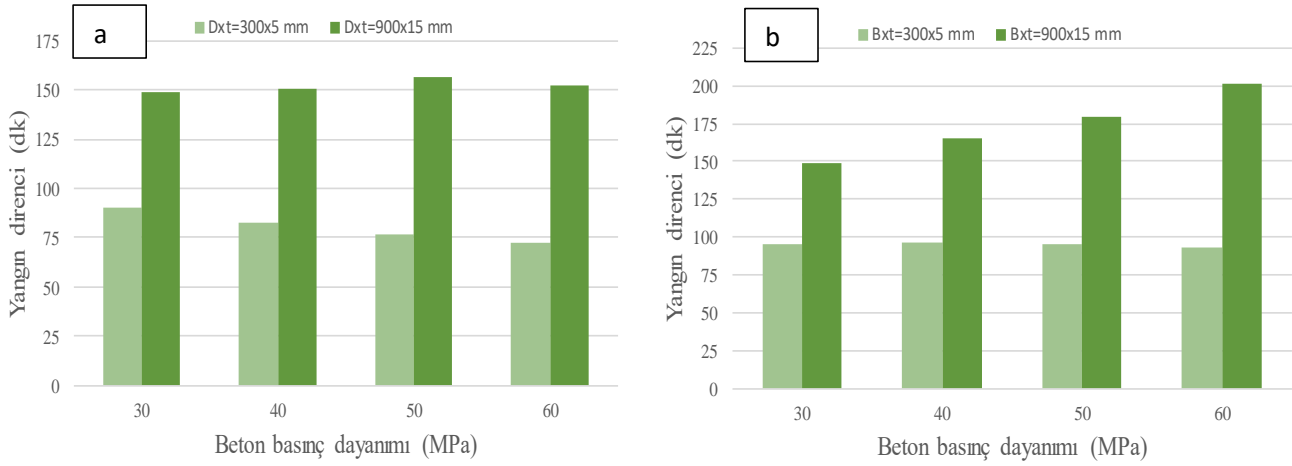
Literatürdeki çalışmalar, BDÇT kolonların yangın direncinin çeliğin mukavemetinin artmasıyla azaldığını göstermektedir (Wang vd., 2019). Betonun basınç dayanımıyla ilgili ise literatürde farklı sonuçlar mevcuttur. Diğer bir deyişle, literatürde betonun basınç dayanımının artmasıyla BDÇT kolonun yangın direncinin arttığına (Yao vd., 2016; Han vd., 2013; Moliner vd., 2013; Tondini vd., 2013; Wang & Young, 2013) ve azaldığına (Mao vd., 2020; Romero vd., 2011; Chung vd., 2008; Kodur, 1998; Lie & Caron, 1988) yönelik sonuçların bildirildiği çalışmalar yer almaktadır.

Romero vd. (2011), normal ve yüksek dayanımlı beton kullanarak ürettikleri BDÇT kolonlar üzerinde yangın direnci deneyleri gerçekleştirmişler. Şekil 8'de gösterildiği gibi yalın beton ile hazırlanmış BDÇT kolonlar için, aynı yük seviyesinde (μ) normal dayanımlı beton (30 MPa) ile üretilen kolonların yüksek dayanımlı beton (80 MPa) ile üretilenden daha iyi yangın direncine sahip olduğu bildirilmiştir. 0.4 yük seviyesine sahip numunelerde (Kolon A) beton dayanımı 30 MPa'dan 80 MPa'ya yükseltildiğinde yangın direnci 25 dakikadan 11 dakikaya düşmüştür. 0.2 yük seviyesine sahip numunelerde (Kolon B) beton dayanımı 30 MPa'dan 80 MPa'ya yükseltildiğinde yangın direnci 42 dakikadan 38 dakikaya düşmüştür. Ayrıca, aynı çalışmada, aynı kesit alanına ve yük seviyelerine sahip donatılı ve çelik lifli BDÇT kolonlar için de aynı sonuçlara varıldığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Mao vd. (2020), betonun dayanımının, BDÇT kolonların yangın direncine etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada donatılı BDÇT kolonlar incelenmiş olup, beton dayanımının 30MPa'dan 60MPa'ya çıkarılmasıyla yangın direncinin %11 azaldığı bildirilmiştir. Bu sonuç ise sıcaklığın artmasıyla betonun dayanımının giderek azalması ve daha yüksek dayanıma sahip betonun, yüksek sıcaklıkta daha fazla dayanım kaybı yaşaması ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada, beton dayanımının, BDÇT kolonlarının yangın direnci üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir.



Şekil 8. Beton Basınç Dayanımının Yangın Direncine Etkisi (Romero vd. 2011)

Han vd. (2013) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, Romero vd. (2011) ve Mao vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada elde edilen bulguların tersi bir sonuca vardılar. Bu çalışmada, standart yangın testi koşulları altında eksenel yüke tabi tutulan beş adet kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonun davranışını incelemişler. Çalışma kapsamında, beton dayanımının BDÇT kolonların yangın direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 9'da gösterildiği gibi kolonların kesit boyutu nispeten daha küçük olduğunda, beton dayanımının yangın direnci üzerinde orta derecede bir etkiye sahip olduğu, kesit boyutu büyük olan kolonlarda ise yangın direncinin genellikle beton dayanımının artmasıyla arttığı bildirilmiştir. Wang ve Young (2013), bir çalışmada yüksek dayanımlı çeliğin BDÇT kolonların yangın direnci üzerine etkisini incelemişler. Çalışma sonucunda aynı malzeme ve boyut özelliklerine sahip BDÇT kolonlarda, beton dayanımı 30 MPa'dan 50 MPa'ya çıkarıldığında yangın direncinin 151 dakikadan 227 dakikaya yükseldiği gözlemlenmiştir.

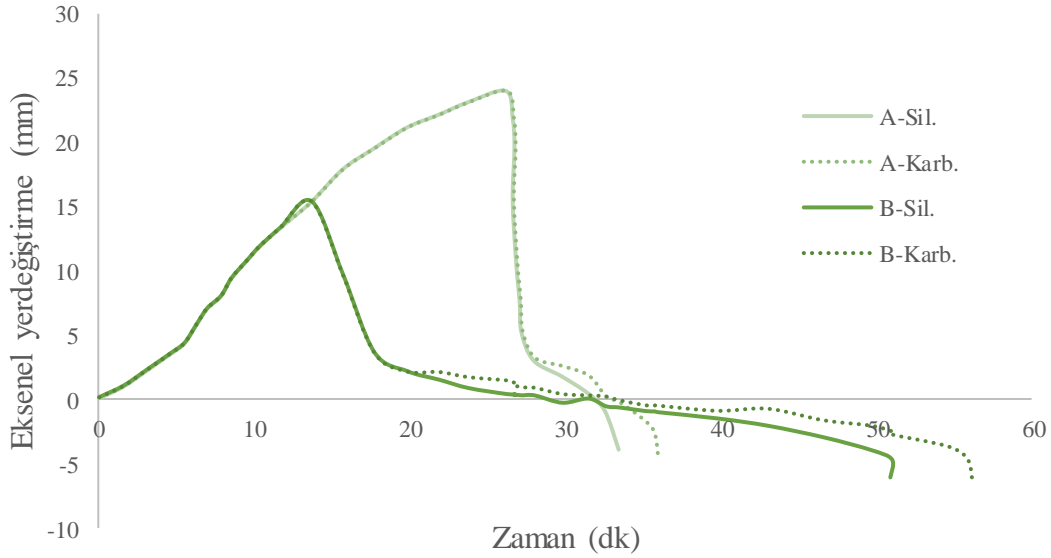


Şekil 9. Beton Basınç Dayanımının Yangın Direncine Etkisi (a) Dairesel, (b) Kare (Han vd. 2013)

Wang ve Young (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çeliğin dayanımı 275 MPa iken yangın direncinin 151 dakika, 460 MPa iken 73 dakika, 690 MPa iken 46 dakika olduğu rapor edilmiştir. Çalışma sonucunda, aynı yük oranına sahip kolonlarda, çeliğin mukavemetinin artmasıyla yangın direncinin azaldığı, betonun mukavemetinin artmasıyla ise arttığı bildirilmektedir. Xiong ve Liew (2021), ultra yüksek dayanımlı beton ve yüksek dayanımlı çelik ile üretilen BDÇT kolonlarının yapısal davranışını daha iyi anlamak için, yangın dirençleri üzerine deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlar. Çalışma sonucunda çeliğin dayanımının artmasıyla yangın direncinde %21'e kadar azalma olduğunu bildirilmektedir. Ultra yüksek dayanımlı beton kullanılmasıyla yangın direncinin arttığını ve bu durumun ultra yüksek dayanımlı betonun yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans göstermesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Agrega Tipi

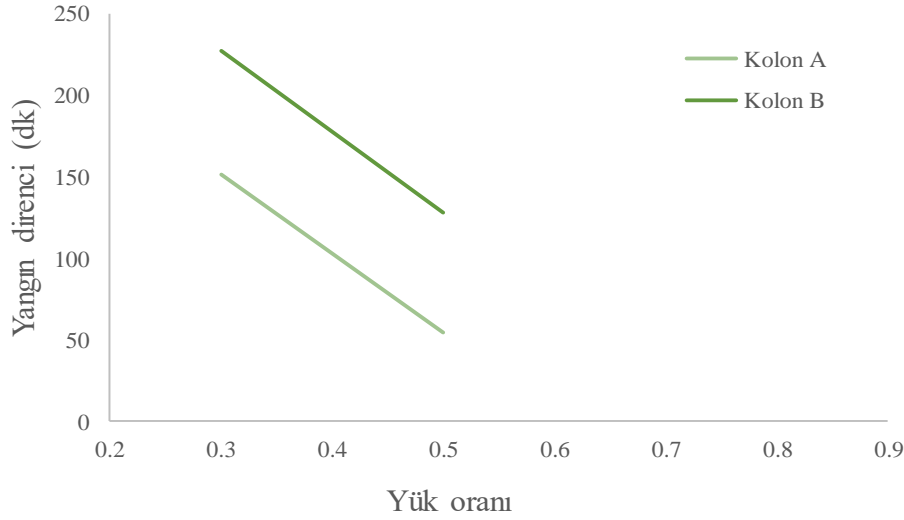
Beton üretiminde kullanılan agreganın türü de BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde fark edilir bir etkiye sahiptir. Agreganın türü betonun genleşme katsayısını, ısı transferini ve hava boşluğu oluşumunu etkileyebilmektedir. Bunun neticesinde betonun mukavemetini ve kırılma modunu da etkilemektedir (Rush vd., 2012). Beton üretiminde kullanılan agreganın BDÇT kolonların yangın direnci üzerindeki etkisinin incelendiği, Kodur (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, betonun üretiminde karbonatlı agreganın silikalı agregaya göre %10 daha fazla yangın direnci sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Lie ve Chabot (1992) ise kare ve dairesel kesitli, yalnız BDÇT kolonların yangın direncini belirlemek için yaptıkları deneysel bir çalışmada beton üretiminde kullanılan agreganın tipinin de etkisini incelemişler. Bu çalışmada, daha önce geleneksel betonarme kolonlarda agreganın tipinin etkisinin incelendiğini ve karbonatlı agreganın silikalı agregaya göre neredeyse iki kat daha yüksek yangın direnci sağladığını bildirilmektedir. Ancak BDÇT kolonlar üzerine yapılan çalışmalarda ise agreganın tipinin etkisi konusunda daha az kesin sonuçlar elde ettiklerini, buna rağmen karbonatlı agreganın içeren beton kullanılarak daha iyi performansın beklenebileceğine dair göstergeler olduğunu bildirmişler. Wang ve Young (2013) tarafından gerçekleştirilen ve yüksek dayanımlı çeliğin BDÇT kolonların yangın direnci üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada parametrelerden biri de agreganın tipiydi. Şekil 10'da gösterildiği gibi çalışma kapsamında, karbonatlı agreganın içeren beton ile üretilen BDÇT kolonların silikalı olanlara göre daha yüksek performans sağladığı sonucuna varılmıştır. Aynı çelik ve beton özelliklerine sahip kolonlar üzerinde yapılan testler sonucunda karbonatlı agreganın içeren kolonun (A-Karb.) yangın direnci 36 dakika ölçülürken silikalı agreganın içeren kolonun (A-Sil.) yangın direnci 33.5 dakika olarak ölçülmüştür. Aynı özelliklere sahip başka iki kolon için ise, karbonatlı agreganın içeren kolonun (B-Karb.) yangın direnci 56 dakika ölçülürken silikalı agreganın içeren kolonun (B-Sil.) yangın direnci 51 dakika olarak ölçülmüştür.



Şekil 10. Agrega Tipinin Yangın Direncine Etkisi (Wang ve Young, 2013)

Yük Seviyesi

Yük seviyesi, ortam sıcaklığında kolona uygulanan yükün kolonun yük taşıma kapasitesine oranı olarak tanımlanır (Han vd., 2013; Wang & Young, 2013; Dai & Lam, 2012). Herhangi bir kolon tipinin yangın direnci, uygulanan yük seviyesi ile ters orantılıdır; artan yük seviyesi azalan yangın direnci süresi ile sonuçlanır (Wang vd., 2019; Dai & Lam, 2012; Kodur, 1998). Lie ve Chabot (1992) yük seviyesinin kare ve dairesel kesitli, yalın BDÇT kolonların yangın direncine etkisini inceledikleri bir deneysel çalışma gerçekleştirmişler. Çalışma sonucunda, yük seviyesi arttıkça yangın direncinde azalma gözlemlendiği bildirilmektedir. Bir numunenin yük seviyesinin %74'ten %141'e yükseltilmesiyle yangın direncininin 133 dakikadan 70 dakikaya düştüğü rapor edilmiştir. Çalışma neticesinde yük seviyesinin kolonun yangın direnci üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve bu etkinin daha büyük çapa sahip kolonlarda nispeten daha fazla gözlemlendiği belirtilmektedir. Benzer şekilde, Romero vd. (2011) de, normal ve yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilen BDÇT kolonlar üzerinde yangın direnci deneyleri gerçekleştirmişler. Yük seviyesi arttıkça hem normal hem de yüksek dayanımlı beton ile üretilen BDÇT kolonların yangın direncininin azaldığını gözlemlemişler. Çalışmada %20, %40 ve %60 yük seviyeleriyle yapılan testler sonucunda, %40 ve %60 yük seviyelerinde 30 dakikadan az, %20 yük seviyesinde 30 dakikanın üzerinde yangın direnci süresi elde ettiklerini bildirmişler. Ayrıca, Han vd. (2013), standart yangın testi koşulları altında eksenel yüke tabi tutulan beş adet kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonun davranışını incelemişler. Bu çalışma neticesinde, yük seviyesinin BDÇT kolonların yangın direncini etkileyen önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir. Çalışma sırasında yük seviyesi 0.3'ten 0.6'ya yükseltilmesiyle, yangın direncininin yaklaşık %70-75 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Benzer şekilde, Wang ve Young (2013), bir çalışmada çeliğin mukavemetinin BDÇT kolonların yangın direnci üzerine etkisini incelemişler. Şekil 11'de gösterildiği gibi yük seviyesi arttıkça kolonların yangın direncininin azaldığı bildirilmiştir. Aynı boyutlara ve malzemelere sahip, beton dayanımı 30 MPa olan iki kolonun (kolon A) yük seviyesi 0.3'ten 0.5'e yükseltildiğinde yangın direncininin 151 dakikadan 54 dakikaya düştüğü rapor edilmiştir. Aynı şekilde aynı boyutlara ve malzemelere sahip, beton dayanımı 50 MPa olan kolonun (kolon B) yük seviyesi 0.3'ten 0.5'e yükseltildiğinde yangın direncininin 227 dakikadan 128 dakikaya düştüğü belirtilmiştir. Lu vd. (2009), standart yangına maruz kalan, yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton dolgulu çelik tüp kolonların davranışına ilişkin bir araştırma gerçekleştirmişler. Bu çalışma kapsamındaki aynı kesit boyutuna sahip iki kolona ait sonuçlar incelendiğinde yük seviyesi 0.17'den 0.44'e yükseltildiğinde yangın direncininin 90 dakika civarından 26 dakikaya düştüğü görülmektedir. BDÇT kolonlarının yangın direncini etkileyen en önemli faktörlerden birinin yük seviyesi olduğu ve yangın direncininin genellikle yük seviyesinin artmasıyla azaldığı bildirilmektedir.



Şekil 11. Yük Oranının Yangın Direncine Etkisi (Wang ve Young, 2013)

Eksantriklik

Yalın BDÇT kolonların yangın direnci üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu kolonların eksantrik yüklemeye oldukça etkilendiği görülmektedir. Diğer tüm parametreler aynı iken, yüklemeye oluşan veya artan eksantriklik ile birlikte yangın direncinde büyük azalmalar meydana gelmektedir (Espinosa vd., 2015; Moliner vd., 2013). Lie ve Chabot (1992), kare ve dairesel kesitli yalın BDÇT kolonların yangın direncini belirlemek için yaptıkları deneysel çalışmada incelenen parametrelerden biri de yüklemeye eksantriklikti. Çalışma kapsamında, bir BDÇT kolon numunesine eksantrik yük uygulanmış ve eksantrik yüklemenin, BDÇT kolonların yangın direncini önemli bir seviyede etkilediği sonucuna varılmıştır. Eksenel yük uygulanması durumunda elde edilen 73 dakikalık yangın direncinin, yükün eksantrik olması durumunda 33 dakikaya düştüğü bildirilmiştir. Öte taraftan, Lu vd. (2009), standart yangına maruz kalan yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton dolgu çelik tüp kolonların davranışına ilişkin yaptıkları bir araştırma sonucunda, Lie ve Chabot (1992) ile ters düşen bir tespitte bulunmuşlar. Eksantrikliğin BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde etkisinin çok az olduğunu bildirmişler. Kodur ve Lie (1995) ise, çelik lifli BDÇT kolonların yangın direncini inceledikleri bir çalışmada eksenel yüke maruz bırakılan 5 ve eksantrik yüklü 1 adet BDÇT kolonu test etmişler. Çalışma sonucunda eksenel yüke maruz bırakılan beş BDÇT kolonun kırılma modunun basınç kırılması olduğu, eksantrik yüklü BDÇT kolonun ise burkulma kırılması modunda kırıldığı rapor edilmiştir. Benzer şekilde, Ukanwa vd. (2017), eksantrik yüklü, kare BDÇT kolonların yangın direnci üzerine yaptığı çalışmada eksantriklik seviyesinin artmasıyla yangın direnci süresinin azaldığı sonucu rapor edilmiştir.

BDÇT KOLONLARIN YANGIN DİRENCİNİ ÖNGÖRMEK İÇİN KULLANILAN STANDARTLAR

BDÇT kolonların yangın direncini öngören tasarım yaklaşımları için literatürde birtakım çalışmalar mevcuttur (Aribert vd., 2008; Wang & Orton, 2008; Kodur, 2007; Lennon vd., 2007; CEN, 2005). Bu yaklaşımlardan en çok kullanılanlar ise Eurocode 4 (CEN 2005) tarafından önerilen ve Kodur (2007) tarafından geliştirilen tasarım yaklaşımlarıdır (Rush vd., 2012).

Eurocode 4 (EC4), kompozit kolonların tasarımı için en çok dikkate alınan uluslararası standarttır (Espinosa vd., 2012). Bu standart, kompozit kolonların yangın direnci tasarımı için tablolandırılmış yöntem, basit hesaplama modelleri ve gelişmiş hesaplama modelleri olmak üzere üç alternatif yaklaşım sunmaktadır (Ukanwa vd., 2017). Tablolandırılmış yöntem, belirli bir yük seviyesi altında yangın direncini belirlemek için minimum kesit boyutu ve donatı oranı bilgisini içeren bir yöntemdir (Ribeiro vd., 2008). Bu yöntem EC4 (2005) yöntemleri arasında en basit yöntemdir. Ancak bu yöntemin uygulanabilirliği oldukça kısıtlıdır (Rush vd., 2012). İkinci yaklaşım, en yaygın olanıdır ve kompozit kolonların yangın direncini hesaplamak için elastik burkulma teorisine dayalı bir yöntem sunmaktadır. Korunmasız beton dolgu içi boş kolonlar için özel bir yöntem de aynı yönetmeliğin H ekinde verilmektedir (Espinosa vd., 2012). H ekinin karmaşıklığı ve narin kolonlar için güvenli olmayan sonuçlar verdiği birçok çalışmada kanıtlandığından, beton dolgu içi boş kolonlar için de tüm kompozit kolonları içeren ikinci yaklaşımın ilkelerini takip etmek araştırmacılar tarafından daha çok tercih edilen bir yol olmuştur (Leskela, 2009;

Aribert vd., 2008; Wang & Orton, 2008; Wang, 2000; Wang, 1997). Üçüncü yöntem elemanın gerçekçi yangın davranışını simüle edebilen sonlu elemanlar yöntemine dayanır. Bu yöntem kolonun davranışının daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar ancak genellikle uygulayıcıların erişiminin dışındadır. Bu nedenle yalnızca çok özel tasarım durumlarına uygulanır (Espinosa vd., 2012; Rush vd., 2012).

Öte taraftan, Kodur (2007) kare ve dairesel kesitli BDÇT kolonların yangın direncini etkileyen ana parametreleri içeren tek bir tasarım denklemi sunmuştur. Bu denklemde BDÇT kolonların yangın direnci; betonun basınç dayanımı, kolonun etkin boyu, kolonun çapı (veya eni), uygulanan yük ve bir katsayıya bağlı bir formül ile ifade edilmiştir. Bu yöntem kolonun şekli, dolgu tipi, kolondaki donatı oranına ve agrega tipi gibi parametrelere göre BDÇT kolonların yangın direncini doğrudan hesaplar (Rush vd., 2012).

Romero vd. (2011), normal ve yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlanan BDÇT kolonlar üzerinde yangın direnci deneyleri gerçekleştirmişler. Bu amaçla beton dayanımı 30 MPa ve 80 MPa olan kolonlar test edilmiştir. Çalışma sonuçları EC4'te (2005) önerilen yöntemle belirlenen yangın dirençleri ile kıyaslanmış ancak EC4 (2005) hesaplama modelinin uygulama alanının C20/25 ve C50/60 sınıfı betonlar arasında sınırlı olduğu, bu nedenle çalışmadaki yüksek dayanımlı beton numunelerinin modelin uygulama alanı dışında kaldığı belirtilmiştir. EC4 (2005) tasarım modelinde bazı eksiklikler olduğu, tüm kompozit kolonları içeren ikinci yaklaşımın genel ilkelerin takip edilmesinin daha uygun olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, ısı gerilmelerinin etkisini hesaba katan indirgeme katsayılarının da EC4'te (2005) verilmediği belirtilmektedir.

Han vd. (2013) standart yangın testi koşulları altında eksenel yüke tabi tutulan beş dairesel ve kare kesitli BDÇT kolonun davranışını incelemiş olup çalışma kapsamında, BDÇT kolonların üretiminde paslanmaz çelik kullanmış ve sonuçları üç farklı yangın direnci tasarım yaklaşımı ile kıyaslamışlar. EC4'te test edilen bir numune için tahmin edilen yangın direnci değerlerinin yer almadığı, bir numunenin de kesit boyutlarının bu standartta karşılığının olmadığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda yangın dirençlerinin kıyaslandığı üç yaklaşımdan da daha yüksek sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir. Bir numunenin yangın direnci, EC4 (2005) tarafından önerilen ve Kodur (2007) tarafından geliştirilen modellere göre 75 dakika olarak tahmin edilirken deney sonucunda 148 dakika olarak tespit edilmiştir.

SONUÇ

BDÇT kolonların yangın direncinin tahmin edilmesi birçok parametreye dayanan karmaşık bir olaydır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde malzeme ve boyut özelliklerinin BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde etkili olduğu açıkça görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde en etkili parametrelerden birinin dolgu tipi olduğu anlaşılmıştır. Kesit türünün etkisine bakıldığında ise en yüksek yangın direncinin sırasıyla dairesel kesitli, eliptik kesitli, kare kesitli ve dikdörtgen kesitli kolonlarda elde edildiği sonucuna varılmıştır. Kesit alanının büyümesi (çapı veya eninin artması) ile yangın direncinde olumlu gelişmeler görülmüştür. Kesit alanının ve beton dayanımının BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde çelik dayanımına kıyasla önemli ölçüde etkisi olduğu anlaşılmıştır. Çelik dayanımı arttıkça BDÇT kolonların yangın direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Beton dayanımının etkisi üzerine ise farklı sonuçlar elde edilmiş olup, bazı çalışmalarda beton dayanımının artmasıyla yangın direncinin arttığı, bazılarında ise azaldığı rapor edilmiştir. Çelik tüp kalınlığının önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde karbonatlı agrega içeren kolonun silikalı agrega içeren kolonun yangın direncinden biraz daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Yük seviyesinin ise BDÇT kolonların yangın direnci üzerinde ters orantılı şekilde oldukça etkili bir parametre olduğu çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir. Eksantrik yüklemenin etkisine bakıldığında da benzer şekilde yüklemeye oluşan veya artan eksantrite ile birlikte yangın direncinde büyük azalmalar meydana geldiği anlaşılmıştır.

Bu parametrelerin etkileri ve etki derecelerinin bilinmesi BDÇT kolonların yangın direncini tahmin eden tasarım modelleri geliştirmek için gereklidir. Uygun şekilde doğrulanmış bir model, çeşitli kolon parametreleri üzerinde parametrik çalışmalar yapılmasını ve çok sayıda numuneyi test etmeye gerek kalmadan kolon tasarımı için basit analitik formüller ve prosedürler geliştirilmesini kolaylaştırır. BDÇT kolonlar gibi yapı elemanlarının, modern yapının yük taşıma sistemini oluşturması ve yangın dirençleri hakkında bilgi birikiminin henüz yeterli olmaması nedeniyle doğruluğu yüksek tasarım modellerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Alhatmey, I. A. H. (2020). Residual Strength Capacity of Fire-Exposed Concrete Filled Steel Tube Columns. Doctoral Thesis. Gaziantep University, Institute of Natural and Applied Science, Gaziantep.
- Aribert, J.M., Renaud, C., & Zhao, B. (2008). Simplified Fire Design for Composite Hollow-Section Columns. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings. (161(6), pp. 325-336).
- CEN (2005). BS EN 1994-1-2, Eurocode 4 Design of Composite Steel and Concrete Structures Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design. Brussels, Belgium.
- Chung, K., Park, S., & Choi, S. (2008). Material Effect for Predicting the Fire Resistance of Concrete-Filled Square Steel Tube Column Under Constant Axial Load. *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (12), 1505–1515. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.01.002>
- Dai, X. H., & Lam, D. (2012). Shape Effect on the Behaviour of Axially Loaded Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns at Elevated Temperature. *Journal of Constructional Steel Research*, 73, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.02.002>
- Ekmekyapar, T., & Alhatmey, I. A. H. (2019). Post-Fire Resistance of Internally Ring Stiffened High Performance Concrete Filled Steel Tube Columns. *Engineering Structures*, 183, 375-388. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.024>
- Espinos, A., Romero, M. L., Serra, E., Hospitaler, A. (2015). Circular and Square Slender Concrete-Filled Tubular Columns Under Large Eccentricities and Fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 110, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.03.011>
- Espinos, A., Romero, M. L., & Hospitaler, A. (2012). Simple Calculation Model for Evaluating the Fire Resistance of Unreinforced Concrete Filled Tubular Columns. *Engineering Structures*, 42, 231-244. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.04.022>
- Etlı, S. (2021). Analytical Evaluation of Behavior of Composite Columns Under Axial Load. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3), 526-536. <https://doi.org/10.29132/ijpas.991166>
- Etlı, S., & Güneyisi, E. M. (2022a). Effect of Using Eccentric Braces with Different Link Lengths on the Seismic Demand of CFST Column-Composite Beam Frames Subjected to Near-Field and Far-Field Earthquakes. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00994-8>
- Etlı, S., & Güneyisi, E. M. (2022b). Effect of nonlinear modeling approaches used for composite elements on seismic behavior of composite framed buildings. *Sadhana*, 47, 91. <https://doi.org/10.1007/s12046-022-01871-w>
- Güneyisi, E. M., Gültekin, A., & Mermerdaş, K. (2016). Ultimate Capacity Prediction of Axially Loaded CFST Short Columns. *International Journal of Steel Structures*, 16 (1), 99-114. <https://doi.org/10.1007/s13296-016-3009-9>
- Han, L. H., Chen, F., Liao, F. Y., Tao, Z., & Uy, B. (2013). Fire Performance of Concrete Filled Stainless Steel Tubular Columns. *Engineering Structures*, 56, 165-181. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.05.005>
- ISO 834 (1975). Fire-Resistance Tests-Elements of Building Construction, International Standard ISO 834, Geneva.
- İpek, S., Güneyisi, E. M., Mermerdaş, K., & Algm, Z. (2021). Optimization and Modeling of Axial Strength of Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular Columns Using Response Surface and Neural-Network Methods. *Journal of Building Engineering*, 43, 103128. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103128>

- İpek, S., & Güneyisi, E. M. (2020). Nonlinear Finite Element Analysis of Double Skin Composite Columns Subjected to Axial Loading. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20 (1), 1-25. <https://doi.org/10.1007/s43452-020-0012-x>
- İpek, S., & Güneyisi, E. M. (2019). Ultimate Axial Strength of Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular Column Sections. *Advances in Civil Engineering*, 219 (11), 1-19. 6493037. <https://doi.org/10.1155/2019/6493037>
- Kalemi, B. (2016). Numerical Modeling and Assessment of Circular Concrete-Filled Steel Tubular Members. Master in Science Thesis, Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia.
- Kodur, V. K. R. (2007). Guidelines for Fire Resistant Design of Concrete-Filled Steel HSS Columns - State-of-the-Art and Research Needs. *Steel Structures*, 7, 173-182.
- Kodur, V. K. R. (1999). Performance-Based Fire Resistance Design of Concrete-Filled Steel Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 51 (1), 21-36. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(99\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(99)00003-6)
- Kodur, V. K. R. (1998). Design Equations for Evaluating Fire Resistance of SFRC-Filled HSS Columns. *Journal of Structural Engineering*, 124 (6), 671-677. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1998\)124:6\(671\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:6(671))
- Kodur, V. K. R., & Lie, T. T. (1995). Experimental Studies on the Fire Resistance of Circular Hollow Steel Columns Filled with Steel-Fibre-Reinforced Concrete (Internal Report No. 691). Canada: NRC-IRC.
- Lennon, T., Moore, D.B., Wang, Y.C. & Bailey, C.G. (2007). Designers' Guides to the Eurocodes. London: Thomas Telford Publishing.
- Leskela, M. V. (2009). Inconsistencies in the Fire Design Rules of Composite Columns to EN 1994-1-2. *Steel Concrete Composite and Hybrid Structures*, 489-494. Leeds, England.
- Lie, T. T., & Chabot, M. (1992). Experimental Studies on the Fire Resistance of Hollow Steel Columns Filled with Plain Concrete (Internal Report No. 611). Canada: NRC-IRC.
- Lie, T. T., & Caron, S. E. (1988). Fire Resistance of Circular Hollow Steel Columns Filled with Siliceous Aggregate Concrete. (Test Results, Internal Report No. 570). Canada: NRC-IRC.
- Lu, H., Zhao, X. L., & Han, L. H. (2009). Fire Behaviour of High Strength Self-Consolidating Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 1995-2010. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.06.013>
- Mao, W. J., Wang, W. D., & Xian, W. (2020). Numerical Analysis on Fire Performance of Steel-Reinforced Concrete-Filled Steel Tubular Columns with Square Cross-Section. *Structures*, 28, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.043>
- Moliner, V., Espinos, A., Romero, M.L., & Hospitaler, A. (2013). Fire Behavior of Eccentrically Loaded Slender High Strength Concrete-Filled Tubular Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 83, 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.01.011>
- Ribeiro, J. C. L., Fakury R. H., & de Las Casas, E. B. (2008). Eurocode Structural Fire Design and its Application for Composite Circular Hollow Section Columns. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*, 30 (1), 39-46. <https://doi.org/10.1590/S1678-58782008000100006>
- Rodrigues, J. P. C., & Laim, L. (2017). Fire Resistance of Restrained Composite Columns Made of Concrete Filled Hollow Sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.02.011>

- Romero, M. L., Moliner, V., Espinos, A., Ibanez, C., Hospitaler, A. (2011). Fire Behavior of Axially Loaded Slender High Strength Concrete-Filled Tubular Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 67, 1953-1965. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.06.012>
- Rush, D., Bisby, L., Jowsey, A., Melandinos, A., & Lane, B. (2012). Structural Performance of Unprotected Concrete-Filled Steel Hollow Sections in Fire: A Review and Meta-Analysis of Available Test Data. *Steel and Composite Structures*, 12 (4), 325–350. <https://doi.org/10.12989/scs.2012.12.4.325>
- Sancioğlu, S., İlgün, A., Çarbaş, S., & Akın, K. (2019). Beton Dolgulu Çelik Kirişlerin Eğilme Etkisinin Analitik Olarak İncelenmesi. 8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu (pp. 416-421).
- Sancioğlu, S. (2020). Beton Dolgulu Çelik Kirişlerin Eğilme Etkisinin Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Tao, Z. Ghannam, M., Song, T.Y., & Han, L. H. (2016). Experimental and Numerical Investigation of Concrete-Filled Stainless Steel Columns Exposed to Fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 118, 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.11.003>
- Tondini, N., Hoang, V.L., Demonceau, J.F., & Franssen, J. M. (2013). Experimental and Numerical Investigation of High-Strength Steel Circular Columns Subjected to Fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 80, 57–81. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.09.001>
- Ukanwa, K. U., Lim, J. B. P., Sharma, U. K., Hicks, S. J., Abu, A., & Clifton, G. C. (2017). Behaviour of Continuous Concrete Filled Steel Tubular Columns Loaded Eccentrically in Fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 139, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.09.030>
- Wang J. H., He, J., & Xiao, Y. (2019). Fire Behavior and Performance of Concrete-Filled Steel Tubular Columns: Review and Discussion. *Journal of Constructional Steel Research*, 157, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.02.012>
- Wang K., & Young, B. (2013). Fire Resistance of Concrete-Filled High Strength Steel Tubular Columns. *Thin-Walled Structures*, 71, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2013.05.005>
- Wang, Y.C., & Orton, A. (2008). Fire Resistant Design of Concrete Filled Tubular Steel Columns. *The Structural Engineer*, 86 (19), 40-45.
- Wang, Y. C. (2000). A Simple Method for Calculating the Fire Resistance of Concrete-Filled CHS Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 54 (3), 365-386. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(99\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(99)00061-9)
- Wang, Y. C. (1997). Some Considerations in the Design of Unprotected Concrete-Filled Steel Tubular Columns Under Fire Conditions. *Journal of Constructional Steel Research*, 44 (3), 203-223. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(97\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(97)00060-6)
- Xiong, M. X., & Liew, J. Y. R. (2021). Fire Resistance of High-Strength Steel Tubes Infilled with Ultra-High-Strength Concrete Under Compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 176, 106410. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106410>
- Yao, Y., Li, H., Guo, H., & Tan, K. (2016). Fire Resistance of Eccentrically Loaded Slender Concrete Filled Steel Tubular Columns. *Thin-Walled Structures*, 106, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2016.04.025>
- Yin, J., Zha, X. X., & Li, L.Y. (2006). Fire Resistance of Axially Loaded Concrete Filled Steel Tube Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 723–729. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.11.011>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 16.11.2022
Kabul Tarihi : 29.11.2022

Received Date : 16.11.2022
Accepted Date : 29.11.2022

OBSTRÜKTİF UYKU APNESİ TESPİTİNDE POLİSOMNOGRAFİYE ALTERNATİF YENİ YÖNTEMLER

NEW ALTERNATIVE METHODS TO POLYSOMNOGRAPHY IN THE DETECTION OF OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA

İsrafil KARADÖL¹ (ORCID: 0000-0002-9239-0565)

¹Kilis 7Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik Ve Enerji Bölümü, Kilis, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İsrafil KARADÖL, israfilkaradol@kilis.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak ortaya çıkan aşırı kilo ve obeziteden dolayı obstrüktif uyku apnesinin yaygınlaştığı tahmin edilmektedir. Yaygınlaşan bu hastalığın tespit edilmemesi sonucunda felç, diyabet, kardiyovasküler bozukluk, sinir sistemi hastalıkları ve uykusuzluğa bağlı iş kazaları görülmektedir. Obstrüktif uyku apnesi teşhisinde kullanılan altın standart yöntem; uyku kliniklerinde yapılan polisomnografi testleridir. Polisomnografi testinde, kişi bir gece hastanede misafir edilerek fizyolojik sinyalleri izlenmektedir. Fakat bu süreç, maliyetli ve toplumun geneli için erişilebilir değildir. Bu çalışmanın amacı, polisomnografi testine alternatif olarak geliştirilen yeni yöntemleri incelenmek ve bu yöntemlerin performanslarını değerlendirmektir. Yapılan inceleme ve değerlendirme sonucunda bir veya birkaç fizyolojik sinyal ile obstrüktif uyku apnenin tespit edilebileceği görülmüştür. Bu yöntemler hastaya temas gerektiren ve gerektirmeyen olarak sınıflandırılarak detaylı incelenmiştir. Sonuç olarak, obstrüktif uyku apne teşhisi için yapılan makaleleri mühendislik temelli değerlendirdiğimizde makine öğrenmesine dayalı derin öğrenmenin ön plana çıktığı görülmüştür. Ayrıca obstrüktif uyku apne tespiti için kullanılan diğer yöntemlere kıyasla, hastaya temas gerektirmeyen yöntemlerin yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: obstrüktif uyku apnesi, polisomnografi, fizyolojik sinyaller, sinyal işleme

ABSTRACT

In recent years, it is estimated that obstructive sleep apnea has become widespread due to excess weight and obesity due to dietary habits. As a result of not detecting this widespread disease, stroke, diabetes, cardiovascular disorder, nervous system diseases and work accidents due to insomnia are observed. The gold standard method used in the diagnosis of obstructive sleep apnea; are polysomnography tests performed in sleep clinics. In the polysomnography test, the person is kept in the hospital for one night and their physiological signals are monitored. But this process is costly and not accessible to the general public. The aim of this study is to investigate the new methods developed as an alternative to the polysomnography test and to evaluate the performance of these methods. As a result of the investigation and evaluation, it has been seen that obstructive sleep apnea can be detected with one or more physiological signals. These methods have been examined in detail by classifying them as requiring or not requiring patient contact. As a result, when we evaluated the articles for the diagnosis of obstructive sleep apnea on an engineering basis, it was seen that deep learning based on machine learning came to the fore. In addition, it was concluded that methods that do not require patient contact are inadequate compared to other methods used to detect obstructive sleep apnea.

Keywords: obstructive sleep apnea, polysomnography, physiological signals, signal processing

GİRİŞ

Gelişmiş toplumların en önemli özelliklerinden biriside iyi yetişmiş ve sağlıklı bireylerden oluşmasıdır. Bu toplumların birey sağlığına verdikleri önemden dolayı tıbbi teknolojiler öncelikli yatırım alanlarından birisidir. Tıbbi teknolojiler, birçok hastalığın tedavisinde ve teşhisinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu alanda, tıbbi görüntüleme ve sinyal işleme büyük öneme sahiptir(Uçar, 2017). Tıbbi görüntüleme teknolojileri, sinyal işleme teknolojilerine göre basit yapıdadır. Fakat sinyal işleme teknolojileri karmaşık bir yapıya sahiptir bu nedenle genellikle matematiksel modeller kullanılarak teşhisler yapılmaktadır.

Uyku doğal bir dinlenme yöntemi olup insan yaşamının yaklaşık 1/3'ünü kapsamaktadır. Dolayısıyla uyku sırasında yaşanan sorunlar insan hayatını olumsuz yönde etkilemektedir(Dursunoğlu & Dursunoğlu, 2010). Uyku bozuklukları, Uluslararası Uyku Bozuklukları Sınıflandırması (International Classification of Sleep Disorders) tarafından, 7 farklı kategoriye ayrılmıştır(Mendonça et al., 2019). Uyku sırasında meydana gelen solunum bozuklukları, uyku bozukluğu hastalıkları içerisinde en yoğun görülen türdür. Uyku ile ilişkili solunum bozuklukları; obstrüktif (tıkayıcı) uyku apnesi, hipopne, santral (merkezi) uyku apnesi ve mikst uyku apnesidir. (Mendonça et al., 2019). Obstrüktif uyku apnesi; uyku sırasında ağız ve burun bölgesindeki dokuların sarkarak 10 saniye boyunca solunum yollarının kapanması olarak tanımlanmaktadır. Hipopne ise uyku sırasında ağız ve burun bölgesindeki dokuların sarkarak 10 saniye ve daha fazla süreyle, hava akışındaki %50'den daha azalma olarak tanımlanmaktadır(Gürüler, 2012). Santral uyku apnesi; beyin tarafından otomatik olarak kontrol edilen kas hareketlerinin (göğüs kafesi ve diyafram) durması veya yavaşlaması sonucundaki yetersiz solunum olarak tanımlanmaktadır(Geçkil, 2022). Mikst uyku apnesi; santral uyku apnesi ile başlayarak obstrüktif uyku apnesi ile devam eden apne çeşididir(Karamustafaoğlu, Akan & Saatçi, 2014). Uykudaki solunum bozuklukları arasında en sık karşılaşılan apne çeşidi, obstrüktif uyku apne (OUA)'dır.

Uyku esnasındaki solunum bozukluğunun şiddeti, uyku saati başına ortalama obstrüktif apne ve hipopne sayısı olarak hesaplanan Apne-Hipopne İndeksi (AHİ) ile belirlenmektedir. Eğer saatteki apne sayısı $5 < AHİ < 15$ hafif, $15 < AHİ < 30$ orta ve $30 < AHİ$ ise şiddetli OUA olarak tanımlanmaktadır(Leppänen et al., 2017; Senaratna et al., 2017). Bir hastanın OUA olarak tanımlanabilmesi için AHİ indeksi orta veya şiddetli gurubunda yer almalıdır. OUA'nın, cinsiyete göre görülme sıklığı incelendiğinde erkeklerde yaş guruplarına göre 30-49 ve 50-70 aralıklarında sırasıyla %10 ve %17'dir(Leppänen et al., 2017; Senaratna et al., 2017). Kadınlarda ise OUA'nın görülme sıklığı 30-49 yaş arasında %3, 50-70 yaş arasında ise %9'dur. Bu sonuçlara göre hastalığın erkeklerde görülme ihtimali daha yüksektir. OUA'nın en genel belirtileri uyku sırasında horlama ve solunum tıkanmasına bağlı sık uyanmalar olarak gösterilmektedir(Yıldız, 2021). OUA hastalarının kaliteli bir uyku geçirmemeleri hem psikolojik hem de fiziksel olarak kişilerin günlük hayatını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu hastalar da zamanla kalp ile ilgili problemler ortaya çıkmakta ve hatta uyku sırasında ölümler görülebilmektedir.

OUA tespitinde kullanılan altın standart yöntem olarak polisomnografi kabul edilmektedir. Polisomnografide gece boyunca hastaların nefes hava akışı, solunum hareketleri (göğüs kafesi ve diyafram hareketleri), horlama ses sinyalleri, oksijen doygunluğunu (SpO₂), elektroensefalogramı (EEG), elektrookülogramı (EOG), elektromiyografisi (EMG), elektrokardiyogramı (EKG) ve vücut pozisyonları kayıt altına alınmaktadır. Kayıt altına alınan bu veriler önceleri uyku konusunda uzmanlaşmış doktorlar tarafından yorumlanarak teşhisler koyulmaktaydı. Fakat son yıllarda tıp elektroniği alanındaki birçok gelişme meydana gelmiştir. Polisomnografi verileri, sinyal işleme ve yapay zeka metotları kullanılarak OUA hastalarına otomatik teşhis koyulmaktadır(Nguyen et al., 2022).

Polisomnografi test sonuçlarının son teknolojiler sistemler ile yorumlanması ve teşhis edilmesi doktorlar açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Fakat aynı teknolojik gelişmeler polisomnografi testlerine giren kişilere çok fazla kolaylık getirmemiştir. Çünkü bu testlere giren kişiler gece boyunca hastane ortamında uyumak zorundadır. Ayrıca uyumadan önce teste giren kişilerin fizyolojik ölçümlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla vücuduna birçok kablo bağlantısı yapılmaktadır. Bu durumlardan dolayı kişiler uyumakta zorluk çekmekte ve bazı durumlarda polisomnografi testinin tekrar edilmesi gerekmektedir. Bu test sürecinin sürekli olarak bir teknisyen tarafından gözlem gerektirmesi süreci pahalı kılmaktadır. Ayrıca tüm hastalara yetecek kadar yeterli klinik bulunmaması hastaların uzun süreler beklemesine neden olmaktadır. Polisomnografi testlerinin hasta üzerindeki bu dezavantajlarından dolayı son yıllarda daha az fizyolojik parametre ile hastanın kendi kendine evinde rahatça uygulayabileceği yöntemler araştırılmıştır(Kapoor & Greenough, 2015). Araştırmalar sonucunda uyanırken veya

hastaya herhangi bir temas gerektirmeden OUA teşhis edilebileceği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada OUA teşhisi için önerilen yöntemler gözden geçirilerek, başarıları ve uygulama kolaylıkları değerlendirilmiştir.

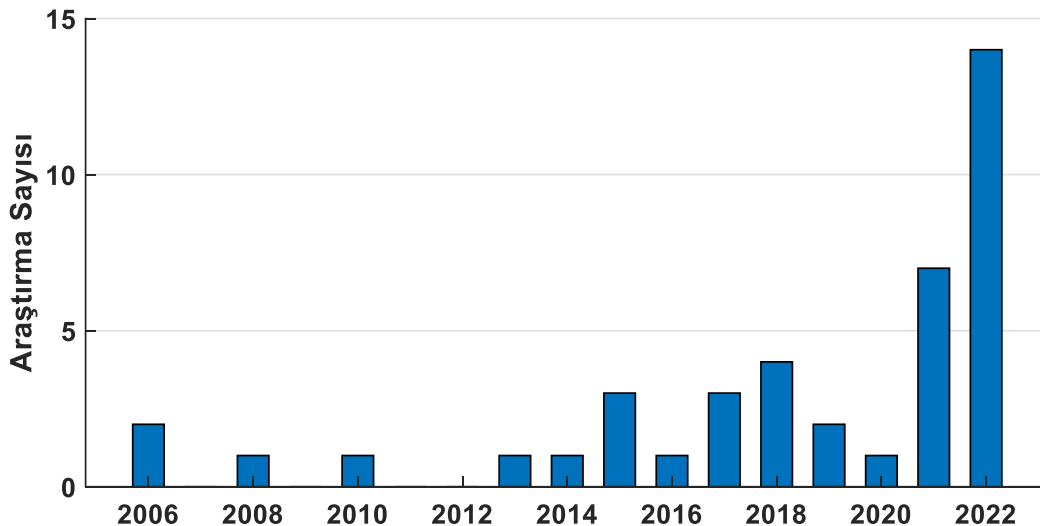
Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde yapılan çalışma hakkında genel bilgilendirme yapılarak yapılan çalışmanın ana hatları ayrıntılı olarak verilmiştir. Metot bölümünde yapılan derleme çalışması için incelenen dergiler ve kullanılan anahtar kelimeler verilmiştir. Hastaya temas gerektiren obstrüktif apne tespit yöntemleri başlığı altında, polisomnografi testlerine alternatif olarak geliştirilen elektrokardiyograma dayalı, oksijen saturasyonuna dayalı, nazal hava akısına dayalı ve diğer yöntemler incelenmiştir. Hastaya temas gerektirmeyen obstrüktif apne tespit yöntemleri başlığı altında mikrofona, video ve kızılötesi algılamaya ve biyo-radara dayalı yöntemler incelenmiş ve performansları değerlendirilmiştir. Sonuç bölümünde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bulgular detaylı olarak yorumlanmış ve OUA tespitindeki literatürdeki son gelişmeler yorumlanmıştır.

METOT

Bu derleme 2006-2023 yılları arasında yayınlanan makaleleri kapsamaktadır. Bu yıllar arasındaki yayın taraması için Web of Science, PubMed, IEEE Explorer, IEEE, ScienceDirect ve çeşitli dergilerde yapılan literatür incelenmiştir. Aramayı yapmak için Google Akademikte kullanılan anahtar kelimeler “obstrüktif uyku apnesi”, “elektrokardiyogram ile obstrüktif uyku apnesi”, “oksijen saturasyonu ile obstrüktif uyku apnesi”, “nazal hava akışı ile obstrüktif uyku apnesi”, “obstrüktif uyku apnesi teşhisi”, “ses ile obstrüktif uyku apnesi”, “video ile obstrüktif uyku apnesi”, “kızılötesi ile obstrüktif uyku apnesi” ve “radar ile obstrüktif uyku apnesi”dir. Anahtar kelimelere göre bulunan bu makalelerin, tam makale incelemesi için uygun olanları seçmek amacıyla makale başlıkları ve özetleri tarandı. Daha sonra polisomnografi testleri için yapılan çalışmalar elendi. Kalan toplam 74 orijinal araştırma makalesi bu kriterleri karşıladı ve tam metin olarak detaylı bir şekilde incelendi. Bu kriterlere göre belirlenen makaleler hastaya temas gerektiren ve hastaya temas gerektirmeyen olarak 2 guruba ayrıldı. Hastaya temas gerektiren yöntemler kendi içinde elektrokardiyograma dayalı, oksijen saturasyonuna dayalı, nazal hava akısına dayalı ve diğer yöntemler olarak 4 guruba ayrıldı. Hastaya temas gerektirmeyen yöntemler ise mikrofona, video-kızılötesi algılamaya ve biyo-radara dayalı olmak üzere 3 guruba ayrıldı. Guruplara ayrılan eserlerde kullanılan yöntemler detaylı olarak incelendi ve bu eserlerin OUA belirlemedeki performansları değerlendirildi.

HASTAYA TEMAS GEREKTİREN OBSTRÜKTİF APNE TESPİT YÖNTEMLERİ

İlk olarak literatürdeki çalışmaları değerlendirdiğin de OUA tespiti için polisomnografi testlerinin ev ortamına taşımak istendiği görülmektedir(Kapoor & Greenough, 2015). Fakat Polisomnografi testlerinin sağladığı uyku evrelerinin belirlenmesi ve hastalıkların teşhisinin ev ortamında mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle literatür çalışmaları daha çok polisomnografi terslerindeki bazı fizyolojik özellikleri kullanarak OUA tespitine yönelmişlerdir. Bu alanda 41 tane çalışma yapılmıştır. Yapılan araştırmaların yıllara göre dağılımları Şekil 1’de verilmiştir. Hastaya temas gerektiren çalışmalar elektrokardiyograma dayalı, nabız oksimetresine dayalı, nazal hava akısına dayalı ve diğer yöntemler olarak alt başlıklara ayrılmıştır.



Şekil 1. Hastaya Temas Gerektiren Makalelerin Yıllara Göre Dağılımı

Elektrokardiyograma Dayalı

Literatür taramalarında kardiovasküler parametrelerin kullanılarak daha ucuz ve basit şekillerde OUA tespit edilebileceği görülmüştür. Bu alanda tek girişli EKG sinyali kullanarak makine öğrenmesi yöntemi ile OUA belirlenmesi üzerine birçok çalışma mevcuttur(Bozkurt et al., 2020; Chen et al., 2021, 2022; Li et al., 2018; Sani, 2021; Sharma, Agarwal & Acharya, 2018; Zarei & Asl, 2019). Sürrel vd. (2018), tek kanallı bir EKG kaydı kullanarak 1'er dakikalık aralıklarla otomatik ölçüm yapan elektronik devre tasarlamışlar ve bu tasarımı giyilebilir elbiseye monte etmişlerdir. Yapılan bu tasarım performans açısından değerlendirildiğinde, %88,2 doğruluk, %80,0 duyarlılık ve %93,9 özgüllüğe sahiptir. Lin vd. (2022), OUA algılamak için makine öğrenmesi tabanlı ve EKG sinyallerinden türetilen özellikler çantası (BoF) kullanan bir algoritma önerdi. Bu çalışmada sınıflandırma ve özellik çıkarma için bazı makine öğrenme yaklaşımları kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın 0,1-50 Hz ve 8-50 Hz frekans bantları için doğrulukları sırasıyla %90,5 ve %91,4 olarak hesaplanmıştır. Yeh vd. (2022), EKG sinyalini işleyerek OUA saptamak için tek boyutlu bir CNN modeli önermişlerdir. Önerilen yaklaşım %87,9 doğruluk göstermiştir. Mısra vd. (2022), EKG sinyalini işleyerek OUA saptamak için tek boyutlu bir CNN modelinde 1-D kanal dikkat evrişim sinir ağı tasarımı önerdi. Önerilen modelin OUA tespiti için doğruluğu %93,01, özgüllüğü %93,10 ve duyarlılığı %92,93'tür. Li vd. (2018), tek uçlu bir EKG sinyali kullanarak OUA'yı tespit etmek için derin öğrenme sinir ağı ve gizli markov modelini kullanan hibrit bir yöntem önerdi. Önerilen yöntem, segment başına OUA tespiti için %85 doğruluk ve duyarlılık için %88,9 göstermiştir. Sheta vd. (2021), derin öğrenme ve makine öğrenmesi kullanarak tek girişli EKG sinyali ile OUA tespiti üzerine yeni bir yaklaşım önerdi. Önerilen metodun OUA belirlemede %86,25 doğruluk elde edilmiştir. Cao ve Lv (2022), tek girişli EKG sinyali ile tek boyutlu çok görevli öznelik füzyon evrişimli sinir ağına dayalı bir OUA algılama yöntemi önerdi. Önerilen yöntemin doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla %91,93, %90,32 ve %91,63 hesaplanmıştır.

Nabız Oksimetresine Dayalı

Bireylerin solunumunda görülen ani değişimler, doğrudan kalp ve damar sisteminde takip edilebilecek değişimler oluşturmaktadır. Kalp ve damar sistemindeki bu değişimler yaygın olarak nabız oksimetresi ile takip edilmektedir. Nabız oksimetresi, parmağa yerleştirilen bir sensör ile kandaki oksijen saturasyonunu (SpO2) ölçülerek hastanın arteriyel oksijen saturasyonunu analiz etmektedir. OUA tespiti amacıyla bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır(Hairston, 2017; Sharma, Kumbhani, Tiwari, et al., 2022; Sharma, Kumbhani, Yadav, et al., 2022). Vaquerizo-Villar vd. (2022), nabız oksimetre sinyalleriyle beslenen CNN tabanlı bir derin öğrenme modeli önerdi. Önerilen modelin doğruluk performansı %83,1'dir. Literatürde Makine öğrenmesi tabanlı benzer çalışmalar mevcuttur(Gutiérrez-Tobal et al., 2021; Leino et al., 2021; Paul et al., 2022; Vaquerizo-Villar et al., 2021). Zhu vd. (2022), elektrokardiyogram ve kan oksijen saturasyon sinyallerindeki apne olaylarını belirlemek amacıyla çapraz doğrulama algoritması ve rastgele orman sınıflandırıcısı ile öz yinelenmeli öznelik eleme yöntemi önerdi. Önerilen metod, OUA teşhisinde %97,5 doğruluk, %95,9 duyarlılık, %98,4 özgüllük göstermiştir. Jiménez-García vd. (2022), OUA tespiti için hava akımı ve oksimetre sinyallerini kullanan 2 boyutlu CNN derin öğrenme algoritması önerdi. Önerilen metod, OUA teşhisinde %84,10 ile %90,26 arasında doğruluğa sahiptir. Gutiérrez-Tobal vd. (2021), oksimetre sinyallerini kullanarak LSBoost tabanlı bir makine öğrenmesi modeli ile OUA tespiti önerdi. Önerilen modelin hafif, orta ve şiddetli OUA teşhisindeki doğrulukları sırasıyla %87,2-96,6, %81,1-%87,6 ve %91,6-94,6 aralığında değişkenlik göstermiştir.

Nazal Hava Akışına Dayalı

Solunumla ilgili polisomnografi parametrelerinden nazal hava akımı sinyali OUA tespitinde büyük önem arz etmektedir(Ciolek et al., 2015; de Almeida et al., 2006; Gutierrez-Tobal et al., 2016). Bu alanda Jin ve Sanchez-Sinencio (2015), nazal hava akışını ölçmek için dönüştürücü olarak bir mikro-elektro-mekanik sistemli basınç sensörü ile apne algılama algoritmasına dayalı yöntem önerdi. Önerilen yöntem OUA teşhisinde %100'duyarlılık ve %85,9 özgüllük göstermiştir. Yan vd. (2022), nazal hava akımı sinyallerini makine öğrenmesi yöntemleri (karar ağacı, rastgele orman (RF) ve XGBoost) ile sınıflandırarak OUA teşhisini önerdi. Önerilen metod OUA tespitinde %82,76 doğruluk ve %85,97 hassasiyete sahiptir. Kumar vd. (2016), nazal hava akışını ölçmek için dönüştürücü olarak bir mikro-elektro-mekanik sistemli basınç sensör tasarımı önerdi. Önerilen basınç sensörü ile hava akışına göre ileriki çalışmalarda OUA teşhis edilebileceği vurgulanmıştır. Han vd. (2008), OUA olaylarının tespiti için nazal hava akışı sinyalinin 2. türevlerinin ortalama büyüklüğüne bakılan yeni bir algoritma önerdi. Önerilen algoritma 21 PSG test setine uygulanmış ve %92'lik doğruluk performansı göstermiştir. Huang vd. (2017), nazal hava akışı sinyalinin sistematik ve düzensiz gürültüsünü ortadan kaldırmak için kayan pencere ve kısa zaman dilimi yöntemlerini kullanan bir algoritma önerdi. Önerilen algoritma OUA tespitinde %97,6 duyarlılığa sahiptir. Selvaraj ve Narasimhan (2013), nazal hava akımı solunum sinyalinin filtrelenmesine ve istatistiksel dağılımına dayalı

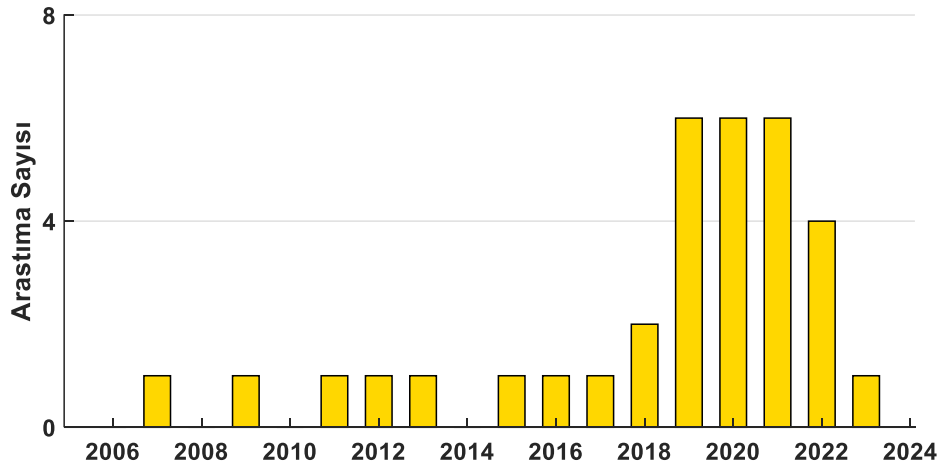
özellikleri çıkaran ve apne olaylarını saniye bazında tespit eden yeni bir algoritma önerdi. Önerilen metottun duyarlılık ve pozitif prediktif değer sırasıyla %83,6 ve %72,3 olarak bulunmuştur. Yue vd. (2021), nazal basınç hava akımı sinyallerini otomatik olarak algılamak için derin öğrenme artık ağ temelinde çok çözünürlüklü artık ağ (Mr-ResNet) adı verilen yeni bir model önerdi. Önerilen modelin duyarlılığı, özgüllüğü ve doğruluğu sırasıyla %90,8, %90,5 ve %91,2 olarak bulunmuştur.

Diğer Yöntemler

Bazı araştırmacılar OUA tespiti için hastaya doğrudan temas gerektirmeyen çeşitli sensörler geliştirmiş ve kullanmışlardır. Mack vd. (2006), balistokardiyografiye (BCG) dayalı fizyolojik sinyallerin analizi için solunum süreciyle ilgili vücut hareketini tespit eden invazif olmayan bir sistem önerdi. Önerilen bu sistem apnelerin saptanmasında %89,2 duyarlılık ve %94,6 özgüllük elde etmiştir. Penzel ve Sabil (2017), trakeal ses sensörleri kullanılarak vücut yüzeyi titreşimleri ile OUA tespiti önerdi. Kalkbrenner vd. (2018), OUA tespiti için trakeal ses ve hareket verilerinin kaydedilmesine dayalı bir sinyal işleme yöntemi önerdi. Önerilen yöntem OUA tespitinde %92,8'lik duyarlılıkta ve %99,7'lik özgüllüktedir. Shin vd. (2010), BCG'ye dayalı bir dengeleme tüpüne sahip bir hava yatağı tasarlamışlar ve her nefes yoğunluğuna göre elde edilen elektriksel sinyali otomatik olarak normal, uyarılma veya apne olarak sınıflandıran bir algoritma önermişlerdir. Önerilen metodun OUA teşhisindeki duyarlılık ve pozitif tahmini sırasıyla %93 ve %88'dir. Hwang vd. (2014), çıkış sinyali solunum fazlarına göre değişen poliviniliden florür film tabanlı sensör bulunduran yatak şiltesi önerdi. OUA'yı saptamak için solunum sinyalinin standart sapmasına göre bir eşik uyguladı. Önerilen yöntem dakika OUA tespiti için ortalama %72,9 duyarlılık, %90,6 özgüllük, %85,5 doğruluğa sahiptir. Nakano vd. (2019), trakeal ses kayıtlarını kullanarak konvolüsyonel katmanlara sahip derin sinir ağı ile OUA sınıflandırılmasını ve tespitini önerdi. Önerilen metodun OUA tespitindeki tanısal duyarlılık ve özgüllüğü sırasıyla %92 ve %76'dır. Moradhasel vd. (2023), derin öğrenme ile ilk defa çene elektromiyogram spektromlarının sınıflandırılması kullanarak OUA teşhis etmeyi önerdi. Önerilen metod %99 doğrulukta sonuçlanmıştır. Shen vd. (2022) tek boyutlu, çok görevli, çok dikkatli artık büzülme evrişim sinir ağı (1D-MMRsNet) modeline ve maliyete duyarlı sınıflandırıcıya dayalı giyilebilir bileklik fotopletizmografi ile OUA tespiti önerdi. Önerilen metodun doğruluk, duyarlılık ve özgüllüğü sırasıyla %95,65, %88,89 ve %97,30 olarak belirlenmiştir.

HASTAYA TEMAS GEREKTİRMEYEN OBSTRÜKTİF APNE TESPİT YÖNTEMLERİ

Polisomnografi klinik uygulamalarında altın standart yöntem olarak kabul edilmektedir (Haidar et al., 2020). Bu teknikte, kalp hızı, solunum, oksijen saturasyonu ve uyku durumu gibi birçok fizyolojik sinyal gece boyunca kaydedilmektedir. Bu yöntemin doğru tanı sağlayabilmesine rağmen kullanımıyla ilgili hala bazı zorluklar mevcuttur (Setiawan & Lin, 2022). Polisomnografi testlerinin, uzun süreli (bir gece) klinik ortamında gerçekleştirilmesi bu terslerin hastalar için erişilebilir olmasını engellemekte ve maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca ölçüm sürecinde çeşitli fizyolojik verilerin toplanması, vücuda birden fazla sensör takılması gerekir, bu da denekler için rahatsızlığa neden olmaktadır. Bu nedenlerden polisomnografi testine alternatif olarak geliştirilen yeni yöntemler araştırılmıştır. Yapılan literatür taramalarında hastaya herhangi bir temas olmadan obstrüktif apnenin tespit edilebileceği görülmüştür. Bu alanda 33 tane çalışma yapılmıştır. Yapılan araştırmaların yıllara göre dağılımları Şekil 2'de verilmiştir. Hastaya temas gerektirmeyen yöntemler; mikrofona, video ve kızılötesi algılamaya ve biyo-radara dayalı olmak üzere 3 alt başlıkta incelenmiştir.



Şekil 2. Hastaya Temas Gerektirmeyen Makalelerin Yıllara Göre Dağılımı

Mikrofona Dayalı Yöntemler

OUA genel olarak horlama ile birlikte görülmektedir. Bu nedenle mikrofona dayalı yöntemler, uyku ile ilgili hastalıkların teşhis ve tedavi takibi için önemli bir yere sahiptir. Kim vd. (2019), uyku sırasında duvara monte edilmiş mikrofona sesleri kaydetmiş ve kaydedilen sesleri lojistik regresyon ile sınıflandırarak OUA tespiti için önerdi. 3 farklı yaş gurubu üzerinde yapılan çalışmanın yaş guruplarına göre ortalama doğruluk, duyarlılık ve özgüllüğü sırasıyla %84, %76 ve %82'dir. Dafna vd. (2013), OUA tespiti için amaçla horlama olan ve horlama olmayan sesleri yoğunlaştırıcı mikrofona kaydedilen sesleri makine öğrenmesi tabanlı AdaBoost ile sınıflandırmayı önerdi. Önerilen metodun horlama olan ve horlama olmayan sesleri sınıflandırmasındaki doğruluk oranı %98,4 olarak elde edilmiştir. Ben-Israel vd. (2012), temassız bir mikrofona kaydedilen horlama sinyallerini gauss karışım modeli kullanarak sınıflandıran horlama analiz algoritması önerildi. Önerilen metod horlama doğruluğu %87 ila %92 arasında değişkenlik göstermiştir. Zhang vd. (2018), temassız mikrofona kaydedilen akutik sesleri makine öğrenme modelinde işleyerek uyku aşamalarını tespit etmek amacıyla spektrogram ve mel-frequency cepstral cofactor öznelik çıkarma yaklaşımlarını kullanmayı önerdi. Önerilen metod OUA tespiti için önemli bir yere sahip olan uyku aşamalarını belirlemede %70,59 doğruluğa ulaşmıştır. Xue vd. (2020), mikrofona kaydedilen akutik sesleri kanonik korelasyon analizi ile Relief-F algoritması kullanarak işlemiş ve makine öğrenme metoduyla (karar ağacı, destek vektör makineleri, K-en yakın komşu ve topluluk sınıflandırıcı kullanarak) uyku aşamalarını tespit etmeyi önermiştir. Önerilen metod uyku aşamalarını belirlemede %75,2 doğruluk performansına sahiptir. Karunajeewa vd. (2011), horlama sesleriyle OUA tespiti için yüksek dereceli istatistiklere dayalı algoritma kullanılarak türetilen horlama parametreleriyle beslenen bir lojistik regresyon modeli önerdi. Önerilen metod, %92,3 doğruluk, %89,3 hassasiyet ile apnesi olan ve olmayan kişileri ayırabilmiştir. Sola-Soler vd. (2007), OUA olan hastaları sınıflandırmak için bir lojistik regresyon modelini önermiş ve önerilen modelde %93'ten daha yüksek bir duyarlılık elde etmiştir. Kang vd. (2018), horlama, apne ve sessizlik olaylarını tespit etmek için doğrusal tahmin kodlama ve mel-frekans cepstral katsayı özelliklerini kullanan hibrit bir sinir ağı önerdi. Önerilen yöntemin doğruluğu; horlama, apne ve sessizlik olaylarının tespiti için sırasıyla %90,65, %90,99 ve %90,30 olarak hesaplanmıştır. Hou vd. (2021), uyku sırasında mikrofona kaydedilen horlama sesini dikdörtgen bant genişliği korelasyon boyutunda değerlendirmeyi önerdi. Önerilen metod OUA şiddet düzeylerinin tanısında %87,5 doğruluk göstermiştir. Ding vd. (2023), horlama seslerini sınıflandırarak, apne-hipopne horlamalarını saptamak için önceden eğitilmiş hibrit VGG19 ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) modeli önerdi. Lui vd. (2022), horlama seslerinin mel-frekans cepstral katsayılarına dayalı akustik özelliklerini çıkardı. Akustik özellikleri çıkarılan seslerin sınıflandırması için makine öğrenmesi temelli en yakın komşu (KNN) metodunu önerdi. Önerilen metod 42 hasta üzerinde denenmiş ve %85,5'lik doğruluk performansı göstermiştir. Lin vd. (2022), OUA tespiti için horlama sesinin mel-filtre bankasında öznelikleri çıkarmayı ve hibrit derin sinir ağı ile sınıflandırmayı önerdi. Önerilen yöntemin OUA tespiti için ortalama sınıflandırma doğruluğu %74,27 olarak hesaplanmıştır.

Şu ana kadar incelenen tüm çalışmalar gece boyunca kaydedilen parametrelerin analizine dayanmıştır. Bu duruma alternatif olarak bazı araştırmacılar solunum sistemiyle eşgüdümlü olarak çalışan ses üretim sisteminin apneden etkilenebileceğini varsayımlardır. Bu amaçla kişi uyanırken alınan ses kayıtlarını incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda; Pozo vd. (2009), konuşma spektrumlarındaki gauss karışım modeli örüntü tanınmasını kullanarak nazal ve nazal olmayan sesli harfleri modelleyerek OUA tespiti için önerdi. Önerilen yöntem şiddetli apne tespitinde %81'lik doğru sınıflandırma performansı göstermiştir. Ruby vd. (2018), OUA tespiti için konuşma seslerini çeşitli sınıflandırıcılar içeren yapay sinir ağına işlemeyi önerdi. Önerilen sistem konuşma sesleriyle OUA teşhiste %76,5 doğruluk performansı göstermiştir. Botelho vd. (2019), konuşma seslerini çeşitli makine öğrenimi algoritmaları ile sınıflandırarak OUA tespiti için önerdi. Önerilen yöntem doğruluğu %75 ile %84,4 arasında değişkenlik göstermiştir. Ding vd. (2021), aynı yöntemle fakat farklı sınıflandırıcılar kullanarak OUA tanımlamada %78 doğruluk elde etmişlerdir. Ruby vd. (2020), Konuşma seslerini lineer bir regresyon kullanarak sınıflandırmayı önerdi. Önerilen yöntem %77,14 doğruluk performansı göstermiştir. Pang vd. (2020), konuşma seslerinden OUA şiddet sınıflandırması için ikinci dereceden diskriminant analizi sınıflandırıcısını önerdi. Önerilen parametrelerle %85 ile %95,4 arası doğruluk performansı göstermiştir.

Video Ve Kızılötesi Algulamaya Dayalı Yöntemler

Solunum aktivitesi, insanlarda sağlık durumunu değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. Solunum hızı (RR) önemli bir yaşamsal işarettir. Normal RR, istirahat halindeki sağlıklı yetişkinlerde 12-20 nefes/dakika arasında değişirken, bu aralığın dışındaki RR, konjestif kalp yetmezliği gibi olaylarla güçlü bir şekilde ilişkilidir (Flenady,

Dwyer & Applegarth, 2017). Ayrıca, solunum aktivitesinin izlenmesi, obstrüktif uyku apnesi teşhis etmek için de kullanılmaktadır. Scebbia vd. (2021), OUA'yı tespit etmek için multispektral kameralar ile RR'yi tahmin etmeyi amaçlayan multispektral veri füzyonuna dayalı yeni bir algoritma önerdi. Önerilen metodun F1 sınıflandırması 0,75 ile 0,86 aralığında değişkenlik göstermiştir. Jayatilaka vd. (2019), video işleme ile bebeklerde uyku apnesini tespit etmek için canny kenar eşik algoritması ile yapay sinir ağı kullanan bir model önerdi. Önerilen metod RR'yi algılamada %86 doğruluğa sahiptir. Lorato vd. (2021), yüz/vücut işaretlerine dayalı olmayan otomatik bir solunum akışı piksel dedektörü ile gabor filtresinin birleştirildiği otomatik OUA teşhis yöntemi önerdi. Önerilen metod OUA algılanmasında %73 hassasiyet göstermiştir. Zhu vd. (2019), kızılötesi videodan çıkarılan solunumla ilgili hareket özelliklerini rastgele orman algoritması ile sınıflandıran bir metod önerdi. Önerilen yöntemin doğruluk ve hassasiyeti sırasıyla %76 ve %80'dir. Akbarian vd. (2020, 2021), OUA teşhisi için kızılötesi videosunu analiz eden, 3B evrişimli sinir ağı (CNN) mimarisine sahip bir derin öğrenme algoritması önerdi. Önerilen metod OUA teşhisi için %86 doğruluk performansı göstermiştir. Zhu vd. (2019), kızılötesi video kayıtlarının hareket analizine dayalı bir algoritma önerdi. Önerilen algoritma, uyuyan her katılımcıda seçilen özellik noktalarının yer değiştirmelerini izlenmesine, ana bileşen analizini kullanarak solunum hızını hesaplanmasına ve bağımsız bileşen analizini kullanarak kalp atış hızının hesaplanmasını olanak sağlamıştır. Önerilen metod solunum hızı tahmininde %89,9 performans göstermiştir. Veauthier vd. (2019), üç boyutlu görsel verileri makine öğrenmesi yaklaşımıyla sınıflandırarak OUA tespit edilmesini önerdi. Önerilen metod OUA tespiti için %90 duyarlılık göstermiştir.

Biyomedikal Radara Dayalı Yöntemler

Biyomedikal radar, yaşamsal belirti algılama uygulamaları için geliştirilmiştir. Bu radarlarla gerçekleştirilen temassız ölçümler, kişileri mevcut uyku izleme cihazlarında kullanılan ek elektrotlardan kurtarır. Ayrıca mikrodalgaların yüksek hassasiyeti ve doğruluğu, uyku sırasında küçük hayati belirtileri ve vücut hareketi değişikliklerini yakalama yeteneğini sağlar. Zhuang vd. (2022), frekans modülasyonlu sürekli dalga radarına dayalı OUA tespit yöntemi önerdi. Önerilen metotta verileri sınıflandırılması için makine öğrenimi yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen metod OUA tespitinde %95,53 doğruluk, %72,60 duyarlılık ve %97,32 özgüllüğe sahiptir. Toften vd. (2021), uyku apnesi olaylarını yapay sinir ağına karışıklık matrisi ile sınıflandırmak için somnofy (radar tabanlı uyku monitörü) ve nabız oksimetresini birleştirmeyi önerdi. Önerilen metod doğrulanmasında 0.81'lik bir Cohen kappa değeri elde edilmiştir. Abdul vd. (2015), 4.2 GHz impulse radyo ultra geniş bant IR-UWB radar sistemi ve lineer diskriminant sınıflandırıcı ile OUA teşhisini önerdi. Önerilen metod apne ve normal dönemlerin tespitinde yaklaşık %70'lik bir doğruluğa sahiptir. Koda vd. (2015), OUA otomatik olarak algılamak için radar verilerine bir destek vektör makinesi algoritması uygulamayı önerdi. Önerilen yaklaşımda %79.5 doğruluk ve %71,2 hassasiyet elde edilmiştir. İslam vd. (2020), OUA otomatik olarak algılamak üç farklı makine öğrenimi sınıflandırıcısıyla entegre temassız doppler radar sistemi önerdi. Önerilen yaklaşım 5 hasta üzerinde %93,75 doğruluk performansı göstermiştir.

SONUÇ

Polisomnografi testlerine alternatif olarak literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu alanda polisomnografiye alternatif olarak vücut pozisyonu, oksijen saturasyonu, elektromiyogram ve elektroensefalogram gibi fizyolojik sinyallerden biri veya birkaçı ile apne teşhisine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde yer alan hastaya temas gerektiren yöntemler genel olarak %90 ve üzerinde doğruluk performansı göstermiştir. Bu yöntemlerde hastanın kendi kendine kayıt yapması ve hastaya temas gerektirmesi ölçümde bazı zorluklara neden olmuştur. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla OUA tespiti için hastaya temas gerektirmeyen yöntemler önerilmiştir. Önerilen yöntemler genel olarak %85 ve üzerinde doğruluk performansı göstermiştir. Tüm bu ölçüm uyku sırasında gerçekleştirilmektedir. Bu duruma alternatif olarak, kişi uyanırken birkaç dakikalık konuşma sesi ile apnenin tespit edildiği çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar genel olarak %70-%80 arasında doğruluk performansı göstermiştir. Sonuç olarak hastaya temas gerektirmeyen yöntemlerin yetersiz olduğu görülmüştür. Ayrıca konuşma ile OUA sınıflandırılması ve tespit edilmesindeki doğruluk performansının artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. İleriki çalışmalarda, literatürde eksiklikleri giderebilmek için hastaya temas gerektirmeyen OUA tespiti yöntemleri üzerine çalışmalar yapılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Akbarian, S., Ghahjaverestan, N. M., Yadollahi, A., & Taati, B. (2020). Distinguishing Obstructive Versus Central Apneas in Infrared Video of Sleep Using Deep Learning: Validation Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(5), 1–14. <https://doi.org/10.2196/17252>

- Akbarian, S., Ghahjaverestan, N. M., Yadollahi, A., & Taati, B. (2021). Noncontact Sleep Monitoring With Infrared Video Data to Estimate Sleep Apnea Severity and Distinguish Between Positional and Nonpositional Sleep Apnea: Model Development and Experimental Validation. *Journal of Medical Internet Research*, 23(11), e26524. <https://doi.org/10.2196/26524>
- Ben-Israel, N., Tarasiuk, A., & Zigel, Y. (2012). Obstructive apnea hypopnea index estimation by analysis of nocturnal snoring signals in adults. *Sleep*, 35(9), 1299–1305. <https://doi.org/10.5665/sleep.2092>
- Botelho, M. C., Trancoso, I., Abad, A., & Paiva, T. (2019, May). Speech as a biomarker for obstructive sleep apnea detection. In ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 5851-5855). IEEE.
- Bozkurt, F., Uçar, M. K., Bozkurt, M. R., & Bilgin, C. (2020). Detection of Abnormal Respiratory Events with Single Channel ECG and Hybrid Machine Learning Model in Patients with Obstructive Sleep Apnea. *Irbm*, 41(5), 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.05.006>
- Cao, K., & Lv, X. (2022). Multi-task feature fusion network for Obstructive Sleep Apnea detection using single-lead ECG signal. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 202(March), 111787. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111787>
- Chen, X., Chen, Y., Ma, W., Fan, X., & Li, Y. (2021, December). SE-MSCNN: A Lightweight Multi-scaled Fusion Network for Sleep Apnea Detection Using Single-Lead ECG Signals. In 2021 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM) (pp. 1276-1280). IEEE.
- Chen, X., Chen, Y., Ma, W., Fan, X., & Li, Y. (2022). Toward sleep apnea detection with lightweight multi-scaled fusion network. *Knowledge-Based Systems*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108783>
- Ciolek, M., Niedzwiecki, M., Sieklicki, S., Drozdowski, J., & Siebert, J. (2015). Automated detection of sleep apnea and hypopnea events based on robust airflow envelope tracking in the presence of breathing artifacts. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(2), 418–429. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2325997>
- Dafna, E., Tarasiuk, A., & Zigel, Y. (2013). Automatic detection of whole night snoring events using non-contact microphone. *PLoS ONE*, 8(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084139>
- de Almeida, F. R., Ayas, N. T., Otsuka, R., Ueda, H., Hamilton, P., Ryan, F. C., & Lowe, A. A. (2006). Nasal pressure recordings to detect obstructive sleep apnea. *Sleep and Breathing*, 10(2), 62–69. <https://doi.org/10.1007/s11325-005-0042-x>
- Ding, L., Peng, J., Song, L., & Zhang, X. (2023). Biomedical Signal Processing and Control Automatically detecting apnea-hypopnea snoring signal based on VGG19 + LSTM. *Biomedical Signal Processing and Control*, 80(P2), 104351. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.104351>
- Ding, Y., Wang, J., Gao, J., Fang, Q., Li, Y., Xu, W., Wu, J., & Han, D. (2021). Severity evaluation of obstructive sleep apnea based on speech features. *Sleep and Breathing*, 25(2), 787–795. <https://doi.org/10.1007/s11325-020-02168-0>
- Dursunoğlu, D., & Dursunoğlu, N. (2010). Kalp yetersizliği ve uyku apnesi. *Türk Kardiyoloji Dernegi Arsivi*, 38(2), 135–143.
- Flenady, T., Dwyer, T., & Applegarth, J. (2017). Accurate respiratory rates count: So should you! *Australasian Emergency Nursing Journal*, 20(1), 45–47. <https://doi.org/10.1016/j.aenj.2016.12.003>
- Geçkil, A. A. (2022). Tedaviyle ortaya çıkan santral uyku apnesi (Te-Csa). *Journal of Medical Topics & Updates*, 1(1), 28–31.
- Gürüler, H. (2012). *Ekg işaretlerinden ysa ve korelasyon matrislerine dayali tikayici uyku apnesi teşhisi*. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı, Sakarya 87s.
- Gutierrez-Tobal, G. C., Alvarez, D., Del Campo, F., & Hornero, R. (2016). Utility of AdaBoost to Detect Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome from Single-Channel Airflow. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(3), 636–646. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2467188>

- Gutiérrez-Tobal, G. C., Álvarez, D., Vaquerizo-Villar, F., Crespo, A., Kheirandish-Gozal, L., Gozal, D., del Campo, F., & Hornero, R. (2021). Ensemble-learning regression to estimate sleep apnea severity using at-home oximetry in adults. *Applied Soft Computing*, *111*, 107827. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107827>
- Haidar, R., Koprinska, I., & Jeffries, B. (2020, July). Sleep apnea event prediction using convolutional neural networks and Markov chains. In 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (pp. 1-8). IEEE.
- Hairston, I. S. (2017). The Use of WatchPAT™ for Home Sleep Testing Assessment of Sleep-Related Disordered Breathing (SDB) in Heart Disease Patients - Clinical & Operational Benefits. In *Itmar Medical*.
- Han, J., Shin, H. B., Jeong, D. U., & Park, K. S. (2008). Detection of apneic events from single channel nasal airflow using 2nd derivative method. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *91*(3), 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.04.012>
- Hou, L., Pan, Q., Yi, H., Shi, D., Shi, X., & Yin, S. (2021). Estimating a Sleep Apnea Hypopnea Index Based on the ERB Correlation Dimension of Snore Sounds. *Frontiers in Digital Health*, *2*(February), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2020.613725>
- Huang, W., Guo, B., Shen, Y., & Tang, X. (2017). A novel method to precisely detect apnea and hypopnea events by airflow and oximetry signals. *Computers in Biology and Medicine*, *88*(February), 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2017.06.015>
- Hwang, S. H., Lee, H. J., Yoon, H. N., Jung, D. W., Lee, Y. J. G., Lee, Y. J., Jeong, D. U., & Park, K. S. (2014). Unconstrained sleep apnea monitoring using polyvinylidene fluoride film-based sensor. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *61*(7), 2125–2134. <https://doi.org/10.1109/TBME.2014.2314452>
- Islam, S. M., Rahman, A., Yavari, E., Baboli, M., Boric-Lubecke, O., & Lubecke, V. M. (2020, January). Identity authentication of OSA patients using microwave Doppler radar and machine learning classifiers. In 2020 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS) (pp. 251-254). IEEE.
- Javaid, A. Q., Noble, C. M., Rosenberg, R., & Weitnauer, M. A. (2015, December). Towards sleep apnea screening with an under-the-mattress IR-UWB radar using machine learning. In 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA) (pp. 837-842). IEEE.
- Jayatilaka, G., Weligampola, H., Sritharan, S., Pathmanathan, P., Ragel, R., & Nawinne, I. (2019, December). Non-contact infant sleep apnea detection. In 2019 14th Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS) (pp. 260-265). IEEE.
- Jiménez-García, J., García, M., Gutiérrez-Tobal, G. C., Kheirandish-Gozal, L., Vaquerizo-Villar, F., Álvarez, D., Del Campo, F., Gozal, D., & Hornero, R. (2022). A 2D convolutional neural network to detect sleep apnea in children using airflow and oximetry. *Computers in Biology and Medicine*, *147*(June), 105784. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105784>
- Jin, J., & Sanchez-Sinencio, E. (2015). A home sleep apnea screening device with time-domain signal processing and autonomous scoring capability. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, *9*(1), 96–104. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2014.2314301>
- Kalkbrenner, C., Eichenlaub, M., Rüdiger, S., Kropf-Sanchen, C., Rottbauer, W., & Brucher, R. (2018). Apnea and heart rate detection from tracheal body sounds for the diagnosis of sleep-related breathing disorders. *Medical and Biological Engineering and Computing*, *56*(4), 671–681. <https://doi.org/10.1007/s11517-017-1706-y>
- Kang, B., Dang, X., & Wei, R. (2017, December). Snoring and apnea detection based on hybrid neural networks. In 2017 International Conference on Orange Technologies (ICOT) (pp. 57-60). IEEE.
- Kapoor, M., & Greenough, G. (2015). Home sleep tests for obstructive sleep apnea (OSA). *Journal of the American Board of Family Medicine*, *28*(4), 504–509. <https://doi.org/10.3122/jabfm.2015.04.140266>
- Karamustafaoğlu, G., Akan, A., & Saatçi, E. Polisomnografi Sinyallerinin İşlenmesi ile Uyku Apnesinin Otomatik Teşhisi, *14. Tıp Teknolojileri Ulusal Kongreleri* (pp. 295–298).
- Karunajeewa, A. S., Abeyratne, U. R., & Hukins, C. (2011). Multi-feature snore sound analysis in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *Physiological Measurement*, *32*(1), 83–97.

3334/32/1/006

Kim, J. W., Kim, T., Shin, J., Choe, G., Lim, H. J., Rhee, C. S., Lee, K., & Cho, S. W. (2019). Prediction of obstructive sleep apnea based on respiratory sounds recorded between sleep onset and sleep offset. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*, *12*(1), 72–78. <https://doi.org/10.21053/ceo.2018.00388>

Leino, A., Nikkonen, S., Kainulainen, S., Korkalainen, H., Töyräs, J., Myllymaa, S., Leppänen, T., Ylä-Herttuala, S., Westeren-Punnonen, S., Muraja-Murro, A., Jäkälä, P., Mervaala, E., & Myllymaa, K. (2021). Neural network analysis of nocturnal SpO2 signal enables easy screening of sleep apnea in patients with acute cerebrovascular disease. *Sleep Medicine*, *79*, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.12.032>

Leppänen, T., Töyräs, J., Mervaala, E., Penzel, T., & Kulkas, A. (2017). Severity of individual obstruction events increases with age in patients with obstructive sleep apnea. *Sleep Medicine*, *37*, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2017.06.004>

Li, K., Pan, W., Li, Y., Jiang, Q., & Liu, G. (2018). A method to detect sleep apnea based on deep neural network and hidden Markov model using single-lead ECG signal. *Neurocomputing*, *294*, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.03.011>

Lin, C. Y., Wang, Y. W., Setiawan, F., Trang, N. T. H., & Lin, C. W. (2022). Sleep apnea classification algorithm development using a machine-learning framework and bag-of-features derived from electrocardiogram spectrograms. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(1). <https://doi.org/10.3390/jcm11010192>

Lin, X., Cheng, H., Lu, Y., Luo, H., Li, H., Qian, Y., Zhou, L., Zhang, L., & Wang, M. (2022). Contactless sleep apnea detection in snoring signals using hybrid deep neural networks targeted for embedded hardware platform with real-time applications. *Biomedical Signal Processing and Control*, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103765>

Liu, Y., Feng, Y., Li, Y., Xu, W., Wang, X., & Han, D. (2022). Automatic classification of the obstruction site in obstructive sleep apnea based on snoring sounds. *American Journal of Otolaryngology - Head and Neck Medicine and Surgery*, *43*(6), 103584. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2022.103584>

Lorato, I., Stuijk, S., Meftah, M., Kommers, D., Andriessen, P., van Pul, C., & de Haan, G. (2021). Automatic separation of respiratory flow from motion in thermal videos for infant apnea detection. *Sensors*, *21*(18), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s21186306>

Mack, D. C., Alwan, M., Turner, B., Suratt, P., & Felder, R. A. (2006, April). A passive and portable system for monitoring heart rate and detecting sleep apnea and arousals: Preliminary validation. In 1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2. (pp. 51-54). IEEE.

Mendonça, F., Mostafa, S. S., Ravelo-García, A. G., Morgado-Dias, F., & Penzel, T. (2019). A Review of Obstructive Sleep Apnea Detection Approaches. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, *23*(2), 825–837. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2018.2823265>

Misra, A., Rani, G., & Dhaka, V. S. (2022). *Obstructive Sleep-Apnea Detection using Signal Preprocessing and 1-D Channel Attention Network*. 5–10.

Moradhasel, B., Sheikhan, A., Aloosh, O., & Jafarnia Dabanloo, N. (2023). Spectrogram classification of patient chin electromyography based on deep learning: A novel method for accurate diagnosis obstructive sleep apnea. *Biomedical Signal Processing and Control*, *79*(P2), 104215. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.104215>

Nakano, H., Furukawa, T., & Tanigawa, T. (2019). Tracheal sound analysis using a deep neural network to detect sleep apnea. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *15*(8), 1125–1133. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7804>

Nguyen, A.-T., Nguyen, T., Le, H.-K., Pham, H.-H., & Do, C. (2022, November). A novel deep learning-based approach for sleep apnea detection using single-lead ECG signals. *2022 APSIPA Annual Summit and Conference*. <http://arxiv.org/abs/2208.03408>

P Pang, K. G., Hsung, T. C., Law, A. K. W., & Choi, W. W. (2020, September). Optimal vowels measurements for Obstructive Sleep Apnea Detection Using Speech Signals. In 2020 IEEE 3rd International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP) (pp. 143-147). IEEE.

Paul, T., Hassan, O., Alaboud, K., Islam, H., Rana, M. K. Z., Islam, S. K., & Mosa, A. S. M. (2022, December). ECG and

- SpO₂ Signal-Based Real-Time Sleep Apnea Detection Using Feed-Forward Artificial Neural Network. *In AMIA Annual Symposium Proceedings* (pp. 379–385).
- Penzel, T., & Sabil, A. K. (2017). The use of tracheal sounds for the diagnosis of sleep apnoea. *Breathe*, *13*(2), e37–e45. <https://doi.org/10.1183/20734735.008817>
- Pozo, R. F., Murillo, J. L. B., Gmez, L. H., Gonzalo, E. L., Ramírez, J. A., & Toledano, D. T. (2009). Assessment of Severe Apnoea through Voice Analysis, Automatic Speech, and Speaker Recognition Techniques. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2009. <https://doi.org/10.1155/2009/982531>
- Sani, S. (2021, November). A New Approach for Identifying Patients with Obstructive Sleep Apnea Using K-Nearest Neighbor Classification. In 2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB) (pp. 1-4). IEEE.
- Scebba, G., Da Poian, G., & Karlen, W. (2021). Multispectral Video Fusion for Non-Contact Monitoring of Respiratory Rate and Apnea. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *68*(1), 350–359. <https://doi.org/10.1109/TBME.2020.2993649>
- Selvaraj, N., & Narasimhan, R. (2013, July). Detection of sleep apnea on a per-second basis using respiratory signals. In 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 2124-2127). IEEE.
- Senaratna, C. V., Perret, J. L., Lodge, C. J., Lowe, A. J., Campbell, B. E., Matheson, M. C., Hamilton, G. S., & Dharmage, S. C. (2017). Prevalence of obstructive sleep apnea in the general population: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*, *34*, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2016.07.002>
- Senthil Kumar, P. K., Nithya, V. K., & Vimala Juliet, A. (2016). Micro system with mems sensor for detecting sleep Apnea. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *11*(3), 2097–2101.
- Setiawan, F., & Lin, C.-W. (2022). A Deep Learning Framework for Automatic Sleep Apnea Classification Based on Empirical Mode Decomposition Derived from Single-Lead Electrocardiogram. *Life*, *12*(10), 1509. <https://doi.org/10.3390/life12101509>
- Sharma, M., Agarwal, S., & Acharya, U. R. (2018). Application of an optimal class of antisymmetric wavelet filter banks for obstructive sleep apnea diagnosis using ECG signals. *Computers in Biology and Medicine*, *100*(April), 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2018.06.011>
- Sharma, M., Kumbhani, D., Tiwari, J., Kumar, T. S., & Acharya, U. R. (2022). Automated detection of obstructive sleep apnea in more than 8000 subjects using frequency optimized orthogonal wavelet filter bank with respiratory and oximetry signals. *Computers in Biology and Medicine*, *144*(February), 105364. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.105364>
- Sharma, M., Kumbhani, D., Yadav, A., & Acharya, U. R. (2022). Automated Sleep apnea detection using optimal duration-frequency concentrated wavelet-based features of pulse oximetry signals. *Applied Intelligence*, *52*(2), 1325–1337. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02422-2>
- Shen, Q., Yang, X., Zou, L., Wei, K., Wang, C., & Liu, G. (2022). Multi-Task Multi-Attention Residual Shrinkage Convolutional Neural Network for Sleep Apnea Detection Based on Wearable Bracelet Photoplethysmography. *IEEE Internet of Things Journal*. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3195777>
- Sheta, A., Turabieh, H., Thaher, T., Too, J., Mafarja, M., Hossain, M. S., & Surani, S. R. (2021). Diagnosis of obstructive sleep apnea from ECG signals using machine learning and deep learning classifiers. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(14). <https://doi.org/10.3390/app11146622>
- Shin, J. H., Chee, Y. J., Jeong, D. U., & Park, K. S. (2010). Nonconstrained sleep monitoring system and algorithms using air-mattress with balancing tube method. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, *14*(1), 147–156. <https://doi.org/10.1109/TITB.2009.2034011>
- Ruby S.M., Dafna, E., & Zigel, Y. (2018). Obstructive Sleep Apnea (OSA) classification using analysis of breathing sounds during speech. *European Signal Processing Conference, 2018-Septe*(1403), 1132–1136. <https://doi.org/10.23919/EUSIPCO.2018.8553353>
- Ruby S. M., Dafna, E., & Zigel, Y. (2020). Diagnosis of Obstructive Sleep Apnea Using Speech Signals from Awake

Subjects. *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, 14(2), 251–260. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2019.2955019>

Sola-Soler, J., Jane, R., Fiz, J. A., & Morera, J. (2007, August). Automatic classification of subjects with and without sleep apnea through snoring analysis. In 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 6093-6096). IEEE.

Surrel, G., Aminifar, A., Rincón, F., Murali, S., & Atienza, D. (2018). Online Obstructive Sleep Apnea Detection on Medical Wearable Sensors. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 12(4), 762–773. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2018.2824659>

Toften, S., Kjellstadli, J. T., Tyvold, S. S., & Moxness, M. H. S. (2021). A Pilot Study of Detecting Individual Sleep Apnea Events Using Noncontact Radar Technology, Pulse Oximetry, and Machine Learning. *Journal of Sensors*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2998202>

Uçar, M. K. (2017). *Obstrüktif Uyku Apne Teşhisi için Makine Öğrenmesi Tabanlı Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi*. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya 139s.

Vaquerizo-Villar, F., Alvarez, D., Gutierrez-Tobal, G. C., Campo, F. Del, Kheirandish-Gozal, L., Gozal, D., Penzel, T., & Hornero, R. (2022, June). A convolutional neural network to classify sleep stages in pediatric sleep apnea from pulse oximetry signals. In 2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON) (pp. 108-113). IEEE.

Vaquerizo-Villar, F., Alvarez, D., Kheirandish-Gozal, L., Gutierrez-Tobal, G. C., Barroso-Garcia, V., Santamaria-Vazquez, E., Campo, F. Del, Gozal, D., & Hornero, R. (2021). A Convolutional Neural Network Architecture to Enhance Oximetry Ability to Diagnose Pediatric Obstructive Sleep Apnea. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(8), 2906–2916. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.3048901>

Veauthier, C., Ryczewski, J., Mansow-Model, S., Otte, K., Kayser, B., Glos, M., Schöbel, C., Paul, F., Brandt, A. U., & Penzel, T. (2019). Contactless recording of sleep apnea and periodic leg movements by nocturnal 3-D-video and subsequent visual perceptive computing. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53050-3>

Xue, B., Deng, B., Hong, H., Wang, Z., Zhu, X., & Feng, D. D. (2020). Non-Contact Sleep Stage Detection Using Canonical Correlation Analysis of Respiratory Sound. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(2), 614–625. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2910566>

Yan, X., Wang, L., Zhu, J., Wang, S., Zhang, Q., & Xin, Y. (2022, August). Automatic Obstructive Sleep Apnea Detection Based on Respiratory Parameters in Physiological Signals. In 2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA) (pp. 461-466). IEEE.

Yeh, C. Y., Chang, H. Y., Hu, J. Y., & Lin, C. C. (2022). Contribution of Different Subbands of ECG in Sleep Apnea Detection Evaluated Using Filter Bank Decomposition and a Convolutional Neural Network. *Sensors*, 22(2). <https://doi.org/10.3390/s22020510>

Yıldız, M. (2021). Uyku Apnesi Tespitinde Yenilikler. *Natural & Applied Sciences Journal*, 3, 132–138.

Yue, H., Lin, Y., Wu, Y., Wang, Y., Li, Y., Guo, X., Huang, Y., Wen, W., Zhao, G., Pang, X., & Lei, W. (2021). Deep learning for diagnosis and classification of obstructive sleep apnea: A nasal airflow-based multi-resolution residual network. *Nature and Science of Sleep*, 13, 361–373. <https://doi.org/10.2147/NSS.S297856>

Zarei, A., & Asl, B. M. (2019). Automatic Detection of Obstructive Sleep Apnea Using Wavelet Transform and Entropy-Based Features from Single-Lead ECG Signal. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 23(3), 1011–1021. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2018.2842919>

Zhang, Y., Chen, Y., Hu, L., Jiang, X., & Shen, J. (2017, November). An effective deep learning approach for unobtrusive sleep stage detection using microphone sensor. In 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI) (pp. 37-44). IEEE.

Zhu, J., Zhou, A., Gong, Q., Zhou, Y., Huang, J., & Chen, Z. (2022). Detection of Sleep Apnea from

Electrocardiogram and Pulse Oximetry Signals Using Random Forest. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/app12094218>

Zhu, K., Li, M., Akbarian, S., Hafezi, M., Yadollahi, A., & Taati, B. (2019). Vision-Based Heart and Respiratory Rate Monitoring during Sleep-A Validation Study for the Population at Risk of Sleep Apnea. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 7(October), 1–8. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2019.2946147>

Zhu, K., Yadollahi, A., & Taati, B. (2019, July). Non-contact apnea-hypopnea index estimation using near infrared video. In 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 792-795). IEEE.

Zhuang, Z., Wang, F., Yang, X., Zhang, L., Fu, C. H., Xu, J., Li, C., & Hong, H. (2022). Accurate contactless sleep apnea detection framework with signal processing and machine learning methods. *Methods*, 205(January 2022), 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2022.06.013>