



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

9

Sayı
Issue

6

Aralık/December
2021

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

<http://dergipark.org.tr/dubited>



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBITED

<http://dergipark.org.tr/dubited>

Sahibi

Owner

Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

Editör

Editor

Uğur GÜVENÇ
Resul KARA
Pınar GÜLTEKİN
Ahmet DEMİR
Suat SARIDEMİR
Ümit AĞBULUT

Yardımcı Editörler

Assistant Editors

Keziban GEGİN
Ufuk ÇİFCİ
Vesile YALÇIN
Gamze ÇOBAN
Özlem ÖZKAN ÖNÜR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Zafer AKBAŞ

Yayın Kurulu

Editorial Board

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey
Üniversitesi, Türkiye
Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi,
Türkiye
Emre ÇELİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye

Fuat KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet ŞİMŞEK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Türkiye
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi,
Türkiye
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih Tunç KAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,
Türkiye
Serhat DUMAN, Bandırma Onyediy Eylül
Üniversitesi, Türkiye
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Tikendra Nath VERMA, Maulana Azad National
Institute of Technology, Hindistan
Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit AĞBULUT, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit ERGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin ŞALE, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Yaşar Selman GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yusuf ALTUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ulusal Danışma Kurulu
National Advisory Board

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Devrim AKGÜN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
Elif UZ, Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Erol BURDURLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Ethem TOKLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
H.Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hakan AKTAŞ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Hakan ALTINÇEKİÇ, İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin KIŞIOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Uluslararası Danışma Kurulu
International Advisory Board

Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,
USA
Daniel BREAZ, University of Alba Lulia, Romania
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering,
Portugual
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State
University, USA
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA

Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State
University, USA

Cilt <i>Volume</i>	9	Sayı <i>Issue</i>	6	Aralık/December 2021
------------------------------	----------	-----------------------------	----------	---------------------------------------

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı <i>Publisher</i>	Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü <i>Düzce University Institute of Graduate Programs</i>
Sahibi <i>Owner</i>	Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü) (D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına) <i>(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)</i>
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü <i>Publishing Manager</i>	Zafer AKBAŞ
Web Sayfası <i>Web Page</i>	http://dergipark.org.tr/dubited
Basım Tarihi <i>Date of Publication</i>	Aralık 2021 <i>December 2021</i>
Yayın Dili <i>Language</i>	Türkçe / İngilizce <i>Turkish / English</i>
Yayın Aralığı <i>Frequency</i>	Yılda dört kez yayınlanır <i>Published four times in a year</i>
Yayın Türü <i>Type of Publication</i>	Sürelî yayın <i>Periodical</i>
e-ISSN Numarası <i>e-ISSN Number</i>	2148-2446

Yazışma Adresi

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim
Enstitüsü Rektörlük Binası 3. Kat 81620
Düzce/TÜRKİYE

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: dubitedyayin@duzce.edu.tr

<http://dergipark.org.tr/dubited>
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

Correspondence Address

*Düzce University Institute of
Graduate Programs Rectorship
Building 3rd Floor 81620
Düzce/TURKEY*

Phone: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-mail: dubitedyayin@duzce.edu.tr

*Instructions for authors and all
articles in this journal can be
reached at*

<http://dergipark.org.tr/dubited>

İÇİNDEKİLER

<u>Sayfa</u>	<u>Makale</u>
1-14	Artan Operatör Konveks Fonksiyon İçin Berezin Sayı Eşitsizliği Berezin Number Inequality for Increasing Operator Convex Function Mualla Birgül HUBAN, Hamdullah BAŞARAN, Mehmet GÜRDAL
15-25	Eklemeli İmalat ile Üretilen PLA Esaslı Malzemenin Çekme Dayanımının Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanarak Tahmini Estimation of Tensile Strength of PLA Based Material Produced by Additive Manufacturing Using Machine Learning Algorithms Koray ÖZSOY, Hamdi SAYIN
26-39	Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespitinde Hafif ve Geleneksel Evrişimsel Sinir Ağ Mimarilerinin Karşılaştırılması Comparison of Lightweight and Traditional CNN Architectures in COVID-19 Detection from Lung X-Ray Images Furkan ERYILMAZ, Hacer KARACAN
40-54	Improved Slime-Mould-Algorithm with Fitness Distance Balance-based Guiding Mechanism for Global Optimization Problems Global Optimizasyonu için Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Rehber Mekanizmasıyla Slime Mould Optimize Edicinin İyileştirilmesi Çağrı SUIÇMEZ, Hamdi Tolga KAHRAMAN, Cemal YILMAZ, Mehmet Fatih IŞIK, Enes CENGİZ
55-64	Monthly Electricity Generation Forecast in Solar Power Plants with LSTM LSTM ile Güneş Enerjisi Santrallerinde Aylık Elektrik Üretim Tahmini Ömer ÇETİN, Ali Hakan IŞIK
65-82	Heterojen Filolu Yeşil Araç Rotalama Probleminin Tavlama Benzetimi Yöntemi ile Çözümü Heterogeneous Fleet Green Vehicle Routing Problem with Simulated Annealing Method Yusuf ŞAHİN, Kenan KARAGÜL, Erdal AYDEMİR
83-94	Emsal Hukuk Dokümanlarının Otomatik Belirlenmesi Automatic Precedent Legal Document Detection Meltem ÇETİNER, Yusuf Sinan AKGÜL

- 95-111 Tuning the Parameters of Power System Stabilizer Using Runge Kutta Algorithm
Runge Kutta Algoritması Kullanılarak Güç Sistemi Kararlı Kılıcı Parametrelerinin Ayarlanması
Enes KAYMAZ, Uğur GÜVENÇ, M. Kenan DÖŞOĞLU
- 112-122 İnsansız Hava Aracı ile Görüntü İşleme ve Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Yangın Tespiti: Örnek Bir Uygulama Fire Detection Using Unmanned Aerial Vehicle Imaging Processing and Artificial Intelligence Techniques: A Sample Application
Bekir AKSOY, Kaan KORUCU, Önder ÇALIŞKAN, Şaban OSMANBEY, Helin Diyar HALİS
- 123-134 Diyabet Hastalığının Erken Aşamada Tahmin Edilmesi İçin Makine Öğrenme Algoritmalarının Performanslarının Karşılaştırılması Comparison of Performances of Machine Learning Algorithms for Predicting Diabetes Mellitus in Early Stage
Kemal AKYOL, Abdulkadir KARACI
- 135-149 Improved Runge Kutta Optimizer with Fitness Distance Balance-Based Guiding Mechanism for Global Optimization of High-Dimensional Problems
Comparison of Yüksek Boyutlu Problemlerin Global Optimizasyonu için Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Rehber Mekanizmasıyla Runge Kutta Optimize Edicinin İyileştirilmesi
Enes CENGİZ, Cemal YILMAZ, Hamdi Tolga KAHRAMAN, Çağrı SUIÇMEZ
- 150-166 Üniversite Ders Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu
Comparison of Yüksek Boyutlu Optimization of University Course Scheduling Problem with Genetic Algorithm
Recep ÇOLAK, Tuncay YİĞİT
- 167-176 Application of Reconstruction Algorithms by Simulation Experiments for the Diagnosis of Breast Tumor-Like Tissues Modeled in Diffuse Optical Tomography
Difüz Optik Tomografi'de Modellenmiş Meme Tümörü Benzeri Dokuların Teşhisi için Simülasyon Deneyleriyle Geri Çatım Algoritmalarının Uygulanması
Gençay SEVİM, Yiğit Ali ÜNCÜ, Murat CANPOLAT
- 177-187 Üstverilerin Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Otomatik Olarak Çıkartılması ve Sınıflanması
Automatic Metadata Extraction and Classification by using Deep Learning Algorithms
Murat İNCE

- 188-194 Prediction of Flexural Properties of Wood Material Reinforced with Various FRP Fabrics by Artificial Neural Networks
Çeşitli FRP Kumaşlarla Güçlendirilmiş Ahşap Malzemenin Eğilme Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini
Şemsettin KILINÇARSLAN, Yasemin ŞİMŞEK TÜRKER, Murat İNCE
- 195 - 209 A Financial Ratio Analysis on BIST Information and Technology Index (XUTEK) Using AHP-weighted Grey Relational Analysis
AHP Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Kullanarak BIST Bilişim ve Teknoloji Endeksinde (XUTEK) Finansal Oranlar Analizi
Tunahan TURHAN, Erdal AYDEMİR
- 210-221 Bulanık Mantık Tabanlı Performans Değerlendirme Algoritmasının Tasarımı ve Uygulaması
Design and Application of Fuzzy Set Based Assessment Algorithm
Hamit ARMAĞAN
- 222 - 229 Sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı Modeline Eleştirel Bir Bakış
A Critical Review at the Sustainable Economic Order Quantity Model
Nigar KARAGÜL, Abdullah EROĞLU, Sezai TOKAT
- 230-236 Atriyal Fibrilasyon Tespiti için Evrişimli Sinir Ağı Tabanlı Bir Derin Ağ Modeli
A Convolutional Neural Network Based Deep Network Model for Atrial Fibrillation Detection
Fatma MURAT, Ferhat SADAK, Muhammed TALO, Özal YILDIRIM, Yakup DEMİR
- 237-250 Tarım Arazilerinde Harcanan Su Miktarını Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Belirlenmesi
Determining the Amount of Water Used in Agricultural Lands Using Artificial Intelligence Techniques
Hilmi Cenk BAYRAKÇI, Rabia Sultan ÇİÇEKDEMİR, Merdan ÖZKAHRAMAN
- 251-258 Performance Analysis of Machine Learning Algorithms in Intrusion Detection Systems
Saldırı Tespit Sistemlerinde Makine Öğrenimi Algoritmalarının Performans Analizi
Fethi Mustafa ÇİMEN, Yusuf SÖNMEZ, Mustafa İLBAŞ
- 259-268 Asymptotic Frame Fields of Rational Bézier Curves
Rasyonel Bézier Eğrilerinin Asimptotik Çatı Alanları
Gözde ÖZKAN TÜKEL, Tunahan TURHAN, Ayşe YILMAZ CEYLAN

- 269-279 Hareket Yakalama ve Sanal Gerçeklik Teknolojileri Kullanarak Oyun Tabanlı Rehabilitasyon
Game Based Rehabilitation Using Motion Capture and Virtual Reality Technologies
Ali Hakan IŞIK, Ferdi ALAKUŞ, Ömer Can ESKİCİOĞLU
- 280-288 Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for Malware Detection by Using CICMalDroid2020 Dataset
CICMalDroid2020 Veri Kümesi Kullanılarak Kötü Amaçlı Yazılım Tespiti için Makine Öğrenimi Algoritmalarının Performans Analizi
Yusuf SÖNMEZ, Meltem SALMAN, Murat DENER
- 289-302 Android Malware Analysis and Benchmarking with Deep Learning
Derin Öğrenmeyle Android Kötücül Yazılım Analizi ve Kıyaslanması
Taylan Kural, Yusuf SÖNMEZ, Murat DENER
- 303-315 Patlayıcı Etki Analizi Simülasyon Yazılımının Geliştirilmesi ve Basınç Dalgası Parametrelerinin Derin Öğrenme ile Tahmin Edilmesi-Stüdyo için Aydınlatma Modeli ve Optimizasyonu
Development of Explosive Impact Analysis Simulation Software and Prediction of Pressure Wave Parameters with Deep Learning
Resul SİLAY, Abdulkadir KARACI
- 316-328 Ark Kaynağı Elektrotlarındaki Kaynak Parametrelerinin Yapay Zekâ Yöntemleri ile İncelenmesi
Investigation of Welding Parameters of Arc Welding Electrodes by Artificial Intelligence Methods
Handan TOPRAK ŞENOL, Osman ÖZKARACA
- 329-342 Yapay Sinir Ağları ve K-Ortalamlar Tabanlı Büyük Veri Azaltma Algoritmasının Tasarımı ve Uygulaması
Design and Implementation of Artificial Neural Networks and K-Means Based Big Data Reduction Algorithm
Seyithan TEMEL, Hamdi Tolga KAHRAMAN
- 343-353 Makine Öğrenmesi Modelleri ile Ön lisans Öğrencilerinin Hangi Lise Türünden Mezun Olduklarının Tahmin Edilmesi
Robotic Systems and Artificial Intelligence Applications in Livestock
Hüseyin KÜÇÜKERDEM, Yusuf SÖNMEZ, Cemal YILMAZ, Hasan Hüseyin SAYAN
- 354 - 369 Derin Öğrenme Teknikleri Kullanılarak Sahte Yüz Fotoğrafı ve Videosu Sentezi
Fake face photo and video synthesis using deep learning techniques
Mustafa Salih BAHAR, Ercan BULUŞ




- 370-382 Hayvancılıkta Robotik Sistemler ve Yapay Zekâ Uygulamaları
Robotic Systems and Artificial Intelligence Applications in
Livestock
Ali Hakan IŞIK, Ferdi ALAKUŞ, Ömer Can ESKİCİOĞLU
- 383 - 394 Derin Öğrenme Modellerinde Mahremiyet ve Güvenlik Üzerine Bir
Derleme Çalışması
A Review Study on Privacy and Security in Deep Learning Models
Engin GÜZEL, Mustafa YAĞCI
- 395- 405 Bilgisayar Kontrollü Bs En 772-18 Standardına Uygun Donma-
Çözülme Test Cihazının Geliştirilmesi ve Uygulanması
Development And Implementation of Computer Controlled Freeze
Thaw Test Device According to Bs En 772-18 Standard
**İsmail Serkan ÜNCÜ, Serhat UYSAL, Reşat SELBAŞ, Şemsettin
KILINÇARSLAN**
- 406 - 416 Farklı Sınıflandırma Algoritmaları ve Metin Temsil Yöntemlerinin
Duygu Analizinde Performans Karşılaştırılması
Performance Comparison of Different Classification Algorithms
and Text Representation Methods in Sentiment Analysis
Batuhan Cem ÖĞE, Fatih KAYAALP
- 417 - 428 Sonlu Aralıkta Tanımlı Dalga Denkleminin Çözümü Üzerine
On From Solution of the Wave Equation Defined on the Finite
Interval
Ömer YAZAR



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Artan Operatör Konveks Fonksiyon İçin Berezin Sayı Eşitsizliği¹

 Mualla Birgül HUBAN^{a,*},  Hamdullah BAŞARAN^b,  Mehmet GÜRDAL^b

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Matematik Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muallahuban@isparta.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1013082

ÖZ

Normalleştirilmiş üretici çekirdeği $K_\lambda := \frac{k_\lambda}{\|k_\lambda\|_{\mathcal{H}}}$ olan üretici çekirdekli $\mathcal{H}(\Omega)$ Hilbert uzayı üzerinde A sınırlı lineer operatör için Berezin sembolü ve Berezin sayısı sırasıyla $\tilde{A}(\lambda) := \langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle_{\mathcal{H}}$ ve $ber(A) := \sup_{\lambda \in \Omega} |\tilde{A}(\lambda)|$ biçiminde tanımlanır. Bu karakteristik ifadeler kullanılarak $ber(A) \leq \frac{1}{\sqrt{2}} ber(|A| + i|A^*|)$ eşitsizliği elde edilmiştir. Bu çalışmamızda ise onlar arasındaki diğer eşitsizlikler ispatlanmış ve Berezin sayı eşitsizlikleri için operatör konveks fonksiyonlarının bazı uygulamaları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üretici çekirdekli Hilbert uzayı, Berezin sembolü, Berezin sayısı, Hermite-Hadamard eşitsizliği, Operatör konveksliği

Berezin Number Inequality for Increasing Operator Convex Function

ABSTRACT

For a bounded linear operator A on a reproducing kernel Hilbert space $\mathcal{H}(\Omega)$, with normalized reproducing kernel $K_\lambda := \frac{k_\lambda}{\|k_\lambda\|_{\mathcal{H}}}$ the Berezin symbol and Berezin number are defined respectively by $\tilde{A}(\lambda) := \langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle_{\mathcal{H}}$ and $ber(A) := \sup_{\lambda \in \Omega} |\tilde{A}(\lambda)|$. A straightforward comparison between these characteristics yields the inequalities $ber(A) \leq \frac{1}{\sqrt{2}} ber(|A| + i|A^*|)$. In this paper, we prove further inequalities relating them and give some applications of operator convex functions to Berezin number inequalities.

Keywords: Reproducing kernel Hilbert space, Berezin symbol, Berezin number, Hermite-Hadamard inequality, Operator convexity

¹ICAAME 2021 konferansında sunulmuştur.

Geliş: 21/10/2021, Düzeltme: 05/11/2021, Kabul: 13/11/2021

I. GİRİŞ

Bir üretici çekirdekli Hilbert uzayı (kısaca, ÜÇHU) $\varphi_\lambda(f) = f(\lambda), \lambda \in \Omega$ fonksiyonelleri \mathcal{H} üzerinde sürekli olacak şekilde bazı Ω kümesi üzerinde kompleks değerli fonksiyonların $\mathcal{H} = \mathcal{H}(\Omega)$ Hilbert uzayıdır. O zaman klasik Riesz temsil teoreminden her bir $\lambda \in \Omega$ ve her $f \in \mathcal{H}$ için $f(\lambda) = \langle f, k_\lambda \rangle$ olacak şekilde bir tek $k_\lambda \in \mathcal{H}$ fonksiyonu mevcuttur. Burada $\{k_\lambda: \lambda \in \Omega\}$ ailesi \mathcal{H} uzayının üretici çekirdeğidir. Bilinen ÜÇHU'lar $D = \{z \in \mathbb{C}: |z| < 1\}$ birim disk olmak üzere $\mathcal{H}^2(D)$ Hardy uzayı, $L^2_\alpha(D)$ Bergman uzayı, $D^2(D)$ Dirichlet uzayı ve $F(\mathbb{C})$ Fock uzayıdır. ÜÇHU'lar ve üretici çekirdekler ile ilgili detaylı bilgi [1] numaralı kaynakta verilmiştir.

$\mathcal{B}(\mathcal{H})$ uzayı \mathcal{H} üzerinde tüm sınırlı lineer operatörlerin Banach cebiri olmak üzere \mathcal{H} üzerinde bir A sınırlı lineer operatör, yani $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ için onun Berezin dönüşümü (veya Berezin sembolü)

$$\tilde{A} := \langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle \quad (\lambda \in \Omega) \quad (1)$$

biçiminde Ω kümesi üzerinde tanımlı fonksiyondur (bkz. Berezin [5]). Burada $K_\lambda := \frac{k_\lambda}{\|k_\lambda\|}$ ifadesi \mathcal{H} uzayının normalleştirilmiş üretici çekirdeğidir ve $\langle \cdot, \cdot \rangle$ iç çarpım ise \mathcal{H} uzayından alınmıştır. O halde Berezin sembolü olan \tilde{A} fonksiyonu Ω üzerinde sınırlı fonksiyon olup A operatörünün Berezin sayısı

$$ber(A) := \sup_{\lambda \in \Omega} |\tilde{A}(\lambda)| \leq \|A\| \quad (2)$$

ile tanımlanır (bkz. Karaev [18, 19]).

Bir A operatörünün Berezin sayısı aşağıdaki özellikleri sağlar:

- (i) Her $\xi \in \mathbb{C}$ için $ber(\xi A) = |\xi| ber(A)$;
 - (ii) Her $A_1, A_2 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ için $ber(A_1 + A_2) \leq ber(A_1) + ber(A_2)$.
- (3)

Aynı zamanda Berezin sembolü tanımından

$$Ber(A) := Range(\tilde{A}) = \{\tilde{A}(\lambda): \lambda \in \Omega\} \subset W(A) := \{\langle Ax, x \rangle: x \in \mathcal{H} \text{ ve } \|x\| = 1\} \quad (4)$$

olduğu bilinen bir gerçektir. Burada sırasıyla $Ber(A)$ ve $W(A)$ ifadeleri A operatörünün Berezin kümesi (veya Berezin görüntüsü) ve A operatörünün nümerik yarıçapıdır. Ayrıca $ber(A) \leq w(A) := \sup_{\|x\|=1} |\langle Ax, x \rangle|$ (A operatörünün nümerik yarıçapı) dir (daha detaylı bilgi için bkz. [7, 15, 22, 23, 27]).

Operatörlerin Berezin kümesi ve Berezin sayısı [18] de Karaev tarafından ÜÇHU üzerinde operatörlerin yeni nümerik karakteristiği olarak verilmiştir. Bu yeni kavramların temel özellikleri için [2, 3, 20, 29, 30] kaynaklarına bakılabilir.

Diğer taraftan herhangi $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ için

$$\frac{1}{2} \|A\| \leq w(A) \leq \|A\| \quad (5)$$

ve

$$ber(A) \leq w(A) \leq \|A\| \quad (6)$$

iyi bilinen eşitsizliklerdir. Aynı zamanda Berezin sayı eşitsizlikleri [9-14, 16, 31-33] numaralı kaynaklarda diğer eşitsizlikler kullanılarak incelenmiştir.

Diğer taraftan $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörlerinin aşağıdaki Berezin norm tanımını verebiliriz:

$$\|A\|_{Ber} := \sup_{\lambda \in \Omega} \|AK_\lambda\|. \quad (7)$$

Burada $\|A\|_{Ber}$ ifadesi $\mathcal{B}(\mathcal{H}((\Omega)))$ uzayında bir yeni operatör norm belirler ve $ber(A) \leq \|A\|_{Ber} \leq \|A\|$ olduğu kolayca görülebilir.

Şimdi $\mathcal{B}(\mathcal{H})$ cebiri H kompleks Hilbert uzayı üzerinde tüm sınırlı lineer operatörlerin C^* -cebiri olsun. Her $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ için B ve C kendine eş operatörler olmak üzere $A = B + iC$ Kartezyen ayrışımı ifade etsin. Bu çalışmamızda X^* operatörü X in eş operatörü olmak üzere, eğer $X^* = X$ ise $X \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörünü kendine eş olarak tanımlayacağız.

$A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ için $|A|$ mutlak değeri $|A| = (A^*A)^{1/2}$ ile tanımlıdır. Burada her $x \in H$ için $\langle |A|x, x \rangle \geq 0$ ise $|A|$ ifadesinin pozitif yarı tanımlı operatör olduğuna dikkat edelim.

[17] numaralı kaynakta Huban vd.

$$\frac{1}{4} \|A^*A + AA^*\| \leq (ber(A))^2 \leq \frac{1}{2} \|A^*A + AA^*\| \quad (8)$$

ve

$$ber(A) \leq \frac{1}{\sqrt{2}} ber(|A| + i|A^*|) \quad (9)$$

eşitsizliklerini ispatlamışlardır.

Son zamanlarda, [25] de Moradi ve Sabahheh konveks fonksiyonları kullanarak bazı iyi bilinen nümerik yarıçap eşitsizliklerinin refine edilmiş ve genelleştirilmiş formlarını elde etmişlerdir. Bu motivasyonla çalışmamızda bazı operatör konveks fonksiyonların Berezin sayıları için \tilde{A} sınırlı fonksiyonu kullanılarak bazı yeni genel formlar incelenmiştir. Bu amaca ulaşmak için operatör konveks fonksiyonlar ve iç çarpım uzaylarındaki vektörler için makalenin ikinci kısımda verilen bazı bilinen eşitsizlikler kullanılmıştır (bkz. [6, 8, 24, 26]). Bu yaklaşım dikkate alınarak, aynı zamanda üretici çekirdekli Hilbert uzay operatörlerinin bazı Berezin sayı eşitsizliklerinin refine edilmiş ve genelleştirilmiş formları ile ilgili sonuçlar sunulmuştur.

II. BİLİNER YARDIMCI TEOREMLER

Şimdi sonuçlarımızda önemli rol sahibi olan bazı bilinen yardımcı teoremleri bu kısımda sunalım. Burada operatör konveks fonksiyon temel kabulümüz olacaktır.

Tanım 1. Eğer f fonksiyonu sürekli ve J aralığında spektrumla her kendine eş A_1, A_2 operatörleri için

$$f\left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \leq \frac{f(A_1) + f(A_2)}{2}, \quad (10)$$

ise o zaman $f: J \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonuna bir operatör konveks fonksiyon denir. Burada her $0 \leq \xi \leq 1$ için $f((1 - \xi)A_1 + \xi A_2) \leq (1 - \xi)f(A_1) + \xi f(A_2)$ bulunur.

Eğer $f: J \rightarrow \mathbb{R}$ verilen bir fonksiyon ve A_1 operatörü J de spektrumla bir kendine eş operatör ise o zaman $f(A_1)$ fonksiyonel hesaplamalara göre tanımlıdır. Ayrıca f artan fonksiyon olduğunda S kendine eş operatör için $\|f(|S|)\| \leq f(\|S\|)$ olduğunu göstermek kolaydır. Bilinen anlamda bir konveks fonksiyonun operatör konveks olmasına gerek olmadığı bilinen bir sonuçtur ve $[0, \infty)$ üzerinde tanımlı $f(\xi) = \xi^p, p > 0$, fonksiyonunun operatör konveks olması için gerekli ve yeterli koşul $p \in [1, 2]$ olmasıdır.

Herhangi $x_1, x_2 \in J$ ve $f: J \rightarrow \mathbb{R}$ operatör konveks fonksiyon için iyi-bilinen Hermite-Hadamard eşitsizliğinden aşağıdaki ifade elde edilir:

$$f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) \leq \int_0^1 f((1 - \xi)x_1 + \xi x_2) d\xi \leq \frac{f(x_1) + f(x_2)}{2}. \quad (11)$$

Burada (11) eşitsizliği $f((x_1 + x_2) / 2) \leq (f(x_1) + f(x_2)) / 2$ konveks eşitsizliğinin bir refine edilmiş halidir.

Aşağıda (11) in modifiye edilmiş operatör versiyonu [6] da ispat edilmiştir:

Yardımcı Teorem 1. $f: J \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu J aralığı üzerinde bir operatör konveks fonksiyon olsun. O zaman J da spektrumlu herhangi S ve T kendine eş operatörleri için,

$$\begin{aligned} f\left(\frac{S + T}{2}\right) &\leq \frac{1}{2} \left[f\left(\frac{3S + T}{4}\right) + f\left(\frac{S + 3T}{4}\right) \right] \\ &\leq \int_0^1 f((1 - \xi)S + \xi T) d\xi \\ &\leq \frac{1}{2} \left[f\left(\frac{S + T}{2}\right) + \frac{f(S) + f(T)}{2} \right] \\ &\leq \frac{f(S) + f(T)}{2} \end{aligned} \quad (12)$$

elde edilir.

Şimdi aşağıdaki diğer yardımcı teoremleri verebiliriz.

Yardımcı Teorem 2 ([21]). $A_1 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ ve $x, y \in H$ herhangi vektörler olsun. O zaman

$$|\langle A_1 x, y \rangle| \leq \langle |A_1| x, x \rangle \langle |A_1^*| y, y \rangle \quad (13)$$

elde edilir.

Mond ve Pečarić [24] aşağıdaki sonucu elde etmişlerdir.

Yardımcı Teorem 3. $A_1 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörü J aralığında spektrumlu bir kendine eş operatör ve $x \in H$ bir birim vektör olsun. Eğer f fonksiyonu J üzerinde konveks fonksiyon ise o zaman

$$f(\langle A_1 x, x \rangle) \leq \langle f(A_1) x, x \rangle \quad (14)$$

bulunur.

Eğer üstteki eşitsizlikte f konkav ise tersi sağlanır.

Bizim son çalışmamız olan [17] de [28] deki eşitsizliğin ters-tiplisi aşağıdaki gibi gösterilmiştir:

$$\begin{aligned} f(ber(A)) &\leq \left\| \int_0^1 f(\xi |A_1| + (1 - \xi) |A_1^*|) d\xi \right\|_{ber} \\ &\leq \frac{1}{2} \|f(|A_1|) + f(|A_1^*|)\|_{ber}. \end{aligned} \quad (15)$$

Şimdi (14) eşitsizliğinin refine edilmiş versiyonu verilsin.

Yardımcı Teorem 4 ([8]). Eğer $A_1 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$, $x \in \mathcal{H}$ ve $0 \leq \xi \leq 1$ ise o zaman

$$|\langle A_1 x, x \rangle|^2 \leq \langle |A_1|^{2(1-\xi)\xi} x, x \rangle \langle |A_1^*|^{2\xi} x, x \rangle \quad (16)$$

bulunur.

Yardımcı Teorem 5 ([26]). Eğer $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ bir operatör konveks, A_1 ve A_2 operatörleri $\mathcal{B}(\mathcal{H})$ uzayında iki kendine eş operatör ve $0 \leq \xi \leq 1$ ise o zaman

$$\begin{aligned} & f((1-\xi)A_1 + \xi A_2) + 2p(f(A_1)\nabla f(A_2)) - f((A_1)\nabla f(A_2) - f(A_1\nabla A_2)) \\ & \leq (1-\xi)f(A_1) + \xi f(A_2) \end{aligned} \quad (17)$$

mevcuttur. Burada $p = \min\{\xi, 1-\xi\}$ ve $A_1\nabla A_2 = (A_1 + A_2) / 2$ alınacaktır.

III. TEMEL SONUÇLAR

Çalışmanın temel sonucunu ifade etmek gerekirse;

(12) eşitsizliğinde S yerine $\frac{1}{2}|A_1|$ ve T yerine $\frac{1}{2}|A_2|$ alınsın. f negatif olmayan artan bir fonksiyon olduğunda $\|f(|S|)\| = f(\||S|\|)$ sağlanır ve aşağıdaki eşitsizliğe ulaşılır.

Önerme 1. $A_1, A_2 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ olsun. Eğer $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ bir artan operatör konveks fonksiyon ise o zaman aşağıdaki eşitsizlik mevcuttur:

$$\begin{aligned} \left\| f\left(\frac{|A_1| + |A_2|}{4}\right) \right\|_{ber} & \leq \left\| \int_0^1 f\left(\frac{(1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|}{2}\right) d\xi \right\|_{ber} \\ & \leq \frac{1}{2}f\left(\frac{1}{2}\|A_1\|_{ber}\right) + \frac{1}{2}f\left(\frac{1}{2}\|A_2\|_{ber}\right). \end{aligned} \quad (18)$$

Önerme 1 de $A_1 = A$ ve $A_2 = A^*$ alınırsa aşağıdaki eşitsizlik elde edilir. Burada $\|A_1\| = \||A_1|\| = \||A_1^*|\|$ olduğunu dikkate alarak ispatını kolaylıkla verebiliriz.

Teorem 1. $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ olsun. O zaman herhangi $1 \leq p \leq 2$ için

$$\frac{1}{4^p} \||A| + |A^*|\|_{ber}^p \leq \left\| \int_0^1 \left(\frac{(1-\xi)|A| + \xi|A^*|}{2}\right)^p d\xi \right\|_{ber} \leq \frac{1}{2^p} \|A\|_{ber}^p \quad (19)$$

mevcuttur. Özel durumda ise aşağıdaki eşitsizlik sağlanır:

$$\frac{1}{4} \||A| + |A^*|\|_{ber} \leq \left\| \int_0^1 \left(\frac{(1-\xi)|A| + \xi|A^*|}{2}\right)^2 d\xi \right\|_{ber}^{1/2} \leq \frac{1}{2} \|A\|_{ber}. \quad (20)$$

Burada (12) eşitsizliği durumundan dolayı f fonksiyonunun operatör konveksliğinin gerekli koşul olduğu dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Şimdiki sonuç Önerme 1 in konveks versiyonunu verir.

Teorem 2. $A_1, A_2 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ olsun. Eğer $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ bir konveks fonksiyon ise o zaman herhangi $\lambda \in \Omega$ için

$$\begin{aligned} f\left(\left(\frac{(|A_1| + |A_2|)}{2}\right)(\lambda)\right) &\leq \int_0^1 f\left(\left\|\left((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|\right)^{\frac{1}{2}}\right\|_{Ber}^2\right) d\xi \\ &\leq \frac{1}{2} \|f(|A_1|) + f(|A_2|)\|_{ber} \end{aligned} \quad (21)$$

ve

$$\begin{aligned} f\left(\left\|\frac{|A_1| + |A_2|}{2}\right\|_{ber}\right) &\leq \int_0^1 f\left(\left\|\left((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|\right)^{\frac{1}{2}}\right\|_{Ber}^2\right) d\xi \\ &\leq \frac{1}{2} \|f(|A_1|) + f(|A_2|)\|_{ber} \end{aligned} \quad (22)$$

bulunur. Diğer taraftan eğer f artan ise o zaman aşağıdaki eşitsizlik sağlanır:

$$\begin{aligned} \left\|f\left(\frac{|A_1| + |A_2|}{2}\right)\right\|_{ber} &\leq \int_0^1 f\left(\left\|\left((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|\right)^{\frac{1}{2}}\right\|_{Ber}^2\right) d\xi \\ &\leq \frac{1}{2} \|f(|A_1|) + f(|A_2|)\|_{ber} \end{aligned} \quad (23)$$

İspat. $\lambda \in \Omega$ keyfi olsun. O zaman (11) eşitsizliğinden

$$\begin{aligned} f\left(\left\langle \frac{|A_1| + |A_2|}{2}, K_\lambda, K_\lambda \right\rangle\right) &= f\left(\frac{\langle |A_1| K_\lambda, K_\lambda \rangle + \langle |A_2| K_\lambda, K_\lambda \rangle}{2}\right) \\ &\leq \int_0^1 f\left(\langle (1-\xi)|A_1| K_\lambda, K_\lambda \rangle + \xi \langle |A_2| K_\lambda, K_\lambda \rangle\right) d\xi \\ &\leq \frac{f(\langle |A_1| K_\lambda, K_\lambda \rangle) + f(\langle |A_2| K_\lambda, K_\lambda \rangle)}{2} \end{aligned} \quad (24)$$

elde edilir. $\int_0^1 f(\langle (1-\xi)|A_1| K_\lambda, K_\lambda \rangle + \xi \langle |A_2| K_\lambda, K_\lambda \rangle) d\xi$ ifadesi I ile tanımlanırsa

$$\begin{aligned} I &= \int_0^1 f(\langle ((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|) K_\lambda, K_\lambda \rangle) d\xi \\ &= \int_0^1 f\left(\left\langle \left((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|\right)^{1/2} K_\lambda, \left((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|\right)^{1/2} K_\lambda \right\rangle\right) d\xi \\ &= \int_0^1 f\left(\left\|\left((1-\xi)|A_1| + \xi|A_2|\right)^{1/2} K_\lambda\right\|^2\right) d\xi \end{aligned} \quad (25)$$

bulunur. Ayrıca f nin konveksliği ve (14) eşitsizliği dikkate alınarak

$$\begin{aligned} f\left(\frac{\langle |A_1| K_\lambda, K_\lambda \rangle + \langle |A_2| K_\lambda, K_\lambda \rangle}{2}\right) &\leq \frac{\langle f(|A_1|) K_\lambda, K_\lambda \rangle + \langle f(|A_2|) K_\lambda, K_\lambda \rangle}{2} \\ &\leq \frac{\langle (f(|A_1|) + f(|A_2|)) K_\lambda, K_\lambda \rangle}{2} \end{aligned} \quad (26)$$

elde edilir. (24), (25) ve (26) durumlarını beraber düşündüğümüzde $\lambda \in \Omega$ üzerinden supremum alınırsa

$$\begin{aligned} \sup_{\lambda \in \Omega} f \left(\left\langle \frac{|A_1| + |A_2|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle \right) &\leq \sup_{\lambda \in \Omega} \int_0^1 f \left(\left\| \left((1 - \xi)|A_1| + \xi|A_2| \right)^{\frac{1}{2}} K_\lambda \right\|^2 \right) d\xi \\ &= \int_0^1 f \left(\left\| \left((1 - \xi)|A_1| + \xi|A_2| \right)^{\frac{1}{2}} \right\|_{Ber}^2 \right) d\xi \\ &\leq \sup_{\lambda \in \Omega} \frac{\langle (f(|A_1|) + f(|A_2|)) K_\lambda, K_\lambda \rangle}{2} \end{aligned} \quad (27)$$

ve

$$\begin{aligned} f \left(\left(\frac{|A_1| + |A_2|}{2} \right) (\lambda) \right) &\leq \int_0^1 f \left(\left\| \left((1 - \xi)|A_1| + \xi|A_2| \right)^{\frac{1}{2}} \right\|_{Ber}^2 \right) d\xi \\ &\leq \frac{1}{2} \|f(|A_1|) + f(|A_2|)\|_{ber} \end{aligned} \quad (28)$$

elde edilir. Bu ise (21) eşitsizliğini verir. (22) eşitsizliğini ispatlamak için herhangi bir f için

$$\begin{aligned} \sup_{\lambda \in \Omega} f \left(\left\langle \frac{|A_1| + |A_2|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle \right) &\leq f \left(\sup_{\lambda \in \Omega} \left\langle \frac{|A_1| + |A_2|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle \right) \\ &\leq \sup_{\lambda \in \Omega} \int_0^1 f \left(\left\| \left((1 - \xi)|A_1| + \xi|A_2| \right)^{\frac{1}{2}} K_\lambda \right\|^2 \right) d\xi \\ &= \int_0^1 f \left(\left\| \left((1 - \xi)|A_1| + \xi|A_2| \right)^{\frac{1}{2}} K_\lambda \right\|_{Ber}^2 \right) d\xi \\ &\leq f \left(\left\| \frac{|A_1| + |A_2|}{2} \right\|_{ber} \right) \\ &\leq \left\| f \left(\frac{|A_1| + |A_2|}{2} \right) \right\|_{ber} \end{aligned} \quad (29)$$

olur. (23) eşitsizliğini ispatlamak için f fonksiyonunun artan olduğu durumu dikkate alabiliriz. O zaman

$$\begin{aligned} \sup_{\lambda \in \Omega} f \left(\left\langle \frac{|A_1| + |A_2|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle \right) &\leq f \left(\sup_{\lambda \in \Omega} \left\langle \frac{|A_1| + |A_2|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle \right) \\ &\leq f \left(\left\| \frac{|A_1| + |A_2|}{2} \right\|_{ber} \right) \\ &\leq \left\| f \left(\frac{|A_1| + |A_2|}{2} \right) \right\|_{ber} \end{aligned} \quad (30)$$

elde edilir. Üstteki son satırda f fonksiyonunun artan olduğu durumda $\|f(|S|)\| = f(\|S\|)$ eşitliği kullanılmıştır. Bu ise (21) durumu ile beraber (23) eşitsizliğinin ispatını verir. Böylece teoremin ispatı tamamlanır.

Şimdi vereceğimiz önemli sonuç için aşağıdaki yardımcı teoreme ihtiyacımız vardır.

Yardımcı Teorem 6. $\mathcal{H} = \mathcal{H}(\Omega)$ bir ÜÇHU ve $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörü ise $A = B + iC$ biçiminde kartezyen ayrışıma sahip olsun. O zaman

$$\|B\|_{ber}^2 \leq ber^2(A) \text{ ve } \|C\|_{ber}^2 \leq ber^2(A) \quad (31)$$

mevcuttur.

İspat. Eğer $A = B + iC$ ifadesi A nın kartezyen ayrışımı ise o zaman herhangi $\lambda \in \Omega$ için $\langle BK_\lambda, K_\lambda \rangle^2 + \langle CK_\lambda, K_\lambda \rangle^2 = |\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|^2$ vardır. Bu sebeple $\langle BK_\lambda, K_\lambda \rangle^2 \leq |\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|^2$ olur. Böylece $\sup_{\lambda \in \Omega} \langle BK_\lambda, K_\lambda \rangle^2 \leq \sup_{\lambda \in \Omega} |\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|^2$ olup $\|B\|_{ber}^2 = ber^2(B) \leq ber^2(A)$ ifadesine denktir. Benzer olarak $\|C\|_{ber}^2 \leq ber^2(A)$ olduğu ispatlanabilir. Bu ise ispatı tamamlar.

Burada (12) eşitsizliğinin aşağıdaki genelleştirilmiş halini elde etmek için Önerme 1, A operatörünün kartezyen ayrışımı ile beraber önemlidir.

Teorem 3. $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörü $A = B + iC$ kartezyen ayrışımına sahip olsun. Eğer $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ bir artan operatör konveks fonksiyon ise o zaman

$$\begin{aligned} \left\| f\left(\frac{A^*A + AA^*}{4}\right) \right\|_{ber} &\leq \left\| \int_0^1 f((1-\xi)B^2 + \xi C^2) d\xi \right\|_{Ber} \\ &\leq \frac{1}{2} \|f(B^2) + f(C^2)\|_{ber} \\ &\leq f(ber^2(A)) \end{aligned} \quad (32)$$

olur.

İspat. Teorem 2 de $|A_1|$ yerine $2B^2$ ve $|A_2|$ yerine $2C^2$ alınırsa Teorem 2 nin direkt uygulanmasından birinci ve ikinci eşitsizlik elde edilir. Üçüncü eşitsizlik için üçgen eşitsizliği, $\|f(|S|)\| = f(\|S\|)$ durumu ve Yardımcı Teorem 6 kullanılırsa

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \|f(B^2) + f(C^2)\|_{ber} &\leq \frac{1}{2} (\|f(B^2)\|_{ber} + \|f(C^2)\|_{ber}) \\ &= \frac{1}{2} (f(\|B^2\|_{ber}) + f(\|C^2\|_{ber})) \\ &\leq f(ber^2(A)) \end{aligned} \quad (33)$$

elde edilir. Bu ise ispatı tamamlar.

Şimdi $1 \leq p \leq 2$ olduğunda $f(\xi) = \xi^p$ fonksiyonunun artan operatör konveks fonksiyon olduğuna dikkat edelim. Bu durumda Teorem 3 aşağıda (8) deki birinci eşitsizliğin genişletilmiş halini verir.

Sonuç 1. $\mathcal{H} = \mathcal{H}(\Omega)$ bir ÜÇHU ve $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörü ise $A = B + iC$ biçiminde kartezyen ayrışıma sahip olsun. O zaman herhangi $1 \leq p \leq 2$ için

$$\frac{1}{4^p} \|A^*A + AA^*\|_{ber}^p \leq \left\| \int_0^1 f((1-\xi)B^2 + \xi C^2)^p d\xi \right\|_{Ber} \leq ber^{2p}(A) \quad (34)$$

olur. Özel durumda aşağıdaki eşitsizlik mevcuttur:

$$\frac{1}{4} \|A^*A + AA^*\|_{ber} \leq \left\| \int_0^1 f((1-\xi)B^2 + \xi C^2)^2 d\xi \right\|_{Ber}^{1/2} \leq ber^2(A). \quad (35)$$

[4] numaralı kaynakta $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ artan operatör konveks fonksiyon olmak üzere

$$f(\text{ber}(A)) \leq \left\| \int_0^1 f(\xi|A| + (1-\xi)|A^*|) d\xi \right\|_{\text{ber}} \leq \frac{1}{2} \|f(|A|) + f(|A^*|)\|_{\text{ber}} \quad (36)$$

olduğu gösterilmiştir. [4] numaralı kaynakta verilen üstteki sonuç aşağıdaki teoremden iyileştirilmiştir.

Teorem 4. $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ olsun. Eğer $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ bir artan konveks fonksiyon ise o zaman

$$f(\text{ber}(A)) \leq \frac{1}{2} \left\| f\left(\frac{3|A| + |A^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A| + 3|A^*|}{4}\right) \right\|_{\text{ber}} \quad (37)$$

bulunur.

İspat. Eğer $f: J \rightarrow \mathbb{R}$ bir konveks fonksiyon ve $x_1, x_2 \in J$ ise o zaman

$$\begin{aligned} f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) &\leq f\left(\frac{1}{2}\left(\frac{3x_1 + x_2}{4} + \frac{x_1 + 3x_2}{4}\right)\right) \\ &\leq \frac{1}{2} \left(f\left(\frac{3x_1 + x_2}{4}\right) + f\left(\frac{x_1 + 3x_2}{4}\right) \right) \end{aligned} \quad (38)$$

olduğu kolayca gösterilebilir. $\lambda \in \Omega$ alınsın. Üstteki eşitsizlikte x_1 ve x_2 sırasıyla $\langle |A|K_\lambda, K_\lambda \rangle$ ve $\langle |A^*|K_\lambda, K_\lambda \rangle$ ile yer değiştirirse (14) eşitsizliğinden

$$\begin{aligned} f\left(\left\langle \frac{|A| + |A^*|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle\right) &\leq \frac{1}{2} \left[f\left(\left\langle \frac{3|A| + |A^*|}{4} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle\right) + f\left(\left\langle \frac{|A| + 3|A^*|}{4} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle\right) \right] \\ &\leq \frac{1}{2} \left[\left\langle f\left(\frac{3|A| + |A^*|}{4}\right) K_\lambda, K_\lambda \right\rangle + \left\langle f\left(\frac{|A| + 3|A^*|}{4}\right) K_\lambda, K_\lambda \right\rangle \right] \\ &= \frac{1}{2} \left\{ f\left(\frac{3|A| + |A^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A| + 3|A^*|}{4}\right) \right\} K_\lambda, K_\lambda \end{aligned} \quad (39)$$

elde edilir. Diğer taraftan f artan olduğundan (13) eşitsizliği ve AM-GM eşitsizliği kullanılarak

$$f(|\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|) \leq f\left(\sqrt{\langle |A|K_\lambda, K_\lambda \rangle \langle |A^*|K_\lambda, K_\lambda \rangle}\right) \leq f\left(\left\langle \frac{|A| + |A^*|}{2} K_\lambda, K_\lambda \right\rangle\right) \quad (40)$$

bulunur. (39) ve (40) eşitsizlikleri beraber düşünüldüğünde

$$f(|\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|) \leq \frac{1}{2} \left\{ f\left(\frac{3|A| + |A^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A| + 3|A^*|}{4}\right) \right\} K_\lambda, K_\lambda \quad (41)$$

ve

$$\sup_{\lambda \in \Omega} f(|\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|) \leq \frac{1}{2} \sup_{\lambda \in \Omega} \left\{ f\left(\frac{3|A| + |A^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A| + 3|A^*|}{4}\right) \right\} K_\lambda, K_\lambda \quad (42)$$

olup, bu ise istenilen

$$f(\text{ber}(A)) \leq \frac{1}{2} \left\| f\left(\frac{3|A| + |A^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A| + 3|A^*|}{4}\right) \right\|_{\text{ber}} \quad (43)$$

eşitsizliğini verir. Bu ise teoremin ispatını tamamlar.

Şimdi Teorem 4 ve (36) eşitsizliğinden aşağıdaki önermeyi verebiliriz.

Önerme 2. $A_1 \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ olsun. Eğer $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ artan konveks fonksiyon ise o zaman

$$\frac{1}{2} \left\| \left\| f\left(\frac{3|A_1| + |A_1^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A_1| + 3|A_1^*|}{4}\right) \right\|_{ber} \right\| \leq \left\| \int_0^1 f(\xi|A_1| + (1-\xi)|A_1^*|) d\xi \right\|_{ber} \quad (44)$$

eşitsizliği sağlanır.

İspat. A_1 ve A_2 operatörleri J deki spektrumla iki kendine eş operatörler ve f ise J üzerinde operatör konveks olmak üzere (12) deki ikinci eşitsizlikten $\frac{1}{2} \left(f\left(\frac{3A_1 + A_2}{4}\right) + f\left(\frac{A_1 + 3A_2}{4}\right) \right) \leq \int_0^1 f(\xi A_1 + (1-\xi)A_2) d\xi$ elde edilir. Üstteki eşitsizlikte A_1 ve A_2 yerine sırasıyla $|A_1|$ ve $|A_1^*|$ alınırsa $\left[\frac{1}{2} f\left(\frac{3|A_1| + |A_1^*|}{4}\right) + f\left(\frac{|A_1| + 3|A_1^*|}{4}\right) \right] \leq \int_0^1 f(\xi|A_1| + (1-\xi)|A_1^*|) d\xi$ eşitsizliği elde edilir. Bu da (44) a karşılık gelir.

Şimdi (8) deki ilk eşitsizliğin yeni incelenmiş halini vermek için farklı bir yaklaşım kullanacağız. Bunun için temel eşitsizliğimiz S ve T kendine eş operatörler olmak üzere

$$\left(\frac{S+T}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{S+T}{2}\right)^2 + \left(\frac{|S-T|}{2}\right)^2 = \frac{S^2 + T^2}{2} \quad (45)$$

olacaktır.

Teorem 5. $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ olsun. O zaman aşağıdaki eşitsizlik sağlanır:

$$\frac{1}{4} \|A^*A + AA^*\|_{ber} \leq \frac{1}{4} \|(A^*A + AA^*)^2 + |A^2 + (A^*)^2|\|_{ber}^{1/2} \leq ber^2(A). \quad (46)$$

İspat. $A = B + iC$ ifadesi A operatörünün kartezyen ayrışımı olsun. O zaman $B^2 + C^2 = \frac{A^*A + AA^*}{2}$ ve $B^2 - C^2 = \frac{A^2 + (A^*)^2}{2}$ olur. (45) eşitsizliğinde sırasıyla S ve T yerine B^2 ve C^2 alınırsa

$$\left(\frac{B^2 + C^2}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{B^2 + C^2}{2}\right)^2 + \left(\frac{|B^2 - C^2|}{2}\right)^2 = \frac{B^4 + C^4}{2} \quad (47)$$

elde edilir. Sonuç olarak

$$\left\| \left(\frac{B^2 + C^2}{2}\right) \right\|_{ber}^2 \leq \left\| \left(\frac{B^2 + C^2}{2}\right)^2 + \left(\frac{|B^2 - C^2|}{2}\right)^2 \right\|_{ber} = \left\| \frac{B^4 + C^4}{2} \right\|_{ber} \quad (48)$$

olur. Şimdi eğer $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ operatörü $A = B + iC$ kartezyen ayrışımına sahip ise (47) eşitsizliği ve Yardımcı Teorem 6 dan

$$\begin{aligned} \frac{1}{16} \|A^*A + AA^*\|_{ber}^2 &\leq \frac{1}{16} \|(A^*A + AA^*)^2 + |A^2 + (A^*)^2|\|_{ber} \\ &= \left\| \frac{B^4 + C^4}{2} \right\|_{ber} \\ &\leq \frac{\|B\|_{ber}^4 + \|C\|_{ber}^4}{2} \\ &\leq ber^4(A) \end{aligned} \quad (49)$$

elde edilir. İspat tamamlanır.

[7] numaralı kaynağın bazı argümanlarını kullanarak aşağıdaki teoremi verebiliriz.

Teorem 6. Eğer $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$, $0 \leq \xi \leq 1$ ve $2 \leq p \leq 4$ ise o zaman

$$\|ber^p(A)\| \leq \|\xi|A|^p + (1 - \xi)|A^*|^p\|_{ber} \quad (50)$$

sağlanır.

Son sonuç olarak konveks veya operatör konveks fonksiyonlar yardımıyla (50) eşitsizliğinin genelleştirilmiş durumunu aşağıda vereceğiz.

Teorem 7. Eğer $A \in \mathcal{B}(\mathcal{H})$ ve $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ bir artan operatör konveks fonksiyon ise o zaman

$$\begin{aligned} f(ber^2(A)) &\leq \|(1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2) \\ &\quad - 2p \left(\frac{f(|A|^2) + f(|A^*|^2)}{2} - f\left(\frac{|A|^2 + |A^*|^2}{2}\right) \right)\|_{ber} \\ &\leq \|(1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2)\|_{ber} \end{aligned} \quad (51)$$

eşitsizliği sağlanır. Özel durumda $2 \leq p \leq 4$ için

$$\begin{aligned} \|ber^p(A)\| &\leq \left\| (1 - \xi)|A|^p + \xi|A^*|^p - 2p \left(\frac{|A|^p + |A^*|^p}{2} - \left(\frac{|A|^2 + |A^*|^2}{2}\right)^{\frac{p}{2}} \right) \right\|_{ber} \\ &\leq \|(1 - \xi)|A|^p + \xi|A^*|^p\|_{ber} \end{aligned} \quad (52)$$

olur.

İspat. K_λ normalleştirilmiş üretici çekirdek olsun. Yardımcı Teorem 5 ten

$$\begin{aligned} f((1 - \xi)|A|^2 + \xi|A^*|^2) &\leq (1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2) - 2p \left(\frac{f(|A|^2) + f(|A^*|^2)}{2} - f\left(\frac{|A|^2 + |A^*|^2}{2}\right) \right) \\ &\leq (1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2) \end{aligned} \quad (53)$$

elde edilir. Bundan dolayı

$$\begin{aligned} \|f((1 - \xi)|A|^2 + \xi|A^*|^2)\|_{ber} &\leq \left\| (1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2) - 2p \left(\frac{f(|A|^2) + f(|A^*|^2)}{2} - f\left(\frac{|A|^2 + |A^*|^2}{2}\right) \right) \right\|_{ber} \\ &\leq \|(1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2)\|_{ber} \end{aligned} \quad (54)$$

elde edilir. Diğer taraftan Yardımcı Teorem 4, f fonksiyonunun artanlığı ve AM-GM eşitsizliğinden

$$\begin{aligned} f(|\langle AK_\lambda, K_\lambda \rangle|^2) &\leq f(|A|^{2(1-\xi)} K_\lambda, K_\lambda \rangle \langle |A^*|^{2\xi} K_\lambda, K_\lambda \rangle) \\ &\leq f(|A|^2 K_\lambda, K_\lambda \rangle^{(1-\xi)} \langle |A^*|^2 K_\lambda, K_\lambda \rangle^\xi) \\ &\leq f((1 - \xi)\langle |A|^2 K_\lambda, K_\lambda \rangle + \xi \langle |A^*|^2 K_\lambda, K_\lambda \rangle) \\ &\leq f(\langle (1 - \xi)|A|^2 + \xi|A^*|^2 K_\lambda, K_\lambda \rangle) \end{aligned} \quad (55)$$

olup üstteki eşitsizlikten $\lambda \in \Omega$ üzerinden supremum alınırsa

$$f(\text{ber}^2(A)) \leq \|f((1 - \xi)|A|^2 + \xi|A^*|^2)\|_{\text{ber}} \quad (56)$$

elde edilir. Sonuç olarak

$$\begin{aligned} & f(\text{ber}^2(A)) \\ & \leq \left\| (1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2) - 2p \left(\frac{f(|A|^2) + f(|A^*|^2)}{2} - f\left(\frac{|A|^2 + |A^*|^2}{2}\right) \right) \right\|_{\text{ber}} \\ & \leq \|(1 - \xi)f(|A|^2) + \xi f(|A^*|^2)\|_{\text{ber}} \end{aligned} \quad (57)$$

elde edilir. Bu ise (52) durumunu sağlar. $f(\xi) = \xi^p$, $1 \leq p \leq 2$ alınır ve (51) uygulanırsa özel durumdaki (52) eşitsizliği elde edilir.

IV. KAYNAKLAR

- [1] N. Aronszajn, "Theory of reproducing kernels," *Transactions of The American Mathematical Society*, vol. 68, pp. 337-404, 1950.
- [2] M. Bakherad and M.T. Garayev, "Berezin number inequalities for operators," *Concrete Operators*, vol. 6, no. 1, pp. 33-43, 2019.
- [3] H. Başaran, M. Gürdal and A. N. Güncan, "Some operator inequalities associated with Kantorovich and Hölder-McCarthy inequalities and their applications," *Turkish Journal of Mathematics*, vol. 43, no. 1, pp. 523-532, 2019.
- [4] H. Başaran, M. B. Huban and M. Gürdal, "Inequalities related to Berezin norm and Berezin number of operators," preprint, 2021.
- [5] F. A. Berezin, "Covariant and contravariant symbols for operators," *Mathematics of the USSR-Izvestiya*, vol. 6, pp. 1117-1151, 1972.
- [6] S. S. Dragomir, "Hermite-Hadamard's type inequalities for operator convex functions," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 218, no. 3, pp. 766-772, 2011.
- [7] M. El-Haddad and F. Kittaneh, "Numerical radius inequalities for Hilbert space operators (II)," *Studia Mathematica*, vol. 182, no. 2, pp. 133-140, 2007.
- [8] T. Furuta, "A simplified proof of Heinz inequality and scrutiny of its equality," *American Mathematical Society*, vol. 97, no. 4, pp. 751-753, 1986.
- [9] M. T. Garayev, "Berezin symbols, Hölder-McCarthy and Young inequalities and their applications," *Proceedings of Institute of Mathematics and Mechanics. National Academy of Sciences of Azerbaijan*, vol. 43, no. 2, pp. 287-295, 2017.
- [10] M. Garayev, F. Bouzeffour, M. Gürdal and C. M. Yangöz, "Refinements of Kantorovich type, Schwarz and Berezin number inequalities," *Extracta Mathematicae*, vol. 35, pp. 1-20, 2020.
- [11] M. T. Garayev, M. Gürdal and A. Okudan, "Hardy-Hilbert's inequality and a power inequality for Berezin numbers for operators," *Mathematical Inequalities and Applications*, vol. 19, pp. 883-891, 2016.

- [12] M. T. Garayev, M. Gürdal and S. Saltan, “Hardy type inequality for reproducing kernel Hilbert space operators and related problems,” *Positivity*, vol. 21, pp. 1615-1623, 2017.
- [13] M. T. Garayev, H. Guedri, M. Gürdal and G.M. Alsahli, “On some problems for operators on the reproducing kernel Hilbert space,” *Linear Multilinear Algebra*, vol. 69, no. 11, pp. 2059-2077, 2021.
- [14] M. Garayev, S. Saltan, F. Bouzeffour and B. Aktan, “Some inequalities involving Berezin symbols of operator means and related questions,” *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales Serie A: Matematicas RACSAM*, vol. 114, no. 85, pp. 1-17, 2020.
- [15] K. E. Gustafson and D. K. M. Rao, *Numerical Range*, New York, USA: Springer-Verlag, 1997.
- [16] M. Hajmohamadi, R. Lashkaripour and M. Bakherad, “Improvements of Berezin number inequalities,” *Linear Multilinear Algebra*, vol. 68, no. 6, pp. 1218-1229, 2020.
- [17] M. B. Huban, H. Başaran and M. Gürdal, “New upper bounds related to the Berezin number inequalities,” *Journal of Inequalities and Special Functions*, vol. 12, no. 3, pp. 1-12, 2021.
- [18] M. T. Karaev, “Berezin set and Berezin number of operators and their applications,” in *The 8th Workshop on Numerical Ranges and Numerical Radii (WONRA -06)*, Bremen, Germany, University of Bremen, July 2006, pp. 14.
- [19] M. T. Karaev, “Berezin symbol and invertibility of operators on the functional Hilbert spaces,” *Journal of Functional Analysis*, vol. 238, pp. 181-192, 2006.
- [20] M. T. Karaev, “Reproducing kernels and Berezin symbols techniques in various questions of operator theory,” *Complex Analysis and Operator Theory*, vol. 7, pp. 983-1018, 2013.
- [21] F. Kittaneh, “Notes on some inequalities for Hilbert space operators,” *Publications of the Research Institute for Mathematical Sciences*, vol. 24, pp. 283-293, 1988.
- [22] F. Kittaneh, “A numerical radius inequality and an estimate for the numerical radius of the Frobenius companion matrix,” *Studia Mathematica*, vol. 158, no. 1, pp. 11-17, 2003.
- [23] F. Kittaneh, “Numerical radius inequalities for Hilbert space operators,” *Studia Mathematica*, vol. 168, no. 1, pp. 73-80, 2005.
- [24] B. Mond and J. Pečarić, “On Jensen's inequality for operator convex functions,” *Houston Journal of Mathematics*, vol. 21, pp. 739-753, 1995.
- [25] H. R. Moradi and M. Sababheh, “More accurate numerical radius inequalities (II),” *Linear and Multilinear Algebra*, vol. 69, no. 5, pp. 921-933, 2021.
- [26] M. Sababheh, “Convexity and matrix means,” *Linear Algebra Applications*, vol. 506, pp. 588-602, 2016.
- [27] M. Sababheh, “Numerical radius inequalities via convexity,” *Linear Algebra Applications*, vol. 549, pp. 67-78, 2018.
- [28] M. Sababheh and H. R. Moradi, “More accurate numerical radius inequalities (I),” *Linear and Multilinear Algebra*, vol. 69, no. 10, pp. 1964-1973, 2021.
- [29] S. S. Sahoo, N. Das and D. Mishra, “Berezin number and numerical radius inequalities for operators on Hilbert spaces,” *Advances in Operator Theory*, vol. 5, pp. 714-727, 2020.



- [30] R. Tapdigoglu, “New Berezin symbol inequalities for operators on the reproducing kernel Hilbert space,” *Operators and Matrices*, vol. 15, no. 3, pp. 1031-1043, 2021.
- [31] U. Yamancı and M. Gürdal, “On numerical radius and Berezin number inequalities for reproducing kernel Hilbert space,” *New York Journal of Mathematics*, vol. 23, pp. 1531-1537, 2017.
- [32] U. Yamancı, M. Gürdal and M. T. Garayev, “Berezin number inequality for convex function in reproducing kernel Hilbert space,” *Filomat*, vol. 31, pp. 5711-5717, 2017.
- [33] U. Yamancı, R. Tunç and M. Gürdal, “Berezin numbers, Grüss type inequalities and their applications,” *Bulletin Malaysian Mathematical Sciences Society*, vol. 43, pp. 2287-2296, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ekleme İmalat ile Üretilen PLA Esaslı Malzemenin Çekme Dayanımının Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanarak Tahmini¹

 Koray ÖZSOY^{a,*},  Hamdi SAYIN^b

^a *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Isparta OSB Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Isparta, TÜRKİYE*

^b *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: korayozsoy@isparta.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1012892

ÖZ

Endüstri 4.0'ın önemli bileşenlerinden olan eklemeli imalat ve yapay zekâ teknikleri günümüzde birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Eklemeli imalat yöntemleri kendi içerisinde yedi sınıfa ayrılmaktadır. Eriyik yığıma modelleme eklemeli imalat yönteminin sıklıkla tercih edilen yöntemlerinden birisidir. Eriyik yığıma modelleme imalat tablası üzerinde kullanılan filament malzemenin katman katman birleşimi ile parça üretimi gerçekleştirilir. Çalışmada eriyik yığıma modelleme yönteminde farklı işleme parametreleri kullanılarak çekme numuneleri üretilmiştir. Çekme numuneleri ASTM standartlarına göre çekme deneyi yapılarak, çekme dayanımına ait değerler ile veri seti oluşturulmuştur. Malzeme üretim sürecinde toplanan sıcaklık, hız, katman özelliklerine dair veri seti kullanılarak üretilen malzemenin çekme dayanımı değerleri üç farklı makine öğrenmesi modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonuçlar, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak çekme dayanımını Kısmi En Küçük Kareler algoritması ile %98,3 doğrulukla tahminlediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Makine öğrenmesi, Eriyik yığıma modelleme

Estimation of Tensile Strength of PLA Based Material Produced by Additive Manufacturing Using Machine Learning Algorithms

ABSTRACT

Additive manufacturing and artificial intelligence techniques, which are important components of Industry 4.0, are frequently used in many areas today. Additive manufacturing methods are divided into seven classes within themselves. The fused deposition method is one of the most preferred methods of additive manufacturing. The part is produced by the layer-by-layer combination of the filament material used on the fused deposition method (FDM) manufacturing table. In the study, tensile samples were produced by using different processing parameters in the FDM method. Tensile samples were tested according to ASTM standards, and a data set was created with the values of tensile strength. The tensile strength values of the material produced using the data set on temperature, velocity, layer properties collected during the material production process were estimated using three different machine learning models. The results showed that using machine learning algorithms, the tensile strength can be predicted with an accuracy of 98,3% by the Partial Least Squares algorithm.

Keywords: Additive manufacturing, Machine learning, Fused deposition modelling

I. GİRİŞ

İmalat, bir ürüne değer katan süreçtir. İmalat sistemi ise genel olarak, kâr sağlamak amacıyla bir ürüne değer katmak için hammaddenin içinde bulunduğu şekilden başka bir şekle dönüştürüldüğü sistem olarak tanımlanabilir. İmalat işlemi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. İmalat yöntemleri talaşlı, talaşsız ve modern imalat yöntemleri olarak uygulanmaktadır. Talaşlı imalat [1] tornalama, frezeleme yöntemleri kullanılırken talaşsız imalat [2] döküm ve kaynak alt süreçleri kullanılmaktadır. Modern imalat yöntemlerinde ise CNC makineler ve 3 boyutlu yazıcılardan yararlanılmaktadır.

Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım programlarıyla çizimi gerçekleştirilen nesnelerin hammaddenin üst üste tabakalanmasıyla üç boyutlu olarak üretilmesine imkân sağlayan teknolojidir. 3B yazıcılarda günümüzde sıklıkla kullanılan EBM (Eriyik Biriktirme Modelleme/Fused Deposition Modelling) teknolojisi, sıcak bir başlık vasıtasıyla eritilen termoplastik malzemenin baskı tablası üzerine katmanlar halinde akıtılıp eklenmesiyle üretim yapılan 3D baskı teknolojisidir. Ergiyik Biriktirme Modelleme yönteminde kullanılan hammaddeler ABS (Akrilonitril Butadien Stiren), PLA (Polylactic Acid), PCABS (Polikarbonat Akrilonitril Butadien Stiren), ABS+, TPU (Termoplastik Poliüretan), PC (Polikarbonat), PEEK (Polieter Eter Keton), PEI (Polyetherimide), PP (Polipropilen) termo plastiklerdir [3,4].

Üç boyutlu (3B) yazıcılar tüm üretim alanlarında hızlı prototipleme, yedek parça üretimi, mimari modeller, tıbbi protezler, inşaat projeleri ve eğitim süreçlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Eriyik yığıma yönteminde birçok farklı işleme parametreleri vardır. Bu parametreler parçanın görsel ve işlevsel özelliklerini etkilemektedir. Karaman vd. (2019) çalışmalarında ABS-plus termoplastik malzemeli farklı doluluk oranı ve farklı yönlendirme açısı ile çekme testi numunesi EYM yöntemiyle üretilmiş ve çekme teste tabi tutulmuştur. Doluluk oranındaki artış ve farklı yönlendirme mekanik özellikleri önemli oranda değiştirmiştir [5]. Zhang vd., (2019) çalışmasında, EYM yöntemi kullanarak derin öğrenme ağ yapısındaki 3B baskı sürecini dikkate alarak veriye dayalı bir tahmine dayalı model sunmuştur [6]. Rajpurohit vd., (2019) çalışmasında PLA malzemeli numuneleri EYM yöntemiyle üretilmiştir. Çekme deney sonuçları deneysel değerler ile ölçülüp analiz edilmiştir. Çekme testi sonuçları, parça oryantasyonu, dolgu modeli ve doluluk oranının çekme mukavemetini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Düz parça oryantasyonu ve eş merkezli desen ile basılan parçaların maksimum çekme mukavemeti sergilediği gözlemlenmiştir. Doluluk oranı artması ile çekme mukavemeti artmıştır [7].

Bir süreç ya da sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktıların gözlemlenmesi ve analiz edilmesini sağlayan deney tasarımı metodları, en uygun üretim faktörlerini belirlemek için kullanılan etkin istatistiksel metodlardandır [8]. Endüstride sıklıkla gördüğümüz bu uygulamalar hem işletmelerin iş akışlarında iyileşme hem de kaynakların verimli kullanılmasını sağlamaktadır [9]. Farklı alanlarda kullanımı yaygınlaşan 3B yazıcılarda üretilen nesnelerin sağlam ve uzun ömürlü olacak şekilde üretilmesi dikkatli bir üretim sürecini gerektirmektedir. Üretim sürecinde kullanılan hammadde türü ve diğer üretim parametreleri ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Sistematik olmayan deneme yanılma yöntemleri ve hata metodu gibi tekniklerin kullanılması optimal kombinasyonlu üretim parametrelerini bulmayı oldukça zorlaştırmaktadır [10]. Seri üretim için çok önemli olan ve ürün kalitesini etkileyen termal proseslerin deneysel çalışmalarda elde edilen büyük veriler ile derin öğrenme yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi de oldukça önemlidir [11]. Derin öğrenme uygulamalarında biri olan makine öğrenmesi özellikle sanayide üretim kademesinde işlerin hızlandırılması, ürün kalitesinin artırılması, ürünlerin sınıflandırılması vb. gibi işlemleri hızlıca yapması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir [12].

Bu çalışma eklemeli imalat yöntemlerinden EBM 3B baskı yönteminin işleme parametreleri ve malzeme özelliklerinin incelenmesi ile ilgilidir. Deney numuneleri plastikler için ISO standartlarına göre çizilmiştir. EBM 3B Baskı yöntemiyle deney standartlarına göre PLA malzemeli çekme deney numuneleri üretilmiştir. Üretim parametreleri fan hızı %0 ve %100, katman kalınlığı 0,2, 0,3 ve 0,4 mm, doluluk oranı %30, %65 ve %100, baskı hızı 75, 125 ve 175 mm/sn, tabla sıcaklığı 30°C, 50°C ve 80°C

olacak biçimde seçilmiştir. PLA malzemeden her bir işleme parametresi için 12 adet çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular literatürle karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL ve METOT

A. MATERYAL

A. 1. Üç Boyutlu (3B) Yazıcı

Eklemeli imalat olarak da bilinen 3 Boyutlu (3B) yazdırma işlemi, parçaların dijital bir ortamda katmanlar halinde tablaya yerleştirilmesi ile imal edilen bir süreçtir [13]. 3B katı model. STL dosya formatında elde edilmiştir. Şekil 1’de çalışmada kullanılan EBM tip 3B yazıcı ile numuneler PLA malzeme kullanılarak imal edilmiştir. Tablo 1’de çalışmada kullanılan 3B yazıcının sabit parametreleri ve teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan 3B yazıcı çekme numune imalat görüntüsü

Tablo 1. EBM tipi 3B yazıcının sabit parametreleri ve teknik özellikleri

Özellik	Birimi	Ölçü
Baskı Alanı	cm	22x22x25
Yazıcı Boyutları	cm	44x41x46,5
Ağırlık	Kg	8,6
Maksimum Hareket Hızı	mm/s	180
Filament	1,75 mm	PLA,TPU,ABS
Katman Kalınlığı	mm	0,1-0,4
Nozzle	mm	0,4
Hassasiyet	Mm	+0,1
Max Nozzle Sıcaklığı	°C	255
Max Tabla Sıcaklığı	°C	110
Baskı Dosya Biçimi		STL,OBJ,G-CODE

A. 2. Çekme Test Numuneleri

Çekme test numuneleri Solidworks programı ile ISO 527: 1993 çekme testi standartlarına göre 122 mm uzunluğunda, 20 mm genişliğinde ve 2,4 mm kalınlığında çizilmiştir. Eklemeli imalat EBM yöntemiyle dolgu oranı, fan hızı, katman kalınlığı ve baskı hızı gibi farklı işleme parametreleri ile çekme testi numuneleri üretilmiştir. Eklemeli imalat EBM yöntemiyle üretilen çekme test numunesi örnekleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Eklemeli imalat ile üretilen çekme test numunelerinin görüntüsü

A. 3. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti için 36 adet çekme testi numunesi EBM tipi 3B yazıcı ile üretilmiştir. Daha sonra Taguchi deney tasarımı ile çekme deney maliyetini en aza indirmek için optimum 12 adet numune çekme testine tabi tutulmuştur. Böylece veri seti üretim sürecine ait fan hızı, tabla sıcaklığı, katman kalınlığı, dolgu yüzde oranı, baskı hızı ve numunelere ait çekme dayanımı sonuç verilerinden oluşmaktadır. İmalat parametreleri; nozzle fanı açık (%0)-kapalı (%100), tablanın sıcaklığı değerleri 30 °C- 80 °C, katman kalınlığı 0,2- 0,4 mm değer aralıkları arasında değişmektedir. Dolgu oranı %30-%100 arasında değişim gösterirken, baskı hızı ise 75 mm/sn ile 175 mm/sn arasında değişim göstermiştir. Bu üretim değerleri ile üretilen numunelere ait çekme dayanımı sonuçları ise 24-45 MPa arasında tespit edilerek veri setine dahil edilmiştir.

Tablo 2. Veri seti

Numune No	Fan Hızı	Tabla Sıcaklığı (°C)	Katman Kalınlığı (mm)	Dolgu Oranı (%)	Baskı Hızı (mm/sn)	Çekme Dayanımı (MPa)
3	0	80	0.4	100	175	36
7	0	30	0.2	30	175	29
8	0	50	0.3	65	75	33
9	0	80	0.4	100	125	37
10	0	30	0.2	30	125	33
11	0	50	0.3	65	175	31
12	0	80	0.4	100	75	44
19	100	80	0.2	65	175	32
20	100	30	0.3	100	75	46
21	100	50	0.4	30	125	31
34	100	80	0.2	100	125	45
36	100	50	0.4	65	75	28

A. 4. Kısmi En Küçük Kareler Regresyon (PLS) Algoritması

Kısmi en küçük kareler regresyonu hem yüksek boyutlu hem de çoklu doğrusallık problemlerini çözmek için istatistiksel prosedürleri kullanan ana regresyonlardan biridir [14]. PLS'de çıktı değişkeni, girdi değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak modellenir. Tipik bir regresyon modelinde çıktılar, girdilerin doğrusal bir kombinasyonu olarak ifade edilir. Gerçek sonuçlar ile Denklem 1'deki model tarafından tahmin edilen sonuçlar arasındaki fark, OLS (Olağan En Küçük Kareler) yöntemi kullanılarak, ikinci dereceden hataların toplamını en aza indiren bir model katsayısı sağlar [15].

$$Y_i = \beta_{01} + \beta_{11} X_1 + \beta_{21} X_2 + \beta_{31} X_3 + \dots + \beta_{81} X_8 + \varepsilon_1 \quad (1)$$

PLS regresyonu, giriş ve çıkış değişkenlerini kullanarak doğrudan regresyon gerçekleştirmez. Bunun yerine, modeli oluşturmak için özel değişkenler (gizli değişkenler) kullanır. Denklem 2'de verilen matriste n girdi değişkenleri, m çıktı değişkenleri, N veri noktaları, X girdi değerleri ve Y veri matrisleridir [16].

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Nn} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N1} & y_{N2} & \dots & y_{Nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

A. 5. Rastgele Orman Regresyon (RFR) Algoritması

Breiman tarafından önerilen rastgele orman regresyon algoritması, tahmine dayalı analitik sonuçlar için en etkili makine öğrenme modellerinden biridir [17]. Basit kavramlarla ilgili denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. Algoritma, eğitim zamanında bir dizi karar ağacıyla bir orman oluşturarak çalışır. Her ağaç, karar ağacının tahmini olan sonlandırma noktasına (yaprak) ulaşana kadar ağacın farklı dallarına ayrıldığı bir karar düğümleri düzenlemesi içerir. Her bir karar düğümü, girdi özelliklerinin değerinin belirli bir eşliğin üzerinde olup olmadığına bağlıdır. Her orman ağacı, farklı bir model yaklaşımı sağlamak için bağımsız olarak eğitilir. Nihai tahmin, ağaç tahminlerinin her birinin ortalaması alınarak elde edilir [18].

A. 6. Theil-Sen Regresyon (TSR) Algoritması

Theil-Sen regresyon algoritması, verilerde mevcut olan aykırı değerlere karşı dayanıklı, parametrik olmayan bir tahmin yöntemidir [19]. Theil-Sen regresyonu, yalnızca aykırı değerlerin varlığında tutarlı performans göstermekle kalmaz, aynı zamanda normal veriler için de diğer regresyon algoritmalarının rakibidir. Bir doğrunun eğrisini tahmin etmek için kullanılan Theil'in yöntemi, (x_i, y_i) ve (x_j, y_j) gözlem çiftlerinin medyanının hesaplanmasına dayanmaktadır [20]. Denklem 3'de verilen β_1 değeri son parametrik olmayan eğim, hesaplanan tüm eğimlerin uzaysal medyanı olarak tanımlanır. β_0 kesişimi Denklem 3'e verilen matematiksel ifade ile hesaplanır.

$$\beta_0 = Y_{medyan} - \beta_1 * X_{medyan} \quad (3)$$

Denklemden X_{medyan} giriş değişkenlerine ait ölçümlerin ve Y_{medyan} ise yanıt değişkenlerinin medyanlarıdır.

A. 7. Performans Başarı Ölçütleri

Makine öğrenmesi modeli hazırlandıktan sonra modelin performansı değerlendirilmelidir. Makine öğrenmesi uygulamalarında performans değerlendirme kriterleri, uygulamanın türüne göre değişiklik göstermektedir. Regresyon analizi için kullanılan değerlendirme kriterleri ile bir sınıflandırmanın veya

kümelenmiş bir uygulamanın değerlendirme kriterleri farklı olacaktır. Regresyon analizinde, performans değerlendirmesi için belirleme katsayısı (R^2), Ortalama Kare Hata (MSE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata(MAPE) gibi çeşitli regresyon kriterleri kullanılabilir. Bu değerlerin hesaplanmasını sağlayan denklemler Denklem 4 ile Denklem 7 arasında verilmiştir [21].

$$R^2 = (y, \hat{y}) = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n_{samples}-1} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=0}^{n_{samples}-1} (y_i - \bar{y})^2}$$

Burada; $\bar{y} = \frac{1}{n_{samples}} \sum_{i=0}^{n_{samples}-1} y_i$ (4)

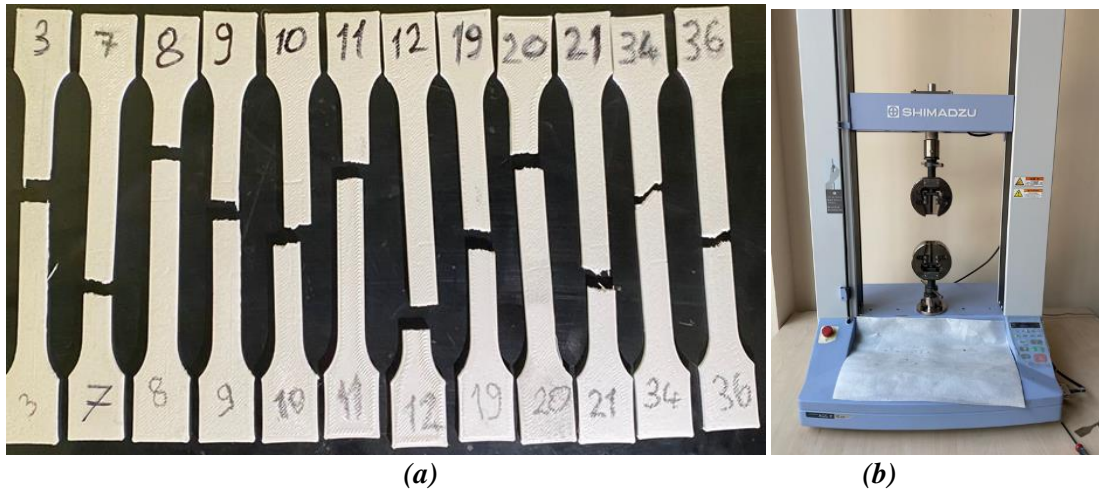
$$MSE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{samples}} \sum_{i=0}^{n_{samples}-1} (y_i - \hat{y}_i)^2$$
 (5)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$
 (6)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_j \frac{|e_j|}{|A_j|}$$
 (7)

B. METOT

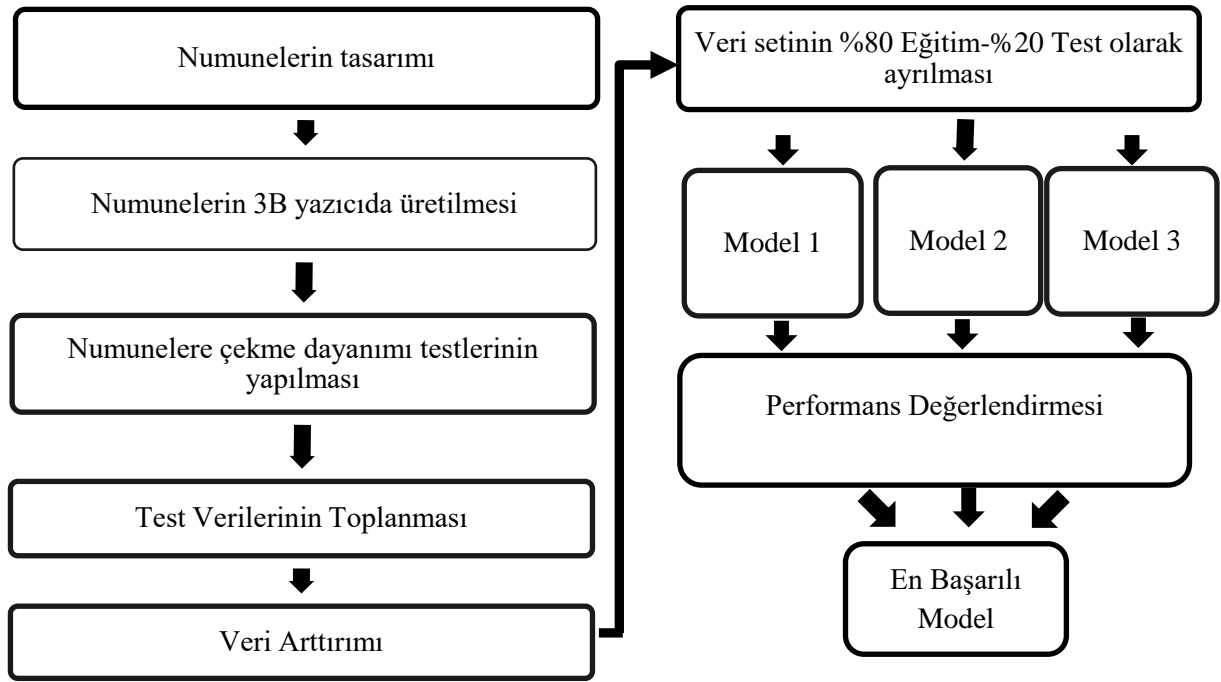
Üç boyutlu yazıcıda imalatı yapılan 12 adet numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi, Şekil 3'te gösterildiği gibi 10 kN kuvvet dönüştürücü kapasiteli bir test makinesinde (AGS-X, Shimadzu Co., Kyoto, Japonya) gerçekleştirildi. Numunelerde, çekme testi için özel test parametreleri 1 mm/s'lik bir çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Deneysel hataları en aza indirmek için her koşul için üç adet test numunesi test edilmiş ve elde edilen çekme dayanımı değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Farklı imalat parametreleri ile üretimi yapılan numune örneklerine çekme dayanımı testi uygulanarak sonuçlar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3. Çekme testi (a) numunelerin görüntüsü (b) deneysel düzenek

Çekme dayanımı testleri sonucunda elde edilen veriler bir araya getirilerek çalışmanın veri seti oluşturulmuştur. Numune sayısının kısıtlı olması, numune üretim ve test süreçlerinin uzun zaman gerektirmesi nedeniyle veri seti sınırlı sayıda numuneye ait veri ile oluşturulmuştur. Bu durum mevcut veri seti ile oluşturulan regresyon modellerinin tahmin başarı oranının düşük, hata oranlarının ise yüksek sonuçlar vermesine yol açmaktadır. Makine öğrenmesi uygulamalarında ihtiyaç duyulan büyük

miktarda veri gereksinimini karşılamak için mevcut verilerden bilgi aktarılabilir ya da gerçek örneklerle dayalı yapay veri üretme uygulaması gerçekleştirilir [16]. Bu nedenle çalışmada ortalama hesabına dayalı veri artırımı gerçekleştirilmiştir. 36 satırdan oluşan veri seti 2 ila 5 arasında rastgele seçilen deney verilerine ait ortalama değerler hesaplanarak yeni değerler veri setine eklenmiştir. Bu işlemler sonucunda veri seti 108 satıra yükseltilerek, mevcut verilerin üç katı regresyon modellemesinde kullanılarak model tahmin başarısı arttırılmıştır. Literatürde makine öğrenmesi ve derin öğrenme uygulamalarında sıklıkla kullanılan açık kaynak kodlu python programlama dili, çalışmanın yazılımsal aşamalarında tercih edilmiştir. Çalışmada hazırlanan yazılımda Python programlama dilindeki numpy, pandas, scikit-learn ve kütüphaneleri kullanılmıştır. Numpy, N boyutlu dizi ve matrisleri üzerinde hesaplamalar yapmanıza imkân sağlayacak bir kütüphanedir. Pandas kütüphanesi ise verileri yeniden şekillendirme, dilimleme, birleştirme vb. gibi çeşitli özelliklerin kullanılmasını sağlar. Scikit-learn kütüphanesi iki boyutlu olarak oluşturulmuş dizilerin bir veya daha çok veri kümesinden gelen makine öğrenme bilgileriyle ilgilenir. Test süreci sonrasında elde edilen sayısal verilerin işlenmesinde numpy ve pandas kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Makine öğrenmesi süreçlerinde scikit-learn kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmanın iş akış diyagramı Şekil 4.'de verilmiştir.



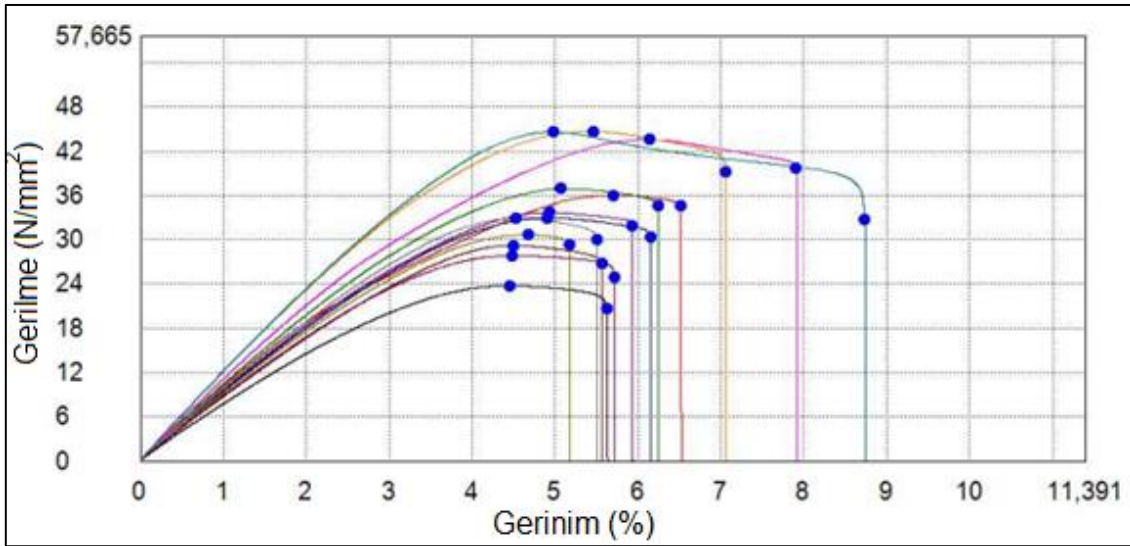
Şekil 4. İş Akış Diyagramı

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada EBM tipi 3B yazıcı eklemeli imalat yöntemi ile farklı proses parametreleri ile üretilen çekme test sonuçları analiz edilmiş ve tablolar halinde verilmiştir. Çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3. incelendiğinde; PLA malzemeli numunelerin en yüksek dayanım değerlerine 24 nolu numunede sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; numune imalat sürecinde katmanlar arasında sağladığı bağın PLA malzemeli numunelerin daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca en yüksek dayanım değeri elde edilmesinin diğer bir sebebi ise, fan hızının %100, katman kalınlığının düşük değerde olması ve en önemli faktör olan dolgu oranının %100 olmasındandır. Şekil 5 incelendiğinde numunelerin doluluk oranı arttıkça PLA malzemeli numunelerin çekme dayanımı kısmen arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3. PLA malzemeli çekme deneyi sonuçları

PLA	Elastikiyet Modülü (GPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Gerinim (%)
3	0,992	36,04	5,7
7	0,852	29,22	4,5
8	0,943	33,70	4,93
9	1,020	36,91	5,07
10	0,929	32,96	4,9
11	0,909	30,66	4,67
12	1,100	43,59	6,13
19	0,973	32,89	4,53
20	1,208	44,64	5,46
21	0,741	23,74	4,45
24	1,195	44,61	4,98
36	0,868	27,83	4,48
Ortalama	0,977	34,73	4,98
Standart Sapma	138	6,76	0,53



Şekil 5. Çekme deneyi numunelerinin gerilme-gerinim grafiği

Uygulamada, veri setinde bulunan imalat parametrelerine ait veriler %80 eğitim-%20 test verisi olarak belirlenerek model eğitimi gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonrasında mevcut verilerin %20'sini içeren test verileri kullanılarak regresyon modelleri test edilmiştir. Farklı algoritmalarla oluşturulan modellerin başarımları karşılaştırılmış, hata değerleri hesaplanarak sonuçlar Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Modellere ait başarımları ve hata oranları

Regresyon Türü	R ²	MSE	RMSE	MAPE
Kısmi en küçük kareler regresyonu(PLS)	%98,3	1,26	1,12	4,70
Rastgele Orman Regresyonu	%94,9	0,83	0,79	9,36
Theilsen Regresyonu	%88,1	0,68	0,37	1,32

Literatürde eklemeli imalat yöntemiyle çekme dayanımı tahminlenmesine yönelik birçok araştırmanın konusu olmuştur. Hooda vd., (2019) çalışmasında, EBM yöntemiyle ensemble ratgele orman makine öğrenme algoritmasıyla baskı biriktirme açısını tahmin ve %94,57 doğrulama gerçekleştirmiştir [22]. Pazhamannil vd. (2021), çalışmalarında EBM 3B baskı yöntemi ile üretilen PLA numunelerin çekme dayanımı sonuçlarını yapay sinir ağları kullanarak tahmin etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde deneysel değerler ile tahmin değerleri arasında %99 oranında tutarlı bir benzerlik olduğu tespit edilmiştir [23]. Samykano (2021), çalışmasında EBM 3B baskı yöntemindeki baskı parametrelerine göre çekme dayanımı tahmini için istatistiksel bir model önermiştir. 27 farklı baskı parametresi kombinasyonuna sahip 81 numune ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada dolgu yoğunluğunu çekme dayanımını etkileyen birincil faktör olarak belirlenmiştir. İstatistiksel Response Surface Methodology (RSM) yöntemi ile tahmin edilen çekme dayanımı değerlerinin %80 oranında gerçek değerler ile uyumlu olduğu belirlenmiştir [24]. Goudswaard vd. (2021), çalışmalarında EBM 3B baskı yöntemi için kapsamlı bir yetenek profilinin oluşturulmasını, profilin uygulanmasını ve üretken bir tasarım metodolojisi (Generative Manufacturing) içinde faydasının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada giriş için kullanılan beş üretim parametresine karşılık çekme dayanımı değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan YSA modelinin %98,9 başarı oranında çekme dayanımı sonuçlarını tahmin ettiği gözlemlenmiştir [25]. Srinivasan vd. (2020), çalışmalarında EBM 3B baskı yöntemi ve ABS malzeme kullanılarak üretilen numunelerin dolgu yoğunluğu, dolgu deseni ve katman kalınlığı giriş parametreleri ile numunelere ait çekme dayanımı ve sertlik değerlerini istatistiksel Response Surface Methodology (RSM) yöntemi ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada geliştirilen modelin tahmin ettiği çekme dayanımı değerlerinin %95,22 oranında gerçek değerler ile uyduğu tespit edilmiştir [26].

Panda vd. (2015), çalışmalarında EBM tipi 3B baskı yöntemi ile üretilen prototipe ait üç üretim parametresinin giriş değerleri olarak kullanıldığı iki farklı algoritmayı deneyimlemişlerdir. Çalışmada kullanılan Çok genli genetik programlama (MGGP) ve genel regresyon sinir ağı (GRNN) algoritmalarından elde edilen değerler karşılaştırıldığında GRNN algoritması ile hesaplanan çekme dayanımı değerlerinin %97,7 oranında gerçek ölçüm değerlerine yakın sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir [27]. Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyumludur. Çalışmada ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde kullanılan giriş parametrelerine göre çekme dayanımı sonuçlarını %98,3 ile en başarılı olarak tahminleyen Kısmi En Küçük Kareler(PLS) algoritması olmuştur. Bu sonuçları %94,9 ile Rastgele Orman ve %88,1 ile Theilsen Regresyon algoritması takip etmiştir. Algoritmalar için hesaplanan hata değerlerinin de benzer şekilde sıralandığı görülmektedir.

IV. SONUÇLAR

Günümüzde birçok alanda kullanılan ve kullanımı giderek yaygınlaşan 3B yazıcılar tarafından üretilen nesnelerin dayanıklılık ve kalite özellikleri önem arz etmektedir. Eklemeli imalat EBM teknolojisi ile yapılan üretim, parça büyüklüğü ve baskı parametrelerine bağlı olarak uzun saatler alabilmektedir. Bu uzun bekleme süreleri sonunda kaliteli ürün ortaya çıkarmak hem hammadde israfının önüne geçilmesi hem de zaman kaybının önlenmesinde en önemli faktörlerden birisidir. Bu nedenle en uygun baskı parametrelerini önceden tespit etmek amacıyla üretilen numuneler çekme dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler bir araya getirilerek makine öğrenmesi modelleri yardımıyla en uygun üretim parametreleri baskı öncesinde tahmin edilebilmesi için bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, PLA malzemeli EBM yöntemi ile standartlara uygun çekme test numuneleri üretilmiştir. Katman kalınlığı, doldurma oranı, fan hızı ve baskı hızı gibi parametrelerin mekanik özelliklere doğrudan etkileri araştırılmıştır. PLA malzemelerinin çekme dayanımı özellikleri de karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen bulgulara göre, dolgu hızındaki artışın mekanik özellikleri iyileştirdiği gözlemlenmiştir. En iyi mekanik özellikler PLA malzemedeki yapılmış test numunelerinde 24 numaralı numunede gerçekleştirilmiştir. Baskı parametrelerine bağlı olarak çekme dayanımı sonuçlarının önceden tahmin edilebilmesi amacıyla veri artırımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak eğitimi gerçekleştirilen üç regresyon modeli arasında Kısmi En Küçük Kareler (PLS)

algoritmasının çekme dayanımı sonuçlarını %98,3 oranında başarı ile tahmin ettiği belirlenmiştir. Hazırlanan bu çalışma ile numune üretimi ve test süreci çeşitli zorluklar içeren çekme dayanımı tespit sonuçlarını yüksek doğruluk oranında gerçeğe en yakın olarak tahmin edilmiştir. Bu sayede çekme dayanımının tespitine yönelik süreçlerde hem zamandan hem maliyetten hem de iş gücünden kazanç sağlanacağı öngörülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Erçetin, K. Aslantaş and Ö. Özgün, “Micro-end milling of biomedical TZ54 magnesium alloy produced through powder metallurgy,” *Machining Science and Technology*, vol. 24, no. 6, pp. 924-947, 2020.
- [2] A. Erçetin, “Sıcak presleme yöntemiyle üretilen Nb takviyeli Mg matrisli kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 5, ss. 2116-2127, 2021.
- [3] W. Wu, J. Jiang, H. Jiang, W. Liu, G. Li, B. Wang, M. Tang and J. Zhao, “Improving bending and dynamic mechanics performance of 3D printing through ultrasonic strengthening,” *Materials Letters*, vol. 220, pp. 317–320, 2018.
- [4] O.A. Mohamed, S.H. Masood, J.L. Bhowmik and A.E Somers, “Investigation on the tribological behavior and wear mechanism of parts processed by fused deposition additive manufacturing process,” *Journal Manufacturing Process*, vol. 29, pp. 149–159, 2017.
- [5] E. Karaman ve O. Çolak, “Eriyik biriktirme yönteminde farklı üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi,” *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 90-99, 2019.
- [6] J. Zhang, P. Wang and R.X. Gao, “Deep learning-based tensile strength prediction in fused deposition modeling,” *Computers in Industry*, vol. 107, pp. 11-21, 2019.
- [7] H. K. Dave, N.H. Patadiya, A.R. Prajapati and S.R. Rajpurohit, “Effect of infill pattern and infill density at varying part orientation on tensile properties of fused deposition modeling-printed poly-lactic acid part,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 235, no. 10, pp. 1811-1827, 2021.
- [8] F.G. AYTEKİN, “Fotolitografi işleminde uv sertleştirme parametrelerinin deney tasarımı ile eniyilenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2014.
- [9] G. Zhiqiang, S. Zhihuan, X.D. Steven and H. Biao, “Data mining and analytics in the process industry: the role of machine learning,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 20590–20616, 2017.
- [10] N.M. Mehat, S.M. Kassim and S. Kamaruddin, “Investigation on the effects of processing parameters on shrinkage behaviour and tensile properties of injection moulded plastic gear via the taguchi method,” *In Journal of Physics: Conference Series*, vol. 908, no. 1, pp. 12-49, 2017.
- [11] B. Aksoy and M. Koru, “Estimation of casting mold interfacial heat transfer coefficient in pressure die casting process by artificial intelligence methods,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 45, pp. 8969-8980, 2020.
- [12] M.I. Jordan and T.M. Mitchell, “Machine learning: Trends, perspectives, and prospects,” *Science*, vol. 349, no. 6245, pp. 255-260, 2015.



- [13] M.B. Tümer, “Üç boyutlu yazıcılar ve günümüz mimarisinde kullanımı,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [14] M. Vohland, J. Besold, J. Hill and H.C. Fründ, “Comparing different multivariate calibration methods for the determination of soil organic carbon pools with visible to near infrared spectroscopy,” *Geoderma*, vol. 166, no. 1, pp. 198-205, 2011.
- [15] K. Kavaklioglu, “Robust modeling of heating and cooling loads using partial least squares towards efficient residential building design,” *Journal of Building Engineering*, vol. 18, pp. 469, 2018.
- [16] C. Summers and M.J. Dinneen, “Improved mixed-example data augmentation,” in *2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, Waikoloa Village, Hawaii, 2019, pp. 1262-1270.
- [17] L. Breiman. “Random forests,” *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [18] M.A. Pillai, A. Ghosh, J. Joy, S. Kamal, C.C. Satheesh, A.A. Balakrishnan and M.H. Supriya, “Acoustic source localization using random forest regressor,” in *2019 International Symposium on Ocean Technology (SYMPOLO)*, 2019, pp. 191-199.
- [19] P.K. Sen, “The theil-sen estimator in genomic high dimensional measurement error models perspectives,” *Calcutta Statistical Association Bulletin*, vol. 63, pp. 37-50, 2011.
- [20] S.S. Hussain and P. Sprent, “Non-parametric regression,” *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, vol. 146, no. 2, pp. 182-191, 1983.
- [21] A. Zheng, *Evaluating Machine Learning Models*, Farnham, UK: O’Reilly Media, 2015, ch. 2, pp. 7-18.
- [22] N. Hooda, J. S. Chohan, R. Gupta, and R. Kumar, “Deposition angle prediction of Fused Deposition Modeling process using ensemble machine learning,” *ISA transactions*, vol. 116, pp. 121-128, 2021.
- [23] R. V. Pazhamannil, P. Govindan and P. Sooraj, “Prediction of the tensile strength of polylactic acid fused deposition models using artificial neural network technique,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 9187-9193, 2021.
- [24] M. Samykano, “Mechanical property and prediction model for FDM-3D printed polylactic acid (PLA),” *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, pp. 7875–7892, 2021.
- [25] M. Goudswaard, B. Hicks and A. Nassehi, “The creation of a neural network based capability profile to enable generative design and the manufacture of functional FDM parts,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 113, no. 9, pp. 2951-2968, 2021.
- [26] R. Srinivasan, T. Pridhar, L.S. Ramprasath, N.S. Charan and W. Ruban, “Prediction of tensile strength in FDM printed ABS parts using response surface methodology (RSM),” *Materials Today: Proceedings*, vol. 27, pp. 1827-1832, 2020.
- [27] B.N. Panda, M.R. Bahubalendruni and B.B. Biswal, “A general regression neural network approach for the evaluation of compressive strength of FDM prototypes,” *Neural Computing and Applications*, vol. 26, no. 5, pp. 1129-1136, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespitinde Hafif ve Geleneksel Evrişimsel Sinir Ağ Mimarilerinin Karşılaştırılması¹

 Furkan ERYILMAZ^{a,*},  Hacer KARACAN^b

^a Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: erylalmaz.furkan@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1011829

ÖZ

Solunum sistemine etki eden ve ileri vakalarda ölüme neden olan korona virüs salgını yaklaşık iki yıldır devam etmektedir. Her ülkenin salgın ile mücadele yöntemi farklı olmasına rağmen ortak izlenen metot ise hastalığın tespiti ve izolasyonudur. Tespit ve izolasyon için en kritik adım ise COVID-19 tanısının doğru ve hızlı konulmasıdır. Akciğer X-Ray görüntülerinde virüse özgü bulgulara rastlanması, bu verilerin hastalık teşhisinde kullanılabilirliğini göstermektedir. İlgili çalışmanın amacı, makine öğrenmesi yöntemleri ile COVID-19 ve diğer akciğer hastalıklarına ait X-Ray görüntülerini işleyerek çoklu sınıflandırma yapmaktır. Bu sayede kriz anında tanı koyma ve izolasyon için yardım alınacak alanında uzman olmayan personele mobil cihazlar vasıtasıyla karar aşamasında destek sağlanması hedeflenmektedir. Bu amaçla: COVID-19, Normal, Akciğer Opasitesi, Diğer Pnömoni etiketlerine ait 11,293 X-Ray görüntüsünden oluşan veri seti MobileNetV2, NASNetMobile, Xception ve DenseNet121 CNN ağları kullanılarak sınıflandırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. En başarılı sonuçlar DenseNet121 ve MobileNet ağları ile elde edilmiş olup sırası ile %92,16 ve %91,78 doğruluk oranıyla sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evrişimsel sinir ağları, Koronavirüs, COVID-19, Transfer öğrenimi, X-Ray

Comparison of Lightweight and Traditional CNN Architectures in COVID-19 Detection from Lung X-Ray Images

ABSTRACT

The corona virus epidemic, which affects the respiratory system and causes death in advanced cases, has been going on for about two years. Although each country's method of fighting the epidemic is different, the common and valid method is the detection and isolation of the disease. The most critical step for detection and isolation is the correct and fast diagnosis of COVID-19. Virus-specific findings in lung X-ray images shows that these data can be used in the diagnosis of the disease. The aim of the related study is to multi classify by processing X-Ray images of COVID-19 and other lung diseases with machine learning methods. In this way, it is aimed to provide support to the personnel who are not experts in their fields, who will be helped for diagnosis and isolation during the crisis, at the decision stage through mobile devices. For this purpose: The data set consisting of 11,293 X-Ray images of COVID-19, Normal, Lung Opacity, Other Pneumonia labels was classified using the MobileNetV2, NASNetMobile, Xception and DenseNet121 CNN networks and the results were compared. The most successful results were obtained with DenseNet121 and MobileNet networks, and classification was performed with 92.16% and 91.78% accuracy rates, respectively.

Keywords: Convolutional neural network, Coronavirus, Transfer learning, X-Ray

I. GİRİŞ

2019 yılında Dünya Sağlık Örgütü'ne pnömoni semptomları gösteren yeni bir virüsün varlığı bildirilmiştir [1]. Çinli uzmanlar tarafından yapılan ve kaynağı belli olmayan bu virüse ait ilk vakalar Çin'in Wuhan kentinde görülmüştür [1]-[2]. Tüm dünyayı etkisi altına alan bu virüs Dünya Sağlık Örgütü tarafından salgın olarak kabul edilmiş ve ağır akut solunum sendromu-koronavirüs-2 (SARS-Cov-2) şeklinde adlandırılmıştır [3]-[4]. Koronavirüs ailesinde SARS-COV(Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus), MERS(Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus) ve SARS-Cov-2 virüsleri insanların solunum sistemine saldırmakta ve ileri vakalarda ölüme yol açmaktadır [3],[5]. Hapşırık ya da öksürük kaynaklı su damlacıkları ve fiziksel temas ile bulaşan bu virüse ait belirtiler; solunum zorluğu, halsizlik, kas ve eklem ağrısı, ateş, koku ve tat kaybı şeklindedir [6]-[7].

Bulaş artış oranının kontrolden çıkması ile beraber DSÖ Mart 2020 tarihinde SARS-CoV-2 virüsünün salgın olarak kabul edildiğini deklare etmiştir. Salgına karşı tüm ülkeler hazırlıksız yakalanmış ve sınırlı sayıdaki hastane, ekipman ve doktor sayısı talebi karşılayamamış olup sağlık alt yapıları çökmüştür. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre şu ana kadar 215 milyon insan hastalanmış ve 4,48 milyon insan hayatını kaybetmiştir [8].

Salgının ilerleyen günlerinde pasif ve mRNA tabanlı aşular geliştirilmesine karşın virüsün farklı varyantlarının çıkması, olası yan etkileri, virüse karşı etkinliği, kaç doz kullanılacağı ülkeler arası paylaşım, lojistik ve aşı karşıtlığı gibi tartışmalar kamuoylarında tartışılmaktadır. Tüm ülkelerin korona virüs salgınında farklı yöntemler izlemesine rağmen geçerli ve ortak kabul tek yaklaşım hastalık tespiti ve izolasyondur. Bu nedenle hastalık tespitinin doğru yapılması kritik öneme sahiptir.

COVID-19 teşhisinde altın standart kabul edilen PCR testi, DPI testi, salya testi, antikor testi, akciğer doku biyopsisi ve tıbbi görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır [76]. En sık kullanılan yöntemler; RT-PCR, bilgisayarlı tomografi ve akciğer x-ray görüntüleridir. RT-PCR testlerinin bir saatten birkaç güne sonuç verme süresinin olması, yanlış sonuç yatkınlığı, manuel işlem gerektirmesi ve kitteki antijen miktarı ile sonuçların bağımlılığı gibi dezavantajları söz konusudur [8],[9],[10].

DSÖ'nün Ekim 2020'de ülkelere yaptığı tavsiyede tıbbi görüntüleme yöntemlerinin korona virüs teşhisi ve tedavi süresi içinde hasta takibinde kullanılması uygulanabilir etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir [11]. Bilgisayarlı tomografi, yüksek kalitede görüntüler üretmesine karşın yüksek radyasyon temelli çalışması, hamile ve çocuklar için uygulanabilir olmaması, görüntü üretme süresinin uzun ve yüksek maliyetli olması, BT odasının bulaş riskini artırması nedeniyle artık tercih edilmemektedir [12]. Bu yöntem daha çok vaka durum takibinde daha verimli bulunmaktadır [13].

X-Ray görüntüleme yöntemi 15-20 dakikada sonuç veren, kolay erişilebilir, düşük radyasyonlu, 2B görüntü üreten ve çoğu sağlık merkezinde standart donanım olarak kabul edilen yaklaşımdır [10],[12]. PCR testi negatif çıkan hastaların %9'unda göğüs X-Ray görüntülerinde bu bulgular tespit edilmiştir [20]. Tüm bu avantajlara rağmen X-Ray görüntülerinin göz yordamı ile analiz edilmesi ancak uzman radyologlar tarafından 5-6 dakikalık çalışma ile yapılabilmektedir [12],[14]. COVID-10 bulgular ile diğer pnömonilerin benzerlik göstermesi doğru tanı koyma sürecini zorlaştırmaktadır. Karşılaşılan bu kısıtların tamamının makine öğrenmesi ve görüntü işleme yöntemleri ile aşılması mümkün görünmektedir. Geliştirilen yöntemlerin mobil cihazlara uygulanabilir hale getirilmesi ise doktorlar üzerinde yükü önemli ölçüde azaltacaktır. Destek personellerinden tanı koyma sürecinde de istifade edilecektir.

Karthik ve arkadaşları [6], sınıflandırma ve enfekte bölgelerin tespitine çalışmışlardır. Özellik çıkarımında kullanılan filtrelerde derin öğrenme uygulayarak daha iyi performanslar hedeflenmiştir. Akıllı filtrenin sınıflandırma etiketine olan tepkisi optimizasyon algoritmasına girdi olarak verilmektedir. Model performansı %92,42 doğruluk oranı olarak belirlenmiştir. Monshi ve arkadaşları [7], EfficientNet-50 temelli CovidXRayNet adını verdikleri çözümlerinde performans artımına odaklanmışlardır. Bu amaçla hiper parametreler ve veri artırım yöntemlerini detaylı incelenmiştir. En

başarılı hiper parametreler; 32 boyutlu veri paketi, 30 döngü sayısı olup veri artımında ise 20 derece döndürme, 0,2 oranında yeniden şekillendirme, 0,3 oranında parlaklık değişimi, 1,2 değerinde yakınlaştırma ve normalizasyon olarak belirlenmiştir. Veri üzerinde COVID-19, Normal, diğer pnömoni etiketlerine göre yapılan sınıflandırmalarda sırası ile VGG-19 ve ResNet modellerinde %11,93, %4,97 oranında başarı artırımı sağlamıştır. CovidXRayNet modeli ise %95,82 doğruluk oranında sınıflandırma yapmıştır. COVID-Net isimli çalışmaları ile Lin ve arkadaşları [9] X-Ray görüntülerini kullanarak normal, bakteriyel ya da viral pnömoni ve COVID-19 etiketlerine göre sınıflandırma yapmışlardır. Veri seti dağılımı 8,066 sağlıklı, 183 COVID-19 ve 5,538 diğer pnömoni şeklinde olup toplam 13,800 görüntü bulunmaktadır. Çalışmada yüksek performans ve kolay eğitilebilirlik için kalıntı ağ yapıları tercih edilmiştir. Sonuçlar COVID-Net ağının %92,6 doğruluk oranında sınıflandırma yaptığını göstermiştir.

Alan ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada görüntüden özellik çıkarımı adımına yoğunlaşmışlardır. Daha iyi özellik haritaları için histogram (HOG) ve evrişimsel sinir ağ temelli iki yöntem kullanılmıştır. Verideki gürültüler MADF yaklaşımı ile elimine edilmiştir. İşlemler verinin gri ve tonlarına çevrilmesi ile başlamakta ve hedef bölgelerin seçilip kalan kısımların atılmasını kapsamaktadır. Kalan bölgeler üzerine önerilen özellik çıkarım yaklaşımları uygulandıktan sonra çıktılar sınıflandırma için modele verilmiştir. VGGNet ağı kullanılarak 1,979 COVID-19, 3.111 negatif görüntü sınıflandırılmıştır. Modelin başarı oranı %98,36 olarak belirlenmiştir. Wang ve arkadaşları [12] derin öğrenme yöntemlerini kullanarak hem COVID-19 hem de nüfuz etmiş akciğer dokularının tespitine çalışmışlardır. Veri seti büyüklüğü 3,583 görüntü olup sınıflandırma adımı ResNet modeli kullanılmıştır. Pozitif sınıflandırılan görüntülerdeki lokalizasyon sağ, sol ve hangi bölgede olduğunun tespiti yapılmıştır. Değerlendirme bu işlemlerin uzman radyologlar tarafından da el yordamı ile yapılar karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Sınıflandırma %98,72, lokalizasyon %94,62 doğruluk oranında gerçekleştirilmiştir.

CNN modelleri ile korona virüs sınıflandırması yapan Horry ve arkadaşları [13] röntgen, ultrason ve BT görüntülerini kullanmışlardır. Transfer öğrenimi temelli VGG16-VGG19, ResNet50, InceptionV3, InceptionResNet, NasNetLarge, DenseNet ağları veri üzerinde denenmiştir. Gürültüyü elimine etmek için N-CLAHE yöntemi uygulanmıştır. VGG19 modelinde en iyi sonuçlar elde edilmiş olup X-Ray, ultrason ve BT görüntüleri için sırası ile %86, %100, %84 doğruluk oranları ile sınıflandırma yapılmıştır. DarkNet-19 mimarisini baz alarak DarkCovidNet modelini geliştiren Öztürk ve arkadaşları [15] ikili ve çoklu sınıflandırma yapmıştır. Ham görüntüler üzerinde çalışılmış olup özellik çıkarımı yapılmamıştır. Değerlendirmeler sonucunda ikili ve çoklu sınıflandırmada sırası ile %98.08 ve %87.02 doğruluk oranı elde edilmiştir. Karakanis ve Leonridis [16] hafif mimariler üzerine çalışma yapmışlardır. Veri setini büyütmek için çekişmeli üretici ağ yardımı ile sentetik veriler üretilmiştir. Araştırma kapsamında ikili ve çoklu sınıflandırma yapılmıştır. Önerdikleri modelin sonuçları ResNet8 ağı ile karşılaştırılmıştır. ResNet8 ağına transfer öğrenimi kullanılmasına rağmen önerilen ağda performansı daha net görebilmek için bu yöntem kullanılmamıştır. Ortaya konan yöntem ikili sınıflandırmada %99,7, çoklu sınıflandırmada %98,3 doğruluk oranıyla ResNet8 ağından daha iyi performans sergilemiştir.

Akciğer X-Ray görüntüleri COVID-19 teşhisinde ciddi bir potansiyel taşımaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri ile insan faktörünün elimine edilmesi sahada sağlık çalışanlarının yükünü hafifletecektir. Ayrıca mobil cihazlar için bu yöntemin uygulanabilir hale getirilmesi; tecrübesiz hekimlerin, ikinci basamak sağlık personellerinin ve çok acil durumlarda asker ve polis tanı koyma sürecinde görev almasını mümkün kılacaktır. Bu amaçla literatürde yer alan ve başarılı bulunan MobileNetV2, NASNetMobile, Xception ve DenseNet121 evrişimsel ağları (ESA) incelenmiştir. Model seçiminde literatür çalışmaları dikkate alınmış ve bu alanda daha az çalışılan ESA mimarileri seçilmiştir.

Aşağıdaki hedefler kapsamında bu modeller karşılaştırılmıştır.

- Test sürecinde insan faktörünün minimize edilmesi
- Daha hızlı ve doğru tanı koyma
- Gelişmiş ülkelerin test alt yapısının güçlendirme

- Gelişmemiş ülkelerde ise mevcut kabiliyetleri kullanarak test imkânı sunulması
- Mobil cihazlarda bu yöntemlerin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi

Makale düzeni şu şekilde belirlenmiştir; 1. bölüm giriş, 2. bölüm teknik arka plan, 3.bölüm materyal ve metot, 4. Bölüm ise sonuç ve tartışma.

II. TEKNİK ARKA PLAN

İlgili çalışma kapsamında X-Ray görüntülerinden evrimsel sinir ağları vasıtasıyla COVID-19 tespiti yapılmıştır. Tüm modellerde eğitime sıfırdan başlamak yerine başlangıç ağırlıkları transfer öğrenimi yaklaşımı ile ImageNet veri setinden aktarılmıştır.

A. EVRİŞİMSEL SİNİR AĞLARI

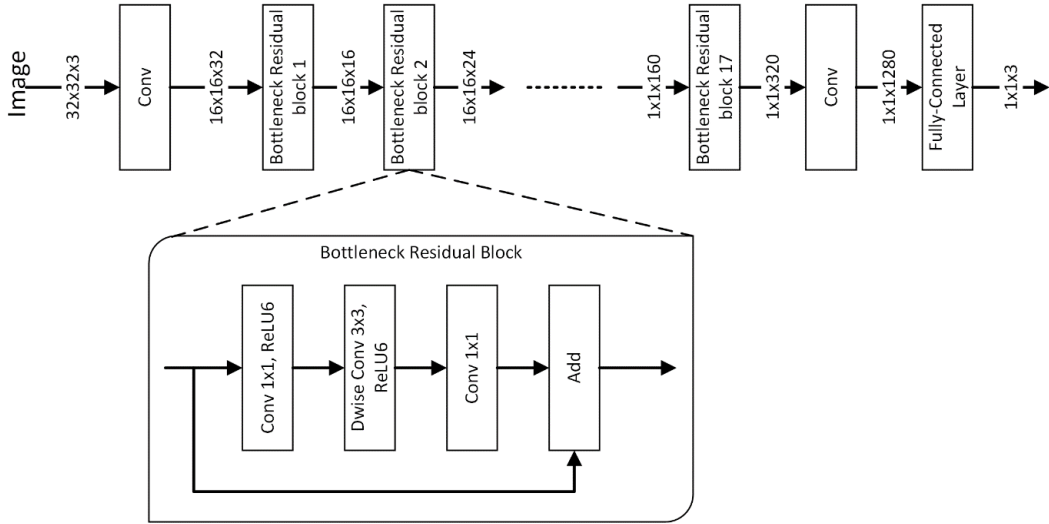
Evrimsel sinir ağları, görüntüleri analiz ederek veri üzerindeki örüntüyü tespit eden yapay sinir ağ modelleridir [17]. Sınıflandırma için gereken özellikler veri üzerinde matris filtreler uygulanarak çıkarılmaktadır [18]. Diğer derin sinir ağ temelli yöntemlerin aksine görüntü işlemede yüksek performans sergileyen ESA modellerinin karmaşıklığı yönetilebilir düzeydedir [19]. Evrimsel sinir ağ mimarisi aşağıdaki katmanlardan oluşmaktadır.

- *Evrşim Katmanı:* Görüntünün ilk işleme alındığı ve özellik çıkarımının yapıldığı katmandır. Uygulanan filtreler sonucunda bu katmanın çıktısı olan özellik haritaları elde edilmektedir [2]-[8],[20]. Tüm ESA modelinin hesaplama yükünün büyük kısmı burada meydana gelmektedir [19]. Tüm modelin performansı doğrudan çıkarılan özelliğin niteliğine bağlı olup bu katmanda yapılacak olası iyileştirmeler tüm modelin karmaşıklığında düşüş sağlamaktadır.
- *Ortaklama Katmanı:* Evrşim katmanının çıktısı olan özellik haritalarında uygulanan stokastik, maksimum, ortalama ve boyutsal piramit ortaklama gibi yöntemler yardımıyla minimum düzeyde bilgi kaybı ile boyutlar düşürülmektedir [19]. Yani modelin sınıflandırma için ihtiyaç duyduğu en önemli bilgiler süzülerek hem aşırı öğrenmeye karşı direnç hem de karmaşıklıkta iyileştirmeler elde edilmektedir [21].
- *Tam Bağlantılı Katman:* Görüntü üzerindeki özellikler ile sınıflandırma etiketleri arasındaki ilişkinin kurulduğu katmandır [20]. Bu katmanlar arasındaki nöronlar birbirlerine tamamen bağlıdır [19].

A. 1. ESA Modelleri

A.1.1. MobileNetV2

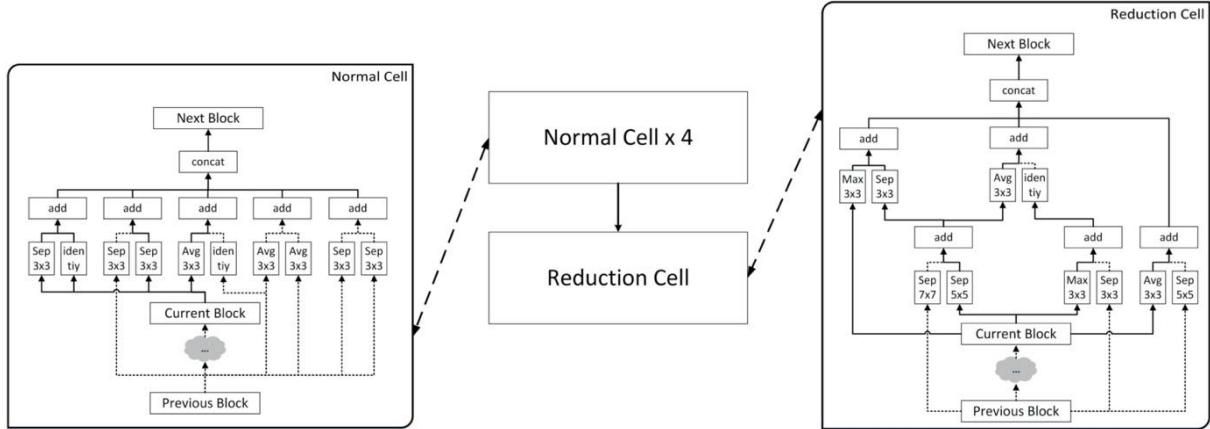
MobileNetV2 ağları mobil, IOT ya da düşük donanımsal özelliklere sahip cihazlar için geliştirilmiştir. Bu ağlar sınıflandırma performansını korurken parametre sayısı ve işlem karmaşıklığında önemli ölçüde iyileştirme sunmaktadır [2]-[8],[22]. Mimarisinin doğrusal darboğaz (Linear Bottleneck) ve tersine çevrilmiş kalan (Inverted Residuals) bloklardan oluşması bellek ihtiyacının düşürülmesine önemli katkılarda bulunmuştur [23]. Evrşim katmanı derinlemesine erişim ve noktasal erişim katmanlarından oluşmaktadır [22].



Şekil 1. MobileNetV2 mimarisi [24]

A.1.2. NASNetMobile

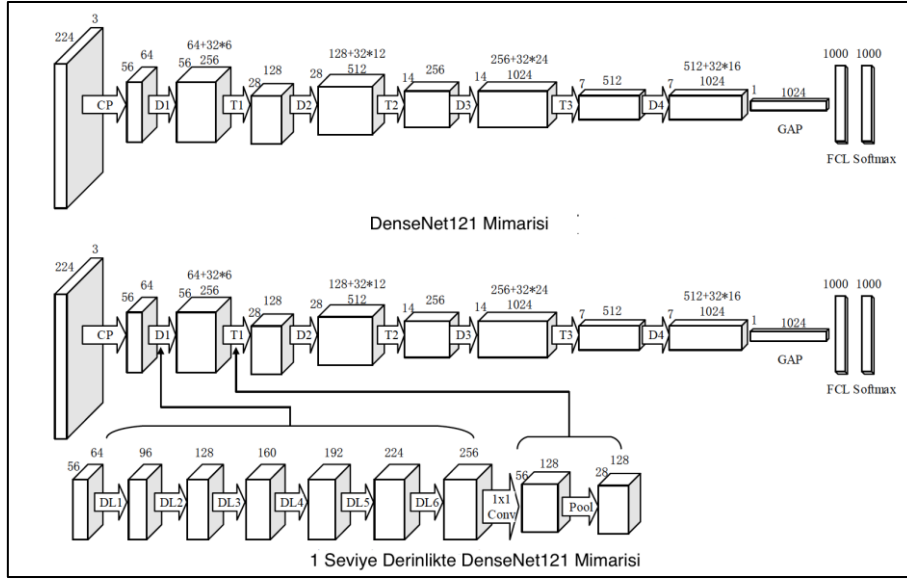
NASNet ağları ölçeklenebilir ESA mimari olup pekiştirmeli öğrenme yöntemi ile iyileştirilmiş ayrılabilir evrişim ve ortaklama gibi basit bloklardan oluşmaktadır. NASNet temelli mimariler ağ kapasitesine göre bu blokların tekrarlanması ile oluşturulmaktadır [2]-[8],[25]. NASNetMobile 5,4 milyar kapasitesi 564 milyon çarpma kapasiteli 12 hücreden oluşmaktadır [26].



Şekil 2. NASNetMobile mimarisi [27]

A.1.3. DenseNet121

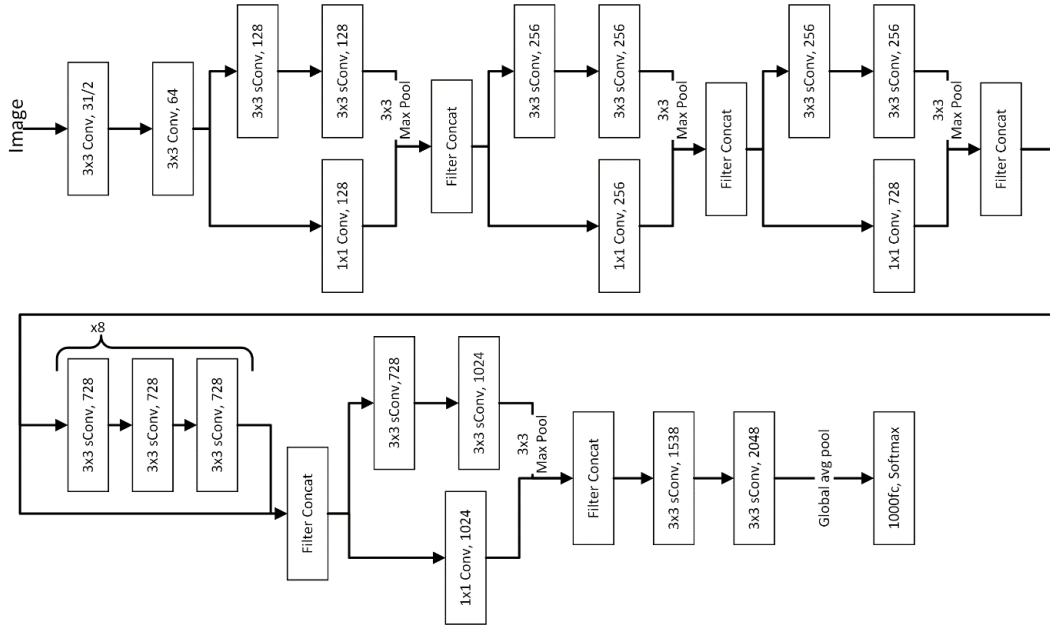
DenseNet121 mimarisinde tüm katmanların birbiri ile bağlı olması ile her katman bir önceki katmana ait özellik haritasını girdi olarak almakta ve kendi özellik haritasını bu birikime ekleyerek bir sonraki katmana iletmektedir [22]. Sürekli büyüyerek iletilen özellikler ağıın uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır. Mimaride bu problem özellik haritalarına alt örnekleme uygulanmasıyla aşılmıştır. Bu sayede özellik haritaları limitler dâhilinde tutulmaktadır [3]-[8],[28].



Şekil 3. DenseNet121 mimarisi [28]

A.1.4. Xception

Xception, kalan bağlantılar ve derinlemesine ayrılabilir katmanların doğrusal bir şekilde birleştirilmesi ile oluşmaktadır [29]. Derinlemesine ayrılabilir katman ise kanal bazlı evrişim ve noktasal evrişim olarak iki alt katmana ayrılmaktadır [30]. Bu mimaride görüntüler ilk aşama noktasal evrişim ikinci aşamada ise derinlemesine evrişim ile analiz edilmeye başlanmaktadır [30]. Bu mimarinin tasarlanmasındaki ana motivasyon daha çok parametre ile her türlü problemi çözmek olarak ifade edilmiştir [31].



Şekil 4. Xception mimarisi [32]

B. TRANSFER ÖĞRENİMİ

Makine öğrenmesi algoritmalarının etkili ve başarılı çalışabilmesi için yeterli büyükte ve kalitede veri setlerine ihtiyaç duymaktadır. Medikal alandaki sinir ağ uygulamalarında istenen düzeyde veri setinin

olmaması sık karşılaşılan bir durumdur. Bu durumlarda transfer öğrenimi yaklaşımı tercih edilmektedir. Transfer öğrenimi, yeterli büyüklükte ve kalitede veriye sahip düzgün dağılım gösteren veri setlerinden çıkarılan bilgilerin aralarında ilişki bulunan algoritmalara daha iyi performans elde etme amacıyla aktarılmasıdır [33]. Transfer öğrenimi ile eğitim süresinde iyileştirme ve performansta artış elde edilmektedir [34].

III. METOT

Bu bölümde çalışma kapsamında izlenen yola yer verilmiştir.

A. VERİ SETİ

Veri seti [35] farklı dizinlerde yer alan normal, akciğer opasitesi, viral pnömoni ve COVID-19 hastalarına ait akciğer x-ray görüntülerinin Katar ve Dakka üniversiteli uzmanlar, doktorlar tarafından derlenmesi ile oluşturulmuştur. Araştırmacıların çalışabilmesi için Kaggle üzerinden erişime açılmıştır. Sınıflandırma etiketlerine göre yapılan incelemede 3,616 COVID-19, 6,012 opasite, 10,192 normal olmak üzere toplam 21,165 röntgen görüntüsü bulunmaktadır. Performansı artırmak ve veri setini daha dengeli hale getirmek amacıyla normal ve opasiteye ait görüntü sayısı en kıymetli veri olan COVID-19 görüntü sayısına indirilmiştir.

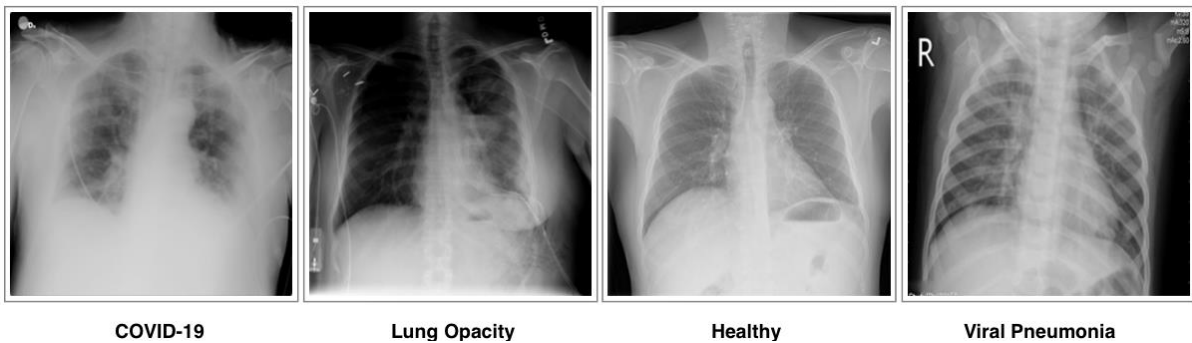
Tablo 1. Veri setindeki X-Ray görüntü dağılımı

Veri Seti	COVID-19	Akciğer Opasitesi	Sağlıklı	Viral Pnömoni	Toplam
Orijinal	3,616	6,012	10,192	1,345	21,165
Düzenlenmiş	3,616	3,616	3,616	1,345	11,293

Aşırı öğrenmeyi önlemek ve daha değerlendirebilir metrikler elde etmek için veri seti eğitim, validasyon ve test olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. İlk adımda %80 eğitim %20 test, ikinci adımda ise eğitim kümesi bu oranlarla eğitim ve validasyon olarak bölünmüştür.

B. VERİ ÖNİŞLEME

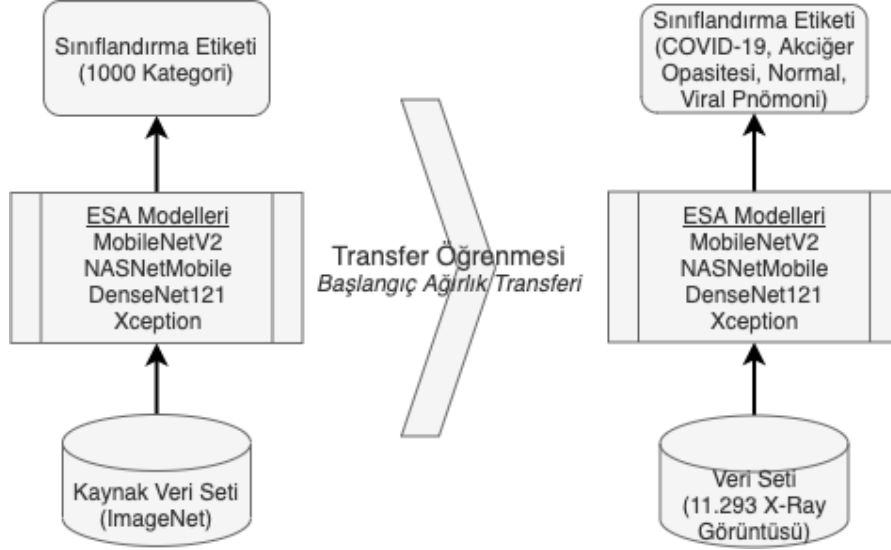
Küçük veri setlerinde yaşanan aşırı öğrenme problemi karşın öğrenme aşamasında veri artırımı yöntemleri tercih edilmiştir. Veri artırımı yöntemleri ile daha iyi performansa odaklanan Monshi ve arkadaşlarının [7] yaptığı çalışmaya ait çıktılar bu çalışmada kullanılmıştır. Eğitim kümesindeki X-Ray görüntülerine; 20 derece rotasyon, 1,2 oranında yakınlaştırma, 0,3 oranında ışık artırımı, mobil uygulamada meydana gelecek insan hatasını simüle edebilmek için genişlik ve yükseklikte 0,2 oranında öteleme uygulanmıştır.



Şekil 5. Veri setinde bulunan sınıf etiketlerine ait X-Ray görüntüleri

C. UYGULAMA

Bu aşamada daha dengeli hale getirilen veri seti ve artırım yöntemleri uygulanan X-Ray görüntüleri MobileNetV2, NASNetMobile, DenseNet121 ve Xception modelleri ile analiz edilmiştir. Transfer öğrenimi yaklaşımı ile modellere başlangıç ağırlıkları ImageNet veri setinden aktarılmıştır. Veri setinin küçüklüğünün negatif etkisi bu sayede azaltılmıştır.



Şekil 6. Transfer öğrenmesi ile başlangıç ağırlıklarının aktarılması

Modeller koşurken kullanılan hiper parametreler; 32'lik veri paketleri, 100 döngü sayısı, kategorik çapraz entropi yitim fonksiyonu ve adadelta optimizasyon algoritması şeklindedir. Model değerlendirme metrikleri doğruluk(accuracy) oranı olarak seçilmiş olup kesinlik(precision), duyarlılık(recall) ve özgüllük(specifity) gibi çıktılarda gözlemlenmiştir.

Sistem kaynaklarını daha verimli kullanmak adına çalışmada erken durdurma(earlystopping) mekanizması kullanılmıştır. Bu yöntem ile her iterasyonda validation loss değerindeki değişim gözlemlenmektedir. Eğer arka arkaya 15 iterasyonda herhangi değişiklik olmaz ise model sonlandırılmaktadır.

Tablo 2. Kullanılan evrişimsel sinir ağlarının genel karşılaştırılması [36],[37]

ESA Model	Veri Giriş Boyutu	Boyut (MB)	Ayırt Edici Özellik	Parametre Sayısı (M)	Doğruluk (ImageNet Top-5)
MobileNetV2	224x224x3	14	Tersine çevrilmiş kalan ve darboğaz bloklar	3,5	0,901
NASNetMobile	224x224x3	23	Dinamik ağ mimarisi	5,3	0,919
DenseNet121	224x224x3	33	Katmanlar arası bilgi akışı	8	0,923
Xception	299x299x3	88	Derinlemesine evrişim ve ardından noktasal evrişim	22,8	0,945

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

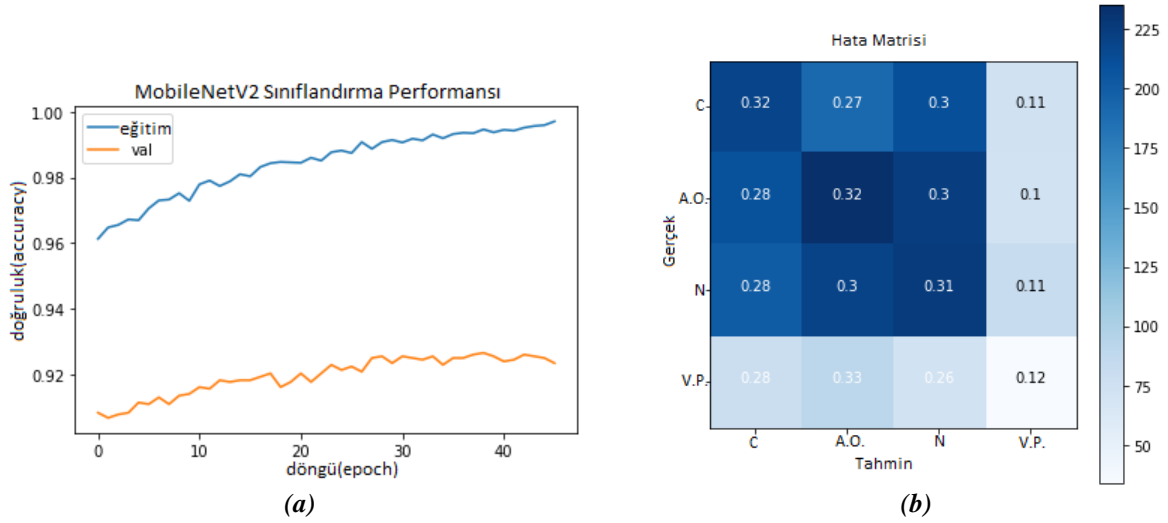
X-Ray görüntüleri MobileNetV2, NASNetMobile DenseNet121, Xception ESA modelleri ile COVID-19, Akciğer Opasitesi, Normal ve Diğer Pnömoni etiketlerine göre ayrılmıştır. Veri seti COVID-19 görüntü sayısına göre daha dengeli hale getirilmiştir. Daha iyi sınıflandırma sonuçları elde etmek için eğitim kümesinde veri artırım yöntemleri uygulanmıştır. Veri setinin küçük olması problemini kısmen

aşmak ve model eğitime sıfırdan başlamak yerine transfer öğrenimi yaklaşımı başlangıç ağırlıkları ImageNet veri setinden aktarılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’de gösterilmiştir.

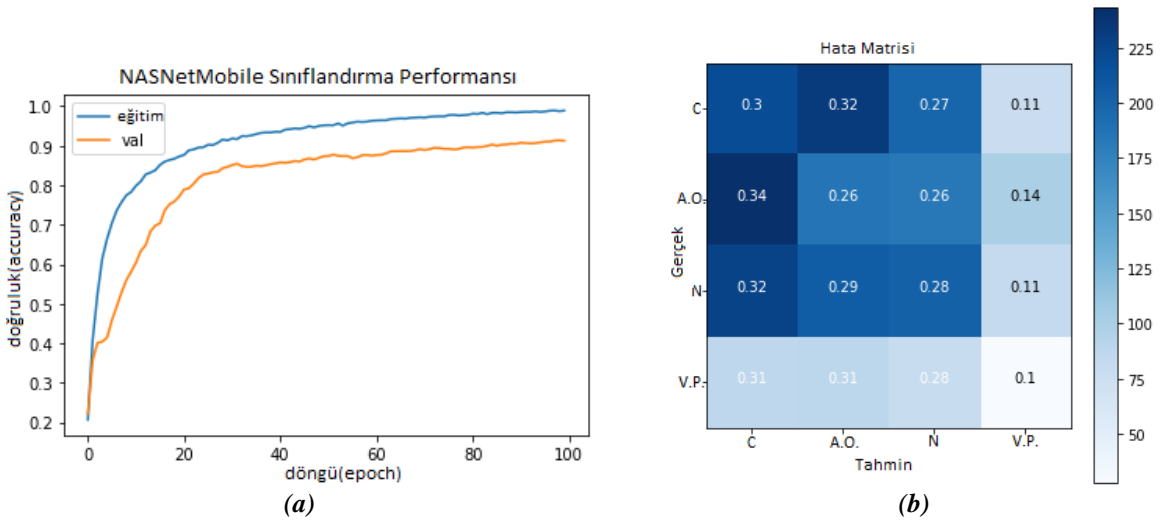
Tablo 3. ESA modellerine ait performans metrikleri

ESA Model	Doğruluk (Accuracy)	Kesinlik (Precision)	Duyarlılık (Recall)	Özgüllük (Specificity)
MobileNetV2	0,9179	0,9198	0,9130	0,9978
NASNetMobile	0,9110	0,9144	0,9077	0,9982
DenseNet121	0,9216	0,9253	0,9200	0,9968
Xception	0,9007	0,9053	0,8942	0,9975

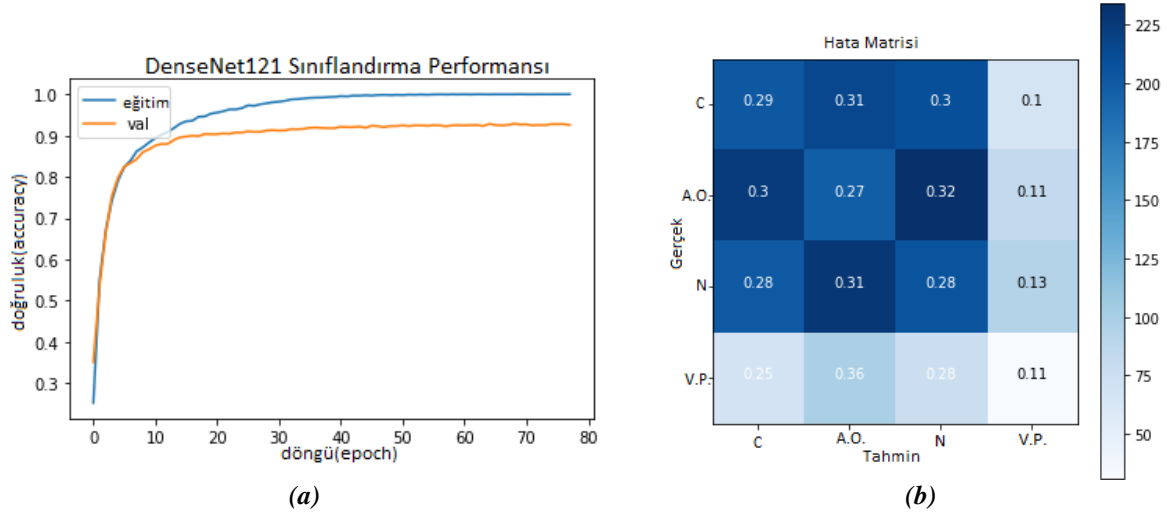
Model performanslarına ait görseller aşağıda yer verilmiştir. Toplam 100 döngü(epoch) sayısı koşması planlanan algoritmalar validasyon kaybı(validation_loss) değerinde bir değişiklik olmaması ve efektif kaynak kullanımı amacıyla erken durdurma(earlystopping) mekanizması tarafından sonlandırılmıştır. Bu nedenle grafiklerde döngü sayısında farklılıklar bulunmaktadır.



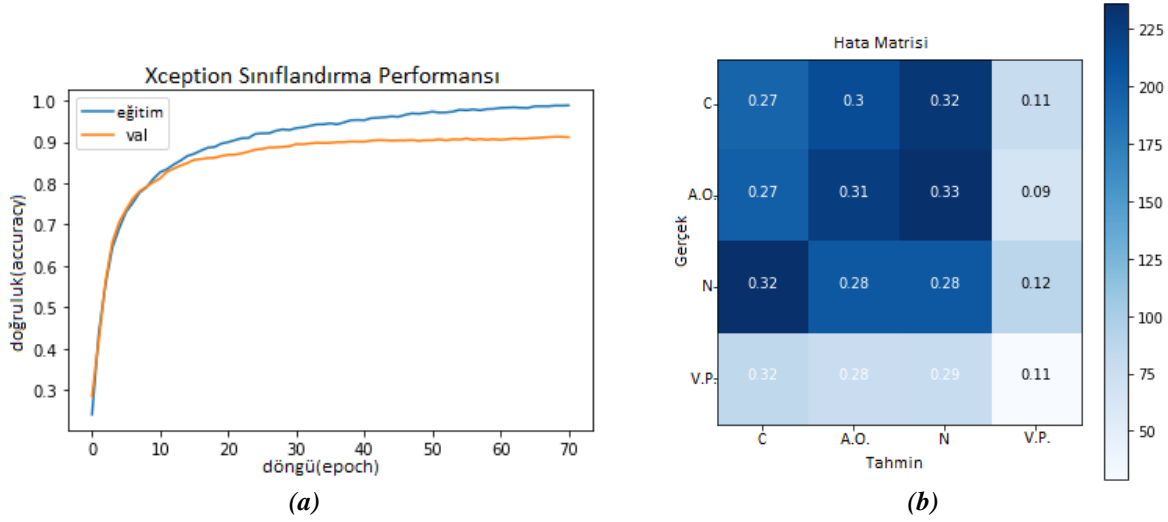
Şekil 7. (a) MobileNetV2 sınıflandırma performansı ve (b) Hata matrisi



Şekil 8. (a) NASNetMobile sınıflandırma performansı ve (b) Hata matrisi



Şekil 9. (a) DenseNet121 sınıflandırma performansı ve (b) Hata matrisi



Şekil 10. (a) Xception sınıflandırma performansı ve (b) Hata matrisi

En başarılı sonuçlar DenseNet121 ve MobileNet ağlarından elde edilmiştir. Tablo 2’de belirtildiği üzere parametre sayıları ve model boyutları farklı olmasına rağmen 4 modele ait sonuçlar arasındaki performans farkı oldukça düşük çıkmıştır. En iyi sonucu veren DenseNet121 ağı 8 milyon parametre kullanarak %92,16 doğruluk oranında sınıflandırma yaparken ikinci en iyi sonucu veren MobileNetV2 ağı 3,5 milyon parametre ile %91,78’lik başarı oranıyla veriyi etiketlemiştir.

Hafif mimari olarak varsayılan ve mobil, IOT cihazlar gibi düşük donanımsal özelliklere sahip cihazlarda çalışan MobileNetV2 ve NASNetMobile modelleri umut vaat edici performanslar ortaya koymuştur. Çalışmanın temel amacı olan evrimsel sinir ağları ile COVID-19 tespiti ve mobil cihazlar için uygun çözüm bulma hedeflerine, analizler sonucunda tatmin edici bulgular ile ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

V. SONUÇ

Koronavirüs salgını günümüzde etkisini hala sürdürmektedir. Virüsün farklı mutasyonlarının çıkması, yeterli sayıda aşılamanın yapılamaması ve aşı dışında bir çözümün hali hazırda bulunamaması salgının uzun süre daha devam edeceğini göstermektedir. Her ülkenin salgın ile farklı yöntemlerle mücadele

etmesine karşı, ortak izlenen yöntem olan virüs tespiti ve izolasyon hala geçerliliğini korumaktadır. Bu nedenle hastalık teşhisinin doğru konulması oldukça kritik öneme sahiptir. Altın standart kabul edilen ve dünyada en yaygın kullanılan PCR test yönteminin hata oranının yüksek olması bu yöntemin alternatif yöntemlerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Akciğer X-Ray görüntülerinin COVID-19'a özgü bulguları içermesi, gelişmiş ülkelerin test imkanlarına katkı sağlama ve test kitlerine erişimde problem yaşayan ülkelere bir yöntem sunma açısından umut vaat etmektedir. X-Ray görüntüleme yönteminin en büyük dezavantajı ise diğer akciğer hastalıkları ile bulguların benzerlik göstermesi ve tanının sadece uzman radyologlar tarafından konabilecek seviyede olması şeklide ifade edilmektedir.

İlgili çalışma kapsamında 11,293 akciğer X-Ray görüntüsü üzerinde akciğer opasitesi, normal, viral pnömoni ve COVID-19 etiketlerine göre sınıflandırma yapılmış ve yukarıda bahsedilen dezavantajlar DenseNet121, Xception, MobileNetV2 ve DenseNet121 evrimsel sinir ağları ile elimine edilmeye çalışılmıştır. Bu ağlara ait sınıflandırma sonuçları birbirine yakın çıkmış olup en yüksek doğruluk oranları DenseNet121 ve MobileNetV2 ağlarında sırası ile %92,16 ve %91,79 şeklinde elde edilmiştir. Hafif ağların bu derece yüksek sonuç vermesi salgınının kontrolden çıktığı ya da doktor sayısının yetersiz kaldığı durumlar için diğer kamu görevlilerinin de tanı koyma ve izolasyon çalışmalarına, geliştirilecek mobil çözümler ile destek verebileceğine işaret etmektedir.

VI. ÖNERİLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Gelecek çalışmalarda daha iyi performanslar elde edebilmek için daha çok veri ile çalışmak faydalı olacaktır. Ayrıca mevcut çalışmanın diğer klinik veriler ile desteklenerek hibrit bir makine öğrenmesi yaklaşımı sunulması hastalık tespit oranını önemli ölçüde artıracaktır. Mobil cihazlara başarılı sonuçlar veren bu modellerin entegre edilmesi saha personeline önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Mobil cihazlar için önerilecek sistemlerde istemciler ve sunucular arasında federe mimariler üzerine odaklanılması sistemi daha etkili hale getirecektir. Federe mimarilerde istemcilerden alınan veriler sunucularda işlenerek gerekli ağırlık güncellemeleri yapılabilecek ya da başka belirtilerin de modellere eklenmesi ile kalibre edilen modeller değişen saha koşullarına göre her zaman güncel tutulabilecektir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] J.-M. Qu, B. Cao, and R.-C. Chen, *COVID-19: The Essentials of Prevention and Treatment*, 1st ed., Amsterdam, Holland: Elsevier Science, 2020, ch. 1, pp 1-6.
- [2] Z. Allam, *Surveying the Covid-19 Pandemic and Its Implications*, 1st ed., Amsterdam, Holland: Elsevier Science 2020, ch. 1, pp. 1-7.
- [3] T.-M. Chen, J. Rui, Q.-P. Wang, Z.-Y. Zhao, J.-A. Cui, and L. Yin, "A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus," *Infectious Diseases of Poverty*, vol. 9, no. 1, pp. 24, 2020.
- [4] World Health Organization. (2021, November 4). *Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it* [Online]. Available: [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it).
- [5] J. Zheng, "Sars-cov-2: an emerging coronavirus that causes a global threat," *International Journal of Biological Sciences*, vol. 16, no. 10, pp. 1678, 2020.

- [6] Karthik, R. Menaka, and H. M, “Learning distinctive filters for COVID-19 detection from chest X-ray using shuffled residual CNN,” *Applied Soft Computing*, vol. 99, pp. 106744, 2021.
- [7] M. M. A. Monshi, J. Poon, V. Chung, and F. M. Monshi, “CovidXrayNet: Optimizing data augmentation and CNN hyperparameters for improved COVID-19 detection from CXR,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 133, pp. 104375, 2021.
- [8] World Health Organization. (2021, August 28). *Coronavirus(COVID-19) Dashboard* [Online]. Available: <http://covid19.who.int>.
- [9] L. Wang, Z. Q. Lin, and A. Wong, “COVID-Net: a tailored deep convolutional neural network design for detection of COVID-19 cases from chest X-ray images,” *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, pp. 19549, 2020.
- [10] Y. Bouchareb et al., “Artificial intelligence-driven assessment of radiological images for COVID-19,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 136, pp. 104665, 2021.
- [11] N.-A.- Alam, M. Ahsan, M. A. Based, J. Haider, and M. Kowalski, “COVID-19 detection from chest X-ray images using feature fusion and deep learning,” *Sensors (Basel)*, vol. 21, no. 4, pp. 1480, 2021.
- [12] Z. Wang et al., “Automatically discriminating and localizing COVID-19 from community-acquired pneumonia on chest X-rays,” *Pattern Recognition*, vol. 110, pp. 107613, 2021.
- [13] M. J. Horry et al., “COVID-19 detection through transfer learning using multimodal imaging data,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 149808–149824, 2020.
- [14] G. D. Rubin et al., “The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: A multinational consensus statement from the fleischner society,” *Radiology*, vol. 296, no. 1, pp. 172–180, 2020.
- [15] T. Ozturk, M. Talo, E. A. Yildirim, U. B. Baloglu, O. Yildirim, and U. Rajendra Acharya, “Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 121, pp. 103792, 2020.
- [16] S. Karakanis and G. Leontidis, “Lightweight deep learning models for detecting COVID-19 from chest X-ray images,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 130, pp. 104181, 2021.
- [17] D. D. Pukale, S. G. Bhirud and V. D. Katkar, “Content-based image retrieval using deep convolution neural network,” in *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, 2017, pp. 1-5.
- [18] L. L. Ankile, M. F. Heggland, and K. Krage, “Deep convolutional neural networks: A survey of the foundations, selected improvements, and some current applications,” 2020, *arXiv:2011.12960*.
- [19] D. Arora, M. Garg and M. Gupta, “Diving deep in deep convolutional neural network,” in *2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, 2020, pp. 749-751.
- [20] C. Ouchicha, O. Ammor, and M. Meknassi, “CVDNet: A novel deep learning architecture for detection of coronavirus (Covid-19) from chest x-ray images,” *Chaos Solitons Fractals*, vol. 140, pp. 110245, 2020.
- [21] N. Aloysius and M. Geetha, “A review on deep convolutional neural networks,” in *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2017, pp. 0588-0592.

- [22] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, "MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks," in *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, pp. 4510-4520.
- [23] E. E.-D. Hemdan, M. A. Shouman, and M. E. Karar, "COVIDX-Net: A framework of deep learning classifiers to diagnose COVID-19 in X-ray images," 2020, *arXiv:2003.11055*.
- [24] U. Seidaliyeva, D. Akhmetov, L. Ilipbayeva, and E. T. Matson, "Real-time and accurate drone detection in a video with a static background," *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 14, pp. 3856, 2020.
- [25] P. Nagrath, R. Jain, A. Madan, R. Arora, P. Kataria, J. Hemanth, "SSDMNV2: A real time DNN-based face mask detection system using single shot multibox detector and MobileNetV2," *Sustainable Cities and Society*, vol. 66, pp. 102692, 2021.
- [26] A. E. Ba Alawi and A. M. Qasem, "Lightweight CNN-based models for masked face recognition," in *2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN)*, 2021, pp. 1-5.
- [27] Herdian, G. Putra, and Suharjito, "Classification of C2C e-commerce product images using deep learning algorithm," *International Journal of Advanced Computer Science Applications*, vol. 10, no. 9, 2019, pp. 196-203.
- [28] S.-H. Wang and Y.-D. Zhang, "DenseNet-201-based deep neural network with composite learning factor and precomputation for multiple sclerosis classification," *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications.*, vol. 16, no. 2s, pp. 1–19, 2020.
- [29] F. Chollet, "Xception: Deep Learning with depthwise separable convolutions," in *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 1800-1807.
- [30] Rismiyati, S. N. Endah, Khadijah and I. N. Shiddiq, "Xception architecture transfer learning for garbage classification," in *2020 4th International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)*, 2020, pp. 1-4.
- [31] P. Bhardwaj and A. Kaur, "A novel and efficient deep learning approach for COVID -19 detection using X-ray imaging modality," *International Journal of Imaging Systems and Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 1775-1791, 2021.
- [32] K. Srinivasan et al., "Performance comparison of deep CNN models for detecting driver's distraction," *Computers, Materials & Continua*, vol. 68, no. 3, pp. 4109–4124, 2021.
- [33] C. Tan, F. Sun, T. Kong, W. Zhang, C. Yang, and C. Liu, "A survey on deep transfer learning," 2018, *arXiv:1808.01974*.
- [34] F. Zhuang et al., "A comprehensive survey on transfer learning," *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 1, pp. 43–76, 2021.
- [35] Kaggle. (2021, June 6). *COVID-19 Radiology Dataset* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/tawsifurrahman/covid19-radiography-database>.
- [36] A. Khan, A. Sohail, U. Zahoor, and A. S. Qureshi, "A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks," *Artificial Intelligence Review*, vol. 53, no. 8, pp. 5455–5516, 2020.

[37] Keras.io. (2021, August 29). *Keras Applications* [Online]. Available: <https://keras.io/api/applications/>.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Improved Slime-Mould-Algorithm with Fitness Distance Balance-based Guiding Mechanism for Global Optimization Problems¹

Çağrı Suiçmez^{a,*}, Hamdi Tolga Kahraman^b, Cemal Yılmaz^c, Mehmet Fatih Işık^d, Enes Cengiz^e

^a Electrical Electronics Engineering, Technology Faculty, Gazi University, Ankara, TURKEY

^b Software Engineering, Of Technology Faculty, Karadeniz Technical University, Trabzon, 61080, TURKEY

^c Mingachevir State University, Mingachevir, AZERBAIJAN

^d Electrical Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Hitit University, Çorum, TURKEY

^e Mechatronics Engineering, Technology Faculty, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: cagrisuicmez@gazi.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1016209

ABSTRACT

In this study, the performance of Slime-Mould-Algorithm (SMA), a current Meta-Heuristic Search algorithm, is improved. In order to model the search process lifecycle process more effectively in the SMA algorithm, the solution candidates guiding the search process were determined using the fitness-distance balance (FDB) method. Although the performance of the SMA algorithm is accepted, it is seen that the performance of the FDB-SMA algorithm developed thanks to the applied FDB method is much better. CEC 2020, which has current benchmark problems, was used to test the performance of the developed FDB-SMA algorithm. 10 different unconstrained comparison problems taken from CEC 2020 are designed by arranging them in 30-50-100 dimensions. Experimental studies were carried out using the designed comparison problems and analyzed with Friedman and Wilcoxon statistical test methods. According to the results of the analysis, it has been seen that the FDB-SMA variations outperform the basic algorithm (SMA) in all experimental studies.

Keywords: Meta-heuristic search; slime mould algorithm; fitness-distance balance (FDB); benchmark problems.

Global Optimizasyonu için Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Rehber Mekanizmasıyla Slime Mould Optimize Edicinin İyileştirilmesi

ÖZ

Bu çalışmada güncel bir Meta-Heuristic Search algoritması olan Balçık-Küfü Algoritması (SMA) performansının iyileştirilmesi yapılmaktadır. SMA algoritmasında arama süreci yaşam döngüsü sürecini daha etkili bir şekilde modelleyebilmek için arama sürecine rehberlik eden çözüm adayları uzaklık-uygunluk dengesi (fitness-distance balance, FDB) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Her ne kadar SMA algoritmasının performansı kabul görse de uygulanan FDB yöntemi sayesinde geliştirilen FDB-SMA algoritmasının performansının çok daha iyi olduğu görülmektedir. Geliştirilen FDB-SMA algoritmasının performansını test etmek için güncel benchmark sorunları olan CEC 2020 kullanılmıştır. CEC 2020'den alınan 10 farklı kısıtsız kıyaslama problemi 30-50-100 boyutlarında düzenlenerek tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalar tasarlanan kıyaslama problemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Friedman ve Wilcoxon istatistiksel test yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre FDB-SMA varyasyonlarının tüm deneysel çalışmalarda temel algoritmaya (SMA) göre daha üstün bir performans gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Meta-sezgisel arama; Slime Mould algoritması; uygunluk-mesafe dengesi (FDB); kıyaslama problemleri.

¹ICAAME 2021 konferansında özet metin olarak sunulmuştur.

I. INTRODUCTION

Stochastic optimization algorithms are divided into Heuristic and Meta-Heuristic Search (MHS). Heuristic algorithms depend more on the type of problem. MHS-based algorithms, on the other hand, are used to obtain spherical or near-spherical optimum solutions as an alternative to mathematical approaches that are independent of the problem type [1,2]. In addition, Meta-Heuristic algorithms have become more advantageous in terms of better performance and computational cost than deterministic algorithms in many optimization problems in recent years [3,4,5].

Engineers and philosophers have always been inspired by nature, and many MHS-based algorithms have used this inspiration [6]. Evolutionary Algorithm (EA) developed by Fogel et al. [7]. Genetic Algorithm [8], developed in the 1960s and 1970s, inspired by the field of biology. Taboo Search (TS) inspired by animal behavior [9]. Particle swarm optimization inspired by bird flocks [10,11]. In addition, another developed MHS algorithm, Simulated Annealing (SA) algorithm, was inspired by the annealing process of metals [12,13].

Big Bang–Big Crunch algorithm (BB–BC) proposed by Erol and Eksin and developed by Kaveh and Talatahari [14,15] and Gravity Search Algorithm (GSA) developed by Rashedi et al. [16]. These algorithms are developed using the laws of physics. Along with these, there are algorithms inspired by music. For example, the Harmony Search (HS) algorithm [17]. Artificial Bee Colony (ABC) developed by being influenced by the food finding process of bees [18]. Supported by many examples such as these, MHS algorithms have been developed since the 1970s. These algorithms are mainly used to find global solutions in optimization problems. But finding these solutions with absolute certainty is a difficult task. Instead, it is accepted to find the closest solution to this global solution. MHS algorithms need two things to perform these search tasks. The first is exploitation and the second is exploration [19,20,21]. Although different Meta-Heuristic Algorithms have distinctive features within themselves, basically these two stages are common to all MHS algorithms. It defines the search of the solution space as wide, global and random as possible during the exploration phase. Exploitation phase defines the ability of the solution candidates sought in the exploration phase to search with high precision. If the algorithm's exploration ability is high, the randomness and diversity of the algorithm increases. If the algorithm's exploitation feature is more dominant, it performs more local search processes to increase the precision and quality of the solution candidates. Since each optimization problem has different features, these two features, exploitation and exploration, must complement each other in perfect balance. However, no MHS can definitively find the global optimum for all optimization problems [22]. This process is logically proven by the No Free Lunch (NFL) theory [23].

Thanks to the above-mentioned theorem, the researchers were motivated to design a large number of new MHSs. This is the source of motivation for our work. Thanks to the method we developed in our study, the performance of the search process increases, thus reducing the possibility of being caught in local minimum traps. For this, we propose the FDB-based SMA algorithm to more effectively determine the values that guide the solution candidates in the search process life cycle in MHS algorithms. Thanks to the proposed method, the SMA avoids local optima more effectively and does not converge prematurely. Many cases have been designed in applying the FDB method to the SMA algorithm. In order to compare the developed FDB-SMA algorithm and the base algorithm, 10 unconstrained problems in the CEC 2020 problem pool were designed and used in 30, 50 and 100 dimensions. In this way, the early convergence problem in the SMA algorithm has been eliminated by applying the FDB method. The local search and diversity capabilities of the algorithm have been improved. As a result, a powerful FDB-RUN algorithm that can be used in solving different types of optimization problems has been brought to the literature.

II. METHOD

Stochastic optimization algorithms are able to produce different results by taking the same input, thanks to the randomness feature. These algorithms are divided into two categories, heuristics and meta-heuristics. In these two categories, it actually tries to find the optimum value of the problem by guided trial and error [24]. While heuristics depend on the problem, meta-heuristics are called black boxes and have no prior assumptions about the problem they are trying to solve [2]. Each MHS algorithm is similar in terms of operation. This process consists of several successive steps. To mention these steps; It starts with defining the problem to be optimized first. Then, the problem parameters are determined and a community of solution candidates is created. Then, the fitness values of the candidate solutions are calculated and the search process life cycle is started. The search process includes the life cycle selection process, neighborhood search and diversity, and updating the solution candidates. This step is repeated until the optimum result is found, and then this process is terminated. The parts of MHS algorithms that make a difference in themselves emerge in the search process lifecycle. The first step of the mentioned process begins with the selection of candidates who will lead the search process. Three methods are used in the selection of these candidates: random, greedy and probabilistic. While the random selection method is used to provide diversity, the greedy selection method chooses those with the best compatibility value among the solution candidates. The probabilistic method is a mix of the first two methods. It has two techniques known as roulette and double tournament. In the roulette wheel technique, the pieces of the wheel are adjusted according to their fitness values, and the candidate represented by that piece is selected. In the double tournament technique, two randomly selected values from the population are compared and the one with the higher fitness value is taken [25].

A. SLIME-MOULD-ALGORITHM

The slime mold algorithm was first proposed by Schmickland Crailsheim as a biology-inspired pathfinding principle for use in swarm robotics [26]. This proposed slimy mold algorithm simulates the foraging process of *Physarum polycephalum* by providing low-cost and minimally erroneous graphics to simulate. Derived from this living organism, this algorithm has been used in areas such as graph theory, production networks, and used in the field of graph optimization [27]. This developed SMA algorithm imitates the foraging cycle of slimy mold by giving positive or negative answers by using weight values in its algorithm.

The slime mold inspired by the SMA algorithm is actually a fungus, and the life cycle of this fungus was first published by Howard in 1931 in an article called slimy mold [28]. The main feeding process of this slimy mold living in cold and damp places is Plasmodium. The feeding process of this living organism first begins with the search for food, and after the food is found, the food is wrapped around it and continues with the secretion of enzymes to digest this food. In order to move towards the found food, the end of the slimy mold organism on the food side opens like a fan and connects the food to itself with venous networks extending towards the food. This organism, which can form a large number of these networks that bind the food to itself, can grow to more than 900 square centimeters depending on the amount of food around. As mentioned earlier, this organism creates the most appropriate way to connect to the nutrients around it, thanks to positive and negative feedback. Therefore, as mentioned before, the mathematical model of slime mold has been used in subjects such as graph theory and production networks [29,30].

This organism makes a choice according to the nutrient concentration when choosing various nutrients in its environment, and the thickness of the venous networks they use in binding to the food is directly proportional to the amount of cytoplasmic fluid flowing from the food to which they are attached to the organism [31,33]. This organism can split its biomass in half if it has found nutrients of equivalent quality [31].

If the concentration of nutrient sources around the slime mold organism is low, it will leave its environment in search of highly concentrated nutrients. This shows us that the organism's foraging patterns are dynamic according to food quality [33,34].

The foraging process of the slimy mold organism is mathematically modeled in two stages. These are Approach food, Wrap food stages.

A.1. Approach Food

In the mathematical model of the slimy mold organism's approach to the food, it is observed that it approaches the high concentration food it finds by contraction. The mathematical model of this is given below [22].

$$\overrightarrow{X}(t+1) = \begin{cases} \overrightarrow{X}_b(t) + \overrightarrow{vb} \cdot (\overrightarrow{W} \cdot \overrightarrow{X}_A(t) - \overrightarrow{X}_B(t)), & r < p \\ \overrightarrow{vc} \cdot \overrightarrow{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (1)$$

Where \overrightarrow{vb} [-a,a] is a parameter with a range. \overrightarrow{vc} is a parameter that decreases linearly from one to zero. t is the number of iterations. \overrightarrow{X}_b is the individual location with the highest odor concentration currently available. \overrightarrow{X} is location of slimy mold, \overrightarrow{X}_A ve \overrightarrow{X}_B are two people randomly selected from the herd. \overrightarrow{W} represents the weight of the slimy mold. The formula for p is given below [22].

$$p = \tanh|S(i) - DF| \quad (2)$$

$i \in 1, 2, \dots, n$, $S(i)$ It is the suitability of \overrightarrow{X} . DF is the fitness value at all iterations..

The formula for \overrightarrow{vb} is given below [22].

$$\overrightarrow{W}(\text{SmellIndex}(i)) = \begin{cases} 1 + r \cdot \log\left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1\right), & \text{condition} \\ 1 - r \cdot \log\left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1\right), & \text{others} \end{cases} \quad (3)$$

Where $S(i)$ indicates that it is in the first half of the population, r indicates the random value in the range [0,1], bF indicates the optimal fit obtained in the current iterative process, and wF indicates the worst fit obtained.

A.2. Wrap Food

The location update formula of the slimy mold organism is given below [22].

$$\overrightarrow{X}^* = \begin{cases} \text{rand} \cdot (UB - LB) + LB, & \text{rand} < z \\ \overrightarrow{X}_b(t) + \overrightarrow{vb} \cdot (\overrightarrow{W} \cdot \overrightarrow{X}_A(t) - \overrightarrow{X}_B(t)), & r < p \\ \overrightarrow{vc} \cdot \overrightarrow{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (4)$$

LB and UB indicate the lower and upper limits of the search range, while rand and r indicate the random value in [0,1].

B. IMPROVED SLIME-MOULD-ALGORITHM WITH FITNESS-DISTANCE BALANCE BASED GUIDING MECHANISM

The most important and fundamental steps in the meta-heuristic search process are the exploitation and exploration steps. Search operators throughout the MHS process are to carry out these two steps in the most effective way. To briefly mention these steps; From the population created in the first step,

exploitation, solution candidates are selected according to their reference positions. In the second step, exploration, a search is made using the reference locations selected in the first step [35,36,37]. However, the diversity of most MHS algorithms in multidimensional and complex problems decreases, that is, early convergence occurs, and the solution candidates begin to resemble each other. In other words, the search process ends with a local optima trap [38,39,40]. In order to prevent this situation, although many MHS algorithms are encountered in the literature, these algorithms mostly focus on the development of search operators. However, the fact that the developed algorithms are not caught in the local optima trap is not only dependent on the improvement of search operators. What is essential for the success of this process is the joint and effective development of selection methods and search operators. For this purpose, it is aimed to overcome the local optima trapping problem by integrating the FDB method into the SMA algorithm [19,41,42]. With the equations given below, the application of the FDB method to the SMA algorithm is discussed with different cases.

Table 1. Cases of SMA base algorithm created by integrating FDB method

Base Algorithm	Cases
Eq(1) and Eq(2)	<p style="text-align: center;">CASE-1</p> <p style="text-align: center;">if $r < p$ if(rand<0.3) $X(i,j) = bestPositions(j) + vb(j) * (weight(fdbindex,j) * X(A,j) - X(B,j));$ else $X(i,j) = bestPositions(j) + vb(j) * (weight(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$ end else $X(i,j) = vc(j) * X(fdbindex,j);$ and if(rand<0.3) $p = tanh(abs(AllFitness(fdbindex) - Destination_fitness));$ else $p = tanh(abs(AllFitness(i) - Destination_fitness));$ end</p>
Eq(1) and Eq(2)	<p style="text-align: center;">CASE-2</p> <p style="text-align: center;">if $r < p$ if(rand<0.5) $X(i,j) = bestPositions(j) + vb(j) * (weight(i,j) * X(fdbindex,j) - X(fdbindex,j));$ else $X(i,j) = bestPositions(j) + vb(j) * (weight(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$ end else $X(i,j) = vc(j) * X(fdbindex,j);$ and if(rand<0.5) $p = tanh(abs(AllFitness(fdbindex) - Destination_fitness));$ else $p = tanh(abs(AllFitness(i) - Destination_fitness));$ end</p>
Eq(1) and Eq(2)	<p style="text-align: center;">CASE-3</p> <p style="text-align: center;">if $r < p$ if(rand<0.5) $X(i,j) = bestPositions(j) + vb(j) * (weight(fdbindex,j) * X(fdbindex,j) - X(fdbindex,j));$ Else $X(i,j) = bestPositions(j) + vb(j) * (weight(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$</p>

Table 1 (continues). Cases of SMA base algorithm created by integrating FDB method

	<p><i>End</i> <i>else</i> $X(i,j) = vc(j)*X(fdbindex,j);$ <i>and</i> <i>if(rand<0.5)</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(fdbindex) - \text{Destination_fitness}));$ <i>else</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(i) - \text{Destination_fitness}));$ <i>end</i></p>
	<p>CASE-4 <i>if r<p</i> <i>if(rand<0.5)</i> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(fdbindex,j) - X(fdbindex,j));$ <i>else</i> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$ <i>end</i> <i>else</i> <i>if(rand<0.5)</i> $X(i,j) = vc(j) * X(fdbindex,j);$ <i>else</i> $X(i,j) = vc(j) * X(i,j);$ <i>end</i> <i>end</i></p>
<p>Eq(1) and Eq(2)</p>	<p><i>and</i> <i>if(rand<0.5)</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(fdbindex) - \text{Destination_fitness}));$ <i>else</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(i) - \text{Destination_fitness}));$ <i>end</i></p>
	<p>CASE-5 <i>if r<p</i> <i>if(rand<0.5)</i> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(fdbindex,j) * X(fdbindex,j) - X(fdbindex,j));$ <i>else</i> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$ <i>end</i> <i>else</i> <i>if(rand<0.5)</i> $X(i,j) = vc(j) * X(fdbindex,j);$ <i>else</i> $X(i,j) = vc(j) * X(i,j);$ <i>end</i> <i>end</i> <i>and</i> <i>if(rand<0.5)</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(fdbindex) - \text{Destination_fitness}));$ <i>else</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(i) - \text{Destination_fitness}));$ <i>end</i></p>
<p>Eq(1) and Eq(2)</p>	<p><i>and</i> <i>if(rand<0.5)</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(fdbindex) - \text{Destination_fitness}));$ <i>else</i> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(i) - \text{Destination_fitness}));$ <i>end</i></p>

Table 1 (continues). Cases of SMA base algorithm created by integrating FDB method

Eq(1)	<hr/> <p style="text-align: center;">CASE-6</p> <p style="text-align: center;">if $r < p$</p> <p style="text-align: center;">if ($\text{rand} < 0.5$)</p> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(\text{fdbindex},j) - X(\text{fdbindex},j));$ <p style="text-align: center;">else</p> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$ <p style="text-align: center;">end</p> <p style="text-align: center;">else</p> $X(i,j) = vc(j) * X(i,j);$ <p style="text-align: center;">End</p> <hr/>
Eq(1)	<p style="text-align: center;">CASE-7</p> <p style="text-align: center;">if $r < p$</p> <p style="text-align: center;">if ($\text{rand} < 0.3$)</p> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(\text{fdbindex},j) - X(\text{fdbindex},j));$ <p style="text-align: center;">else</p> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(A,j) - X(B,j));$ <p style="text-align: center;">end</p> <p style="text-align: center;">else</p> $X(i,j) = vc(j) * X(i,j);$ <p style="text-align: center;">End</p> <hr/>
Eq(1) and Eq(2)	<p style="text-align: center;">CASE-8</p> <p style="text-align: center;">if $r < p$</p> $X(i,j) = \text{bestPositions}(j) + vb(j) * (\text{weight}(i,j) * X(\text{fdbindex},j) - X(B,j));$ <p style="text-align: center;">else</p> <p style="text-align: center;">if ($\text{rand} < 0.3$)</p> $X(i,j) = vc(j) * X(\text{fdbindex},j);$ <p style="text-align: center;">else</p> $X(i,j) = vc(j) * X(i,j);$ <p style="text-align: center;">end</p> <p style="text-align: center;">end</p> <p style="text-align: center;">and</p> <p style="text-align: center;">if ($\text{rand} < 0.7$)</p> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(\text{fdbindex}) - \text{Destination_fitness}));$ <p style="text-align: center;">else</p> $p = \tanh(\text{abs}(\text{AllFitness}(i) - \text{Destination_fitness}));$ <p style="text-align: center;">end</p> <hr/>

All cases given in Table-1 are new designs of SMA algorithm with FDB method. The effectiveness of these cases has been proven by certain test results and is shared below.

III. EXPERIMENTAL STUDY

A. SETTINGS

Extensive experimental studies have been carried out to test the efficiency and performance of the above-mentioned cases of the proposed FDB-SMA algorithm. In order to clearly show the efficiency and performance of the cases created with the developed algorithm, the cases created in four different types of unconstrained comparison problems (Unimodal, Basic Multimodal, Hybrid and Composition) were tested with the SMA base algorithm in different sizes (30/50/100) search space. naturalized. The following procedures were followed in order to carry out the experimental studies in an objective and fair manner:

- The conditions defined at the CEC 2020 conference are referenced for the experimental work settings [43].
- In editing the parameters of the SMA algorithm, the settings given in its own work, ie population size, etc. taken as reference.
- In order to ensure equality of opportunity between the base algorithm and the created cases, the termination criterion is defined over the maximum number of evaluations of the objective function. This value is $10,000*d$ (d:problem size).
- Dynamically resizable CEC 2020 comparison functions are used to reveal the performance of the proposed method in low, medium and high dimensional search fields. In the study, 30, 50 and 100 dimensional problems were created.
- Experimental studies were carried out on MATLAB®R2018b, on INTEL CORE i7 7700HQ 2.80 GHz and 16 GB RAM and x64 based processor.

B. BENCHMARK PROBLEMS

In the experimental studies, 10 different problems with four different types were used without constraints. All of the problems are taken from the CEC 2020 comparison pools [43]. Table 2 below shows the problems and which features of these problems optimization algorithms can test.

Table 2. Problem type and characteristics

Problem type	Problem no	Characteristics
Bent Cigar Function	1	It is the type of problem used to test the local search performance of algorithms.
Shifted and Rotated Schwefel's Function	2	
Shifted and Rotated Lunacek bi-Rastrigin Function	3	It is the type of problem used to test the global search (diversity) performance of algorithms.
Expanded Rosenbrock's plus Griewangk's Function	4	
Hybrid Function 1,2,3	5,6,7	It is the type of problem used to determine the balanced search performance of algorithms.
Composition Function 1,2,3	8,9,10	It is the type of problem used to test the capabilities of algorithms in search spaces with high complexity.

IV. ANALYZE RESULTS

In this section, the results obtained from the experimental studies are compared with the SMA base algorithm and FDB-SMA Cases in terms of performance. The Friedman test is used to compare the performances of the created cases and the base algorithm among themselves. Wilcoxon test is used to compare each FDB-SMA case and the SMA base algorithm pairwise. Test results are shown in the following sections.

A. STATİSTİCAL ANALYSIS RESULTS

In this section, the statistical performance analysis of the FDB-SMA cases created in this study and the base SMA algorithm is performed using the Friedman test. In Table-3, the results of the SMA base algorithm and FDB-SMA cases performed in 30/50/100 dimensions are given.

Table 3. Experimental results according to Friedman analysis method

		CEC 2020								
		Base	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6	Case-7	Case-8
SMA	D=30	5.376	5.262	4.529	4.881	4.962	5.019	4.852	5.048	5.071
	D=50	5.471	5.286	4.743	4.752	5.052	5.133	4.486	4.938	5.138
	D=100	6.190	2.462	4.790	4.857	5.167	5.124	5.329	5.533	5.548
	Mean	5.679	4.337	4.687	4.830	5.060	5.092	4.889	5.173	5.252

When the values given in Table-3 are examined, all cases of the developed FDB-SMA algorithm give better results than the base SMA algorithm. When these results are examined, all the cases given of the developed FDB-SMA algorithm are proof that it is more effective than the base SMA algorithm. When Table-4 is examined, the results of the binary Wilcoxon comparisons of the developed FDB-SMA algorithm cases with the base SMA algorithm are given. As it is understood from these results, it is seen that the developed algorithm cases achieve better results in all bots, especially in high dimensions.

Table 4. Pairwise comparison of experimental results according to Wilcoxon analysis method

		CEC 2020								
		Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6	Case-7	Case-8	
vs. SMA +/-	D=30	1/9/0	1/9/0	1/8/1	2/7/1	0/9/1	1/9/0	1/9/0	2/8/0	
	D=50	1/9/0	3/5/2	4/5/1	3/6/1	2/7/1	4/5/1	2/8/0	1/8/1	
	D=100	7/3/0	4/6/0	4/6/0	4/6/0	4/6/0	3/7/0	4/6/0	3/7/0	

The Friedman analysis results of all given cases of the developed FDB-SMA algorithm are given in table-5.

Table 5. Friedman analysis results of the problems handled according to different dimension types

Problem Type	Dimension	Base	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6	Case-7	Case-8
Unimodal	D=30	5.67	4.90	4.76	4.76	4.48	4.62	6.29	5.71	3.81
	D=50	5.33	6.43	3.71	4.52	5.43	4.86	4.24	4.71	5.76
	D=100	4.71	5.95	4.14	4.62	4.38	5.05	5.81	5.90	4.43
Basic Multimodal	D=30	5.48	4.97	4.70	5.24	5.76	4.54	4.54	4.60	5.17
	D=50	5.49	4.84	4.89	5.29	4.86	5.41	4.43	5.00	4.79
	D=100	6.19	2.33	4.94	4.86	4.95	5.24	5.60	5.56	5.33
Hybrid	D=30	5.67	6.08	4.89	4.27	3.95	4.86	4.62	5.38	5.29
	D=50	6.25	6.06	4.52	4.22	4.62	4.71	4.14	5.03	5.43
	D=100	6.83	2.89	4.17	4.60	4.95	4.56	4.89	5.89	6.22
Composition	D=30	4.89	4.86	3.92	5.17	5.33	5.79	4.92	4.94	5.17
	D=50	4.71	4.57	5.16	4.83	5.56	5.37	4.97	4.86	4.98
	D=100	6.05	1.00	5.48	5.19	5.86	5.60	5.33	5.03	5.46

When Table-5 is examined, the cases given of the developed FDB-SMA algorithm mostly achieved better results in 30, 50 and 100 dimensions than the base SMA algorithm. The developed cases were run 21 times and the results were obtained.

When Table-6 is examined, the average of the minimum values and standard deviation values that the developed FDB-SMA algorithm found during the search for the minimum values of the problems in the cases are shown.

Table 6. The mean and standard deviation values of the CEC 2020 problems in the experimental studies used

F	D	Base	Case-1	Case-2	Case-6
F1	30	8.75E+03 (6.96E+03)	7.05E+03 (6.82E+03) +	6.97E+03 (7.27E+03) +	1.15E+04 (7.24E+03) -
	50	1.16E+04 (1.11E+04)	1.61E+04 (1.15E+04) +	4.78E+03 (3.76E+03) +	6.16E+03 (6.11E+03) +
	100	1.04E+04 (1.13E+04)	1.61E+04 (1.15E+04) -	8.19E+03 (1.14E+04) +	2.04E+04 (2.10E+04) -
F2	30	3.14E+03 (7.42E+02)	3.08E+03 (4.06E+02) +	3.01E+03 (4.66E+02) +	2.78E+03 (4.17E+02) +
	50	6.13E+03 (7.18E+02)	5.48E+03 (7.03E+02) +	5.76E+03 (7.39E+02) +	5.25E+03 (8.38E+02) +
	100	1.34E+04 (1.15E+03)	5.48E+03 (7.03E+02) +	1.31E+04 (1.04E+03) +	1.35E+04 (1.03E+03) -
F3	30	1.42E+02 (2.32E+01)	1.29E+02 (3.50E+01) +	1.26E+02 (2.75E+01) +	1.28E+02 (2.43E+01) +
	50	2.72E+02 (4.23E+01)	2.70E+02 (3.39E+01) +	2.71E+02 (4.52E+01) +	2.59E+02 (2.43E+01) +
	100	9.11E+02 (1.08E+02)	2.70E+02 (3.79E+01) +	7.61E+02 (9.44E+01) +	8.11E+02 (1.25E+02) +
F4	30	0.00E+00 (0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00) =	0.00E+00 (0.00E+00) =	0.00E+00 (0.00E+00) =
	50	0.00E+00 (0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00) =	0.00E+00 (0.00E+00) =	0.00E+00 (0.00E+00) =
	100	0.00E+00 (0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00) =	0.00E+00 (0.00E+00) =	0.00E+00 (0.00E+00) =
F5	30	2.73E+05 (1.38E+05)	3.18E+05 (1.58E+05) -	2.29E+05 (1.51E+05) +	1.56E+05 (1.03E+05) +
	50	6.11E+05 (2.72E+05)	6.80E+05 (3.29E+05) -	3.60E+05 (1.43E+05) +	3.48E+05 (1.92E+05) +
	100	2.36E+06 (9.58E+05)	6.80E+05 (3.29E+05) +	1.24E+06 (2.89E+05) +	1.45E+06 (3.96E+05) +
F6	30	3.95E+02 (1.50E-02)	3.36E+02 (1.00E+02) +	2.54E+02 (1.35E+02) +	3.59E+02 (1.16E+02) +
	50	1.00E+03 (2.46E+02)	1.06E+03 (3.14E+02) -	7.70E+02 (1.91E+02) +	8.27E+02 (1.82E+02) +
	100	3.02E+03 (5.33E+02)	1.06E+03 (3.14E+02) +	2.83E+03 (6.20E+02) +	2.68E+05 (4.90E+02) -
F7	30	1.49E+05 (4.14E+04)	1.81E+05 (6.17E+04) -	1.77E+05 (1.52E+05) -	1.60E+05 (1.31E+05) -
	50	3.86E+05 (1.26E+05)	3.65E+05 (1.92E+05) +	2.05E+05 (1.17E+05) +	2.14E+05 (1.10E+05) +
	100	1.24E+06 (6.05E+05)	3.65E+05 (1.92E+05) +	4.56E+05 (1.52E+05) +	5.24E+05 (2.18E+05) +
F8	30	3.09E+03 (9.03E+02)	3.38E+03 (9.06E+02) -	2.24E+03 (1.41E+03) +	2.53E+03 (1.61E+03) +
	50	6.57E+03 (9.10E+02)	6.49E+03 (1.12E+03) +	5.95E+03 (8.97E+02) +	6.02E+03 (7.34E+02) +
	100	1.51E+04 (1.24E+03)	6.49E+03 (1.12E+03) +	1.41E+04 (1.06E+03) +	1.42E+04 (1.21E+03) +
F9	30	5.26E+02 (2.77E+01)	5.21E+02 (2.35E+01) +	5.41E+02 (3.41E+01) -	5.29E+02 (2.55E+01) -
	50	6.88E+02 (4.04E+01)	6.94E+02 (4.01E+01) -	7.30E+02 (6.26E+01) -	7.65E+02 (9.04E+01) -
	100	1.40E+03 (7.21E+01)	6.94E+02 (4.01E+01) +	1.40E+03 (7.55E+01) =	1.37E+03 (6.27E+01) +
F10	30	3.89E+02 (7.91E+00)	3.87E+02 (9.36E-01) +	3.88E+02 (1.24E+01) +	3.90E+02 (9.31E+00) -
	50	5.22E+02 (2.76E+01)	5.25E+02 (2.96E+01) -	5.50E+02 (4.16E+01) -	5.28E+02 (4.52E+01) -
	100	7.85E+02 (6.69E+01)	5.25E+02 (2.96E+01) +	7.75E+02 (6.24E+01) +	7.77E+02 (5.02E+01) +

When Table-6 is examined, the best three cases of the developed FDB-SMA algorithm are given. When the results were examined, it was able to find lower values than the base SMA algorithm. This shows that the developed algorithm is more effective.

B. CONVERGENCE ANALYSIS RESULTS

Box-plot graphics for the developed algorithm cases are given below. The given graphs are considered for 30/50/100 dimensional problems. It evaluates the box-plot capabilities of the algorithm by presenting the best results in the experimental studies in the given box-plot charts. Below are box-plot plots with D=30 in Figure 1, D=50 in Figure 2, and D=100 in Figure 3.

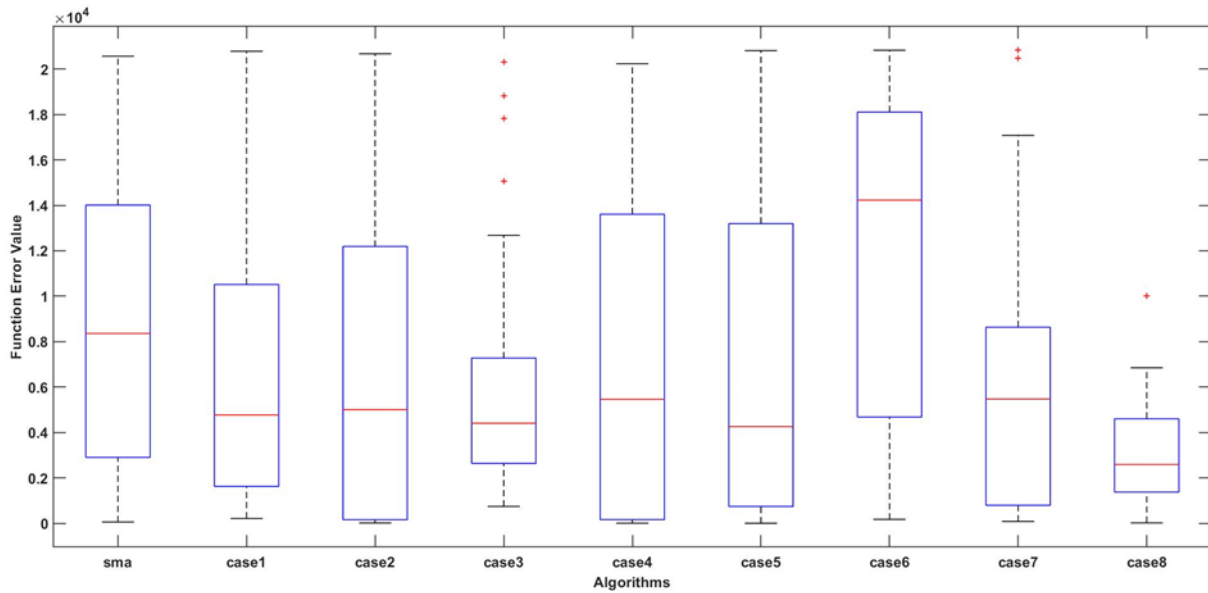


Fig 1. Box-plot plots of SMA and FDB-SMA algorithms in 30 dimensions

When Figure-1 is examined, almost all of the cases created in 30 dimensions have lower values than the base algorithm.

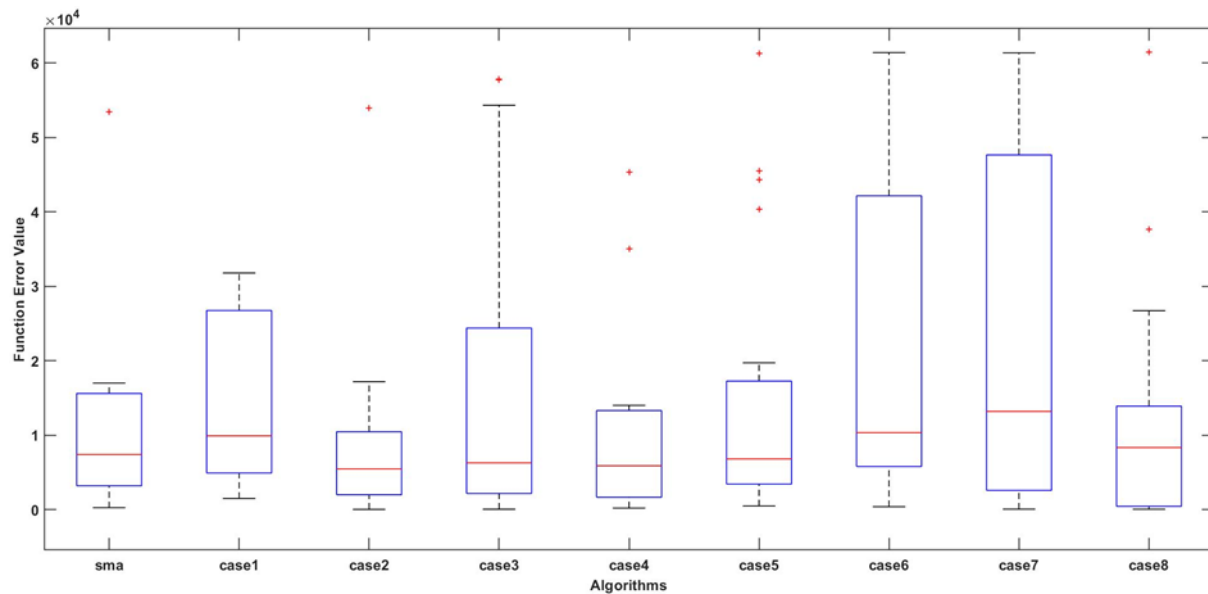


Fig 2. Box-plot plots of SMA and FDB-SMA algorithms in 50 dimensions

When Figure-2 is examined, all but one of the cases created in 50 dimensions achieved better results than the base algorithm.

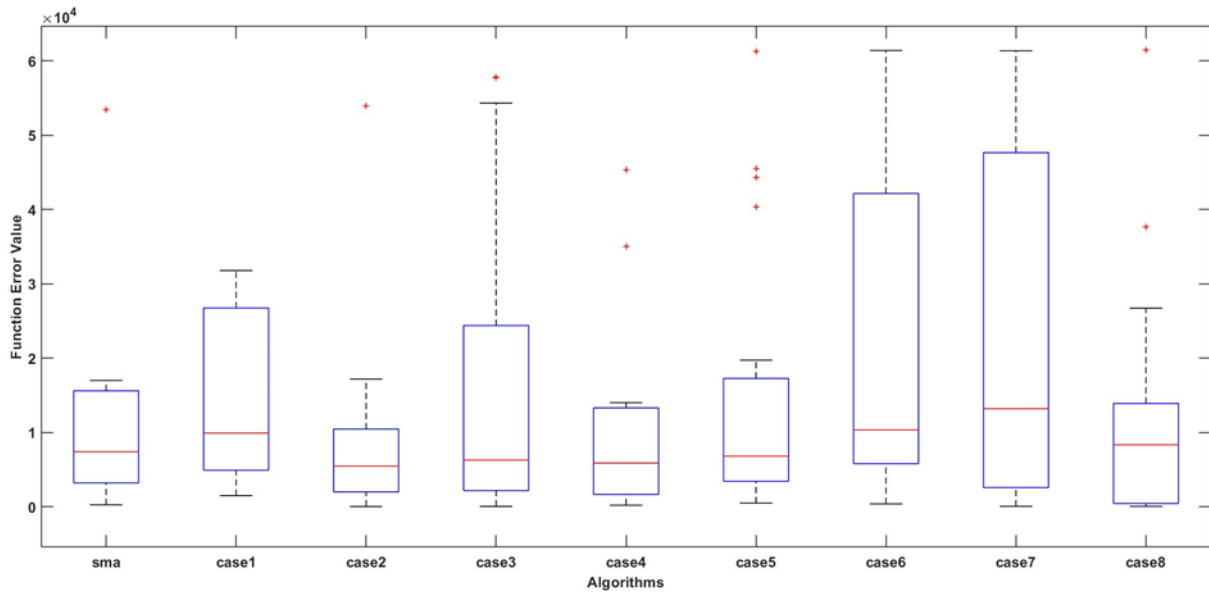


Fig 3. Box-plot plots of SMA and FDB-SMA algorithms in 100 dimensions

When Figure-3 is examined, relatively all of the cases created in 100 dimensions achieved better results than the base algorithm.

In Figure-1, the data distribution of all cases, except for two cases, has a wide distribution. It is observed in Figures-2 and 3 that there is a relatively narrow distribution of data.

V. CONCLUSIONS

In this study, certain design changes have been made in the basic algorithm in order to improve the overall search performance of the SMA algorithm, which is a current meta-heuristic search algorithm. For this, a current selection method of Fitness-Distance Balance (FDB) was used. This method is effective in better identifying the solution candidates that guide the search process in meta-heuristic algorithms. In order to test the performance and effectiveness of the FDB-SMA algorithm developed in our study, it was subjected to certain experimental studies. These experimental studies were carried out within the framework of the rules and standards defined at the CEC conferences. In experimental studies, 10 unconstrained comparison problems taken from CEC 2020 were used in 30, 50 and 100 dimensions. The data obtained from the experimental studies were evaluated with statistical analysis methods such as Friedman and Wilcoxon, and it was seen that the FDB-SMA method obtained superior results than the base SMA algorithm. These results show that the FDB-SMA algorithm has achieved an effective improvement in diversity and convergence processes from the base algorithm and creates a delicate balance between neighborhood search diversity.

The MATLAB source codes of the FDB-RUN algorithm developed and proposed for the first time in this article will be shared on the MATLAB File Exchange platform after the article is published. You can search the MATLAB File Exchange platform with the keyword FDB-RUN to download the source codes.

VI. REFERENCES

- [1] A. Kaveh and S. Talatahari, "An improved ant colony optimization for constrained engineering design problems," *Engineering Computations*, vol. 27, no. 1, pp. 155-182, 2010.

- [2] A. H. Halim, I. Ismail, and S. Das, "Performance assessment of the metaheuristic optimization algorithms: an exhaustive review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 54, no. 3, pp. 2323-2409, 2020.
- [3] H. Chen, S. Jiao, A. A. Heidari, M. Wang, X. Chen and X. Zhao, "An opposition-based sine cosine approach with local search for parameter estimation of photovoltaic models," *Energy Convers. Manage.*, vol. 195, pp. 927–942, 2019.
- [4] H. Chen, Y. Xu, M. Wang and X. Zhao, "A balanced whale optimization algorithm for constrained engineering design problems," *Appl. Math. Model.*, vol. 71, pp. 45–59, 2019.
- [5] M. Wang, H. Chen, "Chaotic multi-swarm whale optimizer boosted support vector machine for medical diagnosis," *Appl. Soft Comput.*, vol. 88, 2020.
- [6] A. Kaveh and S. Talatahari, "A novel heuristic optimization method: charged system search," *Acta Mechanica*, vol. 213, no. 3, pp. 267-289, 2010.
- [7] L. J. Fogel, A. J. Owens, and M. J. Walsh, "Intelligent decision making through a simulation of evolution," *Behavioral Science*, vol. 11, no. 4, pp. 253-272, 1966.
- [8] D. E. Goldberg, and J. H. Holland, "Genetic Algorithms and Machine Learning," *Machine Learning*, vol. 3, no. 2, pp. 95-99, 1988.
- [9] F. Glover, "Heuristics for integer programming using surrogate constraints," *Decision Sciences*, vol. 8, no. 1, pp.156-166, 1977.
- [10] M. Drigo, "The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 1-13, 1996.
- [11] R. Eberhart, and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," in *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1995, pp. 39-43.
- [12] D. Bertsimas, and J. Tsitsiklis, "Simulated annealing," *Statistical Science*, vol. 8, no. 1, pp.10-15, 1993.
- [13] A. Franzin and T. Stützle, "Revisiting simulated annealing: A component-based analysis," *Computers & Operations Research*, vol. 104, pp. 191-206, 2019.
- [14] O. K. Erol, and I. Eksin, "A new optimization method: big bang–big crunch," *Advances in Engineering Software*, vol. 37, no. 2, pp. 106-111, 2006.
- [15] A. Kaveh and S. Talatahari, "Size optimization of space trusses using Big Bang–Big Crunch algorithm," *Computers & Structures*, vol. 87, no. 17-18, pp. 1129-1140, 2009.
- [16] E. Rashedi, H. Nezamabadi-Pour and S. Saryazdi, "GSA: a gravitational search algorithm," *Information Sciences*, vol. 179, no. 13, pp. 2232-2248, 2009.
- [17] Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. V. Loganathan. "A new heuristic optimization algorithm: harmony search," *Simulation*, vol. 76, no. 2 pp. 60-68, 2001.
- [18] D. Karaboga, and B. Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm," *Journal of Global Optimization*, vol. 39, no. 3, pp. 459-471, 2007.

- [19] H. T. Kahraman, S. Aras, and E. Gedikli, "Fitness-distance balance (FDB): a new selection method for meta-heuristic search algorithms," *Knowledge-Based Systems*, vol. 190, 2020.
- [20] R. Salgotra, U. Singh, and S. Saha, "New cuckoo search algorithms with enhanced exploration and exploitation properties," *Expert Systems with Applications*, vol. 95, pp. 384-420, 2018.
- [21] S. Aras, E. Gedikli, and H. T. Kahraman, "A novel stochastic fractal search algorithm with fitness-Distance balance for global numerical optimization," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 61, 2021.
- [22] S. Li, H. Chen, M. Wang, A. A. Heidari, and S. Mirjalili, "Slime mould algorithm: A new method for stochastic optimization," *Future Generation Computer Systems*, vol. 111, pp. 300-323, 2020.
- [23] D. H. Wolpert, and W. G. Macready, "No free lunch theorems for optimization," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 1, pp. 67-82, 1997.
- [24] X. S. Yang, *Nature-inspired Metaheuristic Algorithms*, 2nd ed., vol. 1, Cambridge, UK: Luniver Press, 2010, pp. 1-11
- [25] M. Katı ve H. T. Kahraman, "Arz-talep tabanlı optimizasyon algoritmasının fdb yöntemi ile iyileştirilmesi: mühendislik tasarım problemleri üzerine kapsamlı bir araştırma," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 5, ss. 156-172, 2020.
- [26] T. Schmickl, and K. Crailsheim, "A navigation algorithm for swarm robotics inspired by slime mold aggregation," in *International Workshop on Swarm Robotics*, Rome, Italy, 2006, pp.1-13.
- [27] A. Brabazon, and S. McGarraghy, "Slime mould foraging: an inspiration for algorithmic design," *International Journal of Innovative Computing and Applications*, vol. 11, no. 1, pp. 30-45, 2020.
- [28] F. L. Howard, "The life history of *Physarum polycephalum*." *American Journal of Botany*, vol. 18, no. 2, pp. 116-133, 1931.
- [29] M. Becker, "On the efficiency of nature-inspired algorithms for generation of fault-tolerant graphs," in *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2015*, 2016, pp. 1657-1663.
- [30] V. ŠešumČavić, E. Kühn and D. Kanev, "Bio-inspired search algorithms for unstructured P2P overlay networks," *Swarm Evol. Comput*, vol. 29, pp. 73-93, 2016.
- [31] M. Beekman and Tanya Latty, "Brainless but multi-headed: decision making by the acellular slime mould *Physarum polycephalum*," *Journal of Molecular Biology*, vol. 427, no. 23, pp. 3734-3743, 2015.
- [32] T. Latty, and M. Beekman, "Speed-accuracy trade-offs during foraging decisions in the acellular slime mould *Physarum polycephalum*," *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 278, no. 1705, pp. 539-545, 2011.
- [33] P. Kareiva and G. Odell, "Swarms of predators exhibit" preytaxis "if individual predators use area-restricted search," *The American Naturalist*, vol. 130, no. 2, pp. 233-270, 1987.
- [34] T. Latty and M. Beekman, "Food quality affects search strategy in the acellular slime mould, *Physarum polycephalum*," *Behavioral Ecology*, vol. 20, no. 6, pp. 1160-1167, 2009.

- [35] A. P. Piotrowski and J. J. Napiorkowski, "Step-by-step improvement of JADE and SHADE-based algorithms: Success or failure?," *Swarm And Evolutionary Computation*, vol. 43, pp. 88-108, 2018.
- [36] A. W. Mohamed, A. A. Hadi and K. M. Jambi, "Novel mutation strategy for enhancing SHADE and LSHADE algorithms for global numerical optimization," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 50, pp. 1-14, 2019.
- [37] N. Di Cesare and M. Domaszewski, "A new hybrid topology optimization method based on I-PR-PSO and ESO. Application to continuum structural mechanics," *Computers & Structures*, vol. 212, pp. 311-326, 2019.
- [38] S. Torabi and F. Safi-Esfahani, "Improved raven roosting optimization algorithm (IRRO)," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 40, pp. 144-154, 2018.
- [39] R. Cheng and Y. Jin, "A competitive swarm optimizer for large scale optimization," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 45, no. 2, pp. 191-204, 2014.
- [40] X. Han, Q. Liu, H. Wang and L. Wang, "Novel fruit fly optimization algorithm with trend search and co-evolution," *Knowledge-Based Systems*, vol. 141, pp. 1-17, 2018.
- [41] U. Guvenc, S. Duman, H. T. Kahraman, S. Aras and M. Katı, "Fitness–Distance Balance based adaptive guided differential evolution algorithm for security-constrained optimal power flow problem incorporating renewable energy sources," *Applied Soft Computing*, vol. 108, pp. 1-35, 2021.
- [42] H.T. Kahraman, H. Bakir, S. Duman, M. Katı, S. Aras and U. Guvenc, "Dynamic FDB selection method and its application: modeling and optimizing of directional overcurrent relays coordination," *Applied Intelligence*, pp. 1-36, 2021
- [43] T. Kadavy, M. Pluhacek, A. Viktorin, and R. Senkerik, "SOMA-CL for competition on single objective bound constrained numerical optimization benchmark: a competition entry on single objective bound constrained numerical optimization at the genetic and evolutionary computation conference (GECCO) 2020," in *Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, 2020, pp. 9-10.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Paper

Monthly Electricity Generation Forecast in Solar Power Plants with LSTM¹

 Ömer ÇETİN^{a,*},  Ali Hakan IŞIK^b

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

* Corresponding author's e-mail address: eng.omercetin@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1015251

ABSTRACT

Today, with the intensive use of electrical devices, the need for electricity has increased. Fossil fuels are generally used to meet this need. However, considering the damage caused by fossil fuels to the environment, governments make various incentives for renewable energy sources. The incentives of countries for solar power plants are quite large. Recently, there are many investors who want to build solar power plants. The sunshine duration of our country is quite high. And the fact that the climatic conditions are efficient for the generation of electricity attracts many investors. However, the installation of these power plants is quite costly. It is possible to predict the amortization periods of these costs with the ever-developing artificial intelligence technology. In this study, the energy data to be produced in the future is estimated by using real solar power plant data with machine learning algorithms. Data, take from solar power plants owned by Humartaş Energy company. In the study, predictions and analyses were made using the LSTM (Long Short-Term Memory) method, which is one of the artificial neural networks. The error rate of the study between 1% and 15%. It is foreseen that studies will also be implemented with other renewable energy sources such as wind, geothermal, hydraulic energy data in the coming stages.

Keywords: LSTM, Artificial intelligence, Solar power plants, Energy forecast

LSTM ile Güneş Enerjisi Santrallerinde Aylık Elektrik Üretim Tahmini

ÖZ

Günümüzde elektrikli cihazların yoğun kullanımı ile elektriğe olan ihtiyaç artmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak için genellikle fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtların çevreye verdiği zararı göz önünde bulundurarak hükümetler yenilenebilir enerji kaynakları için çeşitli teşvikler yapmaktadır. Ülkelerin güneş enerjisi santrallerine yönelik teşvikleri oldukça fazladır. Son zamanlarda güneş enerjisi santrali kurmak isteyen birçok yatırımcı var. Ülkemizin güneşlenme süresi oldukça yüksektir. İklim koşullarının elektrik üretimi için verimli olması da birçok yatırımcıyı cezbetmektedir. Ancak bu santrallerin kurulumu oldukça maliyetlidir. Sürekli gelişen yapay zekâ teknolojisi ile bu maliyetlerin amortisman sürelerini tahmin etmek mümkün. Bu çalışmada, makine öğrenmesi algoritmaları ile gerçek güneş enerjisi santrali verileri kullanılarak gelecekte üretilecek enerji verileri tahmin edilmektedir. Veriler, Humartaş Enerji firmasına ait güneş enerjisi santrallerinden alınmıştır. Çalışmada yapay sinir ağlarından biri olan LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek) yöntemi kullanılarak tahmin ve

¹ICAIAME 2021 konferansında sunulmuştur.

analizler yapılmıştır. Çalışmanın hata oranı %1 ile %15 arasındadır. Önümüzdeki aşamalarda rüzgâr, jeotermal, hidrolik enerji gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile de çalışmaların yapılması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: LSTM, Yapay Zekâ, Güneş Enerji Santralleri, Enerji Tahmini

I. INTRODUCTION

In Turkey, which continues to grow and develop, there is a continuous increase in energy consumption day by day due to increasing industrial activities, developing technology and ever-increasing population. In response to this increasing consumption, solutions are tried to be produced with fossil fuels. However, due to the high carbon emissions of fossil fuels, the damage to the environment is considerably higher. The International Energy Agency report predicts that there will be a 20% increase in energy-related CO₂ emissions in 2035 [1]. The vast majority of carbon emissions are caused by fossil fuels. The Paris Agreement was signed as part of the United Nations Framework Convention on Climate Change in 2015. With the agreement that came into force in 2016, Turkey started to reduce fossil fuel consumption by increasing investment in renewable energy sources. The process was accelerated by giving significant incentives to investments. Along with these investments, solar power plants have also benefited greatly from the incentives. The average sunshine duration in our country, which is measured as 7 hours and 50 minutes, shows that the amortization period of solar power plants is shorter compared to other countries [2]. Distribution of installed power by resources in Turkey as of the end of September 2019; 31.4 percent hydraulic energy, 28.6 percent natural gas, 22.4 percent coal, 8.1 percent wind, 6.2 percent solar, 1.6 percent geothermal and 1.7 percent is in the form of other sources. Solar power plants constitute 6,2% of this power, and this rate is increasing day by day.

Artificial intelligence, which emerged in 1956 and progressed with the development of technology, appears in many parts of our daily lives. Artificial intelligence is the imitation of human features such as learning, decision making and prediction by machines. In short, it is imitate of the human brain by machines. Personal assistants used in phones are a simple example of artificial intelligence application [3].

We make our work easier with electrical energy in all areas of our lives. Artificial intelligence helps us to use time efficiently. A study has been carried out to combine these two fields, which are popular today and will continue to be popular in the future. To increase the accuracy of the software, machine learning algorithms were written based on the data taken from the energy company. Monthly average electricity production estimates of the power plants to be installed have been made using the weather conditions, sunshine duration, power plant location, solar panel power, inverter power, albedo effects of the environment of solar power plants. To make predictions, the LSTM method from artificial neural networks was used. Having the ability to store data in memory compared to other artificial neural networks increases the predictive power. Using this advantage, it is aimed to estimate with a high accuracy rate. In addition, as a result of the study, investors with a solar power plant will be able to find out the amount of electricity generation a month in advance. Investors who want to install a solar power plant due to the large exchange rate differences and increasing material and labor costs are wondering about the depreciation periods. With this study, the depreciation periods of the solar power plants to be installed can be easily found out. It is targeted to develop a software for data collection operations in the later steps of the study. In this way, it is purposed to make an application with high predictive power by continuously training the data.

II. SYSTEMS USED IN SOLAR POWER PLANTS AND FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF POWER PLANTS

Photovoltaic batteries consist of modules with a certain number of serial and parallel connections [4]. Although more efficient photovoltaic cells are used in space technologies, there are many photovoltaic cells today.

There are many cell types in photovoltaic modules [5-6]:

- (i) Crystal and multi-crystal silicon solar cells
- (ii) Thin-film solar cells (a-Si, cadmium telluride and CIS)
- (iii) Nanotechnology-based solar cells (tandem, super tandem and dec solar cells, etc.)

The most commonly used types are crystalline silicon, cadmium telluride, and CIS/CIGS cells [7]. Solar power plants are formed as a result of combining photovoltaic modules with suitable angles against the sun. Many factors affect the working conditions of power plants. Parameters such as the nominal characteristic values of the components that make up the plant, the system configuration, the location of the plant, the reflection effect of structures around the plant area cause various losses.

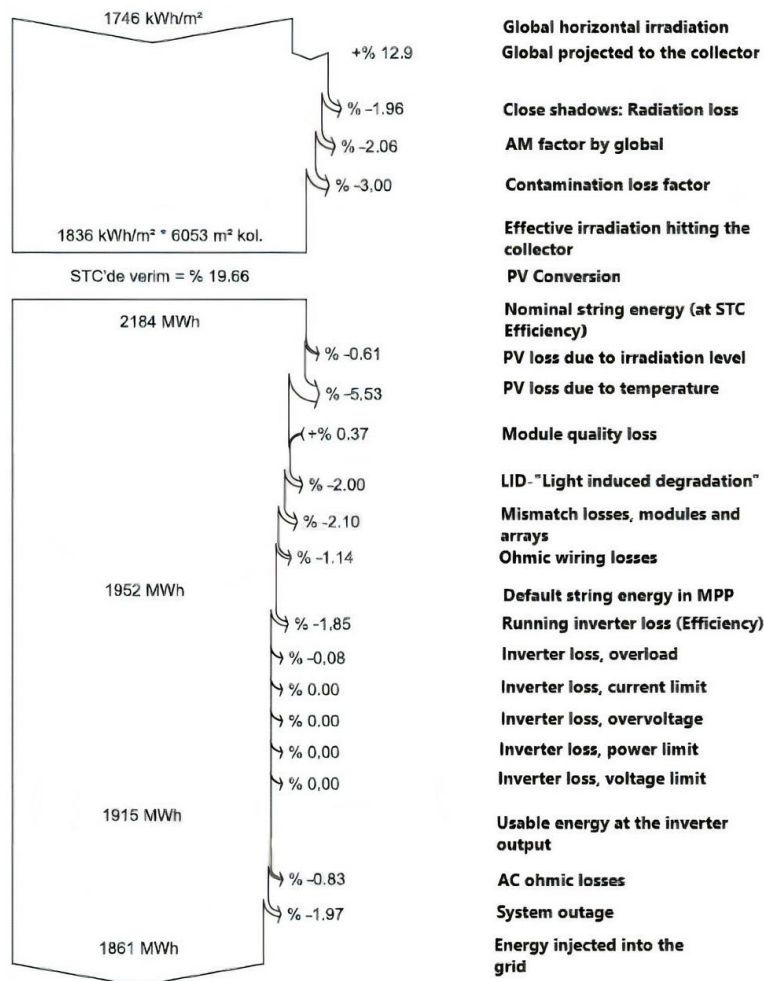


Figure 1. Loss rates in solar power plant

Companies that build solar power plants generally use the PVSyst program. With this program, the performance rates of the plant to be installed are known. Figure 1 shows an example of a PVSyst report. In this report, which factors generally cause energy loss in solar power plants, are seen.

A. RADIATION LOSSES

Depending on the angle of the photovoltaic (PV) module, the effect of general photons can increase or decrease. In Turkey, this angle varies between 25 and 30 degrees depending on the location.

Depending on the location of the solar power plant, the sunshine duration changes. The angle of arrival of the sun's rays is important, as well as the duration of sunbathing.

If there is a deviation from the standard solar spectrum in AM 1.5, in the case of instantaneous radiation, losses occur in the spectral response of the PV modules in the system [7]. PV module selection should be made by considering these parameters.

Spectral response sizes of CIS (Copper Indium Selenide) and c-Si (Crystal Silicon) technologies are wider than other technologies. In this way, their spectral absorption is higher. Solar panels made of CdTe (Cadmium Telluride) and a-Si materials have limited spectral response areas ranging from 350 to 800 nm. Modules made of a-Si material produce more electrical energy at large solar angles and high solar radiation [7]. Figure 2 shows this much more clearly.

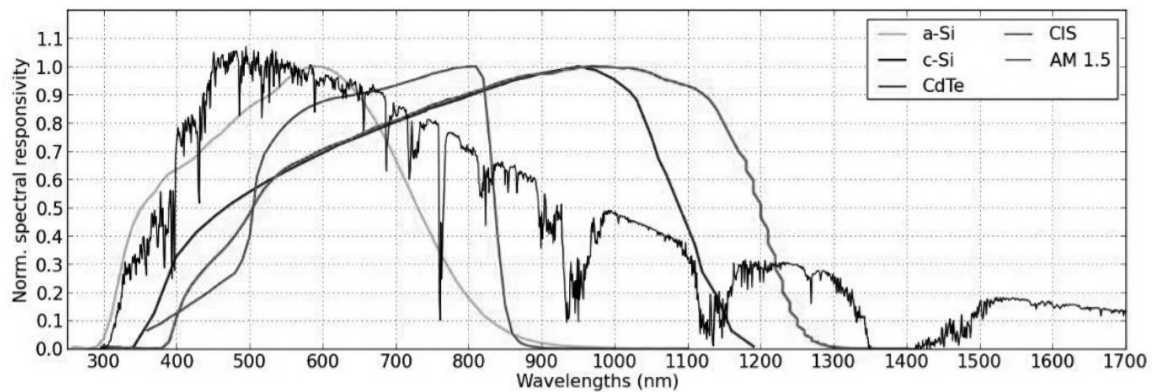


Figure 2. Normalized spectral responses of PV technology

The spectra of the sky with solar radiation observed over one year differ from the ideal spectrum (AM 1,5) of the clear sky. Depending on this, sunshine duration is an important factor for solar power plants.

In daily life, the fact that the sun is rarely blocked by clouds is an important factor for electricity generation. When the clouds come in front of the sun, radiation loss occurs. As a result, it causes a loss of efficiency in the PV modules.

Solar power plant investors and engineers designing the system, choose PV modules depending on the location of the plant by in consideration at the PV module characteristics. The important parameters in the catalogs include power temperature coefficient (γ_{Pmpp}), Standard Test Conditions- module output power at STC (Watt Peak- W_p), efficiency at STC (η_{STC}), and module parameters with lower irradiance values than STC [8].

B. WEATHER

Another parameter that affects solar power plants is the weather. PV modules work ratio inversely with temperature. With the heating of the cells, the panel efficiency decreases. When we look at the

solar map in our country, the power plant efficiency is higher in cities that are generally cold but have high sunshine duration. The temperature of a PV cell under the conditions of 1 m/s wind, 800 W/m² radiation, and 20 °C ambient temperature is called the Nominal Operating Cell Temperature (NOCT). The air temperature at which a solar panel is most efficient is 25 °C, as shown in figure 3. Building a solar power plant by considering this temperature parameter will increase the efficiency of the plant.

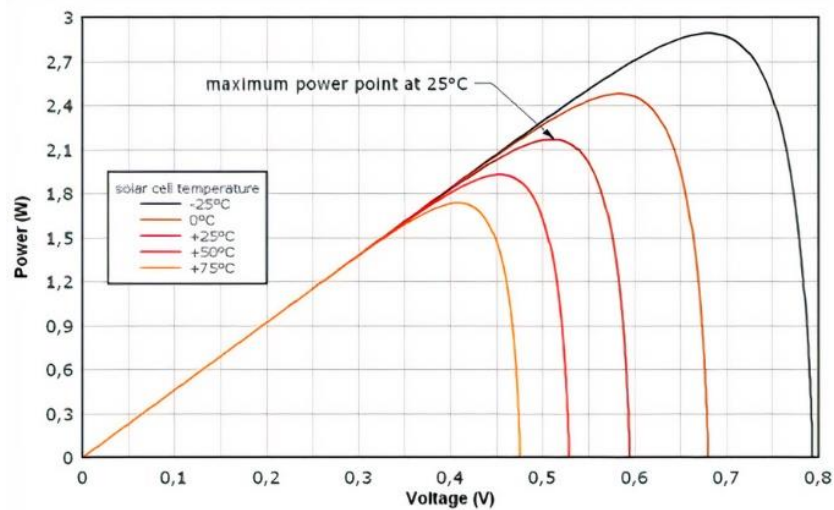


Figure 3. Temperature dependence of PV panels [9]

C. INVERTER EFFECT

Inverters are electrical power converters that convert direct current (DC) to alternating current (AC). During this cycle, there is a loss of efficiency due to the electrical difference. DC/AC conversion losses in the inverter; depend on the type of semiconductor, power layer topology used in the PV inverter, and the usage characteristics of the capacitors such as conduction, magnetic elements, and switching [10].

In general, PV inverter efficiency decreases by 0.3%-1% for every 150V DC input voltage amplitude. However, at high DC input voltages, a decrease of up to 5% is observed in the power consumption of the control unit, low radiation, and switching losses [11]. In today's technology, European transformerless grid-connected inverters have a maximum efficiency of 98% at nominal DC input voltages.

D. ALBEDO EFFECT

Some of the sun rays falling on the PV module are reflected back without absorbing by the panels. Therefore, reflection losses occur.

The radiation falling on a solid body usually performs the following three optical motions:

- Reflection: The return of the radiation on the surface of the object.
- Conduction: Penetration of radiation into the object.
- Absorption: Penetration and capture of radiation into the object; energy is converted into a different form.

In PV modules, some of the radiant flux is absorbed and converted into electrical energy. The quality of the reflective material varies according to the smallness of the losses in transmission and the

intensity of the absorbed radiation. Crystalline silicon absorbs more light than amorphous silicon. The modules are produced in different layers, preventing reflection and maximizing radiation absorption. PV modules have a tempered structure designed to minimize surface coating reflection and maximize the absorption of glass. PV cells are covered with an anti-reflective coating material that prevents the reflection of light.

The intensity of the reflected solar radiation changes according to the refractive index of the module and the angle between the sun and the PV module. In normal radiation, the PV modules reflect 4% of the incident light [12].

III. FORECASTING SPP GENERATION DATA WITH LSTM METHOD

Classical deep learning networks work independently of input and output data. But RNN (Recursive Neural Network) can influence the output using the input data. Just as people can form a complete sentence based on their previous experience in writing a sentence, the RNN artificial neural network can also make predictions and make the words come in a logical sequence. RNN tries to keep the results of previous steps in its memory. Theoretically, RNNs are expected to give good results in long sequences, but as a result of practical experience, it has been seen that they cannot achieve this. Networks such as LSTM and GRU (Gated Recurrent Units) have been designed to overcome these problems.

Long Short Term Memory (LSTM) is an artificial recurrent neural network (RNN) architecture used in the field of deep learning. Like other neural networks, it works with feedback logic, not feed-forward logic. Not just one data point, such as image processing, but all data series, such as speech and video, can be processed. An ordinary LSTM unit consists of 4 layers. These are a cell, an entrance door, an exit door and a forget door. The cell remembers values at random time intervals, and these three gates regulate the flow of information into and out of the cell.

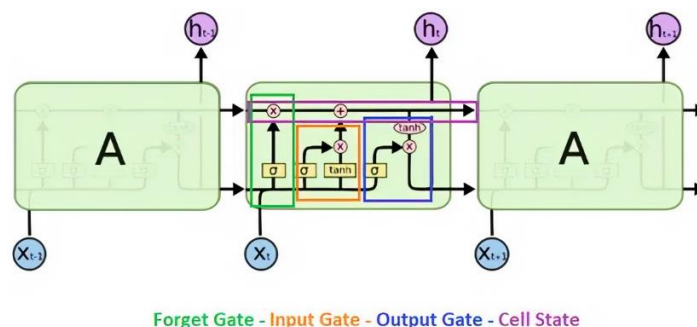


Figure 4. LSTM structure [13]

The Cell State cell carries meaningful information across cells to make predictions. This cell can be explained as a communication line and memory of the network. This solves the short-term memory problem and historical data can be moved on the network. Gates can determine the data that the Cell State cell carries. Thanks to the gates, necessary or unnecessary data can be distinguished. The data coming to the gates are compressed between 0 and 1 with the sigmoid activation function. As a result of the activation, the data that is 0 is forgotten. The data that is 1 continues to progress with the Cell State cell.

The forget gate decides which information will be forgotten and which will continue. The information (h_t) from the previous cell and the current information (x_t) are inserted into the sigmoid activation

function and the decision is made as a result. While the information with 0 is forgotten, the information with 1 continues to be carried with the Cell State.

The entrance gate updates the Cell State. It puts current information and previous information into the sigmoid activation function. As a result, it decides whether to update or not. 0 information is unimportant. It uses information that is 1. At the same time, the tanh activation function, which compresses the data to the range of -1 and 1, is used for the regulation process. Then, the sigmoid and tanh function outputs are multiplied and it is decided which information to update.

The output gate determines the next cell's input ($ht+1$). It is also used to make predictions. First, current information and previous information are passed from the sigmoid function. Then the existing information on the Cell State is passed through the tanh function. Finally, the two results are multiplied and it is decided which information will be the input ($ht+1$) cell for the next cell. When the gate operations are completed, the Cell State that will go to the next cell and the Hidden State(ht) information, which is defined as the cell's login information, is decided.

In the study, new electricity generation data were estimated in a time series based on previous data using the LSTM method. The data were taken from an energy company and selected from the factors affecting energy loss in solar power plants. Energy data history (month-year), weather, sunbathing time, panel technology, panel power, inverter power, power plant age, albedo values of the city where the power plant is located, and the region where the power plant is located were taken into account and monthly electricity production was estimated in the future. Similar studies have been conducted using the LSTM method in previous studies [14]. But since this study was not conducted specifically for the location of Turkey, it becomes difficult to use this study in Turkey. For this reason, wanted to conduct a study specific to Turkey. Depending on the location of Turkey, different parameters were considered and energy data were estimated using a more original and only LSTM method.

In order for the data to be trained faster and the process to be completed faster, coded in Google Colabs. Python was used as the programming language.

Data from power plants located in nine cities were used in the study. The monthly data includes how much electricity the power plant produced in 2020. Nearly a thousand data were used for training.

IV. RESULTS AND ANALYSIS

Having a lot of training data in the monthly electricity generation forecast study at solar power plants will increase the accuracy rate and more efficient results will be achieved. In order for there to be no overfitting learning, test and train rates must be adjusted very well in learning. Otherwise, there is a high probability of encountering incorrect forecasts.

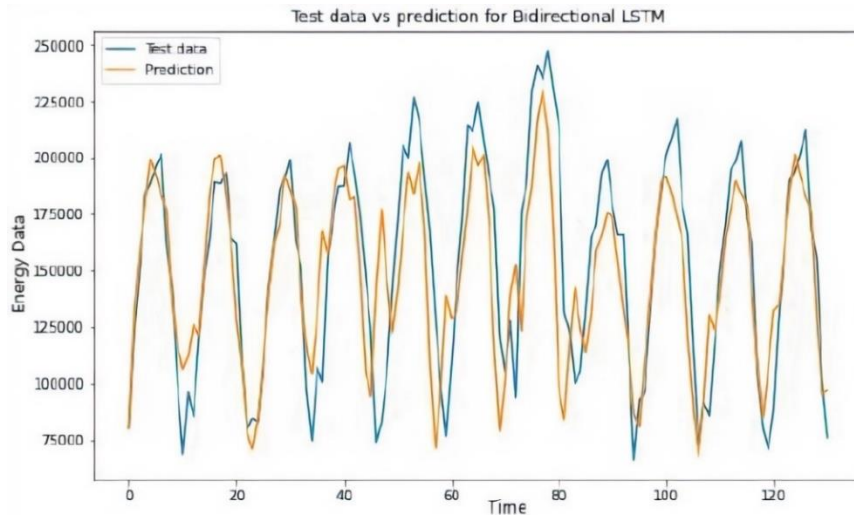


Figure 5. Estimation with the LSTM method

Figure 5 shows the estimation graph made by the LSTM method. The actual data and forecasts of a 120-Month city are displayed. Although in some months the forecast data is very close to the actual data, it is clearly visible that there is a deterioration after the 40th month. Especially in summer, when the energy data is increasing, it is observed that there are differences between the forecast data and the actual data. In Figure 6, the loss rates are seen more clearly.

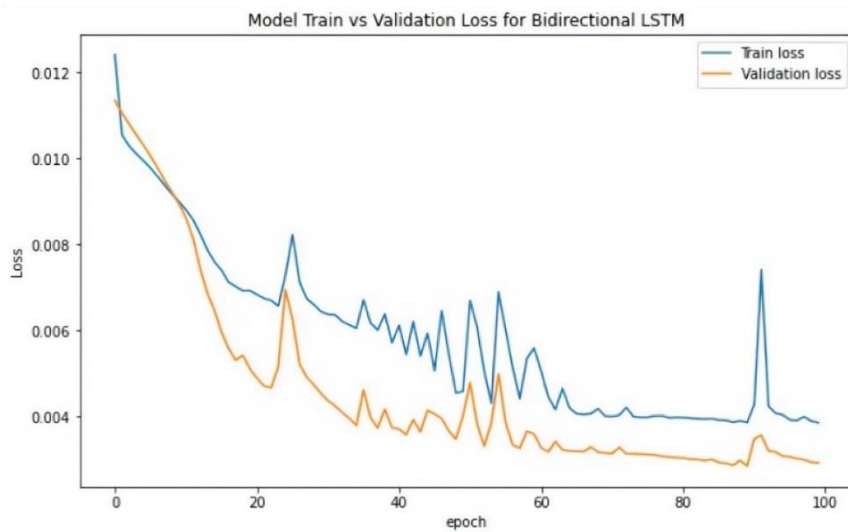


Figure 6. LSTM method loss rate

Missing data makes it difficult to analyze data, process data, and may cause efficiency to decrease [15]. In order to avoid overfitting that may occur due to low data, data duplicate was performed using the Data Imputation Method.

```

▶ prediction_bilstm.tolist()
↳ [[80490.34375],
    [132247.875],
    [159890.0],

```

Figure 7. Energy data obtained as a result of estimation

2020.01	91337.31
2020.02	95706.96
2020.03	139865.95

Figure 8. Real time and field energy data

$$ER = \frac{(Actual\ Data - Forecast\ Data)}{Forecast\ Data} \times 100 \quad (1)$$

ER=Error Rate

$$\text{January Error Rate} = \frac{(91337.31 - 80490.34)}{80490.34} \times 100 \quad (2)$$

The error rate for January is approximately 13% according to the 2nd Equation calculation. Considering this value for the month of May, it appears as 1%. Values vary widely. This is thought to be due to the scarcity of data.

V. CONCLUSION

In the presented study, LSTM management from artificial neural networks was used. It has been tried to estimate the amount of electricity that the power plant will produce in the next month with the help of past production data of solar power plants from renewable energy sources. As a result of the study, it was seen that great success was achieved very close to reality in the estimation of energy data using the LSTM neural network method. With the study, it is possible to predict how much electricity will be produced in the coming periods by investors who want to invest in solar power plants or who have a solar power plant. This method can be applied to most renewable energy plants. Thanks to this, the production volumes at the power plants can be estimated a month in advance. If an example is given, it is concluded that an energy production forecast can be made depending on the wind speed, weather, wind blade material at wind power plants or the annual precipitation rate at hydroelectric power plants. According to the results of the study, the error rate was found to be between 1% and 15%. It has been concluded that this result remains much lower compared to other artificial intelligence studies.

VI. REFERENCES

- [1] World Energy Outlook 2013, (2013). *World Energy Outlook 2013* [Online]. Available: www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2013.
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2020). *Güneş* [Çevrimiçi]. Erişim: www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes.
- [3] F. Özen, (2019, Haziran). *Yenilenebilir Enerjide Yapay Zeka Uygulamaları* [Çevrimiçi]. Erişim: www.researchgate.net/publication/333816757_YENILENEBILIR_ENERJIDE_YAPAY_ZEKA_UYGULAMALARI.
- [4] T. Boyekin, I. Kıyak, “Rooftop solar power plant based electric vehicle charging station,” in *6. European Conference On Renewable Energy Systems (ECRES)*, 2018, pp. 959-966.
- [5] H. Hemza, C. Abdeslam, M. P. Rachid and D. Barakel, “Tracing current-voltage curve of solar panel based on LabVIEW Arduino interfacing,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 8, no. 3, pp. 117–123, 2015.

- [6] V. Ciocia, A. Boicea, A. Dematteis, P. D. Leo, F. Giordano and F. Spertino, “PV system integration in buildings: an energy and economic case study,” in *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2017, pp. 786-790.
- [7] P. Grunow, A. Preiss, S. Koch and S. Krauter “Yield and Spectral Effects of A-Si Modules,” in *Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2009, pp. 2846-2829.
- [8] B. Herteleer, J. Cappelle and J. Driesen, “Quantifying low-light behaviour of photovoltaic modules by identifying their irradiance-dependent efficiency from data sheets,” in *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 1-8, 2012.
- [9] Solar PV Word Expo, (2021, August). *Solar Cells* [Online], Available: <https://www.pvresources.com/en/solarcells/solarcells.php>.
- [10] E. Koutroulis, F. Blaabjerg, “Methods for the Optimal Design of Grid-Connected PV Inverters, International Journal Of Renewable Energy Research,” *IJRER*, vol. 1, no. 2, pp. 54-64, 2011.
- [11] B. Giesler, “String vs. Central inverters: Dimension of the inverter,” in *Photon’s 1st PV Inverter Conference*, 2010, pp. 1-23.
- [12] Oğuzhan, (2019). *Fotovoltaik Sistemlerin Verimliliğinin Etkilenen Faktörler* [Çevrimiçi]. Erişim: www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/fotovoltaik-sistemlerin-verimliliğinin-etkilenen-faktörler.html.
- [13] O. Akköse, (2020, 22 Aralık). *Uzun-Kısa Vadeli Bellek (LSTM)* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://medium.com/deep-learning-turkiye/uzun-k%C4%B1sa-vadeli-bellek-1stm-b018c07174a3>.
- [14] A. Gensler, J. Henze, B. Sick and N. Raabe, “Deep Learning for solar power forecasting—An approach using AutoEncoder and LSTM Neural Networks,” in *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2016, pp. 2858-2865.
- [15] S. M. Susanti, E. Sulistianingsih, “K Nearest Neighbor dalam Imputasi Missing Data,” *Bimaster*, vol. 7, no. 1, pp. 9-14, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Heterojen Filolu Yeşil Araç Rotalama Probleminin Tavlama Benzetimi Yöntemi ile Çözümü¹

Yusuf ŞAHİN^{a,*}, Kenan Karagül^b, Erdal Aydemir^c

^a İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Lojistik Bölümü, Honaz Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

^c Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ysahin@mehmetakif.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1011735

ÖZ

Araç rotalama problemi, müşterilere siparişlerini ulaştırmak için minimum maliyetli rota kümesinin belirlendiği optimizasyon problemidir. Son yıllarda çevresel duyarlılıktaki artışla beraber, uygulayıcılar ve araştırmacılar fosil yakıtların çevreye olan etkilerini azaltmak için taşıma faaliyetlerinin çevre ile ilgili özelliklerine odaklanmaya başlamıştır. Araç rotalama probleminin bu duyarlılığı dikkate alan türü ise yeşil araç rotalama problemi olarak adlandırılmaktadır. Yeşil araç rotalama problemi son yıllarda üzerinde oldukça yoğun çalışılan bir konudur. Çalışmanın ana motivasyonu, güncel hayatta doğal olarak karşılaşılan heterojen araç filoları için yük toplama/dağıtma rotalarının işleme sonucu ortaya çıkan emisyon gazlarının minimize edilmesi amacıyla bir yaklaşım geliştirmektir. Çalışmada, bölge distribütörü olarak faaliyet gösteren bir firmanın dağıtım faaliyetleri heterojen filolu yeşil araç rotalama problemi olarak ele alınmış ve tavlama benzetimi yöntemiyle daha düşük emisyon değerleri sağlayan çevreci çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Çözüm yaklaşımında heterojen bir filo için emisyon değerleri araçların taşıdığı yük miktarı ve yüklerin taşındığı mesafe üzerinden hesaplanmıştır. Yeşil Araç Rotalama çözümleri, standart araç rotalama problemi olarak elde edilen çözümler üzerinden hesaplanan emisyon değerleri ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, yük miktarı, taşıma mesafesi ve emisyon salınımı ilişkileri nedeniyle önerilen yaklaşım bazı veri setlerinde daha yüksek dolaşım mesafesine karşın daha düşük emisyon miktarı içeren çözümler sağlamıştır. Bütün çözümlerin toplam değeri göz önüne alındığında, seyahat mesafesi bakımından %38,5 ve emisyon değeri bakımından ise %86,7 oranında daha iyi çözümler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Heterojen filo, Yeşil araç rotalama, Tavlama benzetimi

Heterogeneous Fleet Green Vehicle Routing Problem with Simulated Annealing Method

ABSTRACT

The vehicle routing problem is an optimization problem in which the minimum cost set of routes is determined to deliver the orders to the customers. With the increase in environmental awareness in recent years, practitioners and researchers have started to focus on the environmental aspects of transportation activities to reduce the environmental impact of fossil fuels. The type of vehicle routing problem that takes this sensitivity into account is called the green vehicle routing problem. The green vehicle routing problem is a subject that has been studied extensively in recent years. The main motivation of the study is to develop an approach in order to minimize the emission gases resulting from the operation of load collection/distribution routes for heterogeneous vehicle fleets that are naturally encountered in daily life. In the study, the distribution activities of a company operating as a

¹ICAIAME 2021 konferansında özet metin olarak sunulmuştur.

regional distributor were handled as a green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet and environmental solutions that provide lower emission values were tried to be obtained by the simulated annealing method. In the solution approach, emission values for a heterogeneous fleet are calculated based on the amount of load carried by the vehicles and the distance the loads are transported. The green vehicle routing solutions were compared with the emission values calculated over the solutions obtained as the standard vehicle routing problem. As a result, due to the relationships between load amount, transport distance and emission, the proposed approach provided solutions with lower emission amount despite higher travel distance in some datasets. Considering the total value of all solutions, 38.5% better solutions in terms of travel distance and 86.7% better in terms of emission value are obtained.

Key words: Heterogeneous fleet, Green vehicle routing, Simulated annealing

I. GİRİŞ

Lojistik kavramı, bireysel müşterilerin veya şirketlerin ihtiyaç duydukları hammadde, malzeme veya bitmiş ürünlerin ilk çıkış noktasından nihai tüketim noktasına doğru hareketi sırasında oluşan akışın planlı yönetimi olarak ifade edilmektedir. Tedarik ve malzeme yönetimi bu akışlardan üretim sürecine doğru olanı ifade ederken, dağıtım bitmiş ürünün müşteriye olan hareketine karşılık gelir [1]. Maliyet etkinliği sağlamak için bu ürünlerin nakliyesi ve depolanması ile ilgili faaliyetlerin stratejik olarak yönetilmesi gerekir. İşletmelerin üretim ve dağıtım operasyonlarının başarısında önemli etkisi olan lojistik faaliyetler, birçok fonksiyonel alandan oluşur. Bu fonksiyonel alanlarda gösterilen performans, hizmet kalitesinin artmasını ve işletme maliyetlerinin azalmasını sağlar. Etkili bir lojistik yönetimi, yüksek kaliteli hizmeti düşük veya kabul edilebilir bir maliyetle sağlama anlamına da gelir [2, 3].

Siparişlerin hazırlanmasının ardından sevkiyat işlemleri gerçekleştirilir. Bir veya daha fazla depodan homojen veya heterojen kapasiteli araçlar ile yapılacak sevkiyat sırasında araçların izleyecekleri rotanın belirlenmesi için dağıtım planları hazırlanır. Bu planlar kapsamında, ne kadar araca ihtiyaç duyulduğu, hangi müşteriye hangi araç ile taşıma yapılacağı gibi konular planlanır. Dağıtım araçlarının dolaştıkları toplam mesafeyi belirli kısıtlar altında minimize eden en uygun rotaların belirlenmesi ile ilgili olan bu konu literatürde Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak isimlendirilir [4]. ARP, NP-Zor sınıfında yer alan ve optimizasyon alanında yoğun olarak çalışılan oldukça popüler bir problemdir. ARP, Gezgin Satıcı ile Kutulama Problemlerinin bir bileşkesi olarak ifade edilebilir ve böylece bir depodan coğrafi olarak farklı konumlarda bulunan müşterilere yapılacak olan teslimatlarda izlenecek en düşük maliyetli rotaları belirleme problemi olarak tanımlanabilir [5].

Yol ağı, depolar, müşteriler ve sürücüler gibi temel bileşenlerden oluşan ARP, genellikle araç kapasitesi veya rota mesafesi kısıtlamaları ile tanımlanmaktadır. Sadece kapasite kısıtının dikkate alındığı ARP ise Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP) olarak adlandırılır. Mesafe ve kapasite kısıtlı (MKARP), zaman pencereli (ZPARP), geri toplamalı (GTARP), dağıtım ve toplamalı (DTARP) araç rotalama gibi türleri literatürde çalışılan diğer ARP türleridir. Son zamanlarda ise yeni ve güncel kısıtların eklenmesiyle açık (AARP), çoklu depo (ÇDARP), bölünmüş teslimatlı (BTARP), periyodik (PARP), heterojen filolu (HFARP) ve bulanık araç rotalama problemi (BARP) gibi türleri ortaya çıkmıştır [6].

Günümüzde enerjinin aşırı ve bilinçsiz kullanımı neticesinde ortaya çıkan kirlilik ile bu kirliliğin çevresel sonuçları yaşadığımız dünya için potansiyeli yüksek bir tehlike oluşturmaktadır. Yaşadığımız çevrenin daha fazla bu etkilere maruz kalmaması için son yıllarda sürdürülebilir lojistik uygulamalarına daha çok ağırlık verildiği gözlemlenmektedir. ARP'nin sürdürülebilir lojistik uygulamalar ile ilgili türü ise Yeşil Araç Rotalama Problemi (Y-ARP) olarak adlandırılır. Bu tip ARP'de orijinal ARP'den farklı olarak oluşturulan rotaya bağlı ortaya çıkan çevresel etkinin en aza indirilmesi amaçlanır. Araçların hareketine ve yüküne bağlı olarak enerji (yakıt) tüketiminin CO₂ emisyonları üzerinde doğrudan etkisinin olduğu bilinmektedir [5].

Çalışmada, bölgesel olarak faaliyet gösteren bir distribütör firmanın dağıtım faaliyetleri Y-ARP olarak ele alınmış ve tavlama benzetimi yöntemiyle etkin çözümlerin üretilmesi hedeflenmiştir. Çözümlerinin

kalitesini değerlendirmek için emisyon değerlerinin baz alındığı bir amaç fonksiyonu tercih edilmiştir. Ayrıca aynı veri setleri standart ARP baz alınarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar için hesaplanan emisyon değerleri Y-ARP'nin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde Y-ARP ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde Y-ARP açıklanmış, metodoloji ve kullanılan veri setlerinin detayları sunulmuştur. Dördüncü bölümde bulgular ve son bölümde de sonuç ve öneriler yer almaktadır.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geleneksel araç rotalama probleminde temel amaç, listede yer alan her bir müşteriyi sadece bir kez ziyaret ederek başlangıç noktasına dönecek olan aracın dolaşacağı toplam mesafeyi minimize etmektir. Y-ARP'de ise minimum mesafenin yanı sıra atmosfere salınan CO₂ miktarının da minimize edildiği rotaların belirlenmesi hedeflenir. Y-ARP güncel yeşil tedarik zinciri uygulamaları arasında yer alan ve standart ara rotalama probleminin uzantısı olan NP-Zor sınıfı bir problemidir. Popüler bir optimizasyon problemi olması sebebiyle bu konu ile ilgili oldukça geniş bir literatürden bahsedilebilir.

Son yıllarda yeşil araç rotalama ile ilgili birçok literatür araştırması yapılmıştır. Choy vd. [7], Y-ARP'nin güncel durumunu gözden geçirmek, geleneksel VRP varyantlarının Y-ARP ile nasıl etkileşime girebileceğini tartışmak ve Y-ARP'ye yönelik gelecekteki çalışma alanları için öngörüler sunmak amacıyla bir literatür araştırması ortaya koymuştur. Çalışmaların yıllara göre dağılımı ve çalışmalarda kullanılan yöntemlere yer verilmiştir. Belbağ [8], Y-ARP ile ilgili olarak yakıt tüketimi ve gaz emisyonu gibi çevresel unsurları etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi, kullanılan yöntemlerin belirlenmesi amacıyla 2007-2016 yılları arasında yayınlanmış 57 çalışmayı incelemiştir. Koç ve Özceylan [9], Y-ARP ile birlikte Elektrikli ARP çalışmalarının da incelendiği bir literatür araştırması yapmışlardır. Asgari vd. [10] araştırmaların gelişimine yön veren bazı ana özellikleri vurgulamak için her bir varyant (içten yanmalı, alternatif enerji kaynaklı ve hibrit araçlar) için farklı analitik özet tabloları oluşturmuştur. Moghdani vd. [11], 2006-2019 yılları arasında yayınlanan 309 çalışmayı incelemiş ve problem sınıflandırması, belirsizlikler, çözüm metodolojileri ve son olarak gelecekteki araştırma yönleri için amaç fonksiyonu yaklaşımlarına dayalı olarak bazı yeni araştırma alanları ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçları, Y-ARP'ler üzerine yapılan araştırmaların nispeten yeni olduğunu ve çeşitli alanlarda hala büyük iyileştirmeler için boşluklar olduğunu göstermektedir.

Y-ARP için sayıca az da olsa analitik yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Afshar-Bakeshloo vd. [12], müşteri memnuniyeti, toplam maliyet ve emisyon seviyeleri arasında denge sağlayarak yönetim anlayışını zenginleştirmek amacıyla karışık tamsayılı bir doğrusal programlama modeli önermiştir. Sayısal bir örnek üzerinden modelin uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Bruglieri vd. [13], alternatif yakıt istasyonlarına (AFS'ler) yapılan ziyaretlerin yalnızca dolaylı olarak ele alındığı Y-ARP için yeni bir karma tam sayılı programlama formülasyonu önermiş ve CPLEX kıyaslama örnekleri için deneyler gerçekleştirmiştir. Koç ve Karaoğlan [14], Y-ARP'nin çözümünde alt sınırları iyileştirmek için literatürden türetilen birkaç geçerli eşitsizliği birleştiren kesin çözüm algoritması ile üst sınırları elde etmek için tavlama benzetimine dayalı bir sezgisel algoritma sunan dal ve kesme algoritması önermişlerdir. Leggeri ve Haouari [15], Y-ARP çözümü için bir karma tamsayılı doğrusal bir formülasyonu ile indirgeme prosedürünün kullanıldığı, orta boyutlu problemleri çözebilen pratik bir çözüm yaklaşımı önermiştir. Önerilen kesin çözüm yaklaşımının dal ve kesme algoritmasından daha tutarlı ve daha iyi performans gösterdiği, Y-ARP'leri en iyi şekilde çözmek için çekici ve pratik bir alternatif oluşturduğu sonucuna ulaşmıştır. Zhou ve Lee [16], üç boyutlu müşteri koordinatları, yerçekimi, araç hızı, araç çalışma süresi, araç kapasitesi gibi çeşitli gerçekçi faktörler göz önünde bulundurarak, Y-ARP'yi sera gazı emisyonlarını en aza indirmek için doğrusal olmayan bir tamsayılı programlama problemi olarak formüle etmiştir. Çözüm yöntemi olarak ise Lagrange gevşetmesi yaklaşımını kullanmıştır. Andelmin ve Bartolini [17], Y-ARP'yi sütunlarında uygun rotaların gösterildiği basit devrelere karşılık gelen bir çoklu grafikteki bir küme bölme problemi olarak modellemiştir. Küme bölme problemi için önerdikleri yaklaşımı geçerli eşitsizlikler k-yol (k-path)

kesme yaklaşımı dahil olmak üzere ekleme yaparak güçlendirmişler ve 110 müşteriye kadar olan problem örneklerine çözüm üretmişlerdir.

Araç rotalama ve türevi olan problemlerin kesin çözümünün matematiksel olarak kabul edilebilir bir sürede belirlenmesi oldukça zordur [18]. NP-Zor sınıfında yer alan ve gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan bir problem olması nedeniyle, kısıtlı bir zaman diliminde yüksek kalitede çözümlerin ortaya konabilmesi için sezgisel ve metasezgisel yöntemler ARP'nin çözümünde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir [19]. Erdoğan ve Miller-Hooks [20] karma tamsayı doğrusal bir program olarak formüle ettikleri Y-ARP'yi modifiye edilmiş Tasarruf Algoritması, yoğunluk esaslı kümeleme algoritması ve özelleştirilmiş iyileştirme yöntemleri ile çözmüştür. Jemai vd. [21], mesafe ve CO₂ emisyon değerlerinin minimizasyonu için çok amaçlı Y-ARP'nin çözümünde NSGA-II evrimsel algoritmasını kullanmıştır. Jabir vd. [22, 23] çok depolu Y-ARP için karınca kolonisi ve değişken komşuluk arama yöntemlerinden oluşan hibrit bir yöntem önermiştir. Tamsayı programlama olarak modelledikleri problemin küçük boyutlu örneklerine LINGO programı ile çözüm üretilmiştir. Yine küçük ve orta büyüklükte problemleri karınca kolonisi optimizasyon (KKO) algoritması ile çözerken, büyük boyutlu problemlerin çözüm kalitesini geliştirmek için değişken komşuluk arama yöntemi karınca kolonisi yöntemine entegre olarak kullanılmıştır. Tiwari ve Chang [24], karbondioksit miktarının hesabında yük ve dolaşım mesafesinin dikkate alındığı Y-ARP'yi blok rekombinasyon algoritması ile çözmüştür. Küçüköğlü vd. [25], karma tamsayı doğrusal programlama modeli olarak formüle ettikleri zaman pencereli Y-ARP için bellek yapısı uyarlanmış tavlama benzetimi (BYU-TB) metasezgisel algoritmasını kullanmıştır. Önerdikleri modelde araç teknik özelliklerini, araç yükünü ve nakliye mesafesini dikkate alan bir yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu hesaplama algoritmasını bütünleştirmiştir. Montoya vd. [26] alternatif yakıtlı araçlarla dağıtımın yapıldığı Y-ARP için iki aşamalı bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemin ilk aşamasında önce rotala-sonra kümeleme esaslı bir yöntem ile rota havuzları oluşturulmuş, ikinci aşamada ise havuzda depolanan çözümler küme ayrıştırma algoritması ile bütünleştirilmiştir.

Zhang vd. [27], ürünlerin dağıtımında alternatif yakıtlı araçlarla dağıtımın yapıldığı Y-ARP için iki aşamalı sezgisel yöntem ve KKO algoritmasını kullanmıştır. Yavuz [28], homojen kapasiteli Y-ARP için iteratif ışın arama (Iterated Beam Search) algoritmasını kullanmıştır. Farklı alt ve üst sınır stratejilerini kullanabilen, kesin veya sezgisel algoritma olarak çalışabilen algoritmanın verimliliğini artırmak için bir baskınlık stratejisi önerilmiştir. Poonthalir ve Nadarajan [29], değişen hız kısıtlamalı, iki amaçlı, yakıt verimli Y-ARP'yi hem rota maliyetini hem de yakıt tüketimini en aza indirecek şekilde hedef programlama modeli olarak ifade etmiştir. Önerilen model aç gözlü mutasyon operatörü ve zamanla değişen hızlanma katsayısının yer aldığı parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla çözmüştür. Da Costa vd., [30], Y-ARP için genetik algoritma (GA) yöntemini kullanmıştır. Affi vd. [31], bir turun inşası için yakıt ikmal istasyonları ve yakıt deposu kapasite sınırının dikkate alındığı Y-ARP için değişken komşuluk arama yöntemini kullanmıştır. Sruthi vd. [32], kapasiteli araç rotalama problemi için enerji tüketimi ve emisyon değerlerini eş zamanlı olarak dikkate alan Y-ARP için genetik algoritma sezgiselini kullanarak geleneksel modellere kıyasla emisyon değerlerinde dikkate değer bir azalma sağlayan çözümler üretmiştir.

Li vd. [33], soğuk zincir lojistiğinde Y-ARP'yi ele almış ve çözüm için standart PSO ve değiştirilmiş PSO yöntemlerini kullanmıştır. Peng vd. [34], Y-ARP'nin çözümü için yerel arama prosedürü, çaprazlama operatörü ve nüfus güncelleme stratejisinden oluşan bir yöntem önermiştir. Normasari vd. [35], karma tamsayı programlama modeli olarak ifade ettikleri kapasiteli Y-ARP'nin çözümünde tavlama benzetimi yöntemini kullanmış, çözüm kalitesi ve süresi bakımından iyi çözümler elde etmiştir. Li vd. [36], geliri en üst düzeye çıkarmak, maliyetler ile zamanı ve emisyonu en aza indirmek amacıyla birden çok deponun bulunduğu Y-ARP'nin çözümünde karınca kolonisi algoritmasını kullanmıştır. Karagül vd. [5], homojen kapasiteye sahip araç filosu için Y-ARP'nin çözümünde benzetilmiş tavlama esaslı bir çözüm yöntemi önermiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda üç farklı modelin istatistiksel olarak anlamlı çözümler ürettiğini göstermişlerdir. Utama vd. [37], tek depolu Y-ARP'de dağıtım maliyetlerini minimize etmek için hibrit kelebek optimizasyon algoritmasını kullanmıştır.

Zhang vd. [38], alternatif yakıtlı araçların ve çoklu deponun olduğu bir taşıma ağında toplam karbon salınımını minimize etmek için iki aşamalı bir karınca kolonisi sistemi kullanmıştır. Önerilen yöntemin

belirgin özelliği, iki farklı amaç için iki farklı karınca türünün kullanılmasıdır. Sadati ve Çatay [39], çok depolu Y-ARP'yi karma tamsayı bir doğrusal programlama modeli olarak formüle etmiş ve çözüm için özel yeni komşuluk yapılarının kullanıldığı hibrit bir genel değişken komşuluk arama ve tabu arama (TA) yaklaşımını kullanmıştır. Doğadan esinlenen diğer bir yaklaşım olan balina optimizasyon algoritması Dewi ve Utana [40] tarafından Y-ARP'nin çözümünde kullanılmıştır. Önerilen hibrit çözüm yönteminde, tabu arama ve yerel arama yöntemleri balina optimizasyon algoritması ile birlikte probleme uyarlanmıştır. Burada bahsedilen çalışmaların yanı sıra, Y-ARP'nin farklı versiyonlarına sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin uygulandığı çok sayıda çalışma literatürde yer almaktadır. Tablo 1'de literatürde yer alan çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatürde yer alan çalışmalar

Yazar(lar)	Kesin Çözüm Yöntemleri	Metasezgisel Yöntemler						Sezgisel Yöntem
		TA	GA	TB	KKO	PSO	Diğer	
Afshar-Bakeshloo vd. [12]	✓							
Bruglieri vd. [13]	✓							
Koç ve Karaoğlan [14]	✓			✓				
Leggieri ve Haouari [15]	✓							
Zhou ve Lee [16]	✓							
Andelmin ve Bartolini [17]	✓							
Erdoğan ve Miller-Hooks [20]								✓
Jemai vd. [21]			✓					
Jabir vd. [22, 23]					✓		✓	
Chang [24]							✓	
Küçüköğlü vd. [25]				✓				
Montoya vd. [26]							✓	
Zhang vd. [27]					✓		✓	
Yavuz [28]							✓	
Poonthalir ve Nadarajan [29]						✓		
Da Costa vd., [30]			✓					
Affi vd. [31]							✓	
Sruthi vd. [32]			✓					
Li vd. [33]						✓		
Peng vd. [34]								
Normasari vd. [35]								
Li vd. [36]								
Karagül vd. [5]				✓				
Utama vd. [37]							✓	
Sadati ve Çatay [39]		✓						✓
Dewi ve Utana [40]		✓					✓	✓

Tablo 1'de yer alan çalışmalar incelendiğinde, Y-ARP'nin farklı versiyonları (alternatif yakıtlı ARP, elektrikli ARP vb.) için çözümler geliştirilmiş olsa da fosil yakıt kullanılan araçlar için yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda homojen kapasiteli varyant için çözüm yaklaşımlarının önerildiği görülmektedir. Gerçek hayat problemlerinde ise taşıma etkinliğinin artırılabilmesi için kullanılan

filolardaki araçların daha çok heterojen kapasiteye sahip oldukları bilinmektedir. Buradan hareketle, daha gerçekçi çözümler elde edebilmek için Y-ARP çözümlerinde bu durumun dikkate alınması gerekir. Çalışma kapsamında, Y-ARP farklı kapasitelere sahip heterojen araç filosu için TB yöntemi kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Kullanılan çözüm metodolojisinin etkinliğini göstermek için aynı veri seti standart ARP olarak çözülmüş ve emisyon değerleri hesaplanarak önerilen yöntemin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu sayede, amaç fonksiyonunda yapılan değişikliğin çözümleri nasıl etkilediği de yapılan hesaplamalar ile gösterilmiştir. Takip eden bölümde önerilen yöntemin detaylarına yer verilmiştir.

III. METODOLOJİ VE VERİ SETİ

Metasezgisel yöntemler belirli bir amacı gerçekleştirmek veya belirlenen hedefe ulaşmak için doğal fenomenlerden esinlenen, ancak çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması tam olarak ispat edilemeyen yaklaşımlar. Bu yöntemler, kolay anlaşılır ve uygulanabilir olması, küçük değişikliklerle farklı problemlere rahatlıkla uygulanabilir olması gibi sebeplerden dolayı günümüzde sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir. Esin kaynağı, başlangıç çözüm oluşturma yöntemi, kullanılan amaç fonksiyonunun ile tercih edilen komşuluk yapısı ve hafıza durumu gibi kriterlere göre farklı sınıflara ayrılırlar [19, 41]. Karınca kolonisi, genetik algoritma, tavlama benzetimi, tabu arama, kabul eşiği ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritması gibi yöntemler literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlere örnek olarak verilebilir. Çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan bu yöntemlerden tavlama benzetimi yöntemi çözüm yöntemi olarak tercih edilmiştir. Takip eden alt bölümde yöntemin detayları anlatılmaktadır.

A. TAVLAMA BENZETİMİ (TB)

Katı malzemelerin tavlama işlemi, maddeyi yüksek enerjili halden düşük enerjili hale geçirme işlemidir. Yüksek enerji durumunda (veya yüksek sıcaklık durumunda), parçacıklar hareket edebilir veya kendilerini kolayca yeniden düzenleyebilir ve bu sayede farklı konfigürasyonlara geçiş yapabilir. Bu süreçteki ana konu, malzemeyi düşük enerji durumuna getirmek için en iyi şekilde nasıl indirileceği veya soğutulacağıdır. Katı malzeme hızlı bir şekilde soğutulursa, madde yarı kararlı veya optimal olmayan bir konfigürasyona sahip olacaktır. Tavlama işlemindeki iki önemli unsurun her sıcaklıkta optimum duruma ulaşmak ve işlemin soğutulma hızı olduğu söylenebilir [42]. Tavlama benzetimi yöntemi ise metallerin belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması (ısıtma), bu sıcaklıkta belirli bir süre tutulması (bekleme) ve belirli bir stratejiye göre oda sıcaklığına kadar soğutulması suretiyle amaca uygun özellik değişimi prensibi üzerine inşa edilmiş metasezgisel bir yöntemdir [43]. Adımı metalürji biliminden alan ve metallerin tavlama prosesinden esinlenerek Kirkpatrick [44] tarafından geliştirilen tavlama benzetimi yöntemi, genellikle ayrık ve daha az ölçüde sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin temel prensibi, küresel bir optimum bulma umuduyla tepe tırmanma hareketlerine izin veren, iyi çözümü feda ederek yerine kötü çözümü kabul etme olasılığı olan p değerinin dinamik bir şekilde ilerleyen iterasyonlarda azalmasıdır [57]. Bu sayede, çözümünün ilk kısımlarında çözüm bölgeleri arasında sıçrayış çok fazla olurken, iterasyon sayısı artıp elde edilen çözümler iyileştikçe sifira yaklaşır ve arama bölgesi daralmış olur. Metropolis Monte Carlo entegrasyonu algoritmasını [45] iç döngü olarak kullanan bu yöntem, fiziksel tavlama işleminin algoritmaya döndürülmüş halidir [46]. Tavlama Benzetimi yönteminin araç rotalama [47,48], quadratic atama [49], operasyonel orman planlama [50], kutulama problemi [51], su dağıtım ağı dizaynı [52], silindirik paketleme [53], kümeleme [54], ve elektrik enerjisinin bölgeler arası alışverişinin optimizasyonu [55] gibi problem türlerine uygulandığı çalışmalar yapılmıştır [56].

Yöntemin ilk adımı sistemin yüksek ve verimli bir sıcaklıkta "*ergitilmesinden*" oluşur. Isıtıldığında, katı bir iç parçacık yüksek sıcaklıkla düzensiz bir şekilde döner. İkinci adımda, sistemin sıcaklığı hiçbir değişiklik olmayana kadar düşürülür. Her sıcaklıkta parçacıklar bir denge durumuna ulaşır. Sonunda odadaki sıcaklık taban durumuna ulaşır ve daha sonra iç enerji minimuma indirilir [5,43]. TB algoritması, başlangıç sıcaklığı, her sıcaklıkta üretilecek çözüm sayısı, sıcaklık düşürme fonksiyonu ve durdurma kriteri olmak üzere dört parametreye sahiptir. Yöntem rastgele bir başlangıç çözüm ($\omega \in \Omega$)

ile çözümlenmeye başlar. Bu çözüm üzerinde yine rastgele veya daha önceden belirlenmiş bir kural çerçevesinde ufak değişiklikler yapılarak komşu çözümler ($\omega' \in N(\omega)$) elde edilir ve bu çözümlerin kabul olasılıkları Denklem (1) ile hesaplanır. Denklemde yer alan t_k ifadesi k . iterasyondaki sıcaklık parametresine karşılık gelir [57].

$$P \{ \omega' \text{ nin yeni çözüm olarak seçilmesi} \} = \begin{cases} \exp \left[-\frac{f(\omega') - f(\omega)}{t_k} \right] & \text{eğer } f(\omega') - f(\omega) > 0 \text{ ise} \\ 1, & f(\omega') - f(\omega) \leq 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (1)$$

Bütün k değerleri için $t_k > 0$ ve $\lim_{k \rightarrow \infty} t_k = 0$

Yukarıda da bahsedildiği üzere Denklem (1) ile hesaplanan kabul olasılığı TB yönteminin asli unsurudur. Sıcaklık yeterince yavaş düşürülürse sistem her bir iterasyonda dengeli (kararlı) duruma ulaşabilir. $f(\omega)$ ve $f(\omega')$ sırasıyla mevcut çözüm ve komşu çözümlerin enerjilerini (amaç fonksiyonu değeri) ifade etmek üzere, sistemin T sıcaklığında $\omega \in \Omega$ durumunda olma olasılığı Denklem (2) ile hesaplanır [58].

$$P \{ \text{sistemin } T \text{ sıcaklığında } \omega \in \Omega \text{ durumunda olması} \} = \frac{\exp \left(-\frac{f(\omega)}{t_k} \right)}{\sum_{\omega'' \in \Omega} \exp \left(-\frac{f(\omega'')}{t_k} \right)} \quad (2)$$

$\omega \in \Omega$ çözümünden ω' komşu çözümü üretme olasılığı olan $g_k(\omega, \omega')$ ise Denklem (3) ile hesaplanır. Ardından negatif olmayan bir kare stokastik matris P_k geçiş olasılıkları Denklem (4) ile tanımlanabilir [58].

$$\sum_{\omega' \in N(\omega)} g_k(\omega, \omega') = 1, \text{ bütün çözümler } (\omega \in \Omega) \text{ için, } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$$P_k(\omega, \omega') = \begin{cases} g_k(\omega, \omega') \exp \left(-\frac{\Delta_{\omega, \omega'}}{t_k} \right) & \omega' \in N(\omega), \omega' \neq \omega \\ 0 & \omega' \in N(\omega), \omega' = \omega \\ 1 - \sum_{\omega'' \in N(\omega), \omega'' \neq \omega} P_k(\omega, \omega'') & \omega' \neq \omega \end{cases} \quad (4)$$

Eğer elde edilen yeni çözüm mevcut çözümden daha iyi ise ($\Delta < 0$) kabul edilir ve bu komşu çözüm mevcut çözüm olarak alınır. Komşu çözümün mevcut çözümden daha kötü olması durumunda ise yöntem bu çözümü belirli bir olasılıkla kabul eder. Algoritma başlangıçta belirlenen durdurma ölçütleri sağlanıncaya kadar devam eder [56]. TB algoritmasının sözde kodu Şekil 1'de verilmiştir [57].

```

1: Bir başlangıç çözüm belirle ( $\omega \in \Omega$ )
2: Sıcaklık değişim sayacını seç  $k = 0$ 
3: Bir sıcaklık soğutma programı seç,  $t_k$ 
4: Başlangıç sıcaklığını belirle  $T = t_0 \geq 0$ 
5: Bir tekrar programı belirle, ( $M_k$  her bir  $t_k$  sıcaklığında yapılacak iterasyon sayısı)
6: Repeat
7: Set  $m = 0$ 
8:   while  $T > 0$  do
9:     Yeni bir komşu çözüm ( $\omega' \in N(\omega)$ ) belirle
10:    Komşu çözüm mevcut çözüm farkını hesapla ( $\Delta_{\omega,\omega'} = f(\omega') - f(\omega)$ )
11:    if  $\Delta_{\omega,\omega'} \leq 0$  then
12:       $\omega \leftarrow \omega'$ 
13:    else if random  $[0,1] < \exp(-\Delta_{\omega,\omega'}/t_k)$  then
14:       $\omega \leftarrow \omega'$ 
15:    else  $\omega'$  çözümünü iptal et
16:     $m = m + 1$ 
17:    until  $m = M_k$ 
18:   $k \leftarrow k + 1$ 
19: Until durdurma koşulu

```

Şekil 1. Tavlama Benzetimi sözde (psudeo) kodu

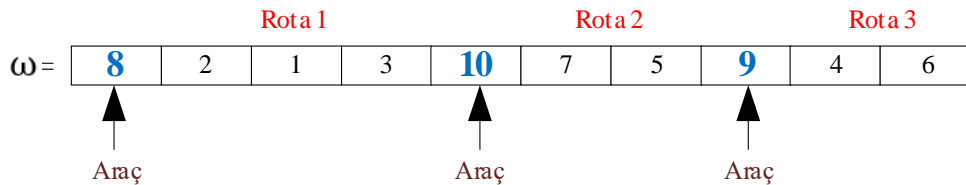
B. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

TB algoritması Y-ARP'ye uygulanırken temelde 4 durumun belirlenmesi gerekir. Bunlar çözüm gösterimi, maliyet (amaç) fonksiyonu, yeni (komşu) çözüm üretme yöntemi ve soğutma çizelgesidir. Önerilen çözüm yaklaşımında aşağıda gösterilen yöntem ve parametreler kullanılmıştır.

Çözüm gösterimi: Çözümün kodlanması yöntemin en önemli kısmıdır. TB uygulamasına geçilmeden önce probleme uygun kodlama yapısının nasıl olacağı belirlenmelidir. Geliştirilen çözüm yönteminin doğru ve hızlı sonuçlar vermesi kullanılan kodlama yapısı ile doğrudan bağlantılıdır. Önerilen yöntemde Şekil 2'de gösterilen çözüm gösterimi kullanılmıştır. Bu örnek, 7 adet müşteri ve 1 depo (toplam 8 düğüm) ile 3 araçtan ($i=8$ ve $j=3$) oluşan bir problemi ifade etmektedir.

$$S = 1: (i + j - 1)$$

$$S = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \text{ (8,9 ve 10 araçlara verilen numara);}$$



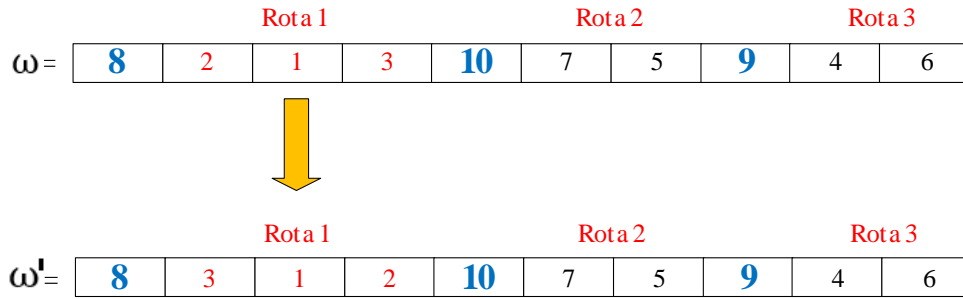
Şekil 2. Çözüm gösterimi

Maliyet fonksiyonunun belirlenmesi: TB algoritmasının uygunluk fonksiyonu oluşturulan araç rotalarına göre hesaplanan emisyon değeri şeklinde ifade edilmiştir. Son iterasyonda elde edilen en iyi çözüm, bütün iterasyonlar içerisinde en düşük emisyon değerlerini sağlayan çözümdür. Bu durumda, çözüm

yönteminin uygunluk fonksiyonu Denklem (5)'te gösterilmiştir. Formülde yer alan " Ge " CO₂ miktarına, " CV_{mean} " ise kapasite kontrol parametresine karşılık gelmektedir. Eğer " CV_{mean} " 0 değerini alıyorsa çözüm uygun bir çözümdür.

$$\begin{aligned} "z_1 &= ((1 - eta) * Ge_{total} + eta * Ge_{max}) & "eta &= p.eta = 0,1" \\ "z &= z_1 * (1 + beta * CV_{mean}) \end{aligned} \quad (5)$$

Yeni çözüm üretme mekanizması: Mevcut çözümden yeni komşu çözümler üretmek için literatürde yaygın olarak kullanılan *ikili yer değiştirme* (swap), *ters çevirme* (reversion) ve *araya ekleme* (insertion) yöntemleri kullanılmıştır. İkili yer değiştirme yönteminde çözüm rotası üzerinde iki düğümün sırası değiştirilmek suretiyle yeni bir çözüm elde edilir. Ters çevirme yönteminde, çözüm içindeki rastgele iki nokta arasında kalan sıralamanın tersi yazılarak komşu çözüm elde edilir. Araya ekleme yönteminde ise rota içerisinde yer alan iki düğüm seçilir, ikinci düğüm ilk düğümün yanına getirilerek arada kalan elemanlar bir sağa kaydırılır. Yapılan çözümlenmelerde bu yöntemlerin hepsi ile komşu çözümler üretilmiş ve aralarından en iyi olan çözüm yeni çözüm olarak belirlenmiştir. Ters çevirme yöntemi kullanılarak elde edilen bir komşu çözüm örneği Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Ters çevirme yöntemi

Soğutma çizelgesinin seçimi: Tavlama benzetimi yönteminde soğutma çizelgesi başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı (sıcaklık azaltma miktarı) ve durdurma kriterinden oluşan bir çizelgedir. Soğutma çizelgesi statik veya dinamik yapıda olabilir. Çalışmada, başlangıçta bilinen bir başlangıç ve bitiş sıcaklığından oluşan statik soğutma çizelgesi tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametre değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

C. VERİ SETİ

Bu kısımda heterojen filolu Y-ARP için TB algoritması kullanılarak elde edilen hesaplama sonuçları açıklanmaktadır. Önerilen yöntem Julia[®] programlama dilinin 1.6.3 versiyonu ile kodlanmış ve i7 1.80 GHz CPU ve 12 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda problemin test analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında veri seti olarak 9 ile 87 arasında düğümüne sahip, özeti Tablo 2'de gösterilen 19 adet gerçek yaşam problemi ele alınmıştır. Tabloda, veri setinin adı, numarası, düğüm sayısı, talep ve kullanılabilir araç sayılarına ilişkin bilgiler yer almaktadır.

Tablo 2. Problem setleri

Veri Seti	Veri Seti No	Düğüm Sayısı	Talep (kg)	Kullanılabilir Araç Sayısı
FB-VRP-002-15	1	15	14.389,18	10
FB-VRP-002-31	2	31	42.414,82	13
FB-VRP-003-11	3	11	9.429,71	7
FB-VRP-005-11	4	11	15.223,27	6
FB-VRP-006-13	5	13	20.715,76	7
FB-VRP-007-14	6	14	17.520,26	7
FB-VRP-007-26	7	26	33.282,26	8
FB-VRP-008-10	8	10	10.639,23	6
FB-VRP-008-19	9	19	26.427,23	10
FB-VRP-008-09	10	9	32.075,72	8
FB-VRP-008-31	11	31	27.983,64	8
FB-VRP-008-33	12	33	55.269,52	8
FB-VRP-008-37	13	37	40.365,32	8
FB-VRP-008-41	14	41	35.671,41	8
FB-VRP-008-49	15	49	36.705,94	8
FB-VRP-008-54	16	54	30.390,00	8
FB-VRP-008-64	17	64	29.006,41	8
FB-VRP-008-76	18	76	48.004,48	8
FB-VRP-008-87	19	87	42.175,88	8

Deneyisel çalışma için kullanılan gerçek yaşam problemlerinde araçlar özdeş olmayan (heterojen) kapasiteye sahip araçlardır. Araçların kapasiteleri, kiralama bedelleri, boş ve dolu emisyon değerleri Tablo 3’de, tavlama benzetimi yönteminin parametre değerleri ise Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Araç özellikleri

Tip No	Araç Kapasitesi (kg)	Kiralama Bedeli (TL/araç)	Emisyon değeri (kg/km)	
			Boş	Dolu
1	16.500	600	0,775	1,095
2	11.500	400	0,263	0,487
3	1.500	50	0,15	0,275

Tablo 4. Parametre değerleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Başlangıç çözüm	Rastgele	Başlangıç sıcaklığı	250
Komşuluk arama	Yer değiştirme (swap)	eta	0,1
Maksimum iterasyon	1200	Soğutma oranı	0,98

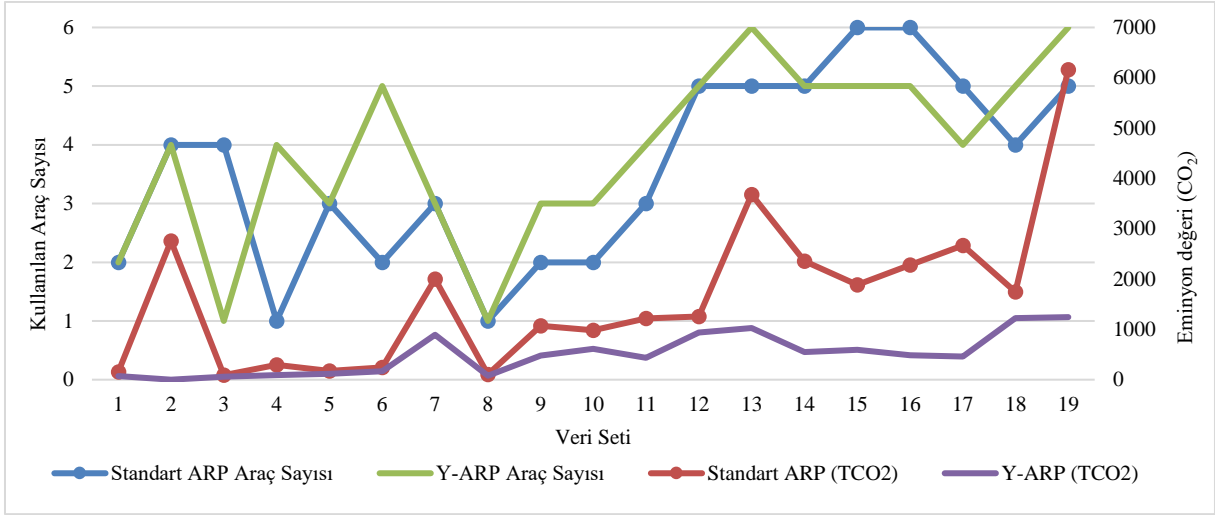
IV. BULGULAR

Hazırlanan program ile yapılan deneyler sonucunda her bir problem için kullanılması gereken araçların kapasitesi (kg), araç rota mesafesi (km), araç emisyon değeri (kg), toplam mesafe (km), toplam emisyon değeri (CO₂/kg), toplam maliyet (TL) ve çözüm süresi (sn) en iyi ve en kötü çözümler ile ortalama çözümler için ayrı ayrı Tablo 5’te gösterilmiştir. Tabloda kullanılan araç sayısı (n), toplam kapasite (Q), kullanılan kapasite oranı (r), toplam mesafe (d), toplam CO₂ miktarı (TCO₂), toplam maliyet (TC) ve çözüm süresi (t) bilgileri standart ARP ve Y-ARP için ayrı ayrı Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5. Standart ARP ve Y-ARP Çözüm Detayları

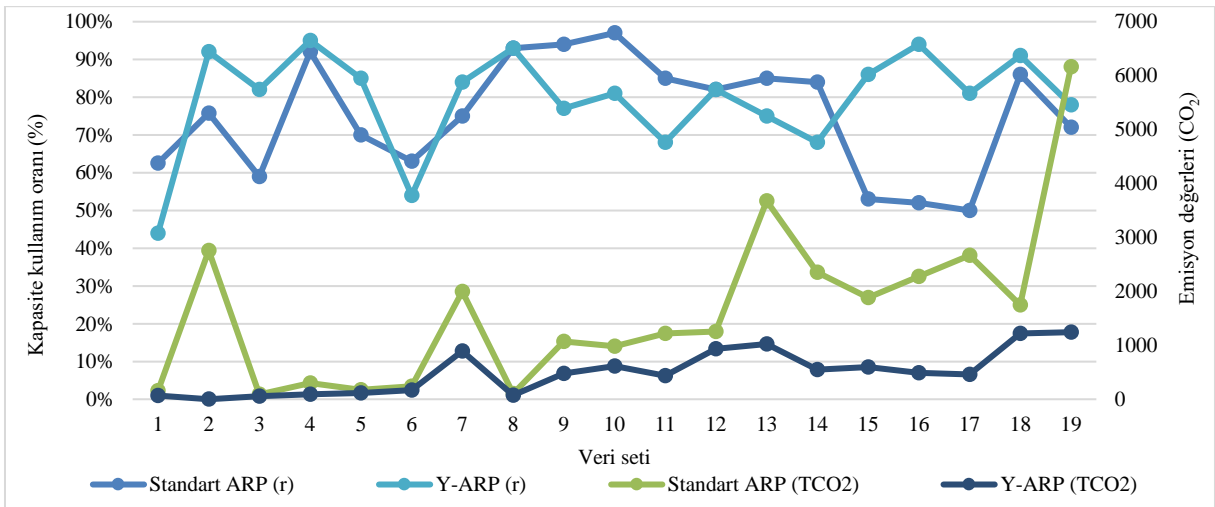
Veri Seti	Standart ARP							Y-ARP						
	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>TCO₂</i>	<i>TC</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>TCO₂</i>	<i>TC</i>	<i>t</i>
1	2	23.000	%62,56	439,03	156,72	1.239,03	11,05	2	33.000	%44	233,17	70,74	1.023,17	7,55
2	4	56.000	%75,74	4.172,73	2.754,12	6172,73	16,87	4	46.000	%92	2.357,07	799,77	3.957,07	11,79
3	4	16.000	%59	366,84	89,33	916,81	8,34	1	11.500	%82	165,22	56,95	565,22	8,81
4	1	16.500	%92	314,25	297,90	914,25	8,91	4	16.000	%95	399,76	91,65	949,75	6,57
5	3	29.500	%70	437,40	174,62	1.487,40	9,22	3	24.500	%85	441,85	114,71	1.291,85	7,61
6	2	28.000	%63	377,18	241,17	1.377,18	9,80	5	32.500	%54	537,74	170,10	1.688,74	6,47
7	3	44.500	%75	2.490,79	1.999,48	4.090,79	14,12	3	39.500	%84	2.025,69	891,32	3.425,69	9,81
8	1	11.500	%93	307,10	103,35	707,10	9,19	1	11.500	%93	206,74	75,45	606,74	5,54
9	2	28.000	%94	1.585,87	1.069,70	2.585,87	12,37	3	34.500	%77	1.510,41	477,11	2.710,41	8,34
10	2	33.000	%97	1.082,51	981,12	2.282,51	5,57	3	39.500	%81	1.417,83	611,66	2.817,83	5,48
11	3	44.500	%85	2.155,00	1.217,04	3.755,00	11,79	4	41.000	%68	1.147,67	436,01	2.597,61	11,98
12	5	67.500	%82	1.950,85	1.255,67	4.350,85	12,53	5	67.500	%82	2.242,62	935,78	4.642,62	13,10
13	5	47.500	%85	4.242,30	3.677,02	5.942,30	16,90	6	54.000	%75	3.476,83	1.024,15	5.376,83	12,07
14	5	42.500	%84	4.626,35	2.355,15	6.126,35	24,44	5	52.500	%68	2.044,15	547,08	3.894,15	12,93
15	6	69.000	%53	3.345,36	1.885,94	5.795,36	22,44	5	42.500	%86	2.065,12	595,78	3.565,12	28,76
16	6	59.000	%52	3.476,69	2.278,35	5.576,69	23,36	5	32.500	%94	2.162,32	487,36	3.312,32	24,28
17	5	57.500	%50	8.037,12	2.669,89	7.087,12	26,57	4	36.000	%81	1.845,94	462,67	3.095,94	23,33
18	4	56.000	%86	2.860,88	1.747,50	4.860,88	31,30	5	52.500	%91	3.059,44	1.221,65	4.909,44	28,05
19	5	57.500	%72	8.276,31	6.163,62	10.326,31	35,52	6	54.000	%78	3.730,20	1.243,25	5.630,20	32,48
ORT.	3,58	41421,05	75,28%	2660,24	1637,77	3978,66	16,33	3,89	37947,37	79,47%	1635,25	528,52	2950,56	13,94

Çözümler için iki farklı yapı kullanılmıştır. Birinci durumda Denklem (5)'te gösterilen emisyon değeri esaslı amaç fonksiyonu kullanılarak problem Y-ARP olarak ele alınmıştır. İkinci durumda ise veri setleri amaç fonksiyonunda toplam mesafenin dikkate alındığı standart ARP olarak çözüldükten sonra emisyon değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4 ve Şekil 8 arasında yer alan grafiklerde Tablo 5'te yer alan verilerin kıyaslaması sunulmuştur. Yapılan ilk kıyaslama veri setlerine göre kullanılan araç sayıları ve emisyon miktarlarıdır. Veri setleri için kullanılan araç sayıları ve emisyon (CO₂) değerleri Şekil 4'te bütünleşik olarak gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere kullanılan araç sayısından bağımsız olarak bütün veri setleri için Y-ARP çözümlerinin emisyon değerleri standart ARP çözüme kıyasla daha düşük çıkmıştır. Birçok veri setinde kullanılan araç sayısı fazla olsa da daha düşük emisyon sağlayan çözümler üretilebilmiştir. Standart ARP için kullanılan araçların ortalaması 3,58 iken Y-ARP için 3,89'dur.



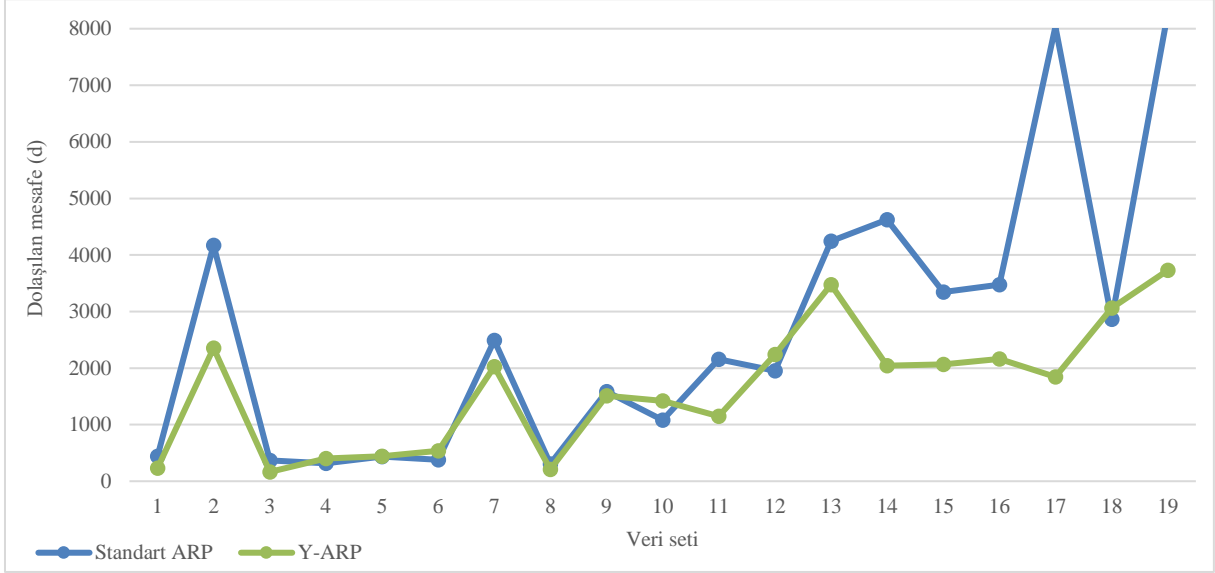
Şekil 4. Kullanılan araç sayıları ve emisyon ilişkisi

İkinci kıyaslama kapasite kullanım oranları ile birlikte emisyon değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 5'te yer alan grafiğin sol taraftaki dikey eksen kapasite kullanım oranlarını, sağ tarafta yer alan dikey eksen ise emisyon değerlerini (CO₂) göstermektedir. Grafik incelendiğinde bazı veri setlerinde Y-ARP çözümünün kapasite kullanım oranı düşük iken bazı veri setlerinde standart ARP çözümünün kapasite kullanım oranı daha düşük çıkmıştır. Tüm veri setleri dikkate alındığında standart ARP çözümünün ortalama kapasite kullanım oranı %75 iken Y-ARP çözümünün ortalama kapasite kullanım oranı %79,47 olarak belirlenmiştir.



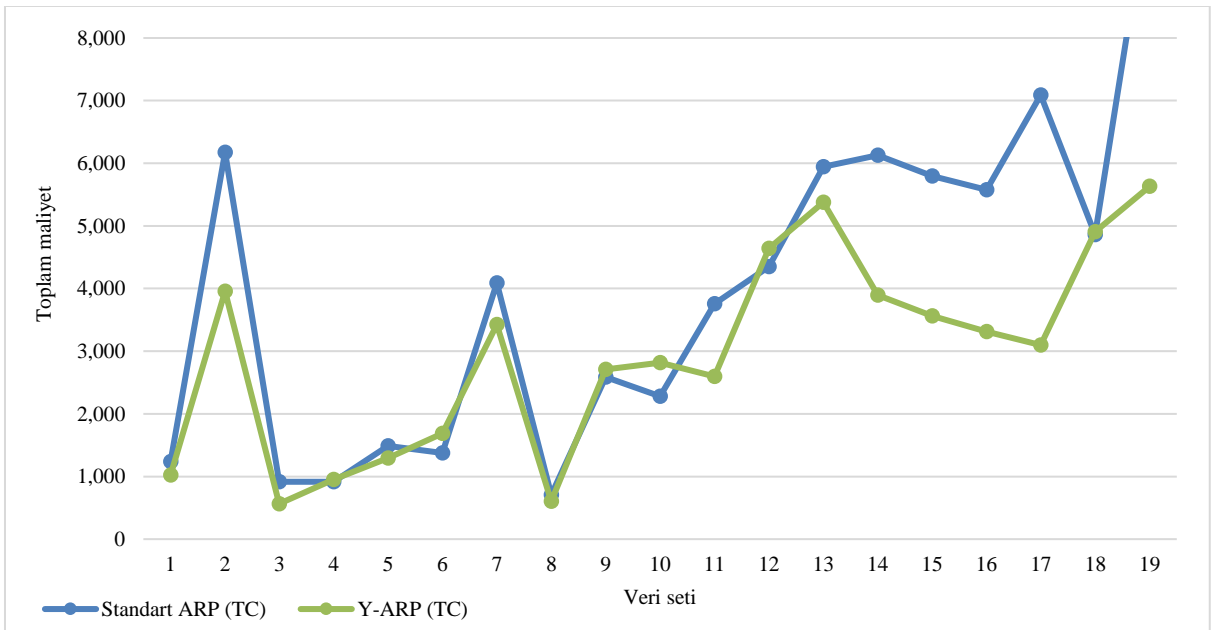
Şekil 5. Kapasite kullanım oranları ve emisyon ilişkisi

Üçüncü kıyaslama çözümlerde elde edilen toplam dolaşım mesafeleri için yapılmıştır. Şekil 6'dan görüleceği üzere FB-VRP-005-11 (4), FB-VRP-007-14 (6), FB-VRP-008-9 (10), FB-VRP-008-33 (12) ve FB-VRP-008-76 (18) dışında kalan 14 veri seti için Y-ARP çözümleri ile elde edilen dolaşım mesafeleri de daha düşüktür. Bütün veri setleri dikkate alındığında ise standart ARP çözümleri için ortalama dolaşım mesafesi 2.660,24 km iken Y-ARP için bu değer 1.635,25 olarak hesaplanmıştır. Bu durum emisyon ile birlikte dolaşım mesafelerinin de azaltılabileceğini göstermektedir.



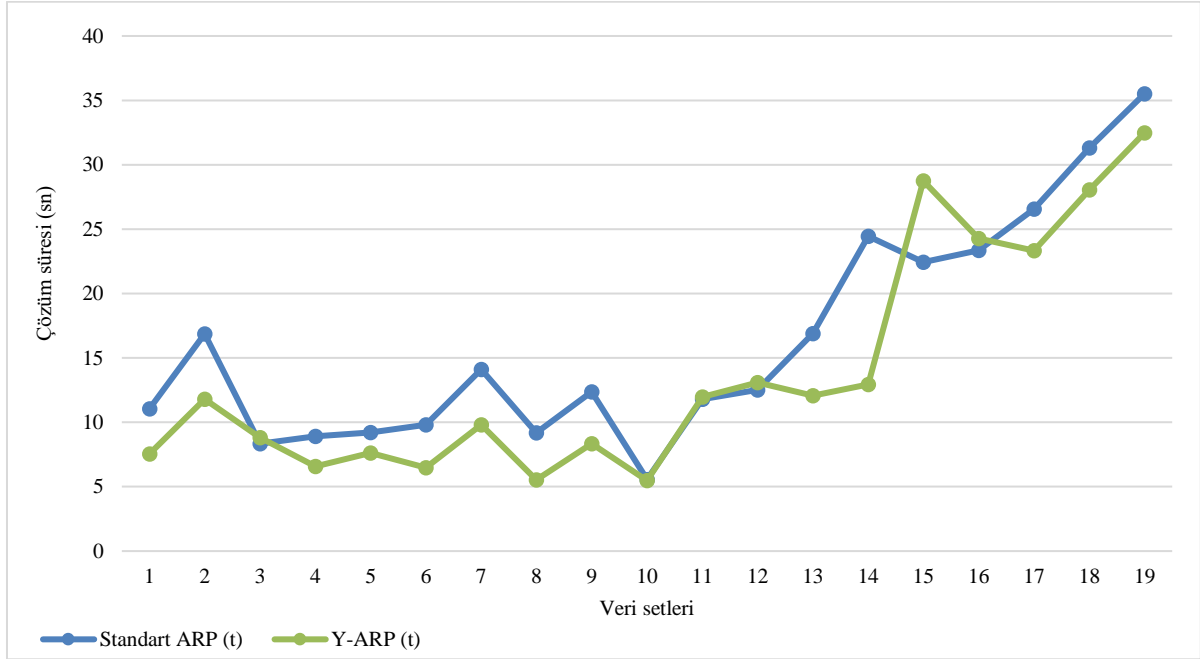
Şekil 6. Toplam dolaşım mesafeleri

Dördüncü karşılaştırma toplam maliyet değerleri için yapılmıştır. Standart ARP çözümleri dikkate alınarak belirlenen toplam maliyet değerleri Y-ARP ile elde edilen toplam maliyetler ile kıyaslaması Şekil 7'de sunulmuştur. Şekilde bütün veri setleri için verilen çözümlerin ortalaması standart ARP çözümleri için 3.978,66 iken Y-ARP çözümleri için 2.950,56 olarak belirlenmiştir. Ortalama değer bakımından Y-ARP ile daha çevreci çözümler elde edilmiştir.



Şekil 7. Toplam maliyet bakımından çözümlerin kıyaslaması

Nihai ve son karşılaştırma ise çözüm süreleri ile ilgilidir. Şekil 8 incelenecek olursa, Y-ARP çözümlenmeleri daha hızlı olduğu açıkça görülmektedir. Bütün veri setleri dikkate alındığında standart ARP çözümlenmesi için ortalama çözüm süresi 16,33 saniye iken Y-ARP çözümlenmesi için bu süre 13,94 saniye şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 8. Ortalama çözüm sürelerinin kıyaslanması

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe insanoğlunun çevre duyarlılığı artmaktadır. Bu duyarlılığın bir sonucu olarak ortaya çıkan yeşil tedarik zinciri uygulamalarından biri de operasyonel düzlemde yeşil araç rotalama problemidir. Bu çalışmada, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi türlerinden biri olan Y-ARP, heterojen araç filosu ile dağıtım yapan bir firmanın araç rotalama problemi için gerçek yaşam verileri dikkate alınarak çözülmeye çalışılmıştır. Çalışmanın literatüre başlıca katkısı, problemin amaç fonksiyonunun gidilen yoldan ziyade taşıdığı ürün miktarına ve kullanılan aracın kapasitesine bağlı olarak değişiklik göstermesidir. Ayrıca bu araçların kiralama bedelleri de birbirinden farklıdır. Çözüm yöntemi olarak hızlı, etkili ve güvenilir çözümler üreten tavlama benzetimi metasezgiseli Julia® bilimsel hesaplama programlama dilinde geliştirilerek kullanılmıştır. Y-ARP'nin çözümünden elde edilen sonuçlar problemin standart ARP olarak çözülmesinin ardından elde edilen emisyon değerleri, çözüm süreleri ve kullanılan araç sayısı gibi özellikler bakımından kıyaslanmıştır. Bazı veri setleri için dolaşılacak mesafe standart ARP'ye göre daha büyük çıkmasına karşın gerek kullanılan araç türü gerekse emisyon değeri toplam maliyet unsurları dikkate alınarak yapılan çözümler çok daha çevreci sonuçlar ortaya koymuştur. Bunun başlıca sebebi emisyon değerinin sadece yola değil taşınan yükün miktarına da bağlı olmasıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, probleminin gerçek yaşam problemine biraz daha yaklaşması adına zaman penceresi kısıtının probleme eklenebileceği, mevcut durumda kiralanan araçlardan farklı kapasite ve emisyon değerlerine sahip araçların da portföye dahil edilerek daha etkili sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] A. Rushton, P. Croucher, and P. Baker, *The Hand Book of Logistics and Distribution Management*, 3rd ed., London, United Kingdom: Kogan Page Limited, 2006, pp. 6-7.
- [2] R. Mason-Jones, and D.R. Towill, "Total cycle time compression and the agile supply chain," *International Journal of Production Economics*, vol. 62, no.1-2, pp. 61-73, 1999.
- [3] E.G., Dayıoğlu, K. Karagül, Y. Şahin, and M.G. Kay, "Route planning methods for a modular warehouse system," *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, vol. 10, no. 1, pp. 17-25, 2020.
- [4] Y. Şahin, A. Eroğlu, "Hierarchical solution of order picking and capacitated vehicle routing problems," *Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 3, no. 1, pp. 15-28, 2015.
- [5] K. Karagul, Y. Sahin, E. Aydemir, and A. Oral, "A simulated annealing algorithm based solution method for a green vehicle routing problem with fuel consumption," in *Lean and Green Supply Chain Management*, 1st ed., vol. 273, Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2019, pp. 161-187.
- [6] F. Daneshzand, "The vehicle-routing problem", in *Logistics Operations and Management Concepts and Models*, 1st ed., Waltham, USA: Elsevier Insights, 2011, pp. 127-145.
- [7] C. Lin, K.L. Choy, G.T. Ho, S.H. Chung, and H.Y. Lam, "Survey of green vehicle routing problem: past and future trends," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 4, pp. 1118-1138, 2014.
- [8] S. Belbağ, "Yeşil kapasite kısıtlı araç rotalama problemi: bir literatür taraması," *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 1, ss. 345-366, 2017.
- [9] Ç. Koç, ve E. Özceylan, "Yeşil ve elektrikli araç rotalama problemleri üzerine bir literatür taraması ve araştırma öngöröleri" *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, c. 17, s. 3, ss. 1041-1053, 2018.
- [10] M. Asghari, and S. M. J. M. Al-e-hashem, "Green vehicle routing problem: a state-of-the-art review," *International Journal of Production Economics*, vol. 231, pp. 107899, 2021.
- [11] R. Moghdani, K. Salimifard, E. Demir, and A. Benyettou, "The green vehicle routing problem: a systematic literature review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 279, pp. 123691, 2021.
- [12] M. Afshar-Bakeshloo, A. Mehrabi, H. Safari, M. Maleki, and F. Jolai "A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria" *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 12, no. 4, pp. 529-544, 2016.
- [13] M. Bruglieri, S. Mancini, F. Pezzella, and O. Pisacane, "A new mathematical programming model for the green vehicle routing problem," *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, vol. 55, no. 2016, pp. 89-92, 2016
- [14] Ç. Koç, and I. Karaoglan, "The green vehicle routing problem: a heuristic based exact solution approach," *Applied Soft Computing*, vol. 39, pp. 154-164, 2016.
- [15] V. Leggieri, and M. Haouari, "A practical solution approach for the green vehicle routing problem," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 104, pp. 97-112, 2017.

- [16] Y. Zhou, and G.M. Lee, “A Lagrangian relaxation-based solution method for a green vehicle routing problem to minimize greenhouse gas emissions,” *Sustainability*, vol. 9, no. 5, pp. 776, 2017.
- [17] J. Andelmin, and E. Bartolini, “An exact algorithm for the green vehicle routing problem,” *Transportation Science*, vol. 51, no. 4, pp. 1288-1303, 2017.
- [18] E. Aydemir and K. Karagül, “Solving a periodic capacitated vehicle routing problem using simulated annealing algorithm for a manufacturing company,” *Brazilian Journal of Operations Production Management*, vol. 17, no. 1, pp. 1–13, 2020.
- [19] Y. Şahin ve A. Eroğlu, “Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için metasezgisel yöntemler bilimsel yazın taraması,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 337–355, 2014.
- [20] S. Erdoğan, and E. Miller-Hooks, “A green vehicle routing problem,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 48, no. 1, pp. 100-114, 2012.
- [21] J. Jemai, M. Zekri, and K. Mellouli, “An NSGA-II algorithm for the green vehicle routing problem,” in *12th European Conference (EvoCOP)*, 2012, pp. 37-48.
- [22] E. Jabir, V. V. Panicker, and R. Sridharan, “Multi-objective optimization model for a green vehicle routing problem,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 189, pp. 33-39, 2015.
- [23] E. Jabir, V. V. Panicker, and R. Sridharan, “Design and development of a hybrid ant colony-variable neighbourhood search algorithm for a multi-depot green vehicle routing problem,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 57, pp. 422-457, 2017.
- [24] A. Tiwari and P. C. Chang, “A block recombination approach to solve green vehicle routing problem,” *International Journal of Production Economics*, vol. 164, pp. 379-387, 2015.
- [25] İ. Küçükoğlu, S. Ene, A. Aksoy, and N. Öztürk, “A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, no. 5, pp. 3279-3297, 2015.
- [26] A. Montoya, C. Guéret, J. E. Mendoza, and J. G. Villegas, “A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 70, pp. 113-128, 2016.
- [27] S. Zhang, Y. Gajpal, and S.S. Appadoo, “A meta-heuristic for capacitated green vehicle routing problem,” *Annals of Operations Research*, vol. 269, pp. 753–771, 2018.
- [28] M. Yavuz, “An iterated beam search algorithm for the green vehicle routing problem,” *Networks*, vol. 69, no. 3, pp. 317-328, 2017.
- [29] G. Poonthalir, and R. Nadarajan, “A fuel efficient green vehicle routing problem with varying speed constraint (F-GVRP),” *Expert Systems with Applications*, vol. 100, pp. 131-144, 2018.
- [30] P.R.D.O. da Costa, S. Mauceri, P. Carroll, and F. Pallonetto, “A genetic algorithm for a green vehicle routing problem,” *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, vol. 64, pp. 65-74, 2018.
- [31] M. Affi, H. Derbel, and B. Jarboui, “Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem,” *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 9, no. 2, pp. 195-204, 2018.

- [32] A. Sruthi, S. P. Anbuudayasankar, and G. Jeyakumar, "Energy-efficient green vehicle routing problem," *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, vol. 12, no. 4, pp. 27-41, 2019.
- [33] Y. Li, M. K. Lim, and M. L. Tseng, "A green vehicle routing model based on modified particle swarm optimization for cold chain logistics," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 119, no. 3, pp. 473-494, 2019.
- [34] B. Peng, Y., Zhang, Y., Gajpal, and X. Chen, "A memetic algorithm for the green vehicle routing problem," *Sustainability*, vol. 11, no. 21, pp. 6055, 2019.
- [35] N. M. E. Normasari, V. F. Yu, and C. Bachtiyar, "A simulated annealing heuristic for the capacitated green vehicle routing problem," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, pp. 1-18, 2019.
- [36] Y. Li, H. Soleimani, and M. Zohal, "An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives," *Journal of Cleaner Production*, vol. 227, pp. 1161-1172, 2019.
- [37] D. Utama, D. Widodo, M. F. Ibrahim, and S. K. Dewi, "A new hybrid butterfly optimization algorithm for green vehicle routing problem," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2020, pp.1-14, 2020.
- [38] W. Zhang, Y. Gajpal, S. Appadoo, and Q. Wei, "Multi-depot green vehicle routing problem to minimize carbon emissions," *Sustainability*, vol. 12, no. 8, pp. 3500, 2020.
- [39] M. E. H. Sadati, and B. Çatay, "A hybrid variable neighborhood search approach for the multi-depot green vehicle routing problem," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 149, pp. 102293, 2021.
- [40] S. K. Dewi, and D. M. Utama, "A new hybrid whale optimization algorithm for green vehicle routing problem," *Systems Science & Control Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 61-72, 2021.
- [41] C. Blum, and A. Roli, "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison," *ACM computing surveys (CSUR)*, vol. 35, no. 3, pp. 268-308, 2003.
- [42] A. T. Murray and R. L. Church, "Applying simulated annealing to location-planning models," *Journal of Heuristics*, vol. 2, no. 1, pp. 31-53, 1996.
- [43] D. Karaboğa, *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, 2. Baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 2011, böl. 2, ss. 21-46.
- [44] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, "Optimization by simulated annealing," *Science*, vol. 220, no. 4598, pp. 671-680, 1983.
- [45] N. Metropolis, R. Bivins, M. Storm, A. Turkevich, J. M. Miller, and G. Friedlander, "Monte Carlo calculations on intranuclear cascades. I. Low-energy studies," *Physical Review*, vol. 110, no. 1, pp. 185-203, 1958.
- [46] D. S. Johnson, C. R. Aragon, L. A. McGeoch, and C. Schevon, "Optimization by simulated annealing: an experimental evaluation; part I, graph partitioning," *Operations Research*, vol. 37, no. 6, pp. 865-892, 1989.



- [47] R. Tavakkoli-Moghaddam, N. Safaei, M. M. O. Kah, and M. Rabbani, "A new capacitated vehicle routing problem with split service for minimizing fleet cost by simulated annealing," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 344, no. 5, pp. 406-425, 2007.
- [48] S. C. Leung, J. Zheng, D. Zhang, and X. Zhou, "Simulated annealing for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints," *Flexible Services and Manufacturing Journal*, vol. 22, no. 1-2, pp. 61-82, 2010.
- [49] M. R. Wilhelm, and T. L. Ward, "Solving quadratic assignment problems by simulated annealing," *IIE transactions*, vol. 19, no. 1, pp. 107-119, 1987.
- [50] A. T. Murray, and R. L. Church, "Heuristic solution approaches to operational forest planning problems," *Operations-Research-Spektrum*, vol. 17, no. 2, pp. 193-203, 1995.
- [51] N. İnak, S. Tokat ve K. Karagül, "Alt sınır temeline dayalı ağırlıklı tavlama yöntemi ile kutulama probleminin çözümü," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 5, s. 3, ss. 549-567, 2018.
- [52] M. D. C. Cunha, and J. Sousa, "Water distribution network design optimization: simulated annealing approach," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 125, no. 4, pp. 215-221, 1999.
- [53] M. H. Correia, J. F. Oliveira, and J. S. Ferreira, "Cylinder packing by simulated annealing," *Pesquisa Operacional*, vol. 20, no. 2, pp. 269-286, 2000.
- [54] S. Z. Selim, and K. Alsultan, "A simulated annealing algorithm for the clustering problem," *Pattern Recognition*, vol. 24, no. 10, pp. 1003-1008, 1991.
- [55] B. Türkay, F. Küçüktezcan, ve A. Bulut, "Elektrik enerjisinin bölgeler arası alışverişinin optimizasyonu," *EMO Bilimsel Dergi*, c. 1, s. 1, ss. 31-38, 2011.
- [56] Y. Şahin, "Sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin gezgin satıcı problemi çözüm performanslarının kıyaslanması," *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 19, s. 4, ss. 911-932, 2019.
- [57] A. G. Nikolaev, and S. H. Jacobson, "Simulated annealing," in *Handbook of Metaheuristics*, 2nd ed., vol. 146, Boston, USA: Springer, 2010, pp. 1-39.
- [58] D. Henderson, S. H. Jacobson, and A. W. Johnson, "The Theory and Practice of Simulated Annealing," in *Handbook of Metaheuristics*, 1st ed., Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 287-319.
- [59] L. Lin, and C. Fei, "The simulated annealing algorithm implemented by the MATLAB," *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 9, no. 6, pp. 357-360, 2012.
- [60] Y. Eren, İ. B. Küçükdemiral, and İ. Üstoğlu, "Introduction to optimization," in *Optimization in Renewable Energy Systems*, Oxford, U.K.: Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 27-74.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Emsal Hukuk Dokümanlarının Otomatik Belirlenmesi¹

 Meltem ÇETİNER^{a,b},  Yusuf Sinan AKGÜL^a

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b AR-GE Bölümü, Idea Teknoloji Çözümleri Şirketi İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: meltem.cetiner@gtu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1012386

ÖZ

Doğal dil işleme çalışmaları, yapay zekada olduğu gibi veri artışına bağlı olarak hız kazanan alanlardan biridir. Bu çalışmada, ele alınan hukuk dokümanlarının da zaman içerisinde örnekleri artmaktadır. Bir davada emsal olarak gösterilen başka bir davanın tespiti, dava seyrini tamamıyla değiştirmesi nedeniyle oldukça önemlidir. Emsal dava tespitini ele alan bu çalışmada, Ulusal Yargı Ağı Projesi (UYAP) bilgi bankası üzerinden bir veri seti oluşturulmuştur. Davaların incelenmesi ile elde edilen dava şablonları kullanılarak, farklı kısımların girdi ve çıktı sağladığı metinden metin elde edilmesini sağlayan LSTM modeli ile üç farklı sistem oluşturulmuştur. Sistemlerden sağlanan metin çıktıları, farklı BERT modellerinden elde edilen temsil vektörlerinden, FAISS kütüphanesi yardımıyla hızlı bir şekilde test verileri için en yakın dokümanlar elde edilmiştir. 5 farklı dava tipi kategorisindeki test hukuk dokümanlarının, kategori kümelerindeki dokümanlar arasından en benzer 10 dokümanı iki avukat tarafından ayrı ayrı işaretlenmiştir. Sistemlerden elde edilen ve avukatların işaretlediği sonuçlar karşılaştırılmış, benzerlikler örneklerle açıklanarak paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Emsal davalar, Diziden diziye sinir ağları, Metin benzerliği

Automatic Precedent Legal Document Detection

ABSTRACT

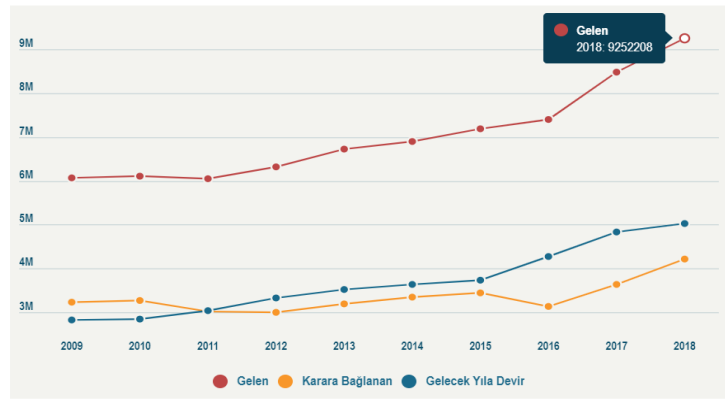
The natural language processing studies are one of the study fields in artificial intelligence that gain momentum increasing data. The legal documents discussed in this study are also increasing in time. It is very important to show another case which is sentenced as expected called precedent document, as it could completely change the direction of the case. In this study, which deals with the detection of precedent cases, a data set was created via the National Judiciary Informatics System (UYAP) data bank. Using the case templates obtained by studying on the documents, three different systems are created with the sequence to sequence LSTM model, which allows to generate text from the text that different parts provides input and output. After generating the output of the systems, text representation vectors are created using different bert models. The created vectors are used to detect the most similar documents via FAISS library. The test legal documents are selected within 5 different case category clusters. Two lawyers helped us to define the most similar 10 documents within the category clusters of the defined 5 test legal documents. The most similar 10 documents output of the systems are also generated. The results of all systems are shared with the comparison by the annotated results explaining with the examples.

Keywords: Precedent documents, Sequence to sequence neural networks, Text similarity

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.
Geliş: 22/10/2021, Düzeltme: 18/11/2021, Kabul: 29/11/2021

I. GİRİŞ

Doğal dil işleme; metin analizi, ön işleme yöntemleri, makine öğrenmesi ve istatistik gibi birçok farklı alanı kullanarak belirli bir yapıya sahip olan veya olmayan metin verisinden açık bir şekilde yazmayan bilgiyi veya bilgileri edinme, makinelerin anlayabileceği yapıya kavuşturma işlemlerine denilmektedir [1]. Metin özetleme, sınıflandırma ve benzerlik bulma gibi birçok çalışma doğal dil işleme konusu altında çalışılmaktadır. Yapay zekâ konusunun bir alt dalı olarak doğal dil işleme çalışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında metin benzerliği konusu ele alınmıştır. Temel motivasyon birçok makalede de yer edinen makine öğrenmesi, yapay zekâ ve doğal dil işleme'nin bizlere sunduğu sistemlerin oluşturulmasında neden oluşturan motivasyon ile aynıdır; insan limitleri olarak bahsedebileceğimiz, stres karşısında doğru karar verememe, bilgisayarlar kadar sürekli sabit karar verememe, belirli bir süre ardından yorulma gibi limitleri olmayan makine sistemlerinin; bilgisayar teknolojilerinde geliştirilen algoritmalar ile birlikte, bilgisayarların hız ve hafıza bakımından da oldukça gelişme kat ettiklerini söyleyebiliriz.



Şekil 1. Soruşturma evresinde Cumhuriyet başsavcularına Gelen, Karara Bağlanan ve Gelecek Yıla Devreden dava dosya sayıları (2009-2018) [2]

Hukuk dokümanları, yapısal olmayan metin verisi içinde sınıflandırabileceğimiz veri setleridir. Özellikle doğal dil işleme altında metinleri anlamaya çalışarak yapılan çalışmalar yanında, daha istatistiksel ve veri madenciliği yöntemleri kullanarak bilgi edinme, kümeleme, sınıflama veya özetleme gibi farklı uygulamalarda yapılabilmektedir. Gün geçtikçe artan dava sayıları ve hatta önceki dönemden sonuçlandırılmayarak gelecek yıla devreden dava sayılarında neredeyse logaritmik şekilde bir artışın olduğu Şekil 1’de gösterilmiştir. Metin madenciliği yöntemlerinin nedenleri olarak önceden bahsettiğimiz nedenlerin dışında; bu dava, dosya sayılarının artışı da makine sistemlerinin kullanılması isteğinin önemli bir faktörü olarak görülebilir. Hukuk çalışanlarının, başka davaları anlaması ve üzerinde zaman harcaması büyük önem arz etmektedir. Bu artan sayı, insan çalışması için büyük olumsuzluk oluştururken, makine öğrenmesi gibi sistemler için farklı varyansa sahip, farklı büyük girdi kümesi oluşturarak pozitif yönde katkı sağlayacaklardır. “Yapay Zekâ çağında hukuk” [3] ismi ile paylaşılan İstanbul, Ankara ve İzmir baroları tarafından hazırlanan çalıştay raporu aslında bu gibi birçok nedenin sıralandığı bir rapor olarak sunulmuştur. Türkiye için ilk olduğu bilgisi ile başlayan raporda, yurtdışında yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi de LawGeex şirketi tarafından hazırlanan 2014’de yapılan günlük yasal risk konusunda uzman 20 birleşmiş milletler avukatı ile yapay zekâ sisteminin karşılaştırma sonuçlarıdır. Bu sonuçlar, avukatlar için ortalama başarı oranı %85, en yüksek başarı oranının %94 ve en düşük oran %64 olduğu belirlenmiş ve yapay zekâ başarı oranı da en yüksek avukat oranı olan %94 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda başka dikkat çeken sonuç ise; avukatların karar vermede ihtiyaç duyduğu 92 dakikaya karşın, yapay zekâ sistemlerinin sadece 26 saniyeye ihtiyaç duymasıdır [4].

Her alanda önemli başarılarla sahip yapay zekâ, hukuk alanında da önemli işler ortaya koyacaktır. “Legal Tech” adındaki kitapta da aslında bu konuda başlayan çalışmalar konu alınmaktadır. Yapay zekâ’nın bir

alt dalı olan metin madenciliği de bu alanda önemli başarılar imza atacaktır. Bu uygulamalardan bir tanesi de metin sınıflandırmadır. Konu hakkında özelleşmiş mahkemelere yönlendirilecek hukuk dokümanlarının otomatik olarak sosyal, sivil, ticari gibi sınıflara ayrılması gerekmektedir [5]. Bir başka örnek, metin özetleme olarak verilebilir. Letsum[6] dava kararlarındaki cümleleri; giriş, konu, karar analizi ve sonuç olmak üzere 4 farklı grupta ilişkilendirdikten sonra cümlelerin önemi ve ait oldukları gruplara bağlı olarak cümle sayısı azaltarak bir özet ortaya koymaktadır. Başka bir örnek ise Hukuk dokümanlarının sonuçlarının tahmin edilmesi işidir. Verilen dava olaylarının bir sonuç ile bağdaştırılması olayıdır. Bu konuda da uzun yıllar faklı çalışmalar yürütülmüştür. Bu alandaki örnekler çoğaltılabilir.

Bu çalışmada, Türkçe veri seti olarak Ulusal Yargı Ağı Projesi (UYAP) kapsamında bilgi bankası üzerinden bir veri seti oluşturulmuş ve BERT vektörleri ile temsil edilen dokümanların benzerliklerine dayalı olan sistemle, diziden dizi üretebilen LSTM modeli temel alınmıştır. Davada bölümlendirilmiş kısımlardan olay kısmından, sonuç kısmının elde edildiği bir model ve olay kısmından bütün davanın elde edilmeye çalışıldığı bir modelin oluşturulduğu üç farklı sistemin sonuçları elde edilmiştir. İki farklı avukatın işaretleme yaptıkları 5 farklı test hukuk dokümanı için en yakın 10 dokümanın elde edilmesi problemi çözülmeye çalışılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır.

II. VERİ KÜMESİ

Adalet Bakanlığı yeni başladığı bir çalışma ile dava kararlarının, Emsal Dava Kararları web sayfası [7] altında paylaşmaktadır. Bu web sayfasından 97485 adet doküman çekilmiş ve bazıları elenerek veri setinin son halinde 96737 adet doküman bulundurulmuştur. Elde edilen dokümanlardan bir örnek Şekil 2'de paylaşılmıştır. Web sitesinden elde edilen dokümanlar aşağıda olduğu gibi birçok gürültü ile birlikte gelmektedir. Bu gürültülerin nedenini, oluşturulmaya çalışılan sayfa düzeni formatı ve davalı, davacı gibi kişilerin, şirketlerin kişisel bilgi güvenliğinin sağlanması amacı ile bilgilerinin silinmesine yardımcı olan yazılımlar oluşturmaktadır. Dosyalar incelendiğinde ön işleme gereksinimi olduğu görülmektedir. Bu nedenle dokümanlar ön işlemeden geçirilmişlerdir.

Doküman Örneği 1:

- T.C. İstanbul Anadolu 8. ASLİYE TİCARET MAHKEMESİ . ESAS NO : 2017/1380 KARAR NO : 2018/1 . DAVA : Kıymetli Evrak İptali (Çek İptali (Hasımsız)). KARAR YAZIM TARİHİ : 05/01/2018 Mahkememizde görülmekte olan Kıymetli Evrak İptali (Çek İptali (Hasımsız)) davasının yapılan açık yargılaması sonunda, GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ : İDDİA : Davacı dava dilekçesinde özetle:AŞ..... şubesine ait çek no.lu kendisine ait 3 adet çekin zayı nedeniyle iptaline karar verilmesini talep ve dava etmiştir. İNCELEME ve GEREKÇE :Dava, TTK'nun 818/s, 757- 765. maddede hükümlerine göre zayı nedeniyle çek iptali isteğine ilişkindir. Davacı dava dilekçesinde, çek hesabının kendisine ait olduğunu belirtmiştir. TTK.757- 765.maddelerinde yer alan yasal düzenlemeye, yerleşik uygulamaya ve ilmi açıklamalara göre çek keşidecinin zayı nedeniyle iptal davası açma hakkı bulunmamaktadır. Zayı nedeniyle kıymetli evrakın iptalini isteme hakkı TTK.651/2.maddesi uyarınca hamile aittir. Kıymetli evrakta hakkın senede bağlı olması nedeniyle, senedin zayı olması halinde hak sahibine iptal kararı alarak, hakkını senetsiz olarak ileri sürme, ya da yeni bir kıymetli evrak tanzimini isteme olanağı tanınmak istenmiştir (TTK.652.m) Keşidecinin, muhatap bankayı ödemediği men yetkisi bulunmamaktadır. Çek ibraz edildiği takdirde, hak talep eden hamile karşı İİK.72.maddesi uyarınca olumsuz tespit davası açma imkanları mevcut bulunmaktadır. HMK.114/h maddesi uyarınca davacının dava açmakta hukuki yararının bulunması dava şartıdır. Kıymetli evrakta hakkın senede bağlı olması nedeniyle, senedin zayı edildiği durumlarda, senede bağlı hakkın senetsiz de ileri sürülebilmesi için TTK.651.ve 652.maddelerinde hamile iptal davası açma hakkı getirilmiştir. İptal kararı alan hamil hakkını senetsiz olarak ileri sürebilecek ya da borçludan yeni bir senet tanzim edilmesini isteyebilecektir. Bu davayı açma hakkı hamile aittir .Yine TTK.651/2. maddesi uyarınca iptal davasının açmakta hukuki menfaati olan kişi senede bağlı alacak hakkı olan hamildir. Keşidecinin iptal kararı almakta hiç bir hukuki yararının bulunmamaktadır. Dava şartı gerçekleşmediğinden davanın HMK.114/h ve 115/2. maddeleri uyarınca usulden reddine dair aşağıdaki karar verilmiştir. HÜKÜM : Gerekeşi yukarıda açıkladığı üzere: 1-DAVANIN USULDEN REDDİNE. 2- Alınması gerekli 35.90 TL harcın peşin alınan 31.40 TL harcın mahsubu ile bakiye 4.50 TL harcın davacıdan alınıp hazineye gelir kaydına. 3-Yargılama giderlerinin davacı üzerinde bırakılmasına. 4-Davacı tarafca peşin yatırılmış olan gider avansından artan kısmın karar kesinleştiğinde davacıya iadesine dair, HMK.345. Maddesi hükmü uyarınca kararın tebliğinden itibaren 2 haftalık süre içinde istinaf yolu açık olmak üzere dosya üzerinde yapılan inceleme neticesinde karar verildi.

Şekil 2. Doküman Örneği 1

A. VERİ ÖN İŞLEME

Ön işleme mekanizmasında bütün büyük harfler küçük harfe dönüştürülmüş, html kalıntıları, metin düzenleme için oluşturulmuş yapılar silinmiş, özel karakter dönüşümleri yapılmış, TÜRK yazılması gereken alanda 'T\nÜ\nR\nK' yazılması gibi sık görülen hatalar düzeltilmiştir.

B. VERİ SETİ YAPISININ OLUŞTURULMASI

Dokümanlar incelendiğinde, dava dosyalarının ana şablonunun lokasyon (T.C. İstanbul Anadolu/Avrupa gibi), mahkeme ismi (8. Asliye Ticaret Mahkemesi, 10. Ceza Mahkemesi gibi), Esas No, Karar No, Dava tipi, Karar Yazım Tarihi, her zaman olmasa da “Mahkememizde görülmekte olan” kalıbı ile başlayan girizgah ardından gelen GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ ile belirtilen sonuçlama kısmı, İNCELEME ve GEREKÇE ile anlatılan olay bölümü, HÜKÜM ile başlayana sonuç kısmı ve sonunda imzalar için ayrılan e-Katip gibi bölümlerden oluşmaktadır. Bu imza kısmı bazı dava metinlerde gözlemlenmemiştir. Yazılan parçalayıcı kod (parser) yardımı ile dokümandan belirlenmiş alanlar elde edilmiştir.

T.C. İstanbul Anadolu 8. ASLİYE **TİCARET** MAHKEMESİ ESAS NO: 2017/1380 **KARAR NO:** 2018/1 **DAVA**: Kıymetli Evrak İptali (Çek İptali (Hasımsız)), **KARAR YAZIM TARİHİ:** 05/01/2018 Mahkememizde görülmekte olan Kıymetli Evrak İptali (Çek İptali (Hasımsız)) davasının yapılan açık yargılaması sonunda, **GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ**: İDDİA: Davacı dava dilekçesinde özetle:AŞ.....şubesine ait çek no lu kendisine ait 3 adet çekin zayı nedeniyle iptaline karar verilmesini talep ve dava etmiştir. **İNCELEME VE GEREKÇE**: Dava, TTK'nun 816/s, 757-765. maddelerine göre zayı nedeniyle çek iptali isteğine ilişkindir. Davacı dava dilekçesinde, çek hesabının kendisine ait olduğunu belirtmiştir. TTK 757-765 maddelerinde yer alan yasal düzenlemeye, yerleşik uygulamaya ve ilmi açıklamalara göre çek keşidesinin zayı nedeniyle iptal davası açma hakkı bulunmamaktadır. Zayı nedeniyle kıymetli evrakın iptalini isteme hakkı TTK 651/2.maddesi uyarınca hamile atılır. Kıymetli evrakta hakkın senede bağlı olması nedeniyle, senedin zayı olması halinde hak sahibine iptal kararın alarak, hakkını senetsiz olarak ileri sürme, ya da yeni bir kıymetli evrak tanzimin isteme olanı tanımlanmaktadır. (TTK 652.m) Keşidesinin, multatıp bankaya ödemeden men yekisi bulunmamaktadır. Çek biraz edildigi takdirde, hak talep eden hamile karşı İİK.72.maddesi uyarınca olumsuz tespit davası açma imkanları mevcut bulunmaktadır. HMK.114/h maddesi uyarınca davacının dava açmakta hukuki yararının bulunması dava şartıdır. Kıymetli evrakta hakkın senede bağlı olması nedeniyle, senedin zayı edildiği durumlarda, senede bağlı hakkın senetsiz de ileri sürülebilmesi için TTK 651 ve 652 maddelerinde hamile iptal davası açma hakkı getirilmiştir. İptal kararın alan hakim hakkını senetsiz olarak ileri sürülecek ya da borçludan yeni bir senet tanzimi edilmesini isteyebilecektir. Bu davayı açma hakkı hamile atılır. Yine TTK.651/2. maddesi uyarınca iptal davasını açmakta hukuki menfaati olan kişi senede bağlı alacak hakkı olan hamildir. Keşidesinin iptal kararını almakta hiç bir hukuki yarar bulunmamaktadır. Dava şartı gerçekleşmediğinden davanın HMK.114/h ve 115/2. maddeleri uyarınca usulden reddine dair aşağıdaki karar verilmiştir. **HÜKÜM**: Gerekeşi yukarıda açıkladığı üzere: 1-DAVANIN USULDEN REDDİNE, 2- Alınması gerekli 35,90 TL harçtan peşin alınan 31,40 TL harçtan mahsubu ile bakiye 4,50 TL harçtan davacının alımı hazneye gelir kaydına, 3-Yargılama giderlerinin davacı üzerinde bırakılmasına, 4-Davacı tarafca peşin yatırılmış olan gider avansından artan kısmın karar kesilmesinde davacıya iadesine dair, HMK 345. Maddesi hükmü uyarınca kararın tebliğinden itibaren 2 hatafık süre içinde istinat yolu açık olmak üzere dosya üzerinde yapılan inceleme neticesinde karar verildi.

T.C. İstanbul Anadolu 4. ASLİYE **TİCARET** MAHKEMESİ ESAS NO: 2017/629 **Esas KARAR NO:** 2018/3 **DAVA**: İtirazın İptali (Taşınma Sözleşmesi Kaynaklı) **DAVA TARİHİ:** 29/05/2017 **KARAR TARİHİ:** 02/01/2018 Mahkememizde görülmekte bulunan İtirazın İptali (Taşınma Sözleşmesi Kaynaklı) davasının inceleme neticesi sonunda, Davacı vekili dilekçesinde özetle, Wüvekol şirketin yıllardır uluslararası ve yerel ticaret alanlarında faaliyette bulunan tanınmış ve iyi bilinir bir firma olduğunu, davalı şirkete ait bir kısım malın taşınması hususunda davalı ile anlaşma yapılmış, 19.11.2016 tarihinde teslim alınan mallar davalının istediği yurt dışı (Almanya) adresine gümrükleme işlemleri yapılarak teslim edildiğini, taşıma işi bedelli olarak taratlar 3900 Euro için anlaşıldığını, taşıma işlemi yapılmış ancak taşıma ücreti davalı tarafca kısmen yatırıldığını, kalanını ödemediğini, ödenmeyen kısım için İstanbul Anadolu --- İcra Müdürlüğü --- E. sayılı takip başlatıldığını, davalı şirketin 17.03.2017 tarihli borca itiraz dilekçesinde borcun 6000 TL ilk kısmının 21.11.2016 tarihinde ödendiğini kalan 7.843,44 TL ilk kısmının da bir kısım kaybolan ürünler olması nedeniyle ödenmeyeceğini ve borca itiraz ettiğini beyan ettiğini, davalı borçlunun itirazı haksız ve yersiz olduğunu, müvekkili adına süresinde takibe haksız yapılan itirazın iptalini, fakatin devamını, borçlunun ilk gereğini % 20 den az olmamak üzere icra ihkâr iznini mahkûm edilmesini talep ve dava etmiştir. Davalı vekili cevap dilekçesinde: Bakırköy --- Asliye Ticaret Mahkemesinin --- esas sayılı dava dosyası ile dava ikame edildiğini, --- Nak Ve Antrepoculuk ve otomotiv Tic. Ltd. Şti takasa mahsup talebinde bulunduğunu, 7.843,44 TL'nin davaya konu alacak miktarından tenzilli talep ettiğini, işbu dava ile mukerrerlik arz ettiğini beyan etmiştir. Davacı vekili 21/12/2017 tarihli duruşmada Bakırköy --- ATM de aynı konuya ilişkin daha evvel açılan davanın mevcut olduğunu, dosya numarasının --- Esas, dava açılış tarihinin 27/03/2017 olduğunu, davanın birleştirilmesine karar verilmesini talep ettiği görülmüştür. Uysap sistemi üzerinden Bakırköy --- ATM nin --- Esas sayılı dosyasının tezvi formu, son duruşma zaptı vd. Belgelerden bir örnek alınarak dosya içine eklenmiştir. **İNCELEME VE GEREKÇE**: Mahkememiz dosyası ile Bakırköy --- Asliye Ticaret Mahkemesinin --- Esas sayılı dosyası ile iributlu olduğu belirlendiğinden, HMK'nun 166/3-4 maddeleri gereğince bu davanın daha önce açılan Bakırköy --- Asliye Ticaret Mahkemesinin --- Esas sayılı dava dosyası ile birleştirilmesine, kararın hemen yazılıp, dosyanın birleşen dosya içerisine gönderilmesine karar verilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. **HÜKÜM**: Yukarıda açıklanan nedenlerle: 1-Mahkememiz dava dosyası ile Bakırköy --- Asliye Ticaret Mahkemesinin --- Esas sayılı dava dosyası arasında hukuki ve fiili iribut bulunduğunu ve dava kapsamındaki netice-i talepler bakımından birleştirilen dava dosyası kapsamında verilen hükümün işbu davadaki karar etkileyeceği anlaşıldığından mahkememizin --- Esas sayılı dava dosyasının HMK-166/3-4.md. Gereği Bakırköy --- Asliye Ticaret Mahkemesinin --- Esas sayılı dava dosyası ile **BİRLEŞTİRİLMESİNE**, Kararın hemen yazılıp dosyanın birleşen dosya içerisine gönderilmesine, 2- Yargılama giderlerinin birleşen dosyada değerlendirilmesine, Esas hükmüne birlikte yasa yolları açık olmak üzere dosya üzerinde yapılan inceleme sonucunda karar verildi. 02/01/2018

Şekil 3. Ana kısımları ile birlikte 2 Doküman Örneği

Veri seti üzerinden bir yapı oluşturularak genel olarak gözlemlenen alanlar edinilmiştir. Dokümanların genelinde gözlemlenen alanlar ile toplamda 12 alan tanımlanmıştır. Oluşturulan yapısal alanların bir örneği Şekil 4'te paylaşılmıştır.

Key	Value
(1) Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1feec")	[12 fields]
(2) Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1feed")	[12 fields]
(3) Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1fee")	[12 fields]
(4) Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1fee")	[12 fields]
(5) Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1fe")	[12 fields]
(6) Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1fe")	[12 fields]

Objectid("Sdd72ecfefba3e711f1fe")

Yukarıda açıklanan gerektirici nedenlerle: 1-Mahkeme BİRLEŞTİRME

İstanbul Anadolu 5. ASLİYE TİCARET MAHKEMESİ

2018/1

02.01.2018

kesinleşti

ticaret

ticari şirket (şirkete özel denetçi tayin edilmes)

ticari şirket

T.C. İstanbul Anadolu 5. Asliye ticaret mahkemesi

[12 fields]

[12 fields]

Şekil 4. Oluşturulan yapısal alanlar

C. VERİ SETİ BİLGİSİ

Veri seti, eğitim ve test bölümlerinde kullanılmak üzere sırasıyla %70 ve %30 oranlarında bölünerek parçalanmıştır. Değerlendirilmede kullanılmak üzere 2 avukata rasgele belirlenmiş kategoriler olan; “Alacak”, “İhtiyati Haciz”, “İtirazın İptali”, “Kıymetli Evrak İptali”, “Tazminat” dava test metinleri paylaşılmış ve aynı kategorilerden rasgele seçilmiş davalar arasından en benzer olduğunu düşündükleri 10 dokümanın belirlenmesi istenilmiştir.

Tablo 1. Avukat işaretlemeleri korelasyon tablosu (A1: Avukat 1, A2: Avukat 2)

	Alacak (43)		İhtiyati Haciz (44)		İtirazın İptali (44)		Kıymetli Evrak İptali (29)		Haciz (63)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
A1	10	3	13	3	11	0	18	4	9	1
A2	3	14	3	10	0	9	4	10	1	10

Tablo 1’de ilk satırda verilen kategoriler, parantez içerisinde örnek sayısı ile birlikte verilmiştir. Sonraki ikinci satırda avukat işaretlemeleri verilmiş ve hangi avukatın karşılaştırıldığı, A1, birinci avukat; A2 ise ikinci avukat olarak temsil edilmiştir. Alacak kategorisi ele alındığında, birinci avukat 10 dokümanı, test doküman metnine yakın olarak işaretlerken, ikinci avukat 14 dokümanı benzer doküman olarak işaretlemiştir. Avukatlar arasındaki benzerlik incelendiğinde; 3 doküman ortak olarak iki avukat tarafından da emsal davalar olarak işaretlenmiştir. Genel ortalamaya bakıldığında 44,5 doküman arasından test dokümanına en yakın dokümanlar belirlenmiş; birinci avukat 12,5 dokümanı, ikinci avukat 10,6 dokümanı en yakın olarak işaretlemiş ve 2,2 doküman için iki avukat da hem fikirlerdir. Buradaki kararsızlık konunun ne kadar zorlu bir problem olduğuna dair fikir vermektedir.

III. KULLANILAN TEKNİKLER

A. KELİME TEMSİLLERİ

Makineler için metin konsepti anlaşılabilir bir yapı değildir. Doğal bir dilin işlenebilmesi amacıyla oluşturulan mekanizmada, metin temsilleri kelime/terim vektörleri ile sağlanmaktadır. Kelime vektörleri kelime veya söz öbeklerinin dil yapısına bağlı olarak sayısal vektörler ile temsil edilmesidir. Sınıflandırma konusunda önemli bir adım olarak yer alan kelime vektör uzaylarının yaratılması bir sonraki aşamada oluşturulacak işlemler için önem arz etmektedir. Doküman içeriklerinin çok boyutlu vektörlerle temsil edilmesi, dokümanların terim anlamları düzeyinde kümelenmesini sağlayacak olmasının yanı sıra, esnek anlamsal arama sorgularının yapılmasını da mümkün kılacaktır. Bu işlem, kullanıcı tarafından girilen sorguların vektörlere çevirilerek vektörlerle temsil edilen dokümanlar içerisinden en yakın olanlarının bulunmasına dayalıdır.

Terim ve dokümanların vektörlerle temsil edilmesi için kullanılacak birçok farklı teknik bulunmaktadır. Bunları genel olarak 2 ana başlık altında incelememiz mümkündür. TF-IDF [8], SVD temelli LSA [9] gibi yöntemler kelime/terimlerin kaç kez geçtiği matematiğine dayanarak geliştirilmişlerdir. Frekans tabanlı yöntemler olarak isimlendirilirler. Word2Vec [10] ile başlayan, metinlerin birçok farklı açıdan değerlendirilmesi ile temsili bir vektör oluşturulmasını sağlayan yöntemler, bağlamsal temsiller olarak adlandırılan BERT (Bidirectional Encode Representations from Transformers) [11], ELMo [12], GPT2 [13] gibi yöntemlerle son yıllarda hızlanan teknoloji, alandaki çalışmalara yön vermektedir. Bağlamsal yöntemler her kelimeyi tek bir vektörle göstermek yerine kelimenin vektörünü içinde bulunduğu bağlama göre oluşturmaktadır. Word2Vec gibi yöntemlerden farklı olarak yazılışı aynı anlamı farklı kelimeleri tek bir vektör olarak tutulmamakta, bulunduğu bağlama göre dinamik olarak oluşturulabilmektedir. Kelime temsil yöntemlerinden BERT’in önemli avantaj sağlayan tekniği, diğer yöntemlerin tek yönlü değerlendirmesine karşın cümleyi sağdan ve soldan iki yönlü değerlendirmekte, anlamsal ve kelime istatistiği yönünden daha iyi yorumlamaktadır [11, 14].

RNN tabanlı kelime/terim temsillerinde [15], gelen kelimeleri sırayla değerlendirdiği için kelimelerin bütünlüğünü koruyor ama model girdisi uzunsa, kelimeler arasındaki ilişki hızla eriyerek merkez terime uzak kalan, örneğin cümle başındaki kelimeler gerçekte olduğundan çok daha önemsiz olarak modellenabiliyor. Dikkat Mekanizmaları (Attention Mechanism), her kelimenin işlenmesinden sonra

oluşan saklı katman (Hidden Layer) bilgilerini çözümleyiciye aktardığı için RNN’de görülen baştaki kelimelerin değerinin azalması problemine daha iyi bir çözüm sağlanmıştır [16]. Dönüştürücü (Transformers) [14,19] sistemleri ise, paralel hesaplama yapmakla ön plana çıkıyor. Paralel işlem yapmanın yanı sıra, çok-başlı dikkat (multi-head attention) mekanizmasına sahip olduğundan ve gelen veriyi soldan-sağa/sağdan-sola olarak 2 yönden değerlendirdiği için, eğitimin sonunda içeriğe daha fazla hâkim olan bir model ortaya çıkmış oluyor.

Bert_large ve bert_base adı verilen modeller, BookCorpus adındaki 800 Milyon kelime dağarcığına sahip veri seti ve 2.5 Milyar kelime dağarcığına sahip olan Wikipedia veri setinin eğitilmesi ile oluşturulmuştur. Eğitim süreleri Bert_large için 16 adet TPU, bert_base için ise 4 adet TPU ile 4 gün sürmüştür. Bert farklı doğal dil işleme uygulamaları için tasarlanmıştır, bunun sadece üst katmanlar eklenmesi yeterli olacaktır. Böylece mesajlaşma ajanları (chatbot), metin sınıflandırma vb. problemlerin çözümünde kullanılabilir.

BERT Modelleri, çift-yönlü olması dışında Maskelenmiş Dil Modeli (Masked Language Modeling /MLM) ve Sonraki Cümle Tahmini (Next Sentence Prediction /NSP) adı verilen iki teknikle eğitilmektedir. Bir cümle modele girdiğinde, cümledeki kelimelerin %15’inde MLM tekniği kullanılıyor. Bu tekniğin kullanıldığı kelimelerin %80’i [MASK] bölütü ile, %10’u rastgele başka bir kelimeyle değiştiriliyor, geri kalan %10 da değiştirilmeden bırakılıyor [11]. MLM tekniğinde, maskelenen kelime, açık şekilde beslenen kelimelerle tahmin edilmeye çalışılıyor. İlk teknikte, cümle içerisindeki kelimeler arasındaki ilişki üzerinde durulurken, ikinci teknik olan NSP’de ise cümleler arasındaki ilişki kurulur. Eğitim esnasında ikili olarak gelen cümle çiftinde, ikinci cümlelerin ilk cümlelerin devamı olup olmadığı tahmin edilir. Bu teknikten önce ikinci cümlelerin %50’si rastgele değiştirilir, %50’si ise aynı şekilde bırakılır. Eğitim esnasındaki optimizasyon, bu iki tekniğin kullanılırken ortaya çıkan kaybın minimuma indirilmesidir.

Transformer yapıları ile eğitim sürecinin uzunluğu, eğitilmesi için gerekli verinin elde edilme zorluğu gibi kısıtlar, kelime temsil modellerinin oluşturulmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu zorluklar nedeniyle, hazırlanmış modeller paylaşılmaktadır. Hazır indirilmiş modeller istenildiğinde olduğu gibi, istenildiği zaman ise belirli katmanlar sabitlenerek kalan katmanların yeniden eğitilmesi veya tüm katmanların eğitilmesi ile sıfırdan başlamak yerine model değerlerinin iyileştirilmesi yani ince ayar (fine tuning) teknikleri kullanılabilir. Yaptığımız çalışmada Türkçe için farklı oluşturulmuş “dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased” modeli [17] ve çoklu dil modeli olan “distilbert-nli-stsb-mean-tokens” [18] modelleri denendi. Farklı dillerde ve farklı büyüklüklerde hazır eğitilmiş dil modelleri Hugging Face [14]’ten edinildi ve ince ayar eğitimleri tamamlandı.

B. DİZİSEL BİLGİDEN DİZİSEL BİLGİ ÜRETME

Yapay zekâ konusunda doğal dil işlemede önemli çalışmalardan biri de metin yapısından başka bir metin yapısı üretmektir. Bu çok girdili ve çok çıktılı model ile metin özetleme, soru cevaplama sistemleri gibi birçok konu çalışılmaktadır. Literatürde diziden diziye (seq2seq) modeller her hücrede bir veya daha fazla katmanla sinir ağ yapıları kullanılmaktadır. Yinelenen bir sinir ağı, aynı ağın çoklu kopyası olarak düşünülebilir ve her biri bilgileri halefine iletir. RNN döngüsü açılırsa böyle bir yapı ortaya çıkmaktadır: RNN’lerde kaybolan eğitim sorunu önceki girdilerle ilişkiyi yorumlamaya çalışırken sadece yakın girdilere bakar. RNN bunu cümleler için kolay yapabilmektedir. Fakat bir paragraf bazında bir tahmin yapmak için çok önceye dönmesi gerekmektedir. Daha uzun zincirler için modelin eğitimi daha da zorlaşır, ara açıklıkça uzakların etkisi azalır. Bu sorun RNN’lerde kaybolan eğitim sorunu (Vanishing gradient problem) olarak bilinir. Bu problem ise kısa vadeli hafıza ağları (LSTMs/Long-Short Term Memory) olarak da bilinen sinir ağ modeli, RNN’lerin özel bir modelidir. Çalışma kapsamında LSTM modeli iki katmanlı olarak kullanılmıştır.

C. METİN KARŞILAŞTIRMA

Doğal dil işleme sistemlerinde elde edilen uzay vektörlerinin karşılaştırılmasında, kelimelerin birbirine yakınlığı, bir uzay üzerinde temsil edilmesi nedeniyle vektör benzerliklerinde ve iki metin arası karşılaştırmalarda sıklıkla kullanılan trigonometrideki kosinüs fonksiyonu kullanılmaktadır. Basit karşılaştırmalarda kosinüs benzerliği *torch* kütüphanesi [19] üzerinden kullanılmıştır.

$$benzerlik = \frac{x_1 * x_2}{\max(|x_1|^2 * |x_2|^2)} \quad (1)$$

Denklem 1'de x ile gösterilen, bir dokümanın anlamsal uzayda bir vektör ile temsilidir. Bu vektörle birlikte derlem içerisinde yer alan bütün dokümanların temsil edildiği bir vektörle beraber bir uzay elde edilir.

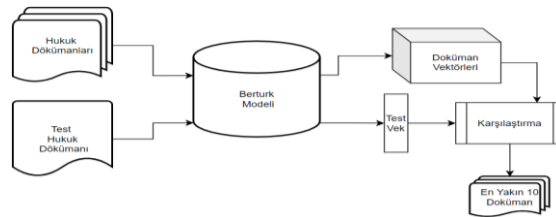
Bu temsil uzayını oluşturmak için; ilk etapta bütün dokümanlar BERT modeli kullanılarak oluşturulmuş ve birer birer kaydedilerek vektör dizinleri oluşturulmuştur. Bu aşamada, BERT modelinin dokümanın içerisindeki her bir cümle BERT vektör sonuçları elde edilerek, doküman vektörünü oluşturmak amacıyla toplanır. Elde edilen vektör, FAISS [20] kütüphanesi aracılığıyla, derlem dokümanları ile oluşturulan vektör uzayında sorgulanır. Dönen dokümanlar aynı sırada listelenir.

FAISS kütüphanesi, kısaca vektör benzerlikleri üzerine çalışmaktadır. GPU yardımıyla da milyonlarca vektör arasından hızlıca en yakın vektörü bulabilmektedir. Vektörleri kaydetmeden önce, gruplayarak bütün vektörler arasında arama yapmak yerin birkaç aşamada benzerlik arayacağı vektör kümesini alanını daraltmaktadır. Bu çalışmada, kosinüs değerine göre dokümanlar sıralanacaktır. GPU üzerinde gerçekleştirilen bu vektör işlemleri paralel bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

IV. OLUŞTURULAN SİSTEMLER

A. SİSTEM 1

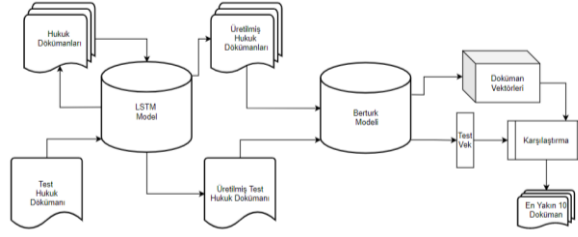
Oluşturulan ilk sistemde, tüm metinler dbmdz BERT Modeli ve distil BERT Modeli ile uzaysal düzlem üzerinde doküman vektörleri oluşturulmuştur. FAISS kütüphanesi ile dokümanların indekslemeleri hızlı bir şekilde erişilebilmektedir. Test dokümanının da BERT Modelleri sayesinde test doküman vektörlerinin elde edilmesi ile birlikte karşılaştırma kısmında FAISS Kütüphanesi yardımıyla kosinüs benzerliğine dayalı en benzer ilk 10 doküman seçilmiştir.



Şekil 6. Sistem 1'in genel yapısı

B. SİSTEM 2

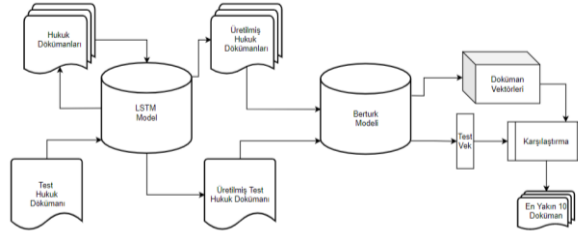
Sistem 2'de ise model içerisine iki katmanlı LSTM yapısına sahip diziden diziye bir model yapısı oluşturulmuştur. Bölümlemede elde edilen alan yapılarından olay kısmı sisteme verilerek sonuçlar elde edilmesi için eğitilmiştir. Elde edilen metnin BERT modeli ile vektörü elde edilmiş ve kategori içindeki dokümanların vektörleri içerisinde en yakın 10 doküman belirlenmiştir.



Şekil 7. Sistem 2'in genel yapısı

C. SİSTEM 3

Sistem 3'te ise sistem 2'de kullanılan mimari devam etmiştir. Burada eğitim sırasında girdi olarak olay kısmı kullanılırken çıktıda tüm metnin elde edilmesi olarak belirlenmiştir. Oluşturulan modelle elde edilen metnin BERT modeli ile vektörü elde edilmiş ve kategori içindeki dokümanların vektörleri içerisinde en yakın 10 doküman belirlenmiştir.



Şekil 8. Sistem 3'ün genel yapısı

V. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar, Şekil 9'da tek bir kategori olan Alacak kategorisi için paylaşılmıştır. Şekil 9'da avukatlar ve Bert model tipine bağlı geliştirilen sistemler için elde edilen doküman indeksleri paylaşılmıştır. Renklendirmeler farklı sistemler üzerinde aynı elde edilen doküman indekslerini göstermektedir. Mesela sarı renk ile gösterilen dosyalar, Avukat 1 ve iki farklı dil modeli ile sistem1 üzerinden elde edilmiş dosyaları gösterirken; kırmızı ile, avukat 2, sistem 1'in "dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased" modeli, sistem 2 ve 3'te elde edilmiş doküman indeksleri gösterilmiştir.

Genel özet tablosu ise Tablo 2'de paylaşılmıştır. Avukatlar A ile temsil edilmişlerdir. Avukatlar arasında bile açık bir biçimde bir gözlemlenen tutarsızlık, problemin zorluğuna işaret etmektedir. Sonuçların ikinci avukat ile daha tutarlı olduğunu söyleyebiliriz. Genel olarak en iyi ortak sonuçlar ise sistem 1 üzerinden "dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased" modeli ile elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulan sistemlerde bariz bir şekilde elde edilen 26625 sayılı hukuk dokümanı, birinci avukat listesinde verilmemiştir. Birinci avukatın listedeki ilk örneği ile test metninin benzerlikleri yeşil ile vurgulanarak, test ile benzerliği Şekil 10'da, 26625 sayılı dokümanın test metnine benzerliği ise Şekil 11'de paylaşılmıştır.

	A	B	C	D	E	F
1			sistem1		sistem2	sistem3
2	Avukat_dosyaları1	Avukat_dosyaları2	dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased	distilbert-base-nli-stsb-mean-tokens	dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased	dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased
3	33469	31787	26625	26625	54637	50454
4	77040	38943	38943	33469	52759	21224
5	38943	26625	77040	27933	26625	31787
6	50513	54637	63319	52759	77040	17007
7	31787	63319	54637	35474	59258	62553
8	26788	32758	31787	31787	63319	26625
9	63886	36404	35474	36404	38943	62581
10	64559	50454	59258	50513	50513	62582
11	27933	38619	34919	38943	27933	54637
12	50454	34919	32049	34919	62599	45728
13		50078				
14		35474				
15		17007				
16		59258				
17						

Şekil 9. Alacak(43) için doküman indeksleri ile birlikte elde edilen sonuçlar

Bu çalışma ile, bu hukuk konusunda bir başlangıç yapıldığı düşüncesindeyiz. Avukatların bile kendi içerisinde hem fikir olamaması, ayrılan zaman içerisindeki tüm dokümanlara eşit süre ayrılmaması, gözden kaçması, dikkatsizlik gibi insan limitlerinin aşılması gerektiğini bir kez daha ortaya koymaktadır. Bu problem için ileriki çalışmalarda; daha kompleks yapay sinir ağları geliştirilebilir, BERT gibi temsil vektörlerinin ELMO, GPT-2 gibi vektörler ile karşılaştırmalarının yapılması, kanun belgelerindeki kendine has dili daha iyi öğrenmek, karmaşık dil yapısına daha hakim olmak amacı ile BERT modelinin sadece kanun belgelerinin bulunduğu büyük bir veri setinde ince ayarları üzerinden eğitilerek, kanun belgelerinin temsilinin daha iyi sağlanması ile başarı arttırılabilir.

Tablo 2. Genel karşılaştırma korelasyonları

		A1	A2	B1	B2	B1	B1
Alacak -43	A1	10	3	3	5	0	1
	A2	3	14	8	5	4	2
İhtiyati Haciz- 44	A1	12	3	3	4	2	2
	A2	3	10	3	4	1	3
İtirazın İptali – 44	A1	11	0	3	2	1	0
	A2	1	9	0	0	0	1
Kıymetli Evrak İptali- 29	A1	18	4	4	6	2	2
	A2	4	10	5	3	2	2
Tazminat -63	A1	9	1	1	2	0	0
	A2	1	10	0	2	1	0

A1: Avukat 1, A2: Avukat 2, B1: dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased, B2: distilbert-base-nli-stsb-mean-tokens

- **Test:** T.C. BAKIRKÖY 7. ASLİYE TİCARET MAHKEMESİ ESAS NO : 2016/432 Esas KARAR NO : 2018/1 DAVA : Alacak (Satım Sözleşmesinden Kaynaklanan) DAVA TARİHİ : 02/05/2016 KARAR TARİHİ : 02/01/2018 KARAR YAZILMA TARİHİ : 04/01/2018 Mahkememizde görülmekte olan davanın yapılan açık yargılaması sonunda, GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ. Tarafların davayı takip etmemeleri nedeni ile mahkememizce 19/09/2017 tarihinde iş bu dava dosyasının yenileninceye kadar işlem den kaldırılmasına karar verildiği ve bu tarihten itibaren 3 aylık yasal süresi içinde davanın yenilenmediği anlaşılma kta aşağıdaki şekilde hüküm kurulmuştur. HÜKÜM: Yukarıda açıklanan nedenlerle, 1-Davanın HMK'nun 150/5 maddesi gereğince açılmamış sayılmasına, esas kaydının bu nedenle kapatılmasına, 2-Alınması gerekli 31,40 TL harcın davacı tarafca yatırılan 85,39 TL harçtan mahsubu ile fazla alınan 53,99 TL harcın istem halinde ve hükmün kesinleşmesine müteakiben davacı tarafa iadesine, 3-Davacının yaptığı yargılama giderlerinin kendi üzerinde bırakılmasına, 4-AAÜT gereğince hesap edilen 1.980,00 TL ücreti vekaletin davacıdan alınarak, davalı tarafa verilmesine, 5-Davacı tarafından yatırılan ve kullanılmayan gider avansının karar kesinleştiğinde ve talep halinde davacıya iadesine, Dair 6100 sayılı HMK'nun 342 ve 345 maddeleri gereğince karşı tarafın sayısı kadar örnek eklenmek suretiyle tebliğden itibaren 2 haftalık süre içerisinde mahkememize verilecek dilekçe ile ilgili İstinaf Dairesi nezdinde istinaf yolu açık olmak üzere verilen karar tarafların yokluğunda açıkça okunup, usulen anlatıldı. 02/01/2018 Katip ... Hakim ...
- **Avukat ID: 36404:** T.C. İstanbul Anadolu 5. ASLİYE TİCARET MAHKEMESİ ESAS NO : 2016/192 Esas KARAR NO : 2018/902 DAVA : Alacak (Satım Sözleşmesinden Kaynaklanan) DAVA TARİHİ : 17/02/2016 KARAR TARİHİ : 01/10/2018 İş bu davanın 15/05/2018 tarihinde işlem den kaldırıldığı anlaşılma kta, dosya ele alınıp incelendi. GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ. Dava hukuki niteliği itibarıyla alacak davasıdır. Mahkememizde görülmekte olan davanın 15/05/2018 tarihli duruşmasında taraflarca takipsiz bırakılması sonucu dosyanın işlem den kaldırıldığı görülmüştür. Dava dosyasının işlem den kaldırıldığı tarihten itibaren 3 ay içinde yenilenmemesi halinde HMK. 150/5. maddesi uyarınca mahkemece re'sen açılmamış sayılmasına karar verileceği, buna göre dava dosyasının işlem den kaldırıldığı 15/05/2018 tarihinden itibaren 3 aylık süre içinde yenilenmediği anlaşılma kta davanın açılmamış sayılmasına karar verilmiş, aşağıdaki şekilde hüküm kurulmuştur. HÜKÜM: Yukarıda açıklanan nedenlerle, 1-Davanın H.M.K.nun 150 Madde hükmü gereğince davanın AÇILMAMIŞ SAYILMASINA, 2- Alınması gerekli 35,90 TL harcın davacı tarafından peşin olarak yatırılan 1.956,42 TL harcın mahsubu ile artan 1.920,52 TL harcın karar kesinleştiğinde davacı tarafa iadesine, 3-Yargılama giderlerinin davacı üzerinde bırakılmasına, 4-Davalı taraf kendisini vekille temsil ettirdiğinden karar tarihinde geçerlideki esaslara göre belirlenen 11.914,88 TL nispi vekalet ücretinin davacıdan alınarak davalıya verilmesine, 5- Kullanılmayan gider avansı varsa karar kesinleştiğinde ilgili tarafa iadesine, Dair tarafların yokluğunda, gerekçeli kararın taraflara tebliğinden itibaren 2 haftalık yasal süre içinde İstanbul Bölge Adliye Mahkemesi'ne istinaf yolu açık olmak üzere karar verildi.

Şekil 10. Benzerliği aranan test dokümanı ve Avukat 1'in en benzer olarak tespit ettiği 36404 no'lu doküman karşılaştırması (Yeşil arkaplan benzer alanlar, Sarı arkaplan farklılıklar)

- **Test:** T.C. BAKIRKÖY 7. ASLİYE TİCARET MAHKEMESİ ESAS NO : 2016/432 Esas KARAR NO : 2018/1 DAVA : Alacak (Satım Sözleşmesinden Kaynaklanan) DAVA TARİHİ : 02/05/2016 KARAR TARİHİ : 02/01/2018 KARAR YAZILMA TARİHİ : 04/01/2018 Mahkememizde görülmekte olan davanın yapılan açık yargılaması sonunda, GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ. Tarafların davayı takip etmemeleri nedeni ile mahkememizce 19/09/2017 tarihinde iş bu dava dosyasının yenileninceye kadar işlem den kaldırılmasına karar verildiği ve bu tarihten itibaren 3 aylık yasal süresi içinde davanın yenilenmediği anlaşılma kta aşağıdaki şekilde hüküm kurulmuştur. HÜKÜM: Yukarıda açıklanan nedenlerle, 1-Davanın HMK'nun 150/5 maddesi gereğince açılmamış sayılmasına, esas kaydının bu nedenle kapatılmasına, 2-Alınması gerekli 31,40 TL harcın davacı tarafca yatırılan 85,39 TL harçtan mahsubu ile fazla alınan 53,99 TL harcın istem halinde ve hükmün kesinleşmesine müteakiben davacı tarafa iadesine, 3-Davacının yaptığı yargılama giderlerinin kendi üzerinde bırakılmasına, 4-AAÜT gereğince hesap edilen 1.980,00 TL ücreti vekaletin davacıdan alınarak, davalı tarafa verilmesine, 5-Davacı tarafından yatırılan ve kullanılmayan gider avansının karar kesinleştiğinde ve talep halinde davacıya iadesine, Dair 6100 sayılı HMK'nun 342 ve 345 maddeleri gereğince karşı tarafın sayısı kadar örnek eklenmek suretiyle tebliğden itibaren 2 haftalık süre içerisinde mahkememize verilecek dilekçe ile ilgili İstinaf Dairesi nezdinde istinaf yolu açık olmak üzere verilen karar tarafların yokluğunda açıkça okunup, usulen anlatıldı. 02/01/2018 Katip ... Hakim ...
- **Sistem: ID: 26625:** T.C. BAKIRKÖY 7. ASLİYE TİCARET MAHKEMESİ ESAS NO : 2017/934 Esas KARAR NO : 2018/606 DAVA : Alacak (Hizmet Sözleşmesinden Kaynaklanan) DAVA TARİHİ : 16/10/2017 KARAR TARİHİ : 25/06/2018 KARAR YAZILMA TARİHİ : 25/06/2018 Mahkememizde görülmekte olan davanın yapılan açık yargılaması sonunda, GEREĞİ DÜŞÜNÜLDÜ. Tarafların davayı takip etmemeleri nedeni ile mahkememizce 23/03/2018 tarihinde iş bu dava dosyasının yenileninceye kadar işlem den kaldırılmasına karar verildiği ve bu tarihten itibaren 3 aylık yasal süresi içinde davanın yenilenmediği anlaşılma kta aşağıdaki şekilde hüküm kurulmuştur. HÜKÜM: Yukarıda açıklanan nedenlerle, 1- Davanın HMK'nun 150/5 maddesi gereğince açılmamış sayılmasına, esas kaydının bu nedenle kapatılmasına, 2-Alınması gerekli 35,90 TL harcın davacı tarafca yatırılan 170,78 TL harçtan mahsubu ile fazla alınan 134,88 TL harcın istem halinde ve hükmün kesinleşmesine müteakiben davacı tarafa iadesine, 3- Davacının yaptığı yargılama giderlerinin kendi üzerinde bırakılmasına, 4-AAÜT gereğince hesap edilen 2.180,00 TL ücreti vekaletin davacıdan alınarak, davalı tarafa verilmesine, 5-Davacı tarafından yatırılan ve kullanılmayan gider avansının karar kesinleştiğinde ve talep halinde davacıya iadesine, 6-Davalı tarafından yatırılan kullanılmayan gider avanslarının karar kesinleştiğinde istem halinde davalıya iadesine, 7-Davalı tarafından yapılan 434,00 TL yargılama giderinin davacı taraftan tahsili ile davalı tarafa ödenmesine, Dair 6100 sayılı HMK'nun 342 ve 345 maddeleri gereğince karşı tarafın sayısı kadar örnek eklenmek suretiyle tebliğden itibaren 2 haftalık süre içerisinde mahkememize verilecek dilekçe ile ilgili İstinaf Dairesi nezdinde istinaf yolu açık olmak üzere tarafların yokluğunda dosya üzerinde yapılan inceleme sonucunda karar verildi. 25/06/2018 Katip ... Hakim ...

Şekil 11. Benzerliği aranan test dokümanı ve Sistemlerin en benzer olarak tespit ettiği 26404 no'lu doküman karşılaştırması (Yeşil arkaplan benzer alanlar, Sarı arkaplan farklılıklar)

TEŞEKKÜR: UYAP verilerinin hazırlanmasında bizlere yardımcı olan Enes Almahdi'ye teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. H. Tan, "Text mining: The state of the art and the challenges," *Proceedings of the Pakdd 1999 Workshop on Knowledge Discovery from Advanced Databases*, 1999, ss. 65-70.
- [2] S. Yanatma, Euronews. (2019,11 Şubat) [Çevrimiçi] Erişim: <https://tr.euronews.com/2019/05/29/turkiye-de-savciliklara-gelen-dosya-sayisi-son-10-yilda-yuzde-53-artti>.
- [3] M. Kızrak Ayyüce (2021, 18 Ağustos) [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.istanbulbarosu.org.tr/files/docs/yapayzekacagindahukuk.pdf>
- [4] S, Semmler ve R. Zeeve. "Artificial intelligence: Application today and implications tomorrow," *Duke L. & Tech. Rev.* c. 16, s. 1/3, ss. 85-99, 2017.
- [5] Sulea, Octavia-Maria, et al. "Exploring the use of text classification in the legal domain," arXiv preprint arXiv:1710.09306, 2017.
- [6] A. Farzindar, "Atefeh Farzindar and Guy Lapalme, LetSum, an automatic Legal Text Summarizing system in T. Gordon (ed.), *Legal Knowledge and Information Systems. Jurix 2004: The Seventeenth Annual Conference*. Amsterdam: IOS Press, 2004, pp. 11-18." *Legal Knowledge and Information Systems: JURIX 2004, the Seventeenth Annual Conference*. vol. 120, IOS Press, 2004.
- [7] Adalet Bakanlığı, (2021, 03 Eylül) [Çevrimiçi] Erişim: <http://emsal.uyap.gov.tr/BilgiBankasiIstemciWeb/>
- [8] A. Aizawa, "An information-theoretic perspective of tf-idf measures," *Information Processing & Management*, c. 39, s. 1, 45-65, 2003.
- [9] J. A. Bullinaria ve J. P. Levy. "Extracting semantic representations from word co-occurrence statistics: A computational study," *Behavior research methods*, c. 39, s. 3, ss. 510-526, 2007.
- [10] K. W. Church, "Word2Vec," *Natural Language Engineering*, c. 23, s. 1, ss. 155-162, 2017, doi:10.1017/S1351324916000334.
- [11] J. Devlin ve diğ. "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding," arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.
- [12] M, E. Peters., ve diğ. "Deep contextualized word representations," arXiv preprint arXiv:1802.05365, 2018.
- [13] A. Radford, ve diğ. "Language models are unsupervised multitask learners," 2019.
- [14] T. Wolf, ve diğ. "Huggingface's transformers: State-of-the-art natural language processing," arXiv preprint arXiv:1910.03771, 2019.
- [15] Kyunghyun Cho, ve diğ. "Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation," arXiv preprint arXiv:1406.1078, 2014.

- [16] C. Baziotis, N. Pelekis, ve C.Doulkeridis, “Datastories at semeval-2017 task 4: Deep lstm with attention for message-level and topic-based sentiment analysis,” *Proceedings of the 11th international workshop on semantic evaluation (SemEval-2017)*, 2017.
- [17] dbmdz, (2020, 1 Mart). “dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased · hugging face,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://huggingface.co/dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased>
- [18] distilbert, (2020, 1 Mart). “distilbert-base-nli-stsb-mean-tokens · hugging face,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://huggingface.co/sentence-transformers/distilbert-base-nli-stsb-mean-tokens>
- [19] A. Paszke, ve diğ., “Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32, ss. 8026-8037 <https://arxiv.org/abs/1912.01703v1>, 2019.
- [20] J. Johnson, M. Douze, ve H. Jégou. “Billion-scale similarity search with GPUs.” *IEEE Transactions on Big Data*, 2019.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Tuning the Parameters of Power System Stabilizer Using Runge Kutta Algorithm¹

 Enes KAYMAZ^{a,*},  Uğur GÜVENÇ^a,  M. Kenan DÖŞOĞLU^a

^a Department of Electrical Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: eneskaymaz@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1015460

ABSTRACT

Low-frequency oscillations due to unpredictable disturbances in an interconnected power grid are a serious threat to the stability of the power system. Reliable operation of a modern power system, when exposed to sudden disturbances, is crucial, and the safe operation of the system is directly related to success in damping oscillations. Power System Stabilizer (PSS) devices have been used to reduce fluctuations caused by short-time disturbances in power systems. These devices provide additional damping torque components to the generators as an auxiliary control device of the excitation system. Due to the non-linearity of electrical power systems, it is significant to design multi-machine power systems with optimum PSS parameters under critical conditions. In this paper, the PSS design problem was solved using the Runge Kutta Algorithm (RUN). The PSS design problem was considered an optimization problem in which an eigenvalue-based objective function has developed, and the proposed RUN method was tested in a WSCC 3-machine 9-bus test system using the linearized Heffron-Phillips model. In the linearized model, system stability has been enhanced by shifting the eigenvalues to the stability regions. When the results obtained from the test system are examined, it has seen that the proposed RUN is the most effective method in terms of system stability.

Keywords: Power system stabilizer, Runge Kutta algorithm, Eigenvalue, Heffron-Phillips model.

Runge Kutta Algoritması Kullanılarak Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı Parametrelerinin Ayarlanması

Öz

Enterkonnekte bir güç şebekesindeki öngörülemez bozulmalardan kaynaklanan düşük frekanslı salınımlar, güç sisteminin kararlılığı için ciddi bir tehdittir. Modern bir güç sisteminin ani kesintilere maruz kaldığında güvenilir şekilde çalışması çok önemlidir ve sistemin güvenli çalışması, salınımların sönümlenmesindeki başarı ile doğrudan ilişkilidir. Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (GSKK), güç sistemlerinde kısa süreli kesintilerden kaynaklanan dalgalanmaları azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu cihazlar, uyarma sisteminin yardımcı bir kontrol cihazı olarak, generatörlere ilave sönümlenme torqu bileşenleri sağlar. Elektrik güç sistemlerinin doğrusal olmaması nedeniyle, kritik koşullar altında en uygun PSS parametrelerine sahip çok makineli güç sistemleri tasarlamak önemlidir. Bu çalışmada, GSKK tasarım problemi Runge Kutta Algoritması (RUN) kullanılarak çözülmüştür. GSKK tasarım problemi, öz değer tabanlı bir amaç fonksiyonunun geliştirildiği bir optimizasyon problemi olarak düşünülmüş ve önerilen RUN yöntemi, doğrusallaştırılmış Heffron-Phillips modeli kullanılarak WSCC 3-makineli 9-baralı sistemde test edilmiştir. Doğrusallaştırılmış modelde, öz değerler kararlılık bölgelerine kaydırılarak sistem kararlılığı artırılmıştır. Test sisteminden elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen RUN yönteminin sistem kararlılığı açısından en etkili yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı, Runge Kutta Algoritması, Öz değer, Heffron-Phillips modeli.

¹ This study was presented in ICAIAME 2021 and published as summary text.

Received: 27/10/2021, Revised: 25/11/2021, Accepted: 29/11/2021

I. INTRODUCTION

In today's world, depending on technological and economic developments, electrical power systems are rapidly growing, and a significant increase in power demand is observed. Day by day, due to the ever-increasing power demand, the existing transmission lines are overloaded, and this causes various stability problems in the power system [1]. Stability problems cause adverse effects on the safe operating conditions of electrical power systems. Small Signal Stability (SSS) is the maintenance of synchronization of power systems under short-term disturbances due to small changes in load and generation [2-3]. In an interconnected power network, reasons such as weak connection lines, sudden fluctuations in load, line faults, control of the excitation system cause low-frequency electromechanical oscillations, which adversely affect the SSS [4-5]. In addition, poorly damped low-frequency electromechanical oscillations can cause some mechanical problems in synchronous machines and power failures.

Controllers are of great importance in damping low-frequency electromechanical oscillations occurring in an electrical power network [6]. The Power System Stabilizer (PSS) is a conventional damping controller that generates an auxiliary control signal to the excitation system due to the speed deviation of the synchronous generator [7]. PSS design has attracted the attention of researchers for many years. In the past, a conventional power system stabilizer (CPSS) with constant parameters was generally preferred in power systems due to its basic structure. Firstly, De Mello and Concordia presented the main structure of the PSS [8]. In the study by Gibberd [9], constant-gain PSS tuning was discussed under different operating conditions. Kundur et al. [10] presented detailed analytical studies to determine the gain, output limits, and signal washout parameters of conventional lead-lag compensator PSSs to improve transient stability in local-area and inter-area oscillation modes. Depending on this situation, although classical optimization methods were used to tune the damping controller in the first years, more advanced methods were used for PSS design with the spread of PSS later on. Robust control [11-12], sliding mode control [13], linear-quadratic regulator [14, 15], H_∞ techniques [16,17], fuzzy logic artificial intelligence techniques [18,19] are some of these methods. Although these methods are effective in terms of system stability, the use of traditional techniques in multi-machine systems is complex for PSS design and requires a lot of computation time [20-22].

Recently, various heuristic algorithms have been widely preferred by researchers, especially in engineering science, to overcome these disadvantages and solve complex optimization problems. These methods, which are divided into evolutionary and swarm intelligence algorithms, are generally inspired by natural phenomena. In any optimization problem, design parameters are optimized in minimum time by using heuristic algorithms compared to traditional methods. Another advantage of these algorithms is that they do not need to guess the initial solution. These methods are more flexible and effective methods when compared to traditional and deterministic methods for non-linear optimization problems. There are studies in which heuristic algorithms are used to optimize the control-gain parameters of PSS, the main task of which is to improve the low-frequency oscillation stability and implemented several different problems in electrical power systems. Optimum design of PSS parameters achieved by using heuristic methods such as Genetic Algorithm (GA) [23,24], Particle Swarm Optimization (PSO) [25,26], Tabu Search Algorithm (TSA) [27], Bat Algorithm (BA) [28,29], Cuckoo Search Algorithm (CSA) [30], Honey Bee Algorithm (HBA) [31], Firefly Algorithm (FA) [32], Whale Optimization Algorithm (WOA) [33], Chaotic Teaching–Learning Algorithm (CTLA) [34]. Although these methods are effective, it is seen that the application of different optimization techniques for the optimal design of PSS in multi-machine power systems has a significant contribution to the literature.

Runge Kutta Algorithm (RUN) is a novel swarm-based optimization algorithm developed by Ahmadianfar et al in 2017 [35]. In RUN, slope changes calculated by Runge Kutta (RK) method are used to solve a global optimization problem. Also, the enhanced solution quality (ESQ) used in RUN is important for balancing exploration and exploitation, and with this, solution quality is improved, and avoid from local optima is provided [35]. As a result of the literature studies, it has been observed that the PSS parameters are not tuned with the RUN method, which is a new heuristic algorithm. Therefore,

in this study, the RUN algorithm was applied for the first time to obtain the optimum values of the parameters of the PSS device. The effect of RUN has been examined on a WSCC 3-machine 9-bus system based on eigenvalue analysis. The proposed RUN is compared with Particle Swarm Optimization (PSO), Artificial Bee Colony (ABC), and Hybrid PSO-ABC (HPA) [36], which are well-known in the literature, in terms of obtaining optimal PSS parameters to increase the dynamic stability of the system. The obtained results showed that RUN-PSS was more effective than other optimization methods in damping low-frequency oscillations and improving the system stability. Accordingly, the rest of the article continues in the following manner. The power system model, PSS model, and the objective function of the SSS problem are included in Section 2. The RUN method and its application in the PSS design problem are described in Section 3. The results obtained in solving the problem with RUN-PSS and other methods are presented in Section 4. The article ends with the conclusion in Section 5.

II. POWER SYSTEM MODEL

A. GENERATOR AND EXCITATION SYSTEMS

The mathematical model of a non-linear electrical power system has expressed by various differential and algebraic equations. In this study, the flux de-cay with the static exciter model is used for small signal stability and transient stability analysis. The dynamics of a synchronous machine with n-machines and m- buses with excitation system and PSS addition is expressed in Equation (1) - (7) [36]:

$$\dot{\delta}_i = \omega_s (\omega - 1) \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{M} (P_{gi} - P_{eo} - D(\omega - 1)) \quad (2)$$

where P_{gi} and P_{eo} are generator input and electrical power output. M is inertia constant, D is damping coefficient, ω_s is synchronous speed, δ is rotor angle, and ω is rotor speed, respectively. The generator output power can express as d -axis and q -axis components (i_d, i_q, v_d, v_q) of the armature current I and the terminal voltage V_t as follows:

$$P_{eo} = v_d i_d + v_q i_q \quad (3)$$

The equation for internal voltage E'_q is as follows:

$$E'_q = \frac{1}{T'_{d0}} (E_{fd} - (x_d - x'_d) i_d - E'_q) \quad (4)$$

where, E_{fd} is the field voltage, T'_{d0} is represented open-circuit field time constant, x_d and x'_d expressions are the d-axis reactance and d-axis transient reactance of the generator.

The equation for the IEEE Type-STI excitation system is as follows:

$$\dot{E}_{fd} = \frac{K_A (v_{ref} - v_t + v_{pss}) - E_{fd}}{T_A} \quad (5)$$

where K_A , T_A , and v_{ref} are the gain constant, time constant and reference voltage of the excitation system, respectively. v_t terminal voltage is as given below:

$$v_t = \sqrt{(v_d^2 + v_q^2)} \quad (6)$$

$$v_d = x_q \dot{i}_q \quad (7)$$

$$v_q = E'_q - x_d \dot{i}_d \quad (8)$$

where x_q is represented the q-axis reactance of the generator.

B. POWER SYSTEM STABILIZER (PSS)

The primary purpose of using PSS in a power system is to add damping to generator rotor oscillations utilizing an auxiliary stabilizing signal [37]. The IEEE Type-ST1 excitation system included PSS is given in Figure 1.

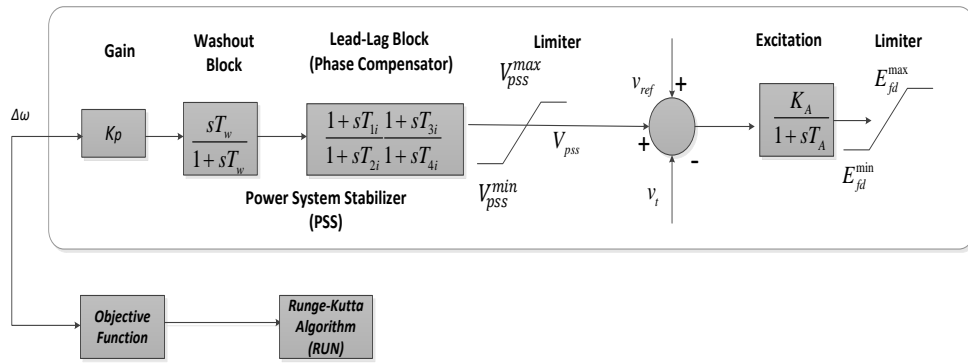


Figure 1. IEEE Type-St1 excitation system with PSS.

The transfer function of PSS with input signal $\Delta\omega$ and output v_{pss} is as follows:

$$v_{pss}(s) = K_p \frac{sT_w}{1 + sT_w} \left[\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \frac{1 + sT_3}{1 + sT_4} \right] \Delta\omega \quad (9)$$

The structure of the PSS comprises of a control gain K_p , a washing block with a time constant T_w , time constants T_1 , T_2 , T_3 , and T_4 , and the lead-lag block for phase compensation, and a limiter as shown in Figure 1. Here, the time constant T is usually in the range of 1-20 sec. The washing block with the high-pass filter is allow signals in the 0.2-2Hz range be passed unchanged. The phase lead-lag transfer function regulates the phase delay between PSS output and the electrical torque control.

C. LINEARIZED POWER SYSTEM MODEL

In design of PSS controller, the linearized incremental model is usually used for the nominal operating field. By linearizing the power system equations and adding the PSS equations, the state equation for the linearized power system model is as follows [3]:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{\delta} \\ \Delta \dot{\omega} \\ \Delta \dot{E}'_q \\ \Delta \dot{E}_{fd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_b & 0 & 0 \\ -\frac{K_i}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ \frac{K_A}{T'_{d0}} & 0 & -\frac{K_3}{T'_{d0}} & \frac{1}{T'_{d0}} \\ -\frac{K_A K_5}{T_A} & 0 & -\frac{K_A K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \omega \\ \Delta E'_q \\ \Delta E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} \Delta v_{pss} \quad (10)$$

According to this, the linearized model of the power system is as Eq.(11):

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (11)$$

Here, A and B are the state variables and input matrices, Δx and Δu are vectors of state variables and input matrices, respectively. In this study, $\Delta x = [\Delta \delta \ \Delta \omega \ \Delta E'_q \ \Delta E_{fd}]^T$ and Δu output signal of PSS. The primary objective in PSS design is to shift the eigenvalues of the A matrix to the left half of the complex plane. The eigenvalues are calculated from the A matrix.

$$\lambda_i = \sigma_i + j\omega_i \quad (12)$$

Here $i=1, 2, \dots, k$, and the k value represents the total number of eigenvalues. The eigenvalue (λ) consists of real (σ) and imaginary (ω) parts. Then, the damping ratio (δ_i) of the i 'th eigenvalue is defined by the Eq.(13):

$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (13)$$

Figure 2 describes the block diagram of the linearized power system using the Heffron-Phillips model. The expressions of the constants $K1-K6$ are given in [3].

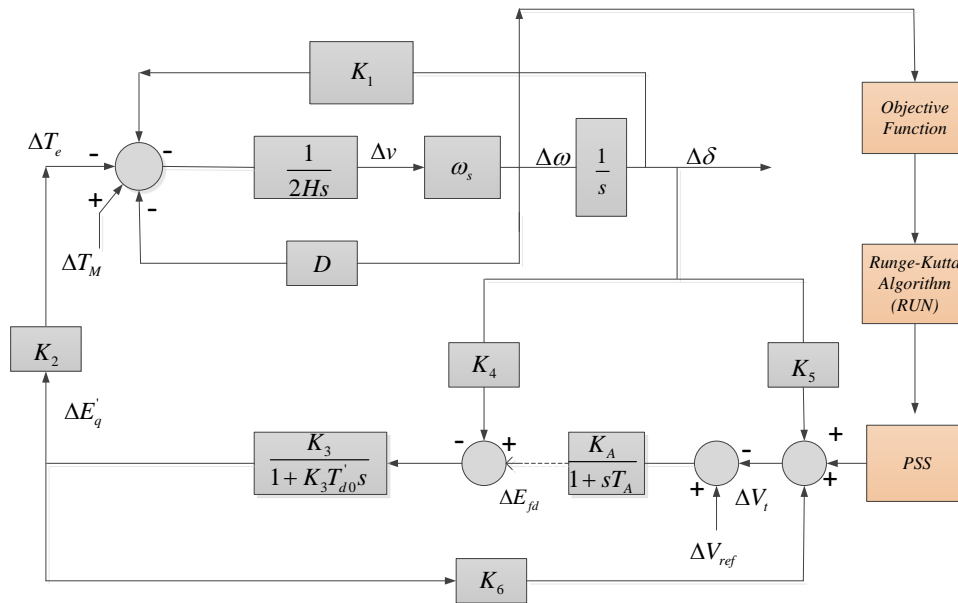


Figure 2. Heffron-Phillips model with RUN-PSS.

D. LINEARIZED POWER SYSTEM MODEL

The stability of a power system is determined by the eigenvalues of the linearized system. Eigenvalues with large negative real parts (σ) reduce the settling time of the system, and the system stabilizes faster. However, the maximum overshoot and oscillation values are determined from the damping ratios (ζ) of the system. Any increase in damping ratio causes the stability of the system to be improved. According to these two criteria, the objective function proposed in this study is considered as a combination of the damping ratio (ζ) and the real part of the eigenvalues (σ). The proposed eigenvalue-based objective function is as follows and it is desired to be minimum [36].

$$J_1 = \sum_{i=1}^k (\sigma_i - \sigma_0)^2 \text{ and } \sigma_i \leq \sigma_0 \text{ } (\sigma_0 = -1) \quad (14)$$

$$J_2 = \sum_{i=1}^k (\zeta_i - \zeta_0)^2 \text{ and } \zeta_i \geq \zeta_0 \text{ } (\zeta_0 = \%10) \quad (15)$$

$$J = J_1 + \alpha J_2 \text{ } (\alpha = 10) \quad (16)$$

Our objective in minimizing the J objective function is to shift the eigenvalues of the system to the left of the s -plane and increase the damping ratio. The domain of the objective functions J_1 , J_2 and $J=J_1+\alpha J_2$ is given in Figure 3. The expression J_1 in the objective function J controls the real part of the eigenvalues and generally shifts the system eigenvalues to the left of the imaginary axis in the region smaller than σ_0 . (Figure 3a). Similarly, the expression J_2 in the J objective function brings the damping ratio of the eigenvalues to the desired damping ratio (ζ_0) and controls the overshoot of the system (Figure 3b). As a result of the tests, it was deemed appropriate to choose the value of the α coefficient as 10 [2,36]. For the design problem, it is necessary to determine the boundaries of the PSS system parameters and these restrictions are as follows:

$$\begin{aligned} 0.1 &\leq K_p \leq 100 \\ 0.01 &\leq T_i \leq 1; \quad i=1,2,3,4 \end{aligned} \quad (17)$$

The proposed design approach tries to find the optimal PSS system parameters (K_p , T_1 , T_2 , T_3 and T_4) by minimizing the $J=J_1+\alpha J_2$ objective function in the optimization problem by using the RUN technique.

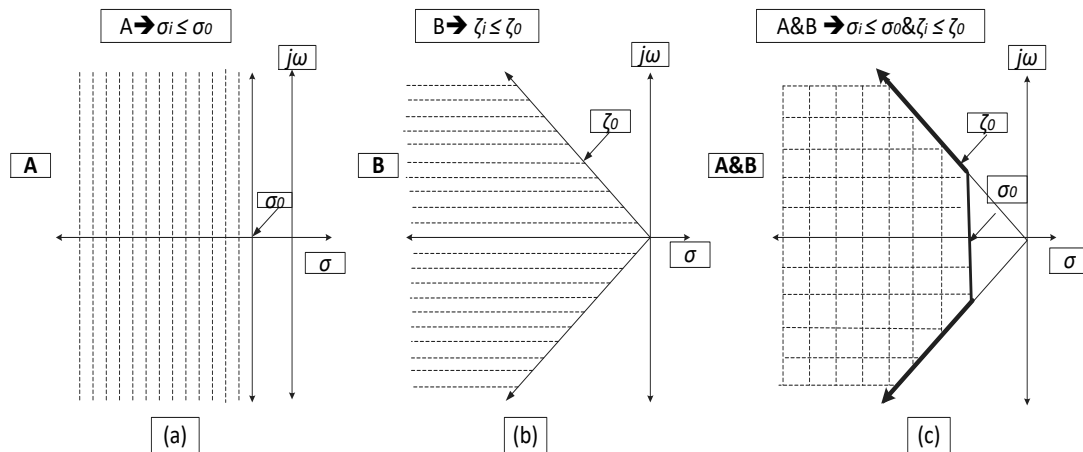


Figure 3. The domain of the objective functions

III. RUNGE KUTTA ALGORITHM

A. RUNGE KUTTA ALGORITHM (RUN)

A. 1. Inspiration of RUN

Runge Kutta Algorithm (RUN) is a novel swarm-based optimization algorithm developed by Ahmadianfar et al. in 2017 [35]. RUN is a population-based algorithm inspired by the Runge Kutta (RK) technique and describing the evolution of a group of agents. In RUN, the RK4 method is used to compute the slope and ordinary differential equations. In the proposed algorithm, with the slope calculated, efficient solution areas are explored in the search area, and a set of rules for the evolution of population members is created. The RUN consists of initialization, calculating the maximum or minimum fitness value, determining the minimum in three random individuals, exploring the search area, updating the parameter, and evaluating the fitness value. In RUN, N is the number of each member in the population, D is the problem size, and $MaxFES$ is the maximum iteration number [35].

A. 2. Initialization

Firstly, it is created an initial population in the RUN. In the population of N size, N positions are chosen randomly. Each member ($n=1,2,3, \dots, N$) is a solution for the optimization problem. In RUN, the starting positions are randomly calculated as follows [35]:

$$x_{n,l} = L_l + rand.(U_l - L_l) \quad (18)$$

where, U_l and L_l $l=(1,2, \dots, D)$ are the lower and upper limits, and $rand$ is a random value in the range $[0,1]$.

A. 3. Search Mechanism Root

In any optimization method, the exploration and exploitation models depend on the iteration mechanism. An efficient optimization method uses a set of random solutions in the search space to explore the area that yields the effective solution in the exploration mechanism [38]. According to these random solutions, a search mechanism is created with the RK4 method for global or local search.

In RUN, the coefficient k_1 has defined by the first-order derivative. According to the RK4 method, $x_n + \Delta x$ and $x_n - \Delta x$ are two neighboring positions of x_n . The positions $x_n + \Delta x$ and $x_n - \Delta x$ represent the best and worst positions, respectively, for a $y(x)$ minimization problem. The expression $x_n - \Delta x$ equals the best position x_b around x_n , while the expression $x_n + \Delta x$ equals the worst position x_w around x_n . Accordingly, k_1 is defined as [35]:

$$k_1 = \frac{x_w - x_b}{2\Delta x} \quad (19)$$

Here, the x_w (worst) and x_b (best) solutions are determined in each iteration from three individuals selected from among the population members (x_{r1}, x_{r2}, x_{r3}), and ($r1 \neq r2 \neq r3$). To improve exploring and create random behavior, Eq. (20) is expressed as:

$$k_1 = \frac{1}{2\Delta x} (rand \times x_w - u \times x_b) \quad (20)$$

$$u = \text{round}(1 + \text{rand}) \times (1 - \text{rand}) \quad (21)$$

Here, rand is a random value in the range [0,1]. In general, the best solution (x_b) plays a key role in exploring good solution areas and obtaining the global best solution. Therefore, in RUN, u parameters have increased the importance of the best solution (x_b). In Eq. (22), Δx is given as follows [35]:

$$\Delta x = 2 \times \text{rand} \times |\text{Stp}| \quad (22)$$

$$\text{Stp} = \text{rand} \times \left((x_b - \text{rand} \times x_{\text{avg}}) + \gamma \right) \quad (23)$$

$$\gamma = \text{rand} \times (x_n - \text{rand} \times (u - l)) \times \exp\left(-4 \times \frac{i}{\text{Maxi}}\right) \quad (24)$$

Here, Δx and Stp are the position increment and step size, respectively. The parameter γ is a scale factor and decreases exponentially in the optimization. x_{avg} is the average solutions in each iteration. With the rand value, the RUN method can find more diverse search areas, and the other three coefficients (k_2 , k_3 , and k_4) can be written, respectively, as:

$$k_2 = \frac{1}{2\Delta x} (\text{rand}(x_w + \text{rand}_1 k_1 \Delta x) - (ux_b + \text{rand}_2 k_1 \Delta x)) \quad (25)$$

$$k_3 = \frac{1}{2\Delta x} (\text{rand}(x_w + \text{rand}_1 \left(\frac{1}{2} k_2\right) \Delta x) - (ux_b + \text{rand}_2 \left(\frac{1}{2} k_2\right) \Delta x)) \quad (26)$$

$$k_4 = \frac{1}{2\Delta x} (\text{rand}(x_w + \text{rand}_1 k_3 \Delta x) - (ux_b + \text{rand}_2 k_3 \Delta x)) \quad (27)$$

Here, rand_1 and rand_2 are two random numbers in the range [0,1]. In RUN, x_w and x_b are calculated by the following expressions [35]:

$$\begin{aligned} & \text{if } f(x_n) < f(x_{bi}) \\ & \quad x_b = x_n \\ & \quad x_w = x_{bi} \\ & \text{else} \\ & \quad x_b = x_{bi} \\ & \quad x_w = x_n \\ & \text{end} \end{aligned} \quad (28)$$

where, x_{bi} is the best random solution chosen from among the (x_{r1} , x_{r2} , x_{r3}) and $f(x_n)$ is the fitness value of the current solution. According to Eq. (28), if the $f(x_n)$ is better than x_{bi} , the x_b (best) and x_w (worst) solutions are equal to x_n and x_{bi} , respectively. Otherwise, these expressions are equal to x_{bi} and x_n , respectively. The Search Mechanism (SM) is given in Eq. (29) [35]:

$$SM = \frac{1}{6} (x_{RK}) \Delta x \text{ and } x_{RK} = k_1 + 2 \times k_2 + 2 \times k_3 + k_4 \quad (29)$$

A. 4. Updating Solutions

In RUN, optimization starts with a group of random solutions, and these solutions are updated based on positions using the RK method [35].

$$\begin{aligned}
 & \text{if } rand < 0.5 \\
 & \quad (\text{exploration phase}) \\
 & x_{n+1} = (x_c) + SF \times SM + \mu \times x_s \\
 & \text{else} \\
 & \quad (\text{exploitation phase}) \\
 & x_{n+1} = (x_m) + SF \times SM + \mu \times x_s. \\
 & \text{end}
 \end{aligned} \tag{30}$$

where,

$$\mu = 0.5 + 0.1 \times randn \tag{31}$$

where, μ is a random value, and $randn$ is a random value using a normal distribution. The x_s and x_s' are given as:

$$x_s = randn(x_m - x_c) \text{ and } x_s' = randn(x_{r1} - x_{r2}) \tag{32}$$

The x_m and x_c are given as:

$$x_m = \varphi \times x_{best} + (1 - \varphi) \times x_{best} \text{ and } x_c = \varphi \times x_n + (1 - \varphi) \times x_{r1} \tag{33}$$

where, φ is a random value in the range of (0,1), x_{best} is the best solution, and x_{lbest} is the best position for each iteration. The adaptive factor (SF) that balances exploration and exploitation is given in Eq. (34):

$$SF = 2(0.5 - rand) \times f \tag{34}$$

$$f = a \times \exp\left(-b \times rand \times \left(\frac{i}{Maxi}\right)\right) \tag{35}$$

Here, a and b are the constant values, i and $Maxi$ are iteration and the maximum iteration numbers. Initially, a large SF value is set in the first iteration to improve exploration search; then, by increasing the iterations, the SF is decreased to improve the exploitation ability. According to Eq. (27), a case of $rand < 0.5$ means a global search in the solution space and a local search around the solution x_c , while $rand > 0.5$ means a local search around x_m . RUN can increase the convergence speed and providing effective solutions with this local search stage. Accordingly, Eq. (30) is restated in Eq. (36) to continue the local search around x_m and x_c and explore effective solution spaces:

if $rand < 0.5$

(exploration phase)

$$x_{n+1} = (x_c + r \times SF \times g \times x_c) + SF \times SM + \mu \times x_s$$

else

(exploitation phase)

$$x_{n+1} = (x_m + r \times SF \times g \times x_m) + SF \times SM + \mu \times x_s$$

end

(36)

where, r value can be 1 or -1, and it increases the variety by changing the search direction. g is a random value in the range of [0, 2]. According to Eq. (36), the smaller the number of iterations, the greater the local search.

A. 5. Enhanced Solution Quality (ESQ)

Enhanced Solution Quality (ESQ) is used in each iteration to improve solution quality and avoid local optima. With ESQ, each solution moves towards a better position calculating the mean of three random solutions, (x_{new1}) is created. The solution (x_{new2}) using ESQ is as follows [35]:

if $rand < 0.5$

if $w < 1$

$$x_{new2} = (x_{new1} + r.w. \cdot |x_{new1} - x_{avg}|) + randn$$

else

$$x_{new2} = (x_{new1} - x_{avg}) + r.w. \cdot |u.x_{new1} - x_{avg}| + randn$$

end

end

(36)

where,

$$w = rand(0,2) \exp\left(-c \left(\frac{i}{Maxi}\right)\right)$$

$$x_{avg} = \frac{x_{r1} + x_{r2} + x_{r3}}{3}$$

$$x_{new1} = \beta \times x_{avg} + (1 - \beta) \times x_{best}$$

(37)

Here, β is the random value in the range [0,1]. c is expressed as $5 \times rand$. w is a random value that is inversely proportional to the iteration increase. r is an integer that can only be 1, 0, or -1. x_{best} is the best solution. For $w < 1$ the x_{new2} solution tends to create exploitation search whereas in case of $w \geq 1$ x_{new2} tends to create exploration search. The u parameter is used to increase diversity. ESQ is used when $Rand < 0.5$ condition. If the x_{new2} does not have a better fitness value than the existing solution (i.e. $f(x_n) \geq f(x_{new2})$), a new x_{new3} solution is created:

if $rand < w$

$$x_{new3} = (x_{new2} - rand.x_{new2}) + SF(rand.x_{RK} + (v.x_b - x_{new2}))$$

end

(38)

where, v is expressed as $2 \times rand$ and it is show the importance of x_b . The new solution (x_{new3}) is used for the $rand < w$ condition is fulfilled. The purpose of Eq. (39) is go to the x_{new2} solution for a better

position. It should be noted that the x_b and x_w solutions for calculating x_{RK} are x_k and x_{new2} , because the fitness value of x_n is less than x_{new2} (i.e. $f(x_{new2}) > f(x_n)$). The pseudo code of RUN is given as:

The Pseudo-Code of RUN

```

Step 1. Initialization
Start  $a, b$ 
Create the population.  $x_n$  ( $n=1,2,3...N$ )
Compute the objective function for all agents.
Compute the  $x_w, x_b, x_{best}$  solutions.
Step 2. RUN Operations
  for  $i=1:Maxi$ 
    for  $n=1:N$ 
      for  $l=1:D$ 
        Compute the  $x_{n+1,l}$  position using Eq.(33).
      end for
      Application of the ESQ.
      if  $rand < 0.5$ 
        Calculate the  $x_{new2}$  position using Eq.(34).
        if  $f(x_n) < f(x_{new2})$ 
          if  $rand < w$ 
            Calculate the  $x_{new3}$  position using Eq.(36.)
          end
        end
      end
      Update the position of  $x_w$  and  $x_b$ .
    end for
    Update the position of  $x_{best}$ .
     $i=i+1$ 
  end
Step 3. Return  $x_{best}$ .

```

B. IMPLEMENTATION OF THE RUN TO THE PSS DESIGN PROBLEM

Step 1: Collect the system uncertainties such as test system, line, generator, bus data, and define the location and parameters of PSS, fault location and duration, etc.

Step 2: Solve Newton Raphson's load flow problem for the test system and obtain the active-reactive powers, voltage, admittance matrix, and all required system sizes for each generator.

Step 3: Initialize the generator, excitation system, and mechanical system magnitudes from the obtained values.

Step 4: Using Eq. (1) - (13), obtain the test system linearized model with the system variable matrix.

Step 5: Start the RUN parameters ($N, MaxFES$, etc.). Create the initial population and calculate the objective function for each member of the population.

Step6: Obtain the x_w, x_b, x_{best} solutions and calculate $x_{n+1,l}, x_{new2}$ and x_{new3} positions.

Step7: Update the $x_w,$ and $x_b,$ positions and accordingly update the x_{best} position.

Step8: Check parameter limitations for search agent positions and update the objective function if it violates.

Step 9: Check the $Maxi$ condition. If the $Maxi$ is violated, go to step 10, otherwise, go back to step 5.

Step 10: The best solution for parameter setting is obtained with RUN for the maximum iteration number.

IV. SIMULATION STUDY

In this study, a MATLAB m-file-based model is developed for PSS design with load flow analysis, small-signal stability analysis, and optimization problems. In addition, the results obtained were compared with PSO-based PSS (PSO-PSS), ABC-based PSS (ABC-PSS), and Hybrid-based PSS (HPA-PSS) [36] by analyzing the proposed RUN-based (RUN-PSS) method. The proposed RUN-PSS method has been tested in the WSCC 3-generator 9-bus system in Figure 4.

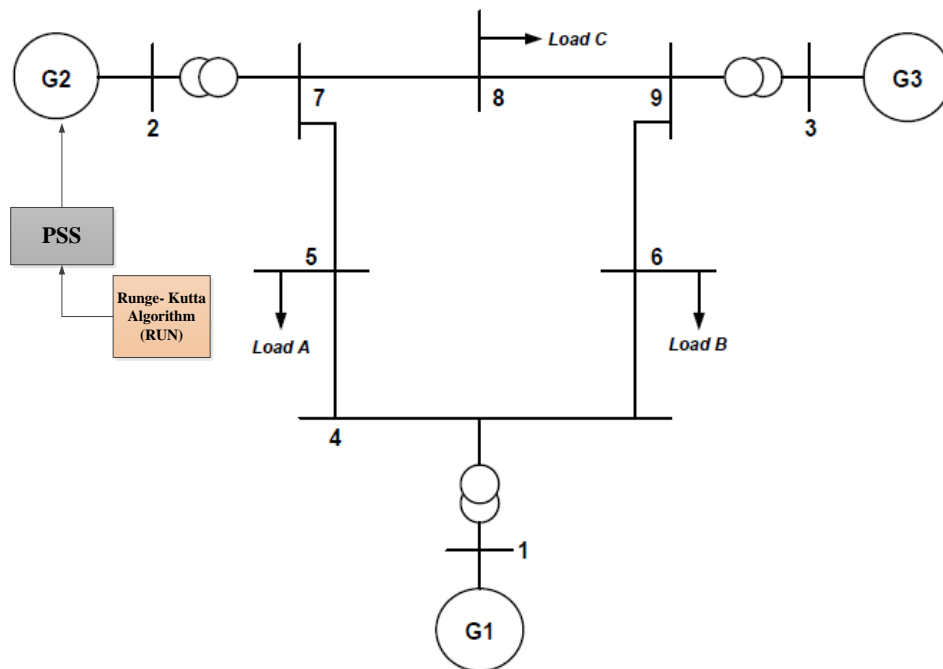


Figure 4. WSCC 3 machine- 9 bus test system

In the study, each generator is a fourth-order non-linear shown in the model. The optimum location of the PSS was determined using the participation factor method, and the PSS was placed in Generator 2 (G2) to dampen the local modes of oscillations. The load flow results, bus, line, generator, and excitation data of the power system are given in Table1-Table4 [36].

Table 1. WSCC 3 machine- 9 bus test system load flow results

Bus No	Type	Voltage	Angle (Degree)	$-P_L$	$-Q_L$	P_G	Q_G
1	Slack	1.0400	0	0	0	0.7164	0.2705
2	PV	1.0250	9.2800	0	0	1.6300	0.0665
3	PV	1.0250	4.6648	0	0	0.8500	-0.1086
4	PQ	1.0258	-2.2168	0	0	0	0
5	PQ	0.9956	-3.9888	1.2500	0.5000	0	0
6	PQ	1.0127	-3.6874	0.9000	0.3000	0	0
7	PQ	1.0258	3.7197	0	0	0	0
8	PQ	1.0159	0.7275	1.0000	0.3500	0	0
9	PQ	1.0324	1.9667	0	0	0	0

Table 2. WSCC 3-machine 9-bus test system line data.

Line No.	From Bus	To Bus	R	X	B	Tap
1	1	4	0	0.0576	0	1.0000
2	2	7	0	0.0625	0	1.0000
3	3	9	0	0.0586	0	1.0000
4	4	5	0.0100	0.0850	0.0880	1.0000
5	4	6	0.0170	0.0920	0.0790	1.0000
6	5	7	0.0320	0.1610	0.1530	1.0000
7	6	9	0.0390	0.1700	0.1790	1.0000
8	7	8	0.0085	0.0720	0.0745	1.0000
9	8	9	0.0119	0.1008	0.1045	1.0000

Table 3. WSCC 3-machine 9-bus test system generator data.

Gen. No	H	D	R _s	X _d	X' _d	X _q	X' _q	T' _{d0}	T'' _{d0}
1	23.6400	0	0	0.1460	0.0608	0.0969	0.0969	8.9600	0.3100
2	6.4000	0	0	0.8958	0.1198	0.8645	0.1969	6.0000	0.5350
3	3.0100	0	0	1.3125	0.1813	1.2578	0.2500	5.8900	0.6000

Table 4. WSCC 3-machine 9-bus test system excitation data

Gen No.	K _A	T _A	E _{fd} ^{max}	E _{fd} ^{min}
1	100	0.05	7.3	-7.3
2	100	0.05	7.3	-7.3
3	100	0.05	7.3	-7.3

In this paper, PSS was designed only for G2 in the test system, and therefore five parameters were optimized. The RUN algorithm was run in the MATLAB program using the power system linearized model to determine the optimal values of the PSS parameters. In addition, the RUN algorithm for parameter optimization of the stabilizer is compared with the PSO-PSS, ABC-PSS, and HPA-PSS to show the dynamic stability performance and superiority. The optimum PSS parameters are given in Table 5.

Table 5. Optimized PSS parameters

Method	K _p	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
PSO-PSS [36]	13.9341	0.1072	0.9604	0.7490	0.0100
ABC-PSS [36]	26.8082	0.3341	0.2663	0.2566	0.0100
HPA-PSS [36]	5.0788	0.6887	0.0148	0.5806	0.5632
RUN-PSS	5.0799	0.6000	0.0199	0.5800	0.5699

In this study, to show the effectiveness of the RUN, eigenvalue analysis is realized for the WSCC 3-machine 9-bus test system, and the eigenvalues and damping ratios obtained depending on the optimized PSS parameters using the RUN algorithm are given in Table 6. Here, only lightly damped oscillation modes are analyzed, as they are accountable for the oscillating behavior of the system. These eigenvalues moved away from the imaginary axis using RUN-PSS compared with other methods. In addition, when compared in terms of damping rates, it is seen that RUN-PSS generally gives more effective results compared to other methods. According to these results, it can be stated that RUN-PSS gives a more effective dynamic performance than others.

Table 6. Eigenvalues and damping ratios of electromechanical modes

Method	Eigenvalues	Damping ratios
Without PSS [36]	-0.3831±8846i	0.0485
	-1.3738±11.7499i	0.1161
PSO-PSS [36]	-2.1240±13.0167i	0.1610
	-1.7668±8.1986i	0.2107
ABC-PSS [36]	-2.4971±10.2878i	0.2359
	-2.1924±6.2926i	0.3290
HPA-PSS [36]	-3.1273±10.6730i	0.2812
	-2.2671±5.5054i	0.3808
RUN-PSS	-5.9335 + 18.864i	0.30005
	-2.433 + 5.9188i	0.38020

V. CONCLUSIONS

In this paper, a new optimization approach based on a RUN algorithm with balanced exploration and exploitation capability, inspired by Runge Kutta (RK4) technique, is presented to increase power system stability through optimal tuning of the PSS controller. In the design problem of PSS parameters, a multi-objective function based on eigenvalue and damping ratio was used to improve the small-signal stability performances of the power system. Then, the RUN technique was successfully applied to find the optimum parameters of the power system stabilizer. The performance of the proposed power system stabilizer (RUN-PSS) was tested in the WSCC 3-machine 9-bus power system by comparisons with PSO-PSS, ABC-PSS, and HPA-PSS methods. Given that the results achieved from the test system, it is noticed that the proposed RUN method is the most effective one among all tested methods for the system stability according to the criteria of both eigenvalue analysis and damping ratio. The implementation of the proposed algorithm to larger-scale power systems and the use of different controllers are within the scope of further work to be done in the future.

VI. REFERENCES

- [1] R. Devarapalli, B. Bhattacharyya and J.K. Saw, "Controller Parameter Tuning of A Single Machine Infinite Bus System with Static Synchronous Compensator Using Antlion Optimization Algorithm for The Power System Stability Improvement," *Advanced Control for Applications: Engineering and Industrial Systems*, vol. 2, no. 3, pp. e45, 2020.
- [2] P. Kundur, "Power system stability," *Power system stability and control*, Mc-Graw Hill, New York 1994.
- [3] D. Mondal, A. Chakrabarti and A. Sengupta, *Power system small signal stability analysis and control*, Academic Press, 2020.
- [4] R. Devarapalli and B. Bhattacharyya, "A hybrid modified grey wolf optimization-sine cosine algorithm-based power system stabilizer parameter tuning in a multimachine power system," *Optimal Control Applications and Methods*, vol. 41, no. 4, pp. 1143-1159, 2020.
- [5] F. Alias and M. Singh "Damping sensitivity analysis and optimized battery controller for small-signal stability enhancement in wind penetrated networks," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 26, no. 100441, 2021.

- [6] R.A. Ramos, A.C.P. Martins and N.G. Bretas, "An improved methodology for the design of power system damping controllers," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20 no. 4, pp. 1938–1945, 2005.
- [7] M.A Hannan, N.N. Islam, A. Mohamed, M.S.H. Lipu, P.J. Ker, M.M. Rashid and H. Shareef, "Artificial intelligent based damping controller optimization for the multi-machine power system: A Review," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 39574-39594, 2018.
- [8] F.P. Demello, and C. Concordia, "Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control," *IEEE Transactions on power apparatus and systems*, vol. 88, no. 4, pp. 316-329, 1969.
- [9] M.J. Gibbard, "Coordinated design of multimachine power system stabilisers based on damping torque concepts," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 135, no. 4, pp. 276.1988.
- [10] P. Kundur, M. Klein, G.J. Rogers and M.S. Zywno, "Application of power system stabilizers for enhancement of overall system stability," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 614–626, 1989.
- [11] Y.L. Abdel-Magid and M.A. Abido, "Optimal multiobjective design of robust power system stabilizers using genetic algorithms," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 18, no. 3, pp. 1125–1132, 2003.
- [12] R. Gupta, B. Bandyopadhyay and A.M. Kulkarnii, "Design of power system stabilizer for single machine system using robust fast output sampling feedback technique," *Electric Power Systems Research*, vol. 65, no. 3, pp. 247-257, 2003.
- [13]. I. Yazici and A. Özdemir, "Observer-based model following discrete sliding mode pss for single machine system," *European Transactions on Electrical Power*, vol. 22, no. 3, pp. 378-390,2012.
- [14] M. Aldeen, "Multimachine power system stabilizer design based on new LQR approach," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 142 ,no. 5, pp. 494,1995.
- [15] H.S. Ko, K.Y Lee and H.C. Kim, "An intelligent based LQR controller design to power system stabilization," *Electric Power Systems Research*, vol.71, no. 1, pp. 1-9, 2004.
- [16] T. Yang, "Applying H_{∞} optimization method to power system stabilizer design part 1: single-machine infinite-bus systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 19, no. 1, pp. 29-35, 1997.
- [17] S.F. Hardiansyah and J. Irisawa, " A robust H_{∞} power system stabilizer design using reduced-order models," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 21-28, 2006.
- [18] P. Hoang and K. Tomsovic K. "Design and analysis of an adaptive fuzzy power system stabilizer," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 11, no. 2, pp. 455-461,1996.
- [19] N. Ghadimi "A new hybrid algorithm based on optimal fuzzy controller in multimachine power system," *Complexity*, vol. 21, no. 1, pp.78-93, 2015.
- [20] M.A Abido "Pole placement technique for pss and tcsc-based stabilizer design using simulated annealing," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 22, no. 8, pp. 543-554, 2000.

- [21] P. Zhao, W. Yao, S. Wang, J. Wen and S. Cheng, “Decentralized nonlinear synergetic power system stabilizers design for power system stability enhancement,” *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 24, no. 9, pp. 1356-1368, 2014.
- [22] A. Ghosh, G. Ledwich, O.P. Malik, and G.S. Hope, “power system stabilizer based on adaptive control techniques,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-103, no.8, pp. 1983-1989, 1984.
- [23] G. Naresh, M.R. Raju, K. Ravindra and S.V.L. Narasimham, “Optimal design of multimachine power system stabilizer using genetic algorithm,” *Innovative Systems Design and Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 54–70, 2011.
- [24] H. Alkhatib and J. Duveau “Dynamic genetic algorithms for robust design of multimachine power system stabilizers,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 45, pp. 242–251, 2013.
- [25] MA. Abido, “Optimal design of power-system stabilizers using particle swarm optimization,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 17, no. 3, pp. 406-413, 2002.
- [26] H.E. Mostafa, M.A El-Sharkawy, A.A Emary and K. Yassin K, “Design and allocation of power system stabilizers using the particle swarm optimization technique for an interconnected power system,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* vol. 34, no. 1, pp. 57–65, 2012.
- [27] M.A. Abido, “A novel approach to conventional power system stabilizer design using tabu search,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 21 no. 6, pp. 443-454,1999.
- [28] E. Ali, “Optimization of power system stabilizers using bat search algorithm,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 61, pp. 683–690, 2014.
- [29] D. Sambariya and R. Prasad, “Robust tuning of power system stabilizer for small signal stability enhancement using metaheuristic bat algorithm,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* vol. 61, pp. 229–238, 2014.
- [30] S.A. Elazim and E. Ali, “Optimal power system stabilizers design via cuckoo search algorithm,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 75, pp. 99–107, 2016.
- [31] M. Mohammadi and N. Ghadimi, “Optimal location and optimized parameters for robust power system stabilizer using honeybee mating optimization,” *Complexity* vol. 21, no. 1, 242–258, 2015.
- [32] M. Singh, R.N. Patel and D.D Neema, “Robust tuning of excitation controller for stability enhancement using multi-objective metaheuristic firefly algorithm,” *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 2, no. 44, pp. 136-147, 2019.
- [33] B.Dasu. M.Sivakumar and R. Srinivasarao, “Interconnected multi-machine power system stabilizer design using whale optimization algorithm,” *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 4, no. 1(2), 2019.
- [34] A. Farah, T. Guesmi, H. Hadj Abdallah and A. Ouali, “A novel chaotic teaching–learning-based optimization algorithm for multi-machine power system stabilizers design problem,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 77, pp. 197–209, 2016.
- [35] I. Ahmadianfar, A.A. Heidari, A.H. Gandomi, X. Chu and H. Chen, “RUN beyond the metaphor: an efficient optimization algorithm based on runge kutta method,” *Expert Systems with Applications*, 115079, 2021.






- [36] S.Ekinci and B. Hekimoğlu, “ HPA algoritması ile çok makinalı güç sistemi kararlı kılıcısı tasarımı,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 32, s. 4, ss. 1271-1286, 2017.
- [37] P.W. Sauer, M.A. Pai, and J.H. Chow, *Power system dynamics and stability: with synchrophasor measurement and power system toolbox*, John Wiley & Sons, 2017.
- [38] S. Mirjalili, “ The ant lion optimizer” *Advances in Engineering Software*, vol. 83, pp. 80–98, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İnsansız Hava Aracı ile Görüntü İşleme ve Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Yangın Tespiti: Örnek Bir Uygulama¹

 Bekir AKSOY^{a,*},  Kaan KORUCU^a,  Önder ÇALIŞKAN^a,  Şaban OSMANBEY^a,  Helin Diyar HALİS^a

^a *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü*
* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bekiraksoy@isparta.edu.tr
DOI: 10.29130/dubited.1016195

ÖZ

Son yıllarda orman ve şehir yangınlarının artması tüm dünya için önemli bir sorun oluşturmaktadır. Ekolojik ve ekonomik açıdan büyük kayıplara sebep olan yangınlar, karbon döngüsünü bozarak orman dinamiklerine de ciddi zarar vermektedir. Bu doğrultuda yaşamın gerekliliği açısından önemli ekosistemlerden olan ormanların ve doğanın korunması önem arz etmektedir. Orman ve şehir yangınları ile mücadelede yangının erken tespiti büyük kayıpların önüne geçmektedir. Teknolojinin gelişimi ile birlikte yangınların erken tespit edilebilmesi amacıyla insansız hava araçları (İHA), yapay zekâ ve görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmaktadır. Çalışmada, yangının erken tespiti üzerinde duruldu ve yangının erken tespit edilebilmesi için insansız hava aracı tasarlandı. Çalışmada, görüntü işleme ve yapay zekâ tekniklerinden yararlanılarak görüntülerde ateş tespiti yapılmakta ve akabinde yangın tespit edilen konum belirlenmektedir. Çalışmada sonuç olarak kullanılan mimarinin karmaşıklık matrisine göre performansı değerlendirilerek, %96 doğruluk, %98 duyarlılık, %89 özgüllük ve %96 kesinlik değerleri bulunmuştur. Gerçekleştirilen çalışma sayesinde yangının erken tespiti sağlanacak ve hızlı müdahale gerçekleştirilecektir.

Anahtar Kelimeler: *İnsansız hava aracı, Yangın tespiti, Görüntü işleme, Yapay Zekâ*

Fire Detection Using Unmanned Aerial Vehicle Imaging Processing and Artificial Intelligence Techniques: A Sample Application

ABSTRACT

The increase in forest and city fires in recent years is an important problem for the whole world. Fires, which cause great ecological and economic losses, also cause serious damage to forest dynamics by disrupting the carbon cycle. In this direction, it is important to protect forests and nature, which are important ecosystems in terms of the necessity of life. In the fight against forest and city fires, early detection of fire prevents great losses. With the development of technology, unmanned aerial vehicles (UAV), artificial intelligence and image processing techniques are used in order to detect fires early. The study focused on the early detection of the fire and an unmanned aerial vehicle was designed to detect the fire early. In the study, fire detection is made in the images by using image processing and artificial intelligence techniques, and then the location where the fire is detected is determined. As a result, the performance of the architecture used in the study was evaluated according to the complexity matrix, and the values of 96% accuracy, 98% sensitivity, 89% specificity and 96% precision were found. Thanks to the work carried out, early detection of the fire will be ensured and rapid intervention will be carried out.

Keywords: *Unmanned aerial vehicle, Fire detection, Image processing, Artificial intelligence*

I. GİRİŞ

Ormanlar, yaşamın sürekliliği açısından önemli ekosistemlerdir. Geçtiğimiz yıllarda, doğal ya da insani sebepler ile yaşanan iklim değişikliği ve orman kayıpları, biyolojik çeşitlilik krizi ve ekosistem hizmetlerinin sağlamaması üzerine endişe oluşturmaktadır [1]. Orman yangınları, karbon döngüsünü bozarak orman dinamiklerine zarar vermektedir. Orman yangınları sonucu azalan orman alanları ise küresel ısınmanın ana nedenlerinden birisidir [2]. Ekolojik ve ekonomik açıdan büyük kayıplara sebep olan orman ve şehir yangınlarını en aza indirmek için yangınların sebeplerini anlamak ve takiben önlem almak gerekmektedir [3]. Yangının başladığı noktada ise, yangın belirli bir noktada başlayıp daha fazla alana yayılma eğiliminde olduğundan erken tespit edilerek müdahale edilmesi önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte, orman veya şehir yangınlarının erken tespit edilebilmesi için insansız hava araçları kullanılmaktadır.

Günümüzde insansız hava araçlarının kullanımı askeri alanda olduğu kadar günlük hayatta da artmıştır. İnsansız hava araçları, esnek kullanım alanı, hızlı ve yüksek manevra kabiliyeti, uydu görüntülerine göre küçük alanların izlenmesinde daha iyi çözünürlük sağlaması gibi avantajlara sahiptir. İnsansız hava araçları, fotoğrafçılık, tarım, gözetleme, taşımacılık gibi farklı birçok alanda kullanıldığı gibi yangın takip ve söndürme amacıyla da kullanılmaktadır. İnsansız hava araçlarının kullanım alanlarının genişlemesiyle birlikte ulaşılabilirliği artmıştır [4]. İnsansız hava araçlarının kullanımının artmasıyla insansız hava aracı ile entegre olarak görüntü işleme ve yapay zekâ uygulamaları sıklıkla kullanılmaktadır.

Yapay zekâ, bilgisayarların insan zekâsının öğrenme ve akıl yürütme gibi becerilerini modellemesine izin veren yazılımsal ve donanımsal sistemler bütünüdür. Yapay zekâ, karmaşık olan verileri çeşitli yöntemler ile analiz ederek daha anlaşılabilir olması için yorumlayan ve kazandığı tecrübeler doğrultusunda kendini geliştiren sistemlerdir [5]. Görüntü işleme, görüntüyü dijital forma dönüştürerek ve akabinde işleyerek görüntü üzerinden yararlı bilgileri çıkartmak için kullanılan bir yöntemdir [6]. Görüntü işleme, elektronik ortama aktarılan görüntü, görüntü ön işleme aşamasından geçmektedir. Görüntü ön işleme, performansı ve kaliteyi doğrudan etkilemektedir [7]. Görüntü ön işleme aşamasında parazit ve gürültü oranı azaltılarak görüntüyü iyileştirmeye yönelik farklı birçok teknik uygulanmaktadır [8]. Görüntü ön işleme aşamasında sıklıkla kullanılan tekniklerden biri filtreleme yöntemleridir. Filtreleme yöntemleri ile görüntüye verilen farklı efektler sayesinde fiziksel özellikler arasındaki ayrımın belirginleşmesi sağlanarak veya minimum düzeye getirilerek görüntü daha kolay yorumlanabilmektedir [9].

Görüntü işleme, medikal görüntülerin incelenmesi [10], bitki hastalıklarının tespiti [11], plaka tanıma sistemi [12] gibi farklı birçok alanda kullanılmaktadır. Görüntü işlemenin kullanıldığı önemli alanlardan birisi de insansız hava araçlarıyla entegre olarak yangın tespiti. İnsansız hava aracı ile görüntü işleme ve yapay zekânın yangın tespiti üzerine kullanıldığı akademik çalışmalar incelendiğinde;

Yuan ve ark. [13] çalışmalarında, insansız hava aracı ile yangın tespit ve takibi üzerine görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. İnsansız hava aracıyla iletilen görüntülerden yangının tespit edilebilmesi yangının renk hareket ve geometrisi ile sağlanmaktadır. Çalışmalarında görüntü işleme aşamaları olarak, medyan filtreleme, renk modeli dönüştürme, görüntü bölütleme ve morfolojik işlemlerden yararlanmışlardır. Görüntüdeki renk bilgisi yangının tespitinde ön işleme adımı olarak kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada farklı renk kanallarında örnek görüntüler incelenmiş sonuç olarak Lab renk modeli "a" kanalının daha iyi performans ortaya koyduğu ve deneysel sonuçlar ile önerilen yöntemin yangın piksellerini etkin bir şekilde çıkarabildiğini göstermişlerdir.

Yuan ve ark. [14] çalışmalarında, orman yangınının erken tespiti ve yangına hızlı müdahale edilmesi amacıyla görüntü işleme tabanlı insansız hava aracı kullanmışlardır. Çalışmalarında yangının renk ve hareket özelliklerine göre birlikte tespiti sağlanmıştır. Çalışmada yangının algılanması, Lucas-Kanade (LK) optik akış algoritması ve renk bazlı yangın algılama ile gerçekleştirilmiştir. LK, parlaklık tutarlılığı varsayımı ile renk tabanlı algılama ise ateş renginin kırmızı ve sarı arasındaki renk değer aralığı olduğu

benimsenerek gerçekleştirilmektedir. Çalışmalarında sonuç olarak, optik akış yöntemi ve renk tabanlı algılama ile hareket ve renk öznelikleri çıkartılmış ve geliştirdikleri yöntemin etkinliği kapalı bir ortamda test edilerek kanıtlanmıştır.

Sudhakar ve ark. [15] orman yangınlarındaki yanlış alarmları azaltmak için insansız hava aracı ile orman yangını algılama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında yangının algılanmasında hareket eden nesnelerin sebep olduğu yanlış alarmları azaltmak için optik akış sensöründen yararlanılmışlardır. Renk tabanlı algılama ile görsellerdeki potansiyel yangın alanı belirlenmekte ve doğrulama için harekete dayalı algoritma kullanılmışlardır. Yangının renk ve hareket bilgilerini birleştirerek yangının kesinliği sağlanmaktadır.

Lee ve ark. [16] çalışmalarında, orman yangının tespit edilebilmesi amacıyla evrişimli sinir ağları ile insansız hava aracını entegre olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında, havadan alınan yüksek çözünürlüklü görüntüler ile orman yangını algılayabilen bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde yangın olan 10985, yangın dışı 12068 görüntü kullanmışlardır. Çalışmalarında, AlexNet, GoogLeNet, VGG13, modifiye edilmiş GoogLeNet ve modifiye edilmiş VGG13 evrişimli sinir ağları değerlendirilerek, GoogLeNet ile %99 doğruluk oranıyla en yüksek doğruluk elde edildiği ortaya koyulmuştur.

Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yangınlar, insansız hava aracı, yapay zekâ ve görüntü işlemeden kısaca bahsedilerek, yangın tespiti üzerine gerçekleştirilen ilgili çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşamada ise tasarlanan insansız hava aracında kullanılan temel malzemeler ve yararlanılan görüntü işleme ve yapay zekâ yöntemleri açıklanmıştır. Üçüncü aşamada ise kullanılan modelin test veri setindeki doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve kesinlik performans değerlendirme ölçütleri tablo halinde verilmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde, insansız hava aracı ile görüntü işleme ve SqueezeNet mimarisinin yangın tespitinde kullanılmasının performans sonuçları verilmiştir. SqueezeNet mimarisinin insansız hava aracı ile yangın tespitinde %96,482 doğruluk değeri ile başarılı bir sonuç verdiği tespit edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Çalışmada, veri bilimciler ve makine öğrenimi uygulayıcı topluluğu olan açık erişim internet sitesi Kaggle'dan [17] alınan veri seti kullanılmıştır. Veri seti, 755 yangın içeren, 244 yangın içermeyen görüntüden oluşmaktadır. İHA ile yangın tespiti yapabilmek için Python programlama dili kullanılarak, yapay zekâ ve görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmıştır. Yangın tespitinde kullanılan teknikler aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

A.1. İnsansız Hava Aracı Tasarımında Kullanılan Temel Parçalar

Çalışmada iki motorun saat yönünde, iki motorun saat yönünün tersine hareket ettiği, dört kolu olan ve her birinin motor ve pervaneye bağlı olduğu dört rotorlu İHA tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan İHA'nın tasarımı için gerekli olan temel donanım aşağıda verilmiştir.

A.1.1. Gövde

İHA tasarımında ilk olarak gövdeden başlamak gerekmektedir. Gövde, tüm parçaların tutturulduğu bir çerçevedir. İHA'lar taşıyacakları ağırlığa göre ince ayarda çalışmaları için ve manevra kabiliyetini arttırmak amacıyla çerçeveleri genellikle hafif kompozit malzemelerden yapılmaktadır. Quadcopterler, x gövde, h gövde ve kolların 60 derece olduğu hibrit x gövde olmak üzere üç farklı gövde yapısına sahiptir. İhtiyaç duyulan büyüklüğe ve kullanılacak alana göre gövde yapısı seçilmektedir. Çalışmada

gövde olarak F450 Quadcopter Drone Frame kullanılmıştır. Kullanılan gövdenin özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Çerçevenin iki kırmızı, iki beyaz olmak üzere dört kolu bulunmaktadır.
- Çerçeve ağırlığı 282 g, motordan motora çapraz uzunluk 450 mm, kalkış ağırlığı 800 g – 1600g dir.
- ESC'lerin gövdeye lehimlenmesi için PCB şasesi bulunmaktadır.
- Uçuş kontrol sistemi için büyük bir montaj alanı sağlamaktadır.

A.1.2. Motor

Motorlar İHA'nın güç sistemine hakim olan ve pervaneleri döndürmeyi sağlayan parçalardır. İHA'da her kol için bir adet motor ve pervane kullanılmıştır. Motor seçimi İHA'nın ağırlığına göre seçilmektedir. Genellikle fırçasız motor seçilmektedir. Fırçasız motorlar diğer motorlara kıyasla daha yüksek verim ile daha güçlü, daha hızlı çalışmakta ve daha uzun süre çalışma avantajlarına sahiptir [18]. Çalışmada EMAX XA2212 1400KV fırçasız DC motor kullanılmıştır. Kullanılan motor, birden fazla rotor ve pervane ile çalışan İHA'lar için özel olarak tasarlanmıştır. Motorun kurulumu kolay olup çalışma sırasında daha az ısı üretmektedir. Kullanılan motorun teknik özellikleri aşağıda verilmiştir;

- 2-3S Lipo pillerle uyumlu
- Ağırlık: 50 g
- RPM / V : 1400KV
- Şaft: 3,17mm
- Volt: 2S~3S~4S (7.4V ~11.1V~ 14.8V)
- Güç: 205 W
- Max Akım: 21A
- ESC: 40A

A.1.3. Uçuş Kontrol Kartı

İHA'nın hareketi esnasındaki rüzgâr etkisi gibi öngörülmeleyen zorluklar veya motorun, pervanelerin arasındaki farklılıklar ile gövdenin her bir ucu farklı itiş kuvvetlerine maruz kalabilmektedir. Uçuşun güvenli ve verimli olması için güvenilir oto pilot sistemlere sahip olması gerekmektedir [19]. Uçuş kontrolörü, sistemin beyni olarak nitelendirilen, kullanıcının isteklerine göre İHA'nın kontrolünü sağlama, dengede kalma, batarya kontrolü gibi işlemleri gerçekleştiren birimdir. Uçuş kontrol kartı sensörlerden aldığı bilgileri işleyerek motora gerekli gücü vermekte ve istenilen yön ve hareketin yapılmasını sağlamaktadır. Uçuş kontrol kartlarında, jiroskop, ivmeölçer, barometre en çok kullanılan sensörler arasındadır. Kullanılan sensörler İHA'nın stabilizasyonu sağlamaktadır. Çalışmada uçuş kontrol kartı, Ardupilot APM 2.8 kullanılmıştır. Ardupilot APM 2.8'in teknik özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Arduino ile uyumlu
- Barometre, jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre içermekte
- GPS modülü ile kullanılabilir
- Boyut: 44x70x15mm
- Ağırlık: 29 g

A.1.4. Elektronik Hız Kontrolü

Elektronik hız kontrolü (ing. Electronic Speed Control, ESC), İHA'da fırçasız DC motorun çalıştırılması için gerekli olan, motorun hızını, rotasını kontrol eden bir elektronik devredir. ESC, uçuş kontrolünden aldığı sinyal doğrultusunda motorun hızını ve yönünü değiştirmektedir [20]. Her motor için bir adet ESC bulunmakta ve bir ucu motora diğer ucu uçuş kontrol kartına bağlanmaktadır. ESC'ler motorun performansı için önemli olduğundan dolayı seçimine dikkat etmek gerekmektedir. ESC'nin motora çekebileceği maksimum akımı verebilmesi için seçiminde akım değerine dikkat edilmeli ve daha yüksek

akım verebilen ECS seçilmektedir. Çalışmada kullanılan 30A fırçasız ESC opto teknik özellikleri aşağıdaki verilmiştir;

- Maksimum akım kapasitesi: 30A (Anlık 45A 10sn)
- Giriş voltaj aralığı: 7.4V-22V (2S-6S)
- Ölçüler: 30A-45 x 24 x 8mm
- Ağırlık: 23 g

A.1.5. Kumanda Sistemi

İHA'yı doğru ve kontrollü uçurabilmek için gerekli olan kumanda sistemi alıcı ve verici modüllerden oluşmaktadır. Doğru uçuşun gerçekleştirilmesi için kumanda en az dört kanallı seçilmelidir. Kumanda, İHA üzerindeki alıcı ile uyumlu radyo frekansında seçilmelidir. Verici modül yer istasyonunda bulunmakta ve verilen komutları radyo sinyaline çevirmektedir. Verici modül ile aynı radyo frekansında olan alıcı modül aldığı sinyali elektriksel güce çevirmektedir. Çalışmada kullanılan kumanda sistemi, 2.4 GHz, altı kanal desteğine sahip bir kumandadır. Tablo 1'de FlySky FS-CT6B kumanda vericisinin ve alıcısının teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Kumanda seti teknik özellikler

Flysky FS-CT6B Kumanda Vericisi	FS-R6BKumanda Alıcısı
RF Aralığı: 2.4055-2.475GHz	RF aralığı: 2.4055-2.475GHz
RF kanal: 140	RF kanal: 140
Bant Genişliği: 500KHz	Bant Genişliği: 500KHz
2.4GHz sistem: AFHDS	2.4GHz Sistem: AFHDS 2A
Modülasyon: GFSK	Modülasyon: GFSK
Düşük Voltaj Aralığı: <9V	Çalışma voltajı: 4.0-6.5V DC
Anten uzunluğu: 26mm	Anten uzunluğu: 26mm
Ağırlık: 511g	Ağırlık: 13g
Ölçüler: 189 x 97 x 295 mm	Ölçüler: 52 x 35 x 15mm

A.1.6. Batarya

İHA'larda kısa adı Li-Po olan lityum-polimer piller kullanılmaktadır. Bu piller, ağırlık ve boyutlarına oranla fazla enerji vermekte ve bitene kadar aynı akımı verdikleri için pil azaldığında da aynı performansı sürdürebilmektedir. Li-Po piller yüksek akım ve kapasiteye sahip tekrar şarj edilebilir bataryalardır. Li-Po pilin voltajı motorun özelliklerine göre ayarlanmaktadır. Li-Po pil 3.7 V gerilime sahiptir ve hücre sayıları arttıkça gerilim değeri 3.7'nin katı olarak artmaktadır. Genellikle tercih edilen 3 hücreli (3S) batarya, 3x3,7V dan 11,1V gerilime sahiptir. Li-Po pilin amperi seçilirken, kapasitelerini belirten "C" değerine dikkat edilmelidir. Li-Po pilin üzerindeki "C" değeri ile pilin amper değerinin çarpımı pilin sağladığı maksimum akım değeridir.

A.1.7. Diğer Parçalar

İHA'nın tasarımında kullanılan temel parçalar açıklanmıştır. Yangın tespitinde gerekli olan ve tasarıma eklenen yardımcı parçalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

Telemetri: Sistemin batarya durumu, hızı, yüksekliği, konumu gibi verileri aktaran, sistemin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesini sağlayan birimdir. Çalışmada, DR-015 433MHZ 3DR radyo telemetri seti kullanılmıştır.

GPS Sensörü: İHA'nın kontrolünde kullanılan, dünya üzerindeki konumunu hesaplayan ve belli bir rotayı takip edebilmesini sağlayan sensördür. Çalışmada Ublox Neo-M8N GPS modülü kullanılmıştır.

Kamera: İHA'nın uçtuğu bölgeyi görmek, uçuş sırasında çekim yapabilmek için kullanılmıştır. Çalışmada, Mista 1000TVL Mini 2.8mm FPV kamera kullanılmıştır.

A.2. Gaussian Filtreleme

Gaussian görüntüleri etkili yumuşatma için kullanılan bir filtreleme yöntemidir [21]. Gauss filtresi, gürültüleri ve ayrıntıyı azaltmayı sağlamaktadır. Gauss filtesinde pikselin yoğunluk değeri, bulunduğu bölgedeki piksel değerlerinin ortalaması ile değişebilmektedir. Grubun içindeki piksel değeri en önemli etkiyi sağlarken, uzak değerler daha düşük bir rol oynamaktadır [22]. Gauss dağılımı Eşitlik 1'de iki boyutlu düzlem için, Eşitlik 2'de üç boyutlu uzay için gösterilmektedir.

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$G(x, y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Formülde gösterilen σ dağılımın standart sapmasıdır. Gaussian filtrelemede iki boyutlu matematiksel ifade kullanılarak oluşturulan çekirdek matrisi görüntü üzerinde gezdirilmektedir. Gauss filtresi ne kadar geniş ise filtrenin kesme frekansı artmakta ve görüntü daha pürüzsüz olmaktadır. Gauss filtresi düşük frekanslara izin vermekte, daha yüksek frekansları engellemektedir. Keskin kenarlar piksel değeri değiştiğinden dolayı frekansı yüksek bölgelerden oluşmaktadır [23].

A.3. Eşikleme

Eşikleme, görüntü analizi uygulamalarında sıklıkla kullanılan, gri tonlamalı görüntü içindeki nesnelere arka plandan ayırmak için kullanılan bir yöntemdir [24]. Eşikleme yönteminde, görüntünün gri seviye dağılımlarını içeren histogramdan yararlanılmaktadır. Eşikleme tipine bağlı olarak pikseller belirli bir eşik değerine göre karşılaştırılmaktadır. Eşikleme yönteminin amacı, gri tonlamalı görüntüde ön planı arka plandan ayırmaktır. Piksel değerinin eşik değerinden yüksek olduğu durumda nesneye ait bir nokta olduğu, eşik değerinden düşük veya eşit olması durumunda bölge siyah kısım olarak kabul edilmekte ve arka plana ait bir nokta olduğu belirlenmektedir. İki seviyeli eşiklemenin matematiksel ifadesi Eşitlik 3'de verilmiştir. Tanımlamada T eşik değeri olup, 1 ile etiketlenen piksellerin nesneye ait olduğu, 0 ile etiketlenen piksellerin arka plana ait olduğu gösterilmektedir [25,26].

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T \\ 0 & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3)$$

A.4. SqueezeNet

SqueezeNet2016 yılında Iandola ve ark. tarafından [27] sunulan, evrimsel sinir ağları (CNN) içinde yer alan bir mimarıdır. SqueezeNet evrimsel ağı, 50 kat daha az parametre ile AlexNet'ten daha iyi performans göstermektedir. SqueezeNet mimarisi, beş farklı katmana sahip on beş katmandan oluşmaktadır [28]. SqueezeNet mimarisinde, daha verimli dağıtılmış katmanlar ile sinir ağındaki iş yükü azalmakta ve mimari daha hızlı çalışmaktadır. SqueezeNet mimarisiyle daha az parametre ile yüksek doğruluk elde edilmektedir [29].

A.5. Performans Değerlendirme Ölçütleri

Çalışmada modelin performansı karmaşıklık matrisi (confusion matrix) kullanılarak değerlendirilmiştir. Tablo 2’de karmaşıklık matrisi gösterilmektedir. Tablo 2’de gösterilen iki boyuta sahip karmaşıklık matrisi ile doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity) ve kesinlik (precision) değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 2. Karmaşıklık matrisi

		TAHMİN EDİLEN DEĞER		
		DOĞRU POZİTİF (True positive- TP)	YANLIŞ POZİTİF (Falsepositiv e-FP)	POZİTİF
GERÇEK DEĞER	POZİTİF			
	NEGATİF	YANLIŞ NEGATİF (Falsenega tive-FN)	DOĞRU NEGATİF (True negative- TN)	NEGATİF

Doğruluk, modelin başarısını göstermekte ve Eşitlik 3’te verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

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

Duyarlılık, modelin yangın olan görselleri tahmin etmedeki olasılığı göstermekte ve Eşitlik 4’te verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

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

Özgüllük, modelin yangın olmayan görüntüleri tahmin etmedeki olasılığını göstermekte ve Eşitlik 5’te verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (5)$$

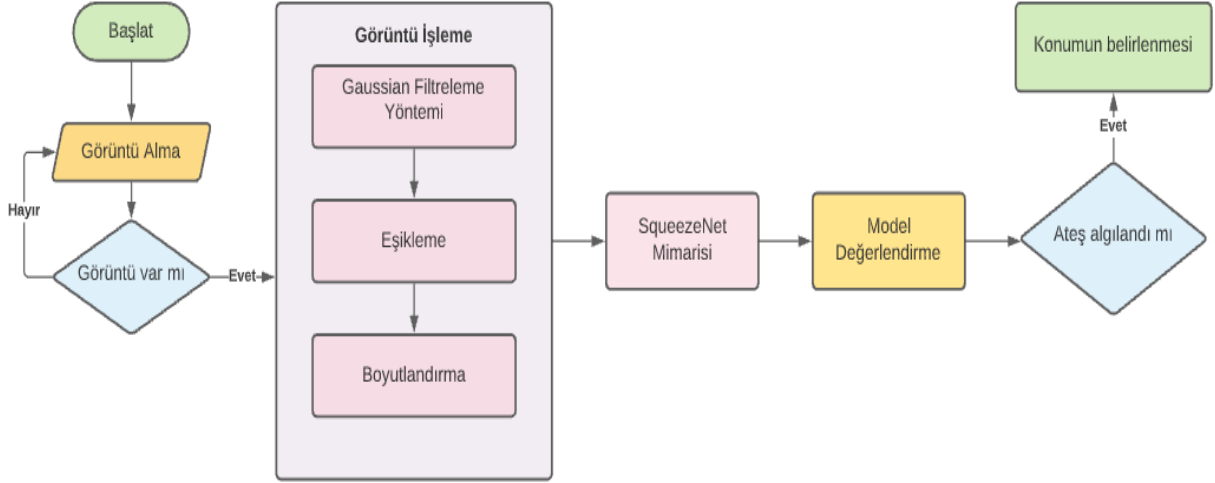
Kesinlik, modelin yangın olarak tahmin edilen görsellerin kaç tanesinin pozitif olduğunu göstermekte ve Eşitlik 6’da verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır [30].

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

B. METOT

Gerçekleştirilen çalışmanın iş akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir. Çalışmada açık kaynaklı internet sitesi Kaggle’da yer alan veri setinden yararlanılarak modelin eğitim ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri seti, 755 yangın içeren, 244 yangın içermeyen görüntüden oluşmaktadır. Veri setindeki görüntüler %80 eğitim, %20 test veri kümesi için ayrılmıştır. İlk aşamada görüntüler görüntü ön işleme aşamasından geçmektedir. Görüntüye sırasıyla gaussian filtreleme, eşikleme ve boyutlandırma işlemleri uygulanmıştır. Görüntü işleme yöntemleri uygulanan görüntüler SqueezeNet mimarisi ile eğitilmiştir. SqueezeNet mimarisi, daha küçük CNN mimarisi içermekte ve bu doğrultuda sağladığı avantajlar ile tercih edilmiştir. Modele ait hiper parametrelerin optimum değerleri belirlenmiştir. Öğrenme oranı optimize edilerek 0.005 olarak belirlenmiştir. Modelin epoch sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Eğitim

ardından modelin doğruluğu test edilmiştir. Modelin performansı karmaşıklık matrisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Karmaşıklık matrisi ile modelin doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve kesinlik değerleri hesaplanmıştır. İnsansız hava aracı ile görüntü aktarımı gerçekleştirilmiş ve sonrasında, görüntüde ateş algılandığında sistem “yangın var” olarak uyarı vermiştir. Yangın tespit edildiğinde GPS bilgisi ile yangının konumu belirlenmiştir. Belirlenen konum ve telemetri verileri bilgisayar ortamında anlamlı veriler halinde okunabilmesi adına string yazı tipine dönüştürülmüş ve bilgisayar ortamından konum, batarya gibi verilere ulaşılması sağlanmıştır. Böylelikle yangınların erken tespiti sayesinde daha büyük alanlara yayılmadan müdahale edilmesi daha hızlı bir şekilde gerçekleşecektir.



Şekil 1. İş akış diyagramı

III. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada, yangın tespiti yapmak üzere Python programlama dili kullanılarak yapay zekâ ve görüntü işlemeden yararlanılmıştır. Görüntüde ateşin tespit edilmesinde SqueezeNet modeli eğitim ve test için kullanılmıştır. Çalışmada görüntü işleme tekniklerinden; gaussian filtreleme, eşikleme ve boyutlandırma işlemleri kullanılmıştır. SqueezeNet modelinin test veri seti için karmaşıklık matrisi Şekil 2’de gösterilmiştir.

Yangın Var	151	5
Yangın Yok	2	41
	Yangın Var	Yangın Yok

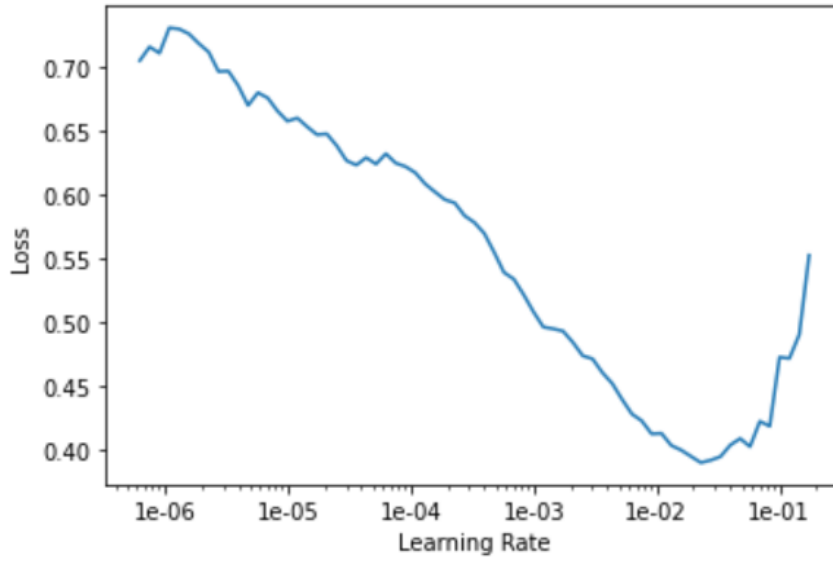
Şekil 2. SqueezeNet modeli karmaşıklık matrisi

SqueezeNet modelinin performans değerlendirme sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. SqueezeNet modeli performans değerlendirme sonuçları

Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Keskinlik
0,96482	0,98692	0,89130	0,96794

Çalışmada modelin optimizasyonu sırasında önemli hiper parametre olan öğrenme oranı (ing.learning rate), eğitimin ilerleme oranını belirlemektedir. Öğrenme oranı, çalışmada optimum olarak 0.005 olarak belirlenmiştir. Öğrenme oranının büyük olması durumunda minimuma ulaşamaz, küçük olması durumunda ise model yavaş öğrenmektedir. Öğrenme oranı modelin test aşamasını önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi öğrenme oranının optimum değer aralığı kayıptaki en keskin düşüş ile ilişkilidir.



Şekil 3. Öğrenme oranı değer aralığı

IV. SONUÇ

Çalışmada, yangın tespitinde kullanılmak üzere insansız hava aracı tasarlanmıştır. Tasarlanan insansız hava aracı ile görüntü işleme teknikleri ve yapay zekâ entegre olarak yangının tespit edilmesinde kullanılmıştır. Görüntülerde ateşin tespit edilmesinde CNN içerisinde yer alan SqueezeNet mimarisi ile eğitim ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Model performans değerlendirme ölçütü olan karmaşıklık matrisine göre değerlendirilmiştir. Model dört farklı performans değerlendirme ölçütüne göre değerlendirilerek elde edilen sonuçlar doğrultusunda, %96 doğruluk, %98 duyarlılık, %89 özgüllük ve %96 keskinlik değerleri bulunmuştur. Çalışmada sonuç olarak, yapay zekâ ile yangın tespitinde SqueezeNet mimarisinin başarılı olduğu ve kullanılan görüntü işleme teknikleri gaussian filtreleme ve eşikleme yöntemlerinin yangın olup olmadığını algılamada etkin olduğu görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda, farklı yapay zekâ mimarilerinin performansları kıyaslanarak, insansız hava aracı ile yangın tespitinde kıyaslanan farklı modeller arasında en başarılı modelin bulunması planlanmaktadır. Daha sonraki çalışmalarda, veri kümesi genişletilebilir, duman tespiti ile yangının erken tespiti sağlanabilir, duman tespiti için renk modelleri incelenebilir. Bu doğrultuda veri kümesi ve yapay zekâ mimarileri genişletilerek doğruluk oranı yükseltilebilir.

TEŞEKKÜR: Çalışmada kullanılan "FIRE-Dataset" açık kaynak verilerini internet sitesinde (Kaggle) kullanıma açan herkese teşekkürlerimizi sunarız.

V. KAYNAKLAR

- [1] J.E. Watson, T. Evans, O. Venter, B. Williams, A. Tulloch, C. Stewart, I. Thompson, J.C. Ray, K. Murray, A. Salazar, C. McAlpine, P. Potapov, J. Walston, J.G. Robinson, M. Painter, D. Wilkie, C. Filardi, W.F. Laurance, R.A. Houghton, S. Maxwell, H. Grantham, C. Samper, S. Wang, L. Laestadius, R.K. Runting, G.A. Silva-Chávez, J. Ervinand D. Lindenmayer, “The exceptional value of intact forest ecosystems,” *Nature Ecology&Evolution*, vol. 2, no. 4, pp. 599-610, 2018.
- [2] V. Sevinc, O. Kucuk and M. Goltas, “A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes,” *Forest Ecology and Management*, vol. 457, 2020.
- [3] G. Zhang, M. Wang and K. Liu, “Forest fire susceptibility modeling using a convolutional neural network for Yunnan province of China,” *International Journal of Disaster Risk Science*, vol. 10, no. 3, pp. 386-403, 2019.
- [4] D. Tezza and M. Andujar, “The state-of-the-art of human–drone interaction: A survey,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167438-167454, 2019.
- [5] A. Hosny, C. Parmar, J. Quackenbush, L. H. Schwartz and H. J. Aerts, “Artificial intelligence in radiology,” *Nature Reviews Cancer*, vol. 18, no. 8, pp. 500-510, 2018.
- [6] S. R. Balaji and S. Karthikeyan, “A survey on moving object tracking using image processing,” *IEEE 11th International Conference on Intelligent Systems and Control*, 2017, pp. 469-474.
- [7] X. Deng, Y. Ma and M. Dong, “A new adaptive filtering method for removing salt and pepper noise based on multilayered PCNN,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 79, pp. 8-17, 2016.
- [8] A. Mohan and S. Poobal, “Crack detection using image processing: A critical review and analysis,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 2, pp. 787-798, 2018.
- [9] H. Michalak, and K. Okarma, “Improvement of image binarization methods using image preprocessing with local entropy filtering for alpha numerical character recognition purposes,” *Entropy*, vol. 21, no. 6, 2019.
- [10] O. Özkaraca, Y. Dere, G. Çetin ve M. Peker, “A computer aided system for calculation of Ki-67 proliferation index,” *IEEE, In 2017 International Conference on Computer Science and Engineering*, 2017, pp. 580-585.
- [11] S. D. Khirade and A.B. Patil, “Plant disease detection using image processing,” *IEEE, In 2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation*, 2015, pp. 768-771.
- [12] O. Bingöl, ve Ö. Kuşçu, “Bilgisayar tabanlı araç plaka tanıma sistemi,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 1, s. 3, 2008.
- [13] C. Yuan, Z. Liu and Y. Zhang, “UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques,” *IEEE, In 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, 2015, pp. 639-643.
- [14] C. Yuan, K. A. Ghamry, Z. Liu and Y. Zhang, “Unmanned aerial vehicle based forest fire monitoring and detection using image processing technique,” *In 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference*, 2016, pp. 1870-1875.

- [15] S. Sudhakar, V. Vijayakumar, C.S. Kumar, V. Priya, L. Ravi and V. Subramaniaswamy, "Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based Forest Fire Detection and monitoring for reducing false alarms in forest-fires," *Computer Communications*, vol. 149, pp. 1-16, 2020.
- [16] W. Lee, S. Kim, Y.T. Lee, H.W. Lee and M. Choi, "Deep neural networks for wild fire detection with unmanned aerial vehicle," *In 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics*, 2017, pp. 252-253.
- [17] A. Said, (2021, Oct. 11), *Fire-Dataset*, [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/>.
- [18] X. Xu and Y. Deng, "UAV power component—DC brushless motor de-sign with merging adjacent disturbances and integrated-dispatching pigeon-inspired optimization," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 54, no. 8, pp. 1-7, 2018.
- [19] F. Santoso, M.A Garratt and S.G Anavatti, "State-of-the-art intelligent flight control systems in unmanned aerial vehicles," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 15, no. 2, pp. 613-627, 2017.
- [20] X. Xue, "Optimization of Electronic Speed Controller (ESC) Power Quality," Ph.D. dissertation, Dept. Electrical Engineering, San Diego State University, USA, 2019.
- [21] A. Kumar and S.S. Sodhi, "Comparative analysis of gaussian filter, median filter and denoise autoencoder," *IEEE, 7th International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, 2020, pp. 45-51.
- [22] Y. Li, M. Abdel-Monem, R. Gopalakrishnan, M. Berecibar, E. Nanini-Maury, N. Omar and J. Van Mierlo, "A quick on-line state of health estimation method for Liion battery with incremental capacity curves processed by Gaussian filter," *Journal of Power Sources*, vol. 373, pp. 40-53, 2018.
- [23] W. Dong, S. Xiao and Y. Li, "Hyperspectral pansharpening based on guided filter and Gaussian filter," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 53, pp. 171-179, 2018.
- [24] T. Y. Goh, S. N. Basah, H. Yazid, M. J. A. Safar and F. S. A Saad, "Performance analysis of image thresholding: Otsu technique," *Measurement*, vol. 114, pp. 298-307, 2018.
- [25] M. Abdel-Basset, V. Chang and R. Mohamed, "A novel equilibrium optimization algorithm for multi-thresholding image segmentation problems," *Neural Computing and Applications*, vol. 33, no. 17, pp. 10685-10718, 2021.
- [26] A. K. M. Khairuzzaman and S. Chaudhury, "Multilevel thresholding using grey wolf optimizer for image segmentation," *Expert Systems with Applications*, vol. 86, pp. 64-76, 2017.
- [27] F. N. Iandola, S. Han, M. W. Moskewicz, K. Ashraf, W. J. Dally and K. Keutzer, "SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size," 2016, arXiv:1602.07360.
- [28] F. Ucar and D. Korkmaz, "COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet based diagnosis of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images," *Medical Hypotheses*, vol. 140, 2020.
- [29] G. I. Sayed, M. M. Soliman and A. E. Hassanien, "A novel melanoma prediction model for imbalanced data using optimized SqueezeNet by bald eagle search optimization," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 136, 2021, Art. no. 104712.
- [30] A. Luque, A. Carrasco, A. Martín and A. Heras, "The impact of class imbalance in classification performance metrics based on the binary confusion matrix," *Pattern Recognition*, vol. 91, pp. 216-231, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Diyabet Hastalığının Erken Aşamada Tahmin Edilmesi İçin Makine Öğrenme Algoritmalarının Performanslarının Karşılaştırılması¹

 Kemal AKYOL^{a,*},  Abdulkadir KARACI^a

^a *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kakyol@kastamonu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1014508

ÖZ

Şeker hastalığı, kan şekerinde anormalliklere neden olan zararlı hastalıklardan biridir. Bu hastalığın erken teşhisi insan vücudunda oluşabilecek organ bozulmalarını engeller. Yapay zekâ tabanlı çalışmalar medikal alanda etkin bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Makine öğrenmesine dayalı bilgisayar destekli uzman sistemler bu hastalığın erken teşhisi için oldukça faydalıdır. Bu çalışmadaki şeker hastalığı problemi, klasik bir denetimli ikili sınıflandırma problemidir. Bu verisetinde 16 öznitelik bulunmakta olup, 200'ü negatif örnek ve 320'si pozitif örnek olmak üzere toplam 520 örnek içermektedir. Önışlemeden geçirilen veriseti üzerinde Rastgele Orman, Gradyan Arttırma, K-En Yakın Komşu, Derin Sinir Ağları ve son olarak da Oylama topluluk sınıflandırıcısı kullanılarak inşa edilen modellerin performansları dışarıda tutma ve 5-kat çapraz doğrulama senaryoları çerçevesinde analiz edilmiştir. Her iki senaryoda da, Oylama topluluğu sınıflandırıcısı, deneylerde en iyi performansı sundu. Buna göre, Oylama topluluğu sınıflandırıcısı, tutma tekniğiyle yapılan deneylerde %100'lük bir sınıflandırma doğruluğu ve 5 kat çapraz doğrulamalı deneylerde ortalama %97,31'lik bir sınıflandırma doğruluğu sundu. Sonuç olarak, Oylama topluluğu sınıflandırıcısı kullanılarak diyabeti gerçek zamanlı olarak erken teşhis eden bir uzman sistem tasarlanabilir.

Anahtar Kelimeler: *Şeker hastalığı, makine öğrenmesi, oylama topluluk sınıflandırıcısı*

Comparison of Performances of Machine Learning Algorithms for Predicting Diabetes Mellitus in Early Stage

ABSTRACT

Diabetes mellitus is one of the harmful diseases that cause abnormalities in blood sugar. Early diagnosis of this disease prevents organ deterioration that may occur in the human body. Artificial intelligence-based studies are carried out effectively in the medical field. Computer-aided expert systems based on machine learning are quite useful for the early detection of this disease. The diabetes mellitus problem in this study is a classical supervised binary classification problem. There are 16 attributes in this dataset also it includes a total of 520 samples, 200 of which are negative samples and 320 of which are positive samples. The performances of the models constructed using Random Forest, Gradient Boosting, K-Nearest Neighbour, Deep Neural Networks, and finally voting ensemble classifier are analyzed within the framework of hold-out and 5-fold cross-validation techniques on the dataset pre-processed. In both scenarios, the Voting ensemble classifier presented the best performance in experiments. Accordingly, the Voting ensemble classifier offered a classification accuracy of 100% in experiments with the hold out technique, and an average of 97.31% in experiments with 5-fold cross-validation. As a result, an expert system that early diagnoses diabetes in real-time can be designed by using the Voting ensemble classifier.

Keywords: *Diabetes mellitus, machine learning, voting ensemble classifier*

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 26/10/2021, Düzeltme: 25/11/2021, Kabul: 30/11/2021

I. GİRİŞ

Vücudun kan şekerini yapamadığı bir durum [1,2] olan şeker hastalığı hiperglisemi ile karakterize edilen ve tanımlanan bir grup metabolik bozukluk olarak ifade edilir [3]. Şeker hastalığı olarak bilinen diyabet, kandaki anormal derecede yüksek glikoz seviyeleri ile ilişkili kronik bir hastalıktır. Diyabet, yetersiz insülin üretimi ve hücrelerin insülinin etkisine karşı yetersiz duyarlılığı gibi iki nedenden birine bağlıdır [4]. Bu hastalık, susuzluk, poliüri, görme bulanıklığı ve kilo kaybı gibi karakteristik belirtiler gösterebilmektedir [3,5]. Tedaviye mümkün olan en kısa sürede başlamak ve kronik hiperglisemi ile ilişkili riski azaltmak için erken tanı gereklidir. Poliüri, polidipsi, polifaji, açıklanamayan kilo kaybı, enfeksiyon semptomları ortaya çıktığında tanı kolaylıkla konur [6]. Maniruzzanan ve arkadaşlarına göre şeker hastalığı sessiz bir katildir. Bu hastalığın ana nedeni, glikoz gibi aşırı miktarda metabolitlerin varlığıdır. Yazarlar, 2014 yılında tüm dünyada yaklaşık 387 milyon diyabetik insan olduğunu ifade etmiştir. Dahası, Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, bu rakamlar 2030 yılına kadar iki katından fazla olacaktır [7].

Tıbbi araştırmalar, diyabet patolojisinin son yıllarda durma eğiliminde olmadığını ve arttığını göstermiştir [8]. Dünya Sağlık Örgütü 1965 yılından bu yana şeker hastalığının sınıflandırılmasına ilişkin kılavuzları periyodik olarak güncellemekte ve yayınlamaktadır [9]. Diyabetin erken teşhisi, sağlıklı bir yaşam sağlamak için hayati önem taşımaktadır [10]. Diyabetin erkenden tespiti ve analizi, ölüm oranını bir dereceye kadar azaltabilir [11]. Kalıcı tedavisi olmayan bir hastalık olduğu için bu hastalığın erken teşhisi gereklidir [12]. Şeker hastalığında çeşitli faktörlerin rol oynaması ve insan hatasının olması bu hastalığın teşhisini karmaşık hale getirmektedir. Bir kan testi, hastalığın doğru teşhisi için yeterli bilgi sağlamaz [13]. Şeker hastalığının teşhisi, yönetimi ve diğer ilgili klinik yönetimleri açısından makine öğrenimi ve veri madenciliği yaklaşımlarına büyük ilgi duyulmaktadır [1].

Şeker hastalığı, kan şekerinde anormalliklere neden olan zararlı hastalıklardan biridir. Bu hastalığın erken teşhisi insan vücudunda oluşabilecek organ bozulmalarını engeller. Şeker hastalığının teşhisi, bir tıp doktoru tarafından manuel olarak veya otomatik bir cihazla yapılabilir. Ancak, genellikle diyabetin başlangıç aşamasındaki belirtiler o kadar düşüktür ki deneyimli bir doktor bile bunları tam olarak tanımlayamaz. Makine öğrenimi ve yapay zekâ alanındaki ilerlemeler sayesinde erken aşamada hastalık tespiti ve teşhisi manuel diyabet tanımaya kıyasla daha verimlidir [14–17]. Makine öğrenmesine dayalı bilgisayar destekli uzman sistemler bu hastalığın erken teşhisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın amacı, makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak diyabetin erken aşamada tanısını gerçekleştirmektir.

Literatürde makine öğrenimi ve yapay zekâ teknikleri aracılığıyla diyabeti otomatik algılama, teşhis ve kendi kendini yönetme konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Bala Manoj Kumar ve ark. [10] Pima diyabet veriseti üzerinde doğru tahmin için denetimsiz bir öğrenme yaklaşımı olan Derin Sinir Ağı (DSA) sınıflandırıcısı ve özellik seçimi için Ekstra Ağaçlar ve Rastgele Orman ile paketlenmiş Özellik Önem Modeli kullanmıştır. Model, %98.16 doğruluk ile diğer güncel yöntemlere kıyasla iyi performans elde etmiştir. Kumari ve ark. [1] Pima diyabet veriseti ve meme kanseri verisetinde hastalığın pozitif ve negatif olarak ikili sınıflandırması için yumuşak oylama sınıflandırıcılı Rastgele orman, lojistik regresyon ve Naive Bayes kullanmışlardır. Maniruzzaman ve ark. [7] diyabet hastalığının tespiti için Gauss süreç sınıflandırıcısının performansını makine öğrenmesinde iyi bilinen sınıflandırma teknikleriyle karşılaştırdılar. Gauss süreç sınıflandırıcısı tabanlı model diğerlerine kıyasla başarılı bir performans sunmuştur. Khaleel ve Al-Bakry [18], şeker hastalığının olup olmadığını tahmin etmek için Pima diyabet veriseti üzerinde Lojistik Regresyon, Naive Bayes ve K-En Yakın Komşu algoritmalarının performanslarını karşılaştırmış ve Lojistik Regresyon algoritmasının diyabeti tahmin etmede diğer algoritmalara kıyasla daha verimli olduğunu göstermişlerdir. Mercaldo ve ark. [8] diyabet teşhisine yardımcı olmak ve hızlandırmak için diyabetten etkilenen hastaları Dünya Sağlık Örgütü kriterleri çerçevesinde seçilmiş bir dizi özelliği kullanarak sınıflandırabilen bir yöntem önermişlerdir. Howsalya ve ark. [4] diyabet teşhisi için Farthest First kümeleme ve Sıralı Minimal Optimizasyon algoritmalarının

entegre edildiği bir yaklaşımı önermişlerdir. Yazarların önerdikleri çalışma, diyabetik ve diyabetik olmayan örnekler içeren Pima diyabet veriseti üzerinde oldukça başarılı bir performans sunmuştur. Prabha [19], diyabetin kolay tespitini sağlamak için bileklik fotoplektizmografi sinyaline ve temel fizyolojik parametrelere dayalı bir diyabet tespit sistemi önermiştir. Sistemi geliştirmek için diyabet, prediyabet ve normal koşullara sahip 217 katılımcıdan oluşan bir veriseti elde etmiştir. Mel frekans cepstral katsayılarının elde edildiği verisetindeki öznitelik boyutunu azaltmak için bir hibrit özellik seçim yöntemini kullanmıştır. Reddy ve ark. [11] diyabeti maksimum doğrulukla tahmin eden bir model tasarlamak için Pima diyabet veriseti üzerinde çeşitli makine öğrenme sınıflandırıcılarının performanslarını incelemişlerdir. Viloria ve ark. [13] Kolombiyalı hastalarda belirtilen faktörlere dayalı olarak diyabeti olmayan, diyabete yatkınlığı olan ve diyabetli olmak üzere Destek Vektör Makinesi kullanarak sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir. Zou ve ark. [20] Çin'in Luzhou kentindeki hastaneden elde edilen veriler üzerinde diyabeti tahmin etmek için Karar Ağacı, Rastgele Orman ve Sinir Ağı algoritmalarının performanslarını incelemişlerdir. Çalışmalarında sırasıyla boyut azaltma ve öznitelik seçimi yöntemleri olan temel bileşen analizi ve minimum fazlalık maksimum uygunluk düzeyi yöntemlerine kıyasla tüm özniteliklerin olduğu veriseti üzerinde en yüksek doğruluğu elde etmişlerdir. Lai ve ark. [21], 18 ile 90 yaşları arasındaki 13.309 Kanadalı hastanın en son kayıtlarının yanı sıra laboratuvar (yaş, cinsiyet, açlık kan şekeri, vücut kitle indeksi, yüksek yoğunluklu lipoprotein, trigliseritler, kan basıncı ve düşük yoğunluklu lipoprotein) verileri üzerinde oluşturdukları modellerin performanslarını incelemişlerdir. Buna göre, Gradyan Arttırma Makinesi ve Lojistik Regresyon modelleri Rastgele Orman ve Karar Ağacı ile oluşturulan modellere kıyasla daha başarılı olmuştur. Nahzat ve Yağanoğlu [22], en yüksek doğrulukla en iyi sınıflandırıcıyı bulmak için Pima diyabet veriseti üzerinde K-En Yakın Komşu, Rastgele Orman, Destek Vektör Makinesi, Yapay Sinir Ağı ve Karar Ağacı makine öğrenimi algoritmalarının performanslarını incelemişlerdir. Yazarları çalışmasına göre, diğer makine öğrenimi yöntemlerine kıyasla Rastgele Orman, diyabet tahmininde yüksek doğruluk sunmuştur. Khanam ve Foo Pima [12], diyabet veriseti üzerinde diyabet tahmini için çeşitli yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. İki gizli katmana sahip sinir ağıları en başarılı performansı sunmuştur. Sneha ve Gangil [23], diyabetin erken tespitinde yer alan özelliklerin seçimine odaklanmışlardır. Önemli özelliklerin tespiti ve makine öğrenimi ile klinik sonuçlara en yakın sonucu sunan en uygun sınıflandırıcıyı bulmayı amaçlamışlardır. Yazarların çalışmasına göre, Karar ağacı ve Rastgele Orman, sırasıyla %98.20 ve %98.00 ile en yüksek özgüllüğe sahiptir. Naive Bayes, %82.30 ile en iyi doğruluğu sunmuştur.

Görüldüğü üzere literatürde halka açık Pima diyabet veriseti üzerinde gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, diyabetin erken tanısı için hazırlanmış ve güncel olan halka açık diyabet hastalığı veriseti üzerinde sınıflandırıcı algoritmaların performansları ele alınmıştır. Diyabet verilerinin sınıflandırması için yürütülen deneysel çalışmalar, dışarıda tutma ve çapraz doğrulama tekniklerini kullanarak kapsamlı bir karşılaştırma ve yorumlama içermektedir.

Bu çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2, bu çalışmada kullanılan verisetini ve uygulanan metodolojiyi açıklar. Deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak Bölüm 3'te sunulur ve tartışılır. Son olarak, Bölüm 4'te elde edilen sonuçlar özet olarak sunulmuş ve ayrıca ileride yapılacak çalışmalara yer verilmiştir.

II. METOT

A. VERİSETİ

Çalışmada kullanılan veriseti Islam ve ark. [24] tarafından oluşturulmuştur ve UCI makine öğrenimi deposundan indirilebilir. Bu veriseti, Bangladeş, Sylhet'teki Sylhet Diyabet Hastanesinde 520 hastadan anket yoluyla elde edilen verileri içermektedir. Bu hastalardan 320'si pozitif, 200'ü ise negatiftir. Veriseti diyabetle ilgili semptomları içeren 16 öznitelikten oluşmaktadır. Yaş haricindeki tüm

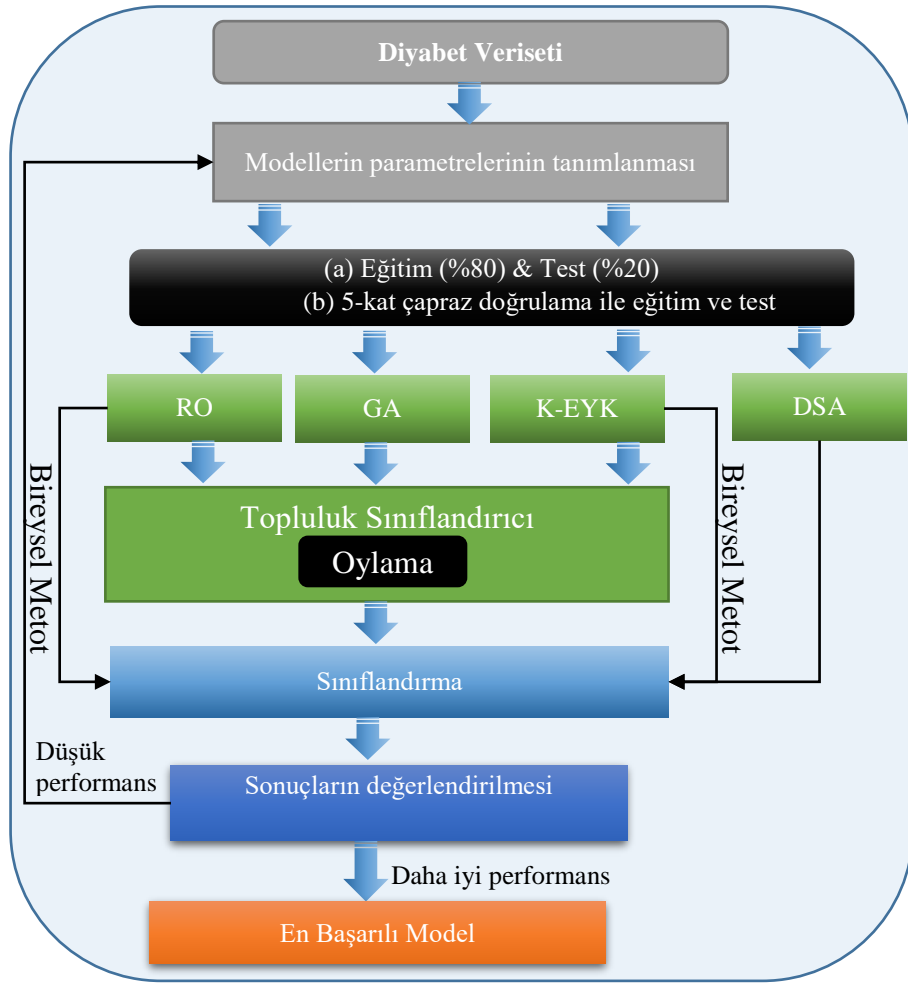
özniteliklerde Evet/Hayır gibi kategorik değerler bulunmaktadır. Bu öznitelikler Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Verisetindeki öznitelikler ve değer aralıkları

No	Öznitelik	Değer Aralığı
1	Yaş	[20-65]
2	Cinsiyet	Erkek, Kadın
3	Poliüri	Evet, Hayır
4	Polidipsi	Evet, Hayır
5	Ani kilo kaybı	Evet, Hayır
6	Zayıflık	Evet, Hayır
7	Polifaji	Evet, Hayır
8	Genital pamukçuk	Evet, Hayır
9	Görsel bulanıklık	Evet, Hayır.
10	Kaşınıtı	Evet, Hayır
11	Sinirlilik	Evet, Hayır
12	Gecikmeli iyileşme	Evet, Hayır
13	Kısmi parezi	Evet, Hayır
14	Kas sertliği	Evet, Hayır
15	Alopesi	Evet, Hayır
16	Obezite	Evet, Hayır

B. MODELLERİN İNŞASI

Diyabet hastalığını erken aşamada tahmin etmek için Rastgele Orman (RO), Gradyan Arttırma (GA), K-En Yakın Komşu (K-EYK) makine öğrenmesi algoritmaları ve ayrıca bunların oylama yaklaşımı ile birleştirildiği oylama topluluk sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, Derin Sinir Ağlarının performansı da çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Şekil 1, bu çalışmadaki modellerin inşası ve değerlendirilmesine ait akış şemasını göstermektedir. Öncelikle verisetindeki Evet/Hayır kategorik değerleri 0 ve 1 sayısal değerlerine dönüştürülmüştür. Ardından, her bir model için parametreler belirlenmiş ve bu parametrelere uygun olarak modeller oluşturularak eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test işlemi için veriseti dışarıda tutma ve 5-kat çapraz doğrulama yaklaşımları ile gerçekleştirilmiştir. Dışarıda tutma yaklaşımında veriseti %80 eğitim, %20 test verisi olarak rasgele bölünmüştür. 5-kat çapraz doğrulama yaklaşımında ise veriseti 5 parçaya bölünmüş ve her katta 4 parça eğitim bir parça ise test için kullanılmıştır. Modellere eğitim için verisetindeki 16 öznitelik giriş olarak verilmiş Pozitif (1) ve Negatif (0) şeklinde iki çıkış elde edilmiştir. Eğitim işleminden sonra test işlemi gerçekleştirilmiştir. Model performanslarını arttırmak için parametreler üzerinde ince ayar yapılması bilinen bir olgudur. Bu bakış açısıyla, bu çalışmada her test işleminden sonra mevcut modelin sınıflandırma performansı bir önceki modelin performansı ile karşılaştırılmıştır. Tekraren yeni parametre değerleriyle inşa edilen modeller ile yapılan deneme yanılma çalışmalarında en iyi performansa sahip model bilgisi saklanmıştır. Tablo 2, yapılan denemeler sonucunda en iyi performansın elde edildiği parametre değerlerini göstermektedir.



Şekil 1. Makine öğrenmesi modellerinin oluşturulması ve değerlendirilmesi için akış şeması

Tablo 2. Her bir model için en iyi performansı sunan parametrelerin bilgisi

Model	Parametreler
GA	n_estimators=100, learning_rate=0.02,max_depth=5
RO	n_estimators=4, random_state=55
K-EYK	n_neighbors=4
DSA	Optimizer Algorithm:Adamax, Learning Rate=0.002, beta_1=0.9, beta_2=0.999 Aktivasyon fonksiyonu: Relu Giriş katmanındaki nöron sayısı:16 Çıkış katmanındaki nöron sayısı:2 Gizli katman sayısı:5 Gizli katmanlardaki nöron sayıları:32,64,128,256,512 Epok:300 Kayıp Fonksiyonu: binary_crossentropy

Bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları kısaca aşağıda tanıtılmaktadır.

B. 1. Rastgele Orman (RO)

Doğruluğu artırmak için kullanılan bir topluluk sınıflandırıcısıdır. Tek bir ağaç kullanıldığında ortaya çıkan aşırı öğrenme diğer bir deyişle ezberleme probleminin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Rastgele orman birçok karar ağacından oluşur ve çeşitli sınıflandırma ve regresyon ağaçlarını bir araya

getirir. Diğer geleneksel sınıflandırma algoritmalarına kıyasla düşük sınıflandırma hatasına sahiptir [25,26].

B. 2. Gradyan Artırma (GA)

GA, regresyon ve sınıflandırma problemleri için kullanılan topluluk makine öğrenme yöntemlerinden biridir. GA'da verilere ağırlık atanır ve bir dizi zayıf öğrenicinin birleşiminden elde edilen verileri eğitmek için bir model oluşturulur. GA, yeni temel öğrenenler olarak ortaya çıkan zayıf öğrenenlerin bir kombinasyonundan eğitim verileri için yeni bir model oluşturmak için yineleme sayıları nedeniyle hala aşırı öğrenmeye sebep olabilir. Bu nedenle GA, ağaç sayısını ve öğrenme hızını tanımlayarak aşırı uyumun üstesinden gelebilir [27].

B. 3. K-En Yakın Komşu (K-EYK)

Örnek tabanlı öğrenmede temel olan bu yöntemde test örneğine en yakın k adet örneğin sınıf etiketlerinin ortalaması ile sınıflandırma işlemi yapılır [28]. K-EYK sınıflandırıcısı, bir girdinin etiketini öklid veya kosinüs mesafesi gibi bir mesafe metriğinde en yakın komşularını bularak ve komşuların etiketlerinden çoğunluk oya göre tahmin eden popüler parametrik olmayan bir sınıflandırıcıdır [29].

B. 4. Derin Sinir Ağı (DSA)

DSA, katman başına çok sayıda doğrusal olmayan nöron içeren çok sayıda sinir ağı katmanından oluşan yapay sinir ağlarıdır. DSA, yapı olarak sığ sinir ağına benzer ancak daha fazla gizli katmana ve daha belirgin hiyerarşi yapısına sahiptir. DSA, birçok önemli uygulamada alternatif makine öğrenimi yöntemlerinden daha iyi performans göstererek önemli ölçüde ilgi görmüştür [30,31].

B. 5. Topluluk Sınıflandırıcı

Topluluk öğrenme algoritmaları, tahmine dayalı analitik çalışmalarda en başarılı makine öğrenme algoritmalarından biridir [32]. Topluluk sınıflandırıcılar temel öğrenici denen birden fazla makine öğrenmesi algoritmasını bir araya getiren sınıflandırıcılardır. Bu yaklaşım, birden çok bireysel sınıflandırıcıyı birleştirerek yüksek doğrulukta topluluk sınıflandırıcıları oluşturmayı amaçlar [33]. Sınıflandırıcı çıktılarının birleştirilmesi, gruptaki en iyi sınıflandırıcıdan daha iyi bir sınıflandırma performansı elde edileceğini garanti etmez. Fakat topluluk sınıflandırıcının doğruluğu tüm bireysel sınıflandırıcıların ortalama doğruluğundan daha az değildir. Topluluk sınıflandırıcıların oluşturulmasında birçok birleştirme yaklaşımı vardır. Bu yaklaşımlardan çoğunluk oylama (Hard Voting) ve ağırlıklı çoğunluk oylama (Soft Voting) basit, yaygın ve etkilidir [34]. Çoğunluk oylama yaklaşımında en çok oyu alan sınıf seçilir. Bu yaklaşım Eşitlik 1'deki gibi tanımlanmaktadır [35].

$$\gamma = \max(\varphi(x_i)) \text{ Where } \varphi(x_i) = \sum_{k=1}^K f_k(x_i) \quad (1)$$

Ağırlıklı çoğunluk oylama yaklaşımında sınıflandırıcının ağırlığı Eşitlik 2'deki gibi hesaplanır. Bu eşitlikte, α_k her bir sınıflandırıcının bireysel doğruluğudur. Bu yöntemde, her sınıflandırıcı kararının ağırlıkları hesaplandıktan sonra, oylamada en yüksek puanı alan sınıf nihai sınıf tahminidir [36]. Bu çalışmada, ağırlıklı çoğunluk oylama yaklaşımı kullanılmıştır.

$$w_k = \log \frac{\alpha_k}{1-\alpha_k} \quad (2)$$

III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tüm modellerin hem dışarıda tutma hem de 5-kat çapraz doğrulama yaklaşımı ile elde edilen sınıflandırma performansları ortaya konulmuş ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Modellerin sınıflandırma performanslarının değerlendirilmesinde duyarlılık, özgüllük ve doğruluk metrikleri kullanılmıştır. Bu metrikler [37] sırasıyla Eşitlik 3 ve 5 arasında verilmiştir. Duyarlılık modellerin gerçek pozitifleri ne oranda doğru sınıflandırdığını, özgüllük ise gerçek negatifleri ne oranda doğru sınıflandırdığını ortaya koyar. Yani, duyarlılık gerçek pozitiflerin, özgüllük ise gerçek negatiflerin doğru sınıflandırma oranını vermektedir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (3)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (4)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (5)$$

Formüllerdeki parametreler şu şekilde tanımlanmaktadır:

DP: Doğru Pozitif, DN: Doğru Negatif, YP: Yanlış Pozitif, YN: Yanlış Negatif

Oylama topluluk, GA, RO, K-EYK ve DSA modellerinin dışarıda tutma ve 5-kat çapraz doğrulama ile elde edilen sınıflandırma performansları Tablo 3'te gösterilmektedir. Bu değerlere göre en yüksek sınıflandırma performansını hem dışarıda tutma hem de 5-kat çapraz doğrulamada Oylama topluluk sınıflandırıcı vermiştir. Dışarıda tutma tekniğinde hem pozitif hem de negatifleri %100 doğru sınıflandırırken, 5-kat çapraz doğrulamada pozitifleri %98.13 negatifleri ise %96 oranında doğru sınıflandırmıştır. İkinci en yüksek sınıflandırma performansı ise 5-kat çapraz doğrulamada RO, dışarıda tutma tekniğinde ise GA modeline aittir. Üçüncü en yüksek sınıflandırma performansı 5-kat çapraz doğrulamada GA modeline aitken, dışarıda tutma tekniğinde DSA modeline aittir. Burada en düşük performansı ise K-EYK modeli göstermiştir. Eğitim ve test setlerinde sınıflandırıcı algoritmaların performanslarının dengesiz olması makine öğrenmesinde aşırı öğrenme sorunu olarak bilinir. Bu çalışmadaki deneylerde test setlerinde K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı dışındaki tüm sınıflandırıcılardan elde edilen başarıların yüksek olması bu sınıflandırıcıların aşırı öğrenme göstermediğini ifade eder.

Tablo 3. Modellerin duyarlılık, özgüllük ve doğruluk değerleri

Modeller	Performans Sonuçları (%)					
	5-kat			Dışarıda Tutma		
	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Doğruluk (%)
Oylama Topluluk	98.13	96	97.31	100	100	100
Gradyan Artırma	95.94	94.50	95.38	100	96.97	99.04
Rastgele Orman	96.88	96	96.54	94.37	100	96.15
K-En Yakın Komşu	78.75	96.50	85.58	73.24	81.82	75.96
DSA	95.57	94.36	95.19	98.53	97.22	98.07

Şekil 2, en yüksek sınıflandırma performansı sağlayan Oylama topluluk modeli ile elde edilen karışıklık matrislerini göstermektedir. Bu matrislerden birincisi dışarıda tutma tekniği ile elde edilen sonucu içermekte iken ikincisi 5-kat çapraz doğrulama tekniği ile her bir katta elde edilen karışıklık matrislerinin üst üste bindirilmiş olan sonuç matrisine ait bilgileri içermektedir. Dışarıda tutma tekniğinde bu model test verisetindeki tüm pozitif ve negatif örnekleri doğru sınıflandırırken, 5-kat çapraz doğrulamada 200 negatif örneğin 192'sini, 320 pozitif örneğin ise 314'ünü doğru sınıflandırmıştır.

		Tahmin Değerleri				Tahmin Değerleri	
		Negatif	Pozitif			Negatif	Pozitif
Gerçek Değerler	Negatif	33	0	Gerçek Değerler	Negatif	192	8
	Pozitif	0	71		Pozitif	6	314
(a)				(b)			

Şekil 2. Oylama Topluluk modelinin karmaşıklık matrisi: (a) Dışarıda tutma yöntemi, (b) 5-kat çapraz doğrulama

Literatürde bu çalışmada kullanılan veriseti üzerinde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla karşılaştırılması önemlidir ve Tablo 4 bu karşılaştırmayı özetlemektedir. Bu çalışmalardan dışarıda tutma tekniğini uygulayan Kumar ve ark. [38] tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuç ile bu çalışmada sunulan sonucun aynı olduğu görülmektedir. Le ve ark.'nın [39] çalışmasına kıyasla bizim çalışmamızdaki Oylama topluluk sınıflandırıcısı tabanlı modelin daha başarılı olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, 10-fold çapraz doğrulamanın uygulandığı çalışmalardaki başarılar ile karşılaştırıldığında önerdiğimiz model %97.31 ile kabul edilebilir seviyede bir sınıflandırma doğruluğu sunmaktadır.

Tablo 4. Sonuçların önceki çalışmalarla karşılaştırılması

Çalışma	Yöntem	Veriseti Bölme Tekniği	Doğruluk (%)
Kumar ve ark. [38]	Gradyan Artırma Karar Ağacı (CatBoost)	Dışarıda tutma (-%80 eğitim, %20 test)	100
Le ve ark. [39]	Adaptif Parçacık Gri Kurt Optimizasyonu ve Çok Katmanlı Algılayıcı	Dışarıda tutma (-%80 eğitim, %20 test)	97
Al-Behadili ve Ku-Mahamud [40]	Açgözlü Tepe Tırmanması algoritması ile özellik seçimi ve Bulanık mantıkla sınıflandırma	10-kat çapraz doğrulama	97.692
Özer [41]	Uzun Kısa Dönem Bellek Ağların	10-kat çapraz doğrulama	98.65
Chaves [42]	Yapay Sinir Ağları	10-kat çapraz doğrulama	98.1
Bu çalışma	Oylama Topluluk Sınıflandırıcısı	Dışarıda tutma (-%80 eğitim, %20 test) 5-kat çapraz doğrulama	100.0 97.31

IV. SONUÇ

Kandaki anormal derecede yüksek glikoz seviyeleri ile ilişkili kronik bir hastalık olan diyabetin erken evrede tanısı sağlıklı bir yaşam sağlamak için hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmada bu hastalığın erken tanısı için Oylama topluluk sınıflandırıcısı, K-En Yakın Komşu, Gradyan Arttırma, Rastgele Orman ve Derin Sinir Ağlarına dayalı sınıflandırıcıların performansları ele alınmıştır. Buna göre, Oylama topluluk yaklaşımı %97.31 sınıflandırma doğruluğu ile diğer sınıflandırıcılara kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Modellerin performansını doğrulayan dışarıda tutma ve 5-kat çapraz

doğrulama tekniklerinin her ikisinde de Oylama topluluk sınıflandırıcısı, bireysel sınıflandırıcılardan daha yüksek sınıflandırma doğruluğuna sahiptir ve bu verisetindeki performansı oldukça yüksektir. Dışarıda tutma yöntemi ile yapılan deneylerde bu sınıflandırıcı test verisetindeki tüm pozitif ve negatif örnekleri doğru bir şekilde sınıflandırmıştır. 5-kat çapraz doğrulamada ise 200 negatif örnek içerisinde 8 tanesini, 320 pozitif örnek içerisinde sadece 6 tanesini yanlış sınıflandıran bu sınıflandırıcı yüksek doğru pozitif oranı ve düşük yanlış pozitif oranına sahiptir. En iyi performans sunan Oylama Topluluk sınıflandırıcısı tabanlı gerçek zamanlı çalışan bir uzman sistemin şeker hastalığının erken aşamada tespiti çalışmalarına destek vereceği düşünülmektedir. Bu hastalık için önemli özelliklerin tespiti ve optimizasyon algoritmaları tabanlı deneysel çalışmaların gelecek çalışma olarak yapılması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, kamuya açık olan şeker hastalığı veriseti için Islam ve ark. [24]'e teşekkür eder.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Kumari, D. Kumar, and M. Mittal, “An ensemble approach for classification and prediction of diabetes mellitus using soft voting classifier,” *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 2, pp. 40–46, 2021.
- [2] M. Alehegn and R. Joshi, “Analysis and prediction of diabetes diseases using machine learning algorithm: Ensemble approach,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, no.10, pp. 426-436, 2017.
- [3] A. Adler *et al.*, “Reprint of: Classification of Diabetes Mellitus,” *Diabetes Research and Clinical Practice*, vol. 0, no. 0, p. 108972, In Press, 2021.
- [4] R. D. Howsalya Devi, A. Bai, and N. Nagarajan, “A novel hybrid approach for diagnosing diabetes mellitus using farthest first and support vector machine algorithms,” *Obesity Medicine*, vol. 17, p. 100152, 2020.
- [5] P. Zimmet, K. G. M. M. Alberti, and J. Shaw, “Global and societal implications of the diabetes epidemic,” *Nature*, vol. 414, no. 6865, pp. 782–787, 2001.
- [6] J.M. Ekoe, “Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus,” *Encyclopedia of Endocrine Diseases (Second Edition)*, vol. 1, pp. 105–109, 2019.
- [7] M. Maniruzzaman *et al.*, “Comparative approaches for classification of diabetes mellitus data: Machine learning paradigm,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 152, pp. 23–34, 2017.
- [8] F. Mercaldo, V. Nardone, and A. Santone, “Diabetes Mellitus Affected Patients Classification and Diagnosis through Machine Learning Techniques,” *Procedia Computer Science*, vol. 112, pp. 2519–2528, 2017.
- [9] W. H. O. E. C. on Diabetes Mellitus and W. H. Organization, “Diabetes mellitus : report of a WHO Expert Committee [meeting held in Geneva from 24 to 30 November 1964].” World Health Organization, p. ger published by: Munich : Medizinische Poliklinik, 1965.
- [10] P. Bala Manoj Kumar, R. Srinivasa Perumal, R. K. Nadesh, K. Arivuselvan, “Type 2: Diabetes mellitus prediction using Deep Neural Networks classifier,” *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 1, pp. 55–61, 2020.

- [11] D. Jashwanth Reddy, B. Mounika, S. Sindhu, T. Pranayteja Reddy, N. Sagar Reddy, G. Jyothsna Sri, et al., "Predictive machine learning model for early detection and analysis of diabetes," *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [12] J. J. Khanam and S. Y. Foo, "A comparison of machine learning algorithms for diabetes prediction," *ICT Express*, In Press, 2021.
- [13] A. Viloría, Y. Herazo-Beltrán, D. Cabrera, and O. B. Pineda, "Diabetes Diagnostic Prediction Using Vector Support Machines," *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 376–381, Jan. 2020.
- [14] J. Chaki, S. Thillai Ganesh, S. K. Cidham, and S. Ananda Theertan, "Machine learning and artificial intelligence based Diabetes Mellitus detection and self-management: A systematic review," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, In Press, 2020.
- [15] N. Sharma and A. Singh, "Diabetes Detection and Prediction Using Machine Learning/IoT: A Survey,". In: Luhach A., Singh D., Hsiung PA., Hawari K., Lingras P., Singh P. (eds) *Advanced Informatics for Computing Research. Communications in Computer and Information Science*, vol 955. Springer, Singapore, pp 471-479, 2019.
- [16] S. Afzali and O. Yildiz, "An Effective Sample Preparation Method for Diabetes Prediction," *International Arab Journal of Information Technology*, vol. 15, no. 6, 2018.
- [17] N. Theera-Umpon, I. Poonkasem, S. Auephanwiriyakul, and D. Patikulsilá, "Hard exudate detection in retinal fundus images using supervised learning", *Neural Computing and Applications*, vol. 32, pp. 13079–13096, 2020.
- [18] F. Alaa Khaleel and A. M. Al-Bakry, "Diagnosis of diabetes using machine learning algorithms," *Materials Today: Proceedings*, In Press, 2021.
- [19] A. Prabha, J. Yadav, A. Rani, and V. Singh, "Design of intelligent diabetes mellitus detection system using hybrid feature selection based XGBoost classifier," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 136, pp. 104664, 2021.
- [20] Q. Zou, K. Qu, Y. Luo, D. Yin, Y. Ju, and H. Tang, "Predicting Diabetes Mellitus With Machine Learning Techniques," *Frontiers in Genetics*, vol. 9, Article 515, 2018.
- [21] H. Lai, H. Huang, K. Keshavjee, A. Guergachi, and X. Gao, "Predictive models for diabetes mellitus using machine learning techniques," *BMC Endocrine Disorders*, vol. 19, Article number: 101, pp. 1–9, Oct. 2019.
- [22] S. NAHZAT and M. YAĞANOĞLU, "Diabetes Prediction Using Machine Learning Classification Algorithms," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 24, no. 24, pp. 53–59, 2021.
- [23] N. Sneha and T. Gangil, "Analysis of diabetes mellitus for early prediction using optimal features selection," *Journal of Big Data*, vol. 6, Article number: 13, pp. 1–19, 2019.
- [24] M. M. F. Islam, R. Ferdousi, S. Rahman, and H. Y. Bushra, "Likelihood Prediction of Diabetes at Early Stage Using Data Mining Techniques," In: Gupta M., Konar D., Bhattacharyya S., Biswas S. (eds) *Computer Vision and Machine Intelligence in Medical Image Analysis. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 992. pp. 113–125, Springer, Singapore, 2020.
- [25] S. Georganos *et al.*, "Geographical random forests: a spatial extension of the random forest algorithm to address spatial heterogeneity in remote sensing and population modelling," *Geocarto*

International, vol. 36, no. 2, pp. 121–136, 2019.

[26] N. Farnaaz and M. A. Jabbar, “Random Forest Modeling for Network Intrusion Detection System,” *Procedia Computer Science*, vol. 89, pp. 213–217, 2016.

[27] N. Aziz, E. A. P. Akhir, I. A. Aziz, J. Jaafar, M. H. Hasan, and A. N. C. Abas, “A Study on Gradient Boosting Algorithms for Development of AI Monitoring and Prediction Systems,” *2020 International Conference on Computational Intelligence*, pp. 11–16, Oct. 2020.

[28] F. Bulut, “Obezite Riski Altındaki Çocukların Örnek Tabanlı Sınıflandırıcı Topluluklarıyla Tespiti,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 32, no. 1, pp. 65–76, 2017.

[29] C. Sitawarin and D. Wagner, “On the Robustness of Deep K-Nearest Neighbors,” *arXiv:1903.08333*, 2019.

[30] S. Feng, H. Zhou, and H. Dong, “Using deep neural network with small dataset to predict material defects,” *Materials & Design*, vol. 162, pp. 300–310, Jan. 2019.

[31] A. Karaci, “Predicting Breast Cancer with Deep Neural Networks,” In: Hemanth D., Kose U. (eds) *Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering Problems. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 43. pp. 996–1003, Springer, Cham, 2019.

[32] G. Bilgin, “Investigation of The Risk of Diabetes in Early Period using Machine Learning Algorithms,” *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 55–64, 2021.

[33] A. Karaci, O. Ozkaraca, E. Acar, and A. Demir, “Prediction of traumatic pathology by classifying thorax trauma using a hybrid method for emergency services,” *IET Signal Processing*, vol. 14, no. 10, pp. 754–764, 2020.

[34] C. Qi and X. Tang, “A hybrid ensemble method for improved prediction of slope stability,” *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 42, no. 15, pp. 1823–1839, 2018.

[35] O. Sagi and L. Rokach, “Ensemble learning: A survey,” *Wiley Interdisciplinary Reviews-Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 8, no. 4, pp. e1249, 2018.

[36] F. Moreno-Seco, J. M. Iñesta, P. J. P. de León, and L. Micó, “Comparison of Classifier Fusion Methods for Classification in Pattern Recognition Tasks,” In: Yeung DY., Kwok J.T., Fred A., Roli F., de Ridder D. (eds) *Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition. SSPR /SPR 2006. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4109. pp. 705–713, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.

[37] D.G. Altman , J.M. Bland, "Diagnostic tests. 1: Sensitivity and specificity," *BMJ* 1994;308:1552. <https://doi.org/10.1136/BMJ.308.6943.1552>.

[38] P. S. Kumar, K. Anisha Kumari, S. Mohapatra, B. Naik, J. Nayak, and M. Mishra, “CatBoost ensemble approach for diabetes risk prediction at early stages,” *2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology*, pp. 1-6, 2021.

[39] T. M. Le, T. M. Vo, T. N. Pham, and S. V. T. Dao, “A Novel Wrapper-Based Feature Selection for Early Diabetes Prediction Enhanced with a Metaheuristic,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 7869–7884, 2021.

[40] H. N. K. Al-Behadili and K. R. Ku-Mahamud, “Fuzzy Unordered Rule Using Greedy Hill

Climbing Feature Selection Method: An Application To Diabetes Classification,” *Journal of Information and Communication Technology*, vol. 20, no. 3, pp. 391–422, 2021.

[41] İ. Özer, “Uzun Kısa Dönem Bellek Ağlarını Kullanarak Erken Aşama Diyabet Tahmini,” *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol. 2, no. 2, pp. 50–57, 2020.

[42] L. Chaves and G. Marques, “Data Mining Techniques for Early Diagnosis of Diabetes: A Comparative Study,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 5, pp. 1–12, 2021.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Improved Runge Kutta Optimizer with Fitness Distance Balance-Based Guiding Mechanism for Global Optimization of High-Dimensional Problems¹

Enes CENGİZ^{a,*}, Cemal YILMAZ^b, Hamdi Tolga KAHRAMAN^c, Çağrı SUIÇMEZ^d

^a *Mechatronics Engineering, Technology Faculty, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, TURKEY*

^b *Mingachevir State University, Mingachevir, AZERBAIJAN*

^c *Software Engineering, Of Technology Faculty, Karadeniz Technical University, Trabzon, TURKEY*

^d *Electrical Electronics Engineering, Technology Faculty, Gazi University, Ankara, TURKEY*

* Corresponding author's e-mail address: enescengiz@aku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1014947

ABSTRACT

Runge Kutta (RUN) is an up-to-date and well-founded metaheuristic algorithm. The RUN algorithm aims to find the global best in solving problems by going beyond the traps of metaphors. For this purpose, enhanced solution quality mechanism is used to avoid local optimum solutions and increase the convergence speed. Although the RUN algorithm offers promising solutions, it is seen that this algorithm has shortcomings, especially in solving high dimensional multimodal problems. In this study, the solution candidates that guide the search process in the RUN algorithm are developed using the Fitness-Distance Balance (FDB) method. Thus, using the FDB-based RUN algorithm, the global optimum value of many optimization problems will be obtained in the future. CEC 2020 which has current benchmark problems was used to test the performance of the developed FDB-RUN algorithm. 10 different unconstrained benchmark problems taken from CEC 2020 were designed by arranging them in 30/50/100 dimensions. Experimental studies were carried out using the designed benchmark problems and analyzed with Friedman and Wilcoxon statistical test methods. According to the results of the analysis, it was seen that the FDB-RUN variations showed a superior performance compared to the base algorithm (RUN) in all experimental studies. In particular, it has been shown to provide more effective results for the continuous optimization of high-dimensional problems.

Keywords: *Meta-heuristic search, runge kutta algorithm, fitness-distance balance (FDB), benchmark problems*

Yüksek Boyutlu Problemlerin Global Optimizasyonu için Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Rehber Mekanizmasıyla Runge Kutta Optimize Edicinin İyileştirilmesi

Öz

Runge Kutta (RUN), güncel ve sağlam temellere sahip bir metasezgisel algoritmadır. RUN algoritması, metaforların tuzaklarının ötesine geçerek problemlerin çözümünde küresel en iyiyi bulmayı amaçlar. Bu amaçla, yerel optimum çözümlerden kaçınmak ve yakınsama hızını artırmak için geliştirilmiş çözüm kalitesi mekanizması kullanılmaktadır. RUN algoritması umut verici çözümler sunsa da bu algoritmanın özellikle yüksek boyutlu multimodal problemlerin çözümünde eksiklikleri olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, Uygunluk-Mesafe Dengesi (FDB) yöntemi kullanılarak RUN algoritmasında arama sürecine rehberlik eden çözüm adayları geliştirilmiştir. Böylece FDB tabanlı RUN algoritması kullanılarak gelecekte birçok optimizasyon probleminin global optimum değeri elde edilecektir. Geliştirilen FDB-RUN algoritmasının performansını test etmek için güncel benchmark sorunları olan CEC 2020 kullanılmıştır. CEC 2020'den alınan 10 farklı kısıtsız kıyaslama problemi 30/50/100

¹ This study was presented in ICAIAME 2021 and published as summary text.

boyutlarında düzenlenerek tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalar tasarlanan kıyaslama problemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Friedman ve Wilcoxon istatistiksel test yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre FDB-RUN varyasyonlarının tüm deneysel çalışmalarda temel algoritmaya (RUN) göre daha üstün bir performans gösterdiği görülmüştür. Özellikle yüksek boyutlu problemlerin sürekli optimizasyonu için daha etkili sonuçlar sağladığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meta-sezgisel arama, Runge Kutta algoritması, uygunluk-mesafe dengesi (FDB), kıyaslama problemleri

I. INTRODUCTION

Stochastic search and optimization algorithms use different ways to reach the best solution. These algorithms are divided into two as Heuristic and Meta-Heuristic Search (MHS). While heuristic algorithms are designed for the problem, MHS's are designed independently of the problem. Many MHS algorithms have been developed to solve optimization problems. When these problems are handled with MHS algorithms, they are optimized using a nature-based heuristic method. These algorithms do not promise to offer the best solution to the problem due to their stochastic nature. However, these approaches can produce near-optimal results [1,2].

In the literature, various optimization algorithms have been developed, inspired by many fields such as physics, biology, mathematics, music, swarm and social-based. These algorithms imitate the real-life behaviour of the source they are inspired by. For example, an important algorithm in the field of optimization was introduced to the literature with the Genetic Algorithm (GA) in the 1960s and 1970s [3]. In the GA approach, inspired by the theory of evolution, the survival of the genes of living things in population is simulated [4]. In the 1980s, the Simulated Annealing (SA) algorithm was developed by being influenced by the field of physics. This optimization algorithm was inspired by the annealing process of metals [5,6]. In addition, the Tabu Search algorithm, which enables the use of memory in MHS algorithms, has been proposed in these years. Thus, while the algorithm is running, the initial information is kept in memory and ensured that it is not repeated in the next steps of the optimization process [7]. The ant colony algorithm (ACO) was developed by taking advantage of the swarm intelligence of social ants in the 90s. This algorithm, which was about determining the shortest distance between two points when it was first developed, is very popular in swarm algorithms [8]. In addition, particle swarm optimization (PSO) was developed in the same years, inspired by swarm behaviour. This algorithm, which is a population-based optimization technique, was created based on the social behaviour of bird flocks [9,10]. In the early 2000s, the Harmony Search (HS) optimization algorithm was developed, inspired by the field of music. This algorithm is inspired by the harmonious playing of instruments so that the harmony of the sound while performing the music is pleasing to the listener [11]. Artificial Bee Colony (ABC) algorithm was developed in 2007 by modelling the foraging process of bees [12]. In 2009, Gravitational Search (GS) [13] and Cuckoo Search (CS) [14] algorithms were introduced to the literature.

As a result of the studies carried out in the field of MHS algorithms in the last decade, many new algorithms have been developed. The quality of MHS algorithms depends on the extent of their exploration and exploitation capabilities. Most researchers consider efficiency and effectiveness measures for the performance of the MHS algorithm. Efficiency measures refer to the quality of the solution and the speed of reaching this solution [15,16]. Effectiveness measures reveal the capacity of the stochastic algorithm with comparative statistical analyses to determine the importance of the local and global optimum results of the solutions obtained [17]. Experimental study criteria for the effective evaluation of the performance of competing algorithms for the solution of different types of optimization problems have been organized at the Congress on Evolutionary Computation (CEC) conferences held as international level [32]. The rules that MHS algorithms must comply with have been determined with

these regulations made in 2014. Thus, a fairer comparison environment has been prepared for evaluation with statistical analysis methods [34].

Currently, in the studies carried out in the field of MHS algorithms, it is seen that the shortcomings of the existing algorithms are mostly improved. The fact that the search process is very powerful while determining the global optimum value of complex problems keeps the performance of the algorithm high. Conversely, if the search process gets stuck on local minimum values, this algorithm does not give good results. There are many studies in the literature where the performance of the search process has been improved or redesigned [18-22]. Successful application of inspiration from nature should be involved in improving or redesigning MHS algorithms. The search process in MHS algorithms depends on exploration and exploitation. The effective realization of these search processes will ensure that the global optimum is found in the solution of the problems. The Fitness-Distance Balance (FDB) selection method has been developed to determine the vectors that guide the solution candidates in the search process life cycle in MHS algorithms [23]. Solution candidates that are thought to contribute more to the solution in order to improve the search process are determined with this developed method. Powerful hybrid metaheuristic search algorithms have been developed using the FDB selection method. A few of these are Fitness Distance Balance-based Adaptive Guided Differential Evolution (FDBAGDE) [24], Lévy flight and FDB-based coyote optimization algorithm (LRFDBCOA) [25], Fitness Distance Balance-based Symbiotic Organism Search (FDBSOS) [23] and Fitness Distance Balance-based Stochastic Fractal Search (FDBSFS) [26] Fitness Distance Balance-based Supply-Demand- Optimizer (FDBSDO) [27].

This paper is a scientific study on the improvement of the search process performance of Runge Kutta (RUN) [28], which is a current optimization algorithm, with the FDB method. The RUN algorithm, like other MHSs, aims to find the global best in solving optimization problems by going beyond the pitfalls of metaphors. For this purpose, "Enhanced Solution Quality Mechanism" is used in the RUN algorithm to avoid local optimum solutions and to increase the convergence speed [28]. Although the RUN algorithm offers promising solutions in optimization problems, it is seen that this algorithm has shortcomings, especially in the solution of multimodal problems. This problem is due to the fact that most MSH algorithms get caught in the local minimum traps and converge prematurely. In order to overcome this, it is aimed to carry out the search process of the RUN algorithm more effectively by using the FDB method, which was introduced to the literature by Kahraman et al [23]. Initially, the search process of the RUN algorithm was examined and analysed. Necessary studies have been carried out for the complete application of the FDB method. Many variations are presented by integrating the FDB method into the RUN algorithm. 10 test functions from the CEC 2020 comparison problems were used to compare the performance of the developed FDB-RUN algorithm variations with the basic algorithm (RUN). These problems are used in 30, 50 and 100 dimensions. After the experimental study, the results were compared using Wilcoxon and Friedman statistical analysis methods [29, 30]. The analysis results show that the FDB method makes a positive contribution to the search process performance of the RUN algorithm. Thus, the early convergence problem in the RUN algorithm has been eliminated to a significant extent by integrating the FDB method. The algorithm's exploration and exploitation capabilities have been improved. Therefore, a powerful FDB-RUN algorithm that can be used in solving different types of optimization problems has been brought to the literature.

The original contributions of this study to the literature can be listed as follows;

- Delivering effective results in high dimensions
- High performance in current comparison problems.
- A powerful and performance-enhanced RUN variant is proposed.

The rest of the article is designed as follows: In Chapter 2, the developed RUN algorithm and the applied FDB method were mentioned. In addition, developed cases are also shown in this section. The settings and comparison problems for the comparison of the developed cases and the base algorithm were explained in section 3. In Chapter 4, experimental study results and statistical analysis methods and comparison results were given in detail. In Chapter 5, the conclusion part was presented.

II. METHOD

MHS algorithms try to find global optimum values while solving a problem. These algorithms consist of certain stages in themselves. After the parameters of the optimization problems are determined, solution candidates are created and the fitness values of these solution candidates are calculated. Then, the search process lifecycle is run and the search process is started. In the last stage, the optimization process of the problem is completed after the necessary condition in the termination criterion is met. The flow chart of MHS algorithms is given in Figure 1 [33].

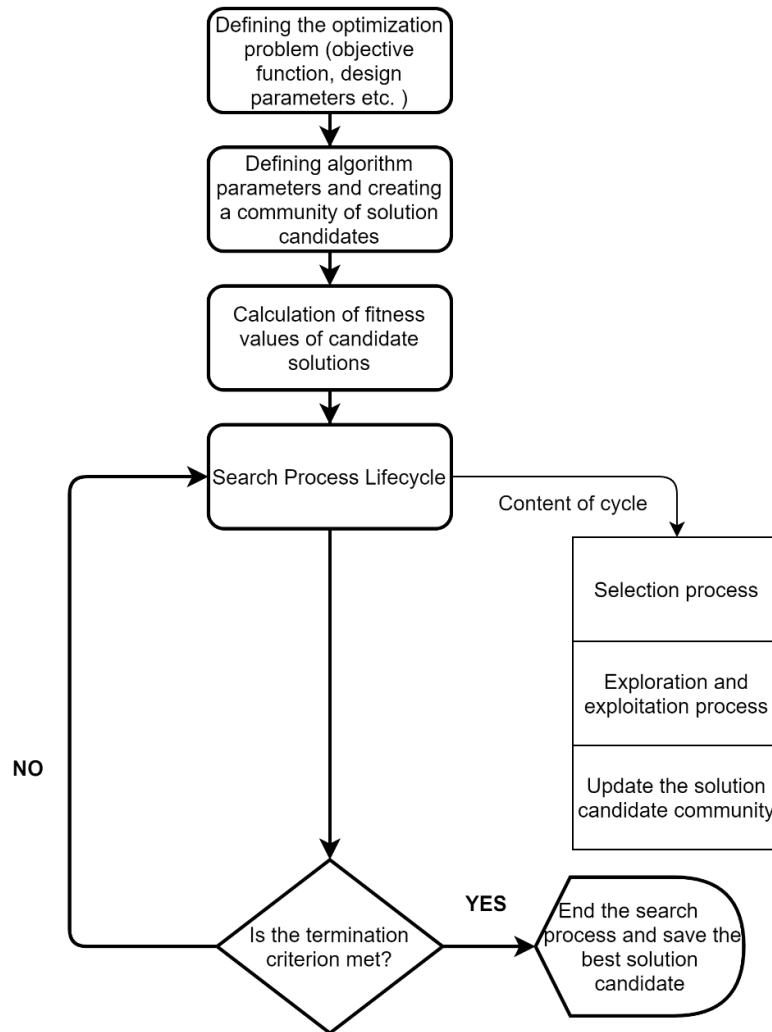


Figure 1. General flow chart of MSH algorithms [33]

The part before the Search process lifecycle stage in Figure 1 is common in MHS algorithms. The difference which is seen in the solution of problems in MHS algorithms occurs with the stage specified by Search process lifecycle. In short, the performance of algorithms mostly depends on the operations in this step.

Solution candidates are selected from this population since MHS algorithms are population-based. The first step in the search process is the selection of candidates who will guide this process. In the literature, there are different methods for selecting solution candidates from the population. The first of these are to determine the solution candidates randomly from the population. The second method is the selection of guides using the greedy solution selection method, taking into account the fitness values of the initial candidates [23, 26]. Another method is the selection of solution candidates using the probabilistic method known as roulette wheel and double tournament, again taking into account the fitness functions

[31]. Probability values are assigned proportionally according to the fitness function determined from the objective function of the candidates in the probabilistic solution method. The roulette wheel is arranged according to these probability values and the randomly chosen part belongs to whichever candidate is chosen. The largest fitness value of two randomly selected candidates from the population is selected in the double tournament.

A. RUNGE-KUTTA METHOD

Bringing a new optimization algorithm to the literature is a very difficult process. Maintaining the balance between exploration and exploitation is one of the factors that affect the performance of optimization algorithms. In 2021, the Runge Kutta (RUN) optimization algorithm based on the Runge Kutta method was developed [28]. The RUN algorithm has been created in two structures to solve the problems with high performance. The first one is based on the Runge Kutta method to effectively complete the search process. Secondly, Enhanced Solution Quality (ESQ) structure is used to increase the solution quality. The RUN algorithm performs the process of updating the population in three different stages in the search process life cycle. Thus, the population of x_n is updated as x_{n+1} , x_{new2} and x_{new3} . In the equations 1, 2 and 3 below, the generation of x_{n+1} , x_{new2} and x_{new3} populations is given, respectively [28].

$$\begin{aligned} &\mathbf{if} \text{ rand} < 0.5 \\ &\quad (\text{exploration phase}) \\ &\quad x_{n+1} = x_c + r \times SF \times g \times x_c + SF \times SM + \mu \times x_s \\ &\quad \mathbf{else} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &\quad (\text{exploitation phase}) \\ &\quad x_{n+1} = x_m + r \times SF \times g \times x_c + SF \times SM + \mu \times x_s, \\ &\mathbf{end} \\ &x_s = \text{randn}(x_m - x_c) \end{aligned} \tag{2}$$

$$x_s' = \text{randn}(x_{r2} - x_{r1}) \tag{3}$$

$$x_m = \varphi \times x_n + (1 - \varphi) \times x_{r1} \tag{4}$$

$$x_c = \varphi \times x_{\text{best}} + (1 - \varphi) \times x_{\text{lbest}} \tag{5}$$

Here φ is a random number in the range (0,1). x_{best} represents the best solution in the population. x_{lbest} is the best position achieved at each iteration. In Equation 1, the r value is the parameter that takes the value of -1 or 1. The variable g can take values from 0 to 2. As the number of iterations increases, the local search around x_c decreases. x_{n+1} shows the RUN search mechanism in the next iteration [28].

$$SF = 2 \times (0.5 - \text{rand}) \times f \tag{6}$$

$$f = a \times \exp(-b \cdot \text{rand} \times \frac{i}{\text{Maxi}}) \tag{7}$$

$$\mu = 0.5 + 0.1 \times \text{randn} \tag{8}$$

Here b and c are constants. i and Maxi are the number of iterations and the maximum number of iterations, respectively. SF has been used to strike a balance between exploration and exploitation [28].

$$SM = 1/6 \times (x_{RK}) \times \Delta x \tag{9}$$

$$x_{RK} = k1 + 2 \times k2 + 2 \times k3 + k4 \tag{10}$$

$$k1 = \frac{1}{2\Delta x} \times (\text{rand} \times w - u \times xb) \tag{11}$$

$$u = \text{round}((1 + \text{rand}) \times (1 - \text{rand})) \tag{12}$$

Here rand takes a value between 0 and 1. In the search process, the random parameter u is used to improve the best solution [28].

$$\Delta x = 2 \times \text{rand} \times |Stp| \tag{13}$$

$$Stp = \text{rand} \times ((xb - \text{rand} \times x_{\text{avg}}) + \gamma) \tag{14}$$

$$\gamma = \text{rand} \times (x_n - \text{rand} \times (u - l)) \times \exp(-4 \times \frac{i}{\text{Maxi}}) \tag{15}$$

Stp is the step size determined by the difference between *xb* and *xavg*. The γ parameter is an exponentially decreasing value. The *xavg* parameter gives the mean value of all solutions in each iteration [28].

$$k2 = \frac{1}{2\Delta x}((rand \times (xw + rand1 \times k1 \times \Delta x) - (u \times xb + rand2 \times k1 \times \Delta x))) \quad (16)$$

$$k3 = \frac{1}{2\Delta x}((rand \times (xw + rand1 \times (\frac{1}{2}k2) \times \Delta x) - (u \times xb + rand2 \times (\frac{1}{2}k2) \times \Delta x))) \quad (17)$$

$$k4 = \frac{1}{2\Delta x}(rand \times (xw + rand1 \times k3 \times \Delta x) - (u \times xb + rand2 \times k3 \times \Delta x)) \quad (18)$$

ESQ is used to improve the quality of the solution values in the RUN algorithm. With the proposed ESQ, three randomly taken solutions are averaged (x_{avg}), and then a new solution (x_{new1}) is generated with the best result (x_b). In addition, x_{new2} solutions are obtained using x_{avg} and x_{new1} [28].

```

if rand < 0.5
  if w < 1
     $x_{new2} = x_{new1} + \Gamma \times W \times |(x_{new1} - x_{avg}) + randn|$ 
  Else
     $x_{new2} = (x_{new1} - x_{avg}) + \Gamma \times W \times |(x_{new1} - x_{avg}) + randn|$ 
  end
end

```

$$w = rand(0.2) \times \exp(-c \frac{i}{Maxi}) \quad (20)$$

$$x_{avg} = \frac{x_{r1} + x_{r2} + x_{r3}}{3} \quad (21)$$

$$x_{new1} = x \times x_{avg} + (1 - \beta) \times x_{best} \quad (22)$$

Equations 20, 21, and 22 help determine x_{new2} in equation 19. Here β is a random number between 0 and 1. R is a number that takes a value of 1, 0, or -1. x_{best} represents the best solution ever. c is equal to $5 \times rand$.

The x_{new2} solution values created in the search process lifecycle in the RUN optimization algorithm may not give better results than the current solution. In this case, x_{new3} solutions were created for new different solutions [28].

```

if rand < w
   $x_{new3} = (x_{new2} \times rand \times x_{new2}) + SF \times (rand \times X_{RK} + (v \times x_b - x_{new2}))$ 
end

```

Here v is a random number of $2 \times rand$. The main purpose of creating x_{new3} solutions is to try to find a better solution than x_{new2} [28].

B. IMPROVED RUN WITH FITNESS-DISTANCE BALANCE BASED GUIDING MECHANISM

In the RUN algorithm, local traps occur while performing the search process life cycle. In this section, the development of the RUN optimization algorithm using the FDB method is explained. Thus, candidates who guide the search process will be better selected. In Table 1, the application of the FDB selection method to the algorithm is given to determine the best solution in the RUN algorithm. The 10 different cases created were handled one by one. In Table 1, the guidelines selected by applying the FDB method are shown with fdb.

Table 1. Cases of the base algorithm created using the FDB method

Base Algorithm	Cases
	CASE-1
Eq (21)	$x_{avg} = \{X(fdb,:) + X(fdb,:) + X(fdb,:)/3; rand < 0.9 (X(A,:) + X(B,:) + X(C,:))/3; rand \geq 0.9$
	CASE-2
Eq (21)	$x_{avg} = \{X(fdb,:) + X(fdb,:) + X(fdb,:)/3; rand < 0.7 (X(A,:) + X(B,:) + X(C,:))/3; rand \geq 0.7$
	CASE-3
Eq (21)	$X_{avg} = (X(fdb,:) + X(fdb,:) + X(fdb,:))/3;$
	CASE-4
Eq (21)	$X_{avg} = (X(fdb,:) + X(fdb,:) + X(C,:))/3;$
	CASE-5
Eq (21)	$x_{avg} = \{X(fdb,:) + X(fdb,:) + X(fdb,:)/3; rand < 0.4 (X(A,:) + X(B,:) + X(C,:))/3; rand \geq 0.4$
	CASE-6
	if rand < 0.5
	$X_{new} = (Xc + r.*SF(i).*g.*Xc) + SF(i).(SM) + mu.*(Xm - Xc);$
	else
Eq (1) and Eq (21)	$X_{new} = (Xm + r.*SF(i).*g.*Xm) + SF(i).(SM) + mu.*(X(fdb,:) - X(B,:));$
	End
and	
	$X_{avg} = (X(fdb,:) + X(B,:) + X(C,:))/3;$
	CASE-7
	if rand < 0.5
	$X_{new} = (Xc + r.*SF(i).*g.*Xc) + SF(i).(SM) + mu.*(Xm - Xc);$
	else
Eq (1) and Eq (21)	$X_{new} = (Xm + r.*SF(i).*g.*Xm) + SF(i).(SM) + mu.*(X(fdb,:) - X(B,:));$
	end
and	
	$X_{avg} = (X(A,:) + X(fdb,:) + X(C,:))/3;$
	CASE-8
	if rand < 0.5
	$X_{new} = (Xc + r.*SF(i).*g.*Xc) + SF(i).(SM) + mu.*(Xm - Xc);$
	else
Eq (1) and Eq (21)	$X_{new} = (Xm + r.*SF(i).*g.*Xm) + SF(i).(SM) + mu.*(X(fdb,:) - X(B,:));$
	end
and	
	$X_{avg} = (X(A,:) + X(B,:) + X(fdb,:))/3;$
	CASE-9
	if rand < 0.5
	$X_{new} = (Xc + r.*SF(i).*g.*Xc) + SF(i).(SM) + mu.*(Xm - Xc);$
	else
(Eq.1), (Eq.11), (Eq.16), (Eq.17) and (Eq.18)	$X_{new} = (Xm + r.*SF(i).*g.*Xm) + SF(i).(SM) + mu.*(X(fdb,:) - X(B,:));$
	end
	fdb is applied instead of xb in (Eq.1.10), (Eq.1.15), (Eq.1.16) and (Eq.1.17)
	CASE-10
	if rand<0.4
	if rand<0.5
	$X_{new} = (Xc+r.*SF(fdb).*g.*Xc) + SF(i).(SM) + mu.*(Xm-Xc);$
	else
	$X_{new} = (Xm+r.*SF(i).*g.*Xm) + SF(i).(SM)+ mu.*(X(fdb,)-X(B,:));$
	end
Eq (1)	else
	if rand<0.5
	$X_{new} = (Xc+r.*SF(i).*g.*Xc) + SF(i).(SM) + mu.*(Xm-Xc);$
	else
	$X_{new} = (Xm+r.*SF(i).*g.*Xm) + SF(i).(SM)+ mu.*(X(A,)-X(B,:));$
	end
	end

Each variation given in Table 1 corresponds to new designs of the RUN algorithm. Whether these design changes are effective or not has been investigated with a comprehensive experimental study.

III. EXPERIMENTAL STUDY

A. SETTINGS

An extensive experimental study was carried out to test and verify the search performance of the proposed FDBRUN algorithm. The aim is to show the effect and performance of the cases developed using the FDB method. For this purpose, four different types of unconstrained comparison problems (Unimodal, Basic Multimodal, Hybrid and Composition) were also used in experimental studies. The performances of the base model of the RUN algorithm and the FDBRUN variations in search spaces of different sizes (30,50 and 100) are tested. Some procedures have been carried out to ensure that the experimental studies are objective and fair:

- The conditions defined at the CEC 2020 conference are referenced for the experimental operating settings [32].
- In the editing of the parameters of the RUN algorithm, the algorithm settings given in its study were taken as reference.
- In order to ensure equality of opportunity between the base algorithm and the created cases, the termination criterion is defined over the maximum number of evaluations of the objective function. This value is $10,000 \cdot d$ (d : problem size).
- Dynamically resizable CEC 2020 comparison functions are used to reveal the performance of the proposed method in low, medium and high dimensional search fields. In the study, 30, 50 and 100 dimensional problems were created.
- Experimental studies were performed on MATLAB®R2019b, AMD Ryzen 7 4800H 2.90 GHz and 16 GB RAM and x64-based processor.

B. BENCHMARK PROBLEMS

Unconstrained 10 different optimization problems were used in experimental studies. All of the problems are taken from the CEC 2020 comparison pools [32]. Table 2 below gives the problems and their testing characteristics.

Table 2. Test problems and features [32]

Problem No	Problem Name	Characteristics
F1	Bent Cigar Function	This function is used to test the local search efficiency of algorithms.
F2	Shifted and Rotated Schwefel's Function	
F3	Shifted and Rotated Lunacek bi-Rastrigin Function	It is used to test the global search capabilities of algorithms.
F4	Expanded Rosenbrock's plus Griewangk's Function	
F5	Hybrid Function 1	
F6	Hybrid Function 2	It is used to determine the balanced search capabilities of algorithms.
F7	Hybrid Function 3	
F8	Composition Function 1	
F9	Composition Function 2	It is preferred for testing high complexity problems in search spaces.
F10	Composition Function 3	

In Table 2, 10 comparison problems taken from CEC 2020 and the features with which these problems are compared in optimization algorithms are given. F2 function tests whether the algorithm is stuck on local optimum points during the search process. F2, F3 and F4 functions show whether they are effectively provided in the search process. F5, F6 and F7 functions test whether it performs a balanced search during the search process. F8, F9 and F10 functions are used for performance testing in high search space [23, 24, 25, 26, 27].

IV. ANALYSIS RESULTS

In this section, a comparative performance analysis of RUN and FDBRUN cases (10 cases) is made by using the results obtained from the experimental studies. Friedman test was applied to compare the performances of the algorithms with each other. It se algorithm and 10 cases according to performance with this test. Wilcoxon test was applied to compare the base model RUN algorithm and FDBRUN cases as pairs. Accordingly, the results of the analysis are presented in the subsections, respectively.

A. STATISTICAL ANALYSIS RESULTS

After the experimental studies, performance analysis was performed with statistical analysis methods. Two different statistical analysis methods were used. The Friedman test performed using FDBRUN cases and the base algorithm (RUN) is presented in Table 3. Analysis results in 30, 50 and 100 dimensions are given.

Table 3. Presentation of the experimental results according to the Friedman analysis method

		CEC 2020										
		Base	Case -1	Case -2	Case -3	Case -4	Case -5	Case -6	Case -7	Case -8	Case -9	Case -10
RUN	D=30	7.667	6.439	6.494	6.824	6.680	6.820	6.792	7.196	7.041	7.751	7.316
	D=50	7.727	6.565	6.761	6.655	6.888	6.800	6.939	7.002	7.110	7.198	7.273
	D=100	8.463	6.575	6.429	6.951	6.971	6.922	6.975	6.596	6.816	6.980	7.412
	Mean	7.952	6.526	6.561	6.810	6.846	6.847	6.902	6.931	6.989	7.310	7.334

All of the developed FDBRUN cases gave better results than the base algorithm in the mean value of 30, 50 and 100 dimensions when the results given in Table 3 are examined. This result means that these FDB-based cases are better designed with the Runge Kutta approach.

Wilcoxon analysis method was used for pairwise comparison of FDBRUN cases developed with the base algorithm after the experimental study. All cases were compared in pairs with the base algorithm with this analysis. Pairwise comparison results according to Wilcoxon analysis method are given in Table 4.

Table 4. Presenting the experimental results according to Wilcoxon analysis method as pairwise comparison

		CEC 2020									
		Case -1	Case -2	Case -3	Case -4	Case -5	Case -6	Case -7	Case -8	Case -9	Case -10
vs.	D=30	3/7/0	3/7/0	3/7/0	3/5/2	3/6/1	3/6/1	3/7/0	4/3/3	3/7/0	1/6/3
	D=50	2/8/0	4/6/0	2/8/0	2/7/1	2/8/0	2/8/0	3/6/1	3/6/1	2/8/0	3/5/2
	D=100	4/6/0	4/6/0	4/6/0	4/5/1	4/6/0	5/5/0	4/6/0	4/6/0	4/6/0	4/6/0

As can be seen in Table 4, better results were obtained than the base algorithm (RUN) in all problem dimensions, except Case-9 (D=30), which is one of the cases created based on FDB. The performance of the algorithm is shown in Table 4. All of the developed cases give much better results than the base algorithm in solving large-sized problems according to Wilcoxon scores.

The results of the FDB-based cases according to the Friedman analysis are given in Table 5.

Table 5. Results of test problems used in different dimensions according to Friedman analysis method

Problem Type	Dim	Base	Case -1	Case -2	Case -3	Case -4	Case -5	Case -6	Case -7	Case -8	Case -9	Case -10
Unimodal	D=30	7.08	6.82	6.86	7.59	7.33	6.57	6.88	6.33	6.37	7.28	6.26
	D=50	8.49	6.73	7.14	7.82	9.41	8.96	6.61	6.43	5.63	3.84	6.33
	D=100	8.18	7.49	7.37	6.98	9.12	8.28	7.00	5.51	6.49	3.73	6.39
Basic Multimodal	D=30	7.90	6.08	7.08	6.12	6.56	6.98	7.17	6.69	6.78	7.90	7.77
	D=50	8.33	6.35	6.36	6.08	6.63	6.80	6.80	7.18	6.81	7.99	7.56
	D=100	8.34	6.78	6.33	7.31	6.60	7.03	6.67	6.59	6.72	7.38	7.84
Hybrid	D=30	6.57	6.83	5.86	7.41	6.70	6.58	6.09	8.22	7.78	7.75	6.70
	D=50	6.89	6.48	6.65	7.22	6.44	6.41	6.26	7.54	8.28	8.07	6.43
	D=100	8.82	6.39	6.33	6.69	6.75	6.61	6.98	7.03	7.26	7.00	6.76
Composition	D=30	8.73	6.28	6.42	6.69	6.57	6.98	7.09	6.97	6.78	7.76	7.83
	D=50	7.71	6.81	7.14	6.28	6.75	6.47	7.88	6.48	6.73	6.65	8.14
	D=100	8.33	6.25	6.32	6.84	6.85	6.67	7.27	6.54	6.58	7.65	7.97

FDBRUN cases developed in most of the test problems gave better results than the RUN algorithm according to Table 5. When the 30, 50 and 100 dimensions are examined one by one, all the cases generally showed higher performance results. In addition, the developed Case-1 has demonstrated a more balanced search performance compared to its competitors in the search for global solutions in three different dimensions of four problem types. It was run 51 times to more accurately observe the performance of the developed cases. As a result of this run, the algorithms searched for the global minimum value of the test functions. The mean and standard deviation of the minimum values found after the completion of this optimization process are given in Table 6.

Table 6. Mean and standard deviation values of CEC 2020 problems which are used in experimental work

F	D	Base	Case-1	Case-2	Case-3
F1	30	3.63E+03 (4.15E+03)	4.47E+03 (4.69E+03)-	4.47E+03 (4.69E+03)-	4.76E+03 (5.20E+03)-
	50	1.05E+04 (3.69E+03)	9.77E+03 (4.84E+03)+	9.74E+03 (3.36E+03)+	1.05E+04 (3.69E+03)+
	100	4.71E+04 (1.53E+04)	4.56E+04 (2.02E+04)+	4.59E+04 (2.32E+04)+	4.28E+04 (1.74E+04)+
F2	30	2.97E+03 (5.32E+02)	3.19E+03 (6.73E+02)-	3.19E+03 (6.73E+02)-	3.23E+03 (7.98E+02)-
	50	6.66E+03 (1.95E+03)	6.54E+03 (1.48E+03)+	6.21E+03 (9.74E+02)+	6.66E+03 (1.95E+03)=
	100	1.47E+04 (2.08E+03)	1.56E+04 (4.79E+03)-	1.40E+04 (1.70E+03)+	1.69E+04 (5.30E+03)-
F3	30	3.16E+02 (7.01E+01)	1.95E+02 (4.50E+01)+	1.95E+02 (4.50E+01)+	2.31E+02 (5.36E+01)+
	50	4.63E+02 (6.80E+01)	4.66E+02 (9.48E+01)-	4.97E+02 (9.17E+01)-	4.63E+02 (6.80E+01)=
	100	1.93E+03 (2.22E+02)	1.60E+03 (1.97E+02)+	1.66E+03 (2.03E+02)+	1.61E+03 (1.92E+02)+

Table 6. (continues) Mean and standard deviation values of CEC 2020 problems which are used in experimental work

F4	30	0.00E+00 (0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00)=	0.00E+00 (0.00E+00)=	0.00E+00 (0.00E+00)=
	50	0.00E+00 (0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00)=	0.00E+00 (0.00E+00)=	0.00E+00 (0.00E+00)=
	100	0.00E+00 (0.00E+00)	0.00E+00 (0.00E+00)=	0.00E+00 (0.00E+00)=	0.00E+00 (0.00E+00)=
F5	30	1.11E+04 (6.63E+03)	1.38E+04 (8.51E+03)-	1.38E+04 (8.51E+03)-	1.01E+04 (7.34E+03)+
	50	6.90E+04 (4.14E+04)	5.87E+04 (3.16E+04)+	7.32E+04 (4.90E+04)-	6.90E+04 (4.14E+04)=
	100	3.47E+05 (8.60E+04)	2.46E+05 (6.88E+04)+	2.48E+05 (6.20E+04)+	2.49E+05 (8.01E+04)+
F6	30	3.58E+02 (1.64E+02)	2.25E+02 (1.49E+02)+	2.25E+02 (1.49E+02)+	2.98E+02 (1.55E+02)+
	50	7.17E+02 (3.04E+02)	8.41E+02 (2.74E+02)+	9.17E+02 (3.03E+02)-	7.17E+02 (3.04E+02)=
	100	3.76E+03 (7.18E+02)	3.17E+03 (6.96E+02)+	3.19E+03 (6.34E+02)+	2.94E+03 (7.28E+02)+
F7	30	1.07E+04 (5.20E+03)	1.05E+04 (5.50E+03)+	1.05E+04 (5.50E+03)+	8.98E+03 (4.79E+03)+
	50	3.02E+04 (1.39E+04)	2.36E+04 (8.24E+03)+	2.27E+04 (6.78E+03)+	3.02E+04 (1.39E+04)=
	100	1.13E+05 (3.12E+04)	8.84E+04 (3.70E+04)+	8.72E+04 (3.40E+04)+	9.83E+04 (4.47E+04)+
F8	30	7.76E+02 (1.49E+03)	9.13E+02 (1.61E+03)-	9.13E+02 (1.61E+03)-	1.03E+03 (1.85E+03)-
	50	6.54E+03 (1.29E+03)	7.12E+03 (1.99E+03)-	6.67E+03 (1.69E+03)-	6.54E+03 (1.29E+03)=
	100	1.68E+04 (1.64E+03)	1.74E+04 (5.02E+03)-	1.72E+04 (4.00E+03)-	1.78E+04 (4.37E+03)-
F9	30	5.07E+02 (3.12E+01)	4.85E+02 (2.04E+01)+	4.85E+02 (2.04E+01)+	4.87E+02 (2.09E+01)+
	50	6.32E+02 (3.61E+01)	6.40E+02 (3.34E+01)-	6.53E+02 (3.75E+01)-	6.32E+02 (3.61E+01)=
	100	1.51E+03 (9.83E+01)	1.39E+03 (7.05E+01)+	1.39E+03 (7.31E+01)+	1.41E+03 (9.26E+01)+
F10	30	4.03E+02 (1.58E+01)	3.91E+02 (1.06E+01)+	3.91E+02 (1.06E+01)+	3.91E+02 (8.72E+00)+
	50	5.77E+02 (4.21E+01)	5.85E+02 (3.35E+01)-	5.85E+02 (3.34E+01)-	5.77E+02 (4.21E+01)=
	100	8.25E+02 (6.11E+01)	8.18E+02 (5.23E+01)+	8.11E+02 (4.87E+01)+	8.07E+02 (6.01E+01)+

In Table 6, the best 3 of the developed FDBRUN cases (Case-1, Case-2 and Case-3) and the results of the base algorithm are given. There are +, - and = signs next to the mean and standard deviations of the cases considered in the relevant table. These signs represent the comparison results of the cases according to the base algorithm. The developed cases mostly managed to find the minimum value compared to the base algorithm when the results in Table 6 are examined. Only Case-1, Case-2 and Case-3 in F7 function and Case-1 and Case-3 in F2 function showed lower performance than the base algorithm when the results of the problems in 100 dimensions were examined. In other results, it is seen that the developed cases outperform the base algorithm. This shows that the developed FDBRUN cases provide effective solutions in finding the global optimum value of high-dimensional problems.

In this section, box-plot figures of RUN and FDBRUN variations are presented. In order to examine the box-plot capabilities of the algorithms, the best results from the experimental studies were taken into account. From the selected problems, search spaces of 30/50/100 dimensions were designed and the behavior of the algorithms was observed. Using F1 unimodal function in Figure 2 (a, b and c) below, F3 basic function in Figure 2 (d, e and f), F6 hybrid function in Figure 2 (g, h and i), F9 composition

function in Figure 2 (j, k and l), box plot graphics of 30, 50 and 100 dimensions were created, respectively.

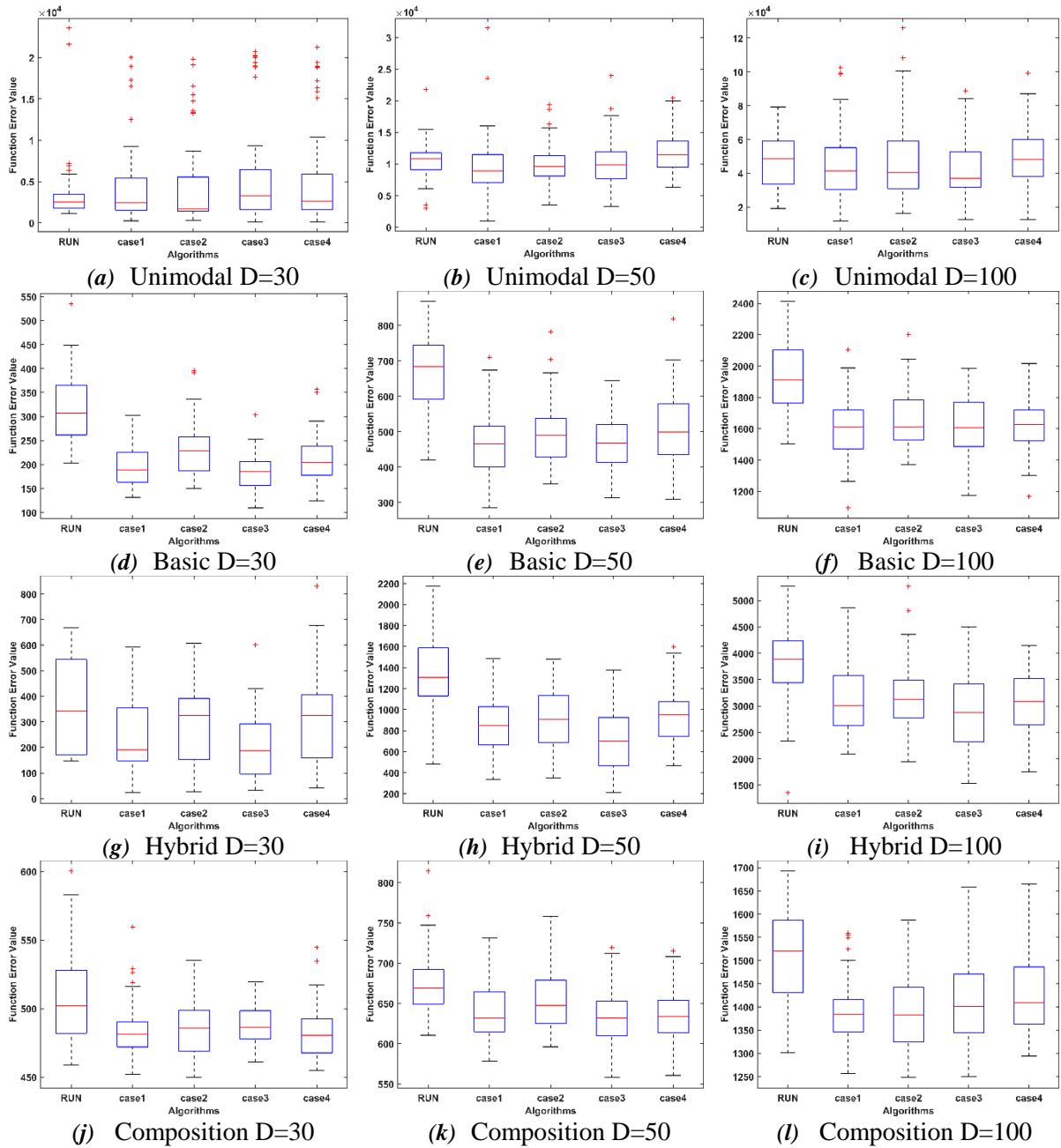


Figure 2. Box-plots of RUN and FDBRUN algorithms in 30, 50 and 100 dimensions

As can be seen in Figure 2, box plots of 30, 50 and 100 dimensions are given by using CEC 2020 unimodal, basic, hybrid and composition test functions. Box plots were created by considering the base algorithm (RUN) and the best 4 developed cases. It is seen that all of the developed cases have a lower median value than the base algorithm. Especially when the distribution of the data is examined, the base algorithm shows a wider distribution than the 4 cases compared. The cases tested in the basic, hybrid and composition functions in Figure 2 gave better results in reaching the optimum level compared to the base algorithm. In the unimodal function, it has been observed that the base algorithm performs close to the developed case algorithms.

The first 4 cases clearly showed superiority in terms of performance in large sizes compared to the base algorithm when the box plots are examined as a problem dimensions. Especially in 100 dimensions, this

situation is encountered in all test problems. This situation reveals that the developed cases will offer a more effective solution in high-dimensional problems. In other words, it means that they will converge better to the global minimum or maximum value.

V. CONCLUSIONS

In this study, it was aimed to improve the search performance of RUN, a current meta-heuristic search algorithm, in optimization problems. For this purpose, a current selection method, Fitness-Distance Balance (FDB), was used to select candidate solutions in the search process lifecycle. The FDB selection method effectively determined the solution candidates that guided the search process in the RUN algorithm and prevented the algorithm from converging prematurely. Thanks to the FDB method, the RUN algorithm could be designed more compatible with the math-based operation it inspired. Certain experimental studies were conducted to test and verify the performance of the FDB-based RUN algorithm cases developed in the article. In experimental studies, the problems used in CEC 2020 were designed in different dimensions (30/50/100) and the performances of the algorithms in different dimensions were evaluated. Data taken from experimental studies were analyzed using Friedman and Wilcoxon statistical test methods. As a result of these analyzes, it has been clearly demonstrated by the statistical analysis results that the proposed FDBRUN algorithm exhibits a superior performance against the base model (RUN). As the problem dimensions increase, the improved FDBRUN cases yield better results than the base algorithm, which is a clear indicator of the performance of these cases. Thus, it can be said that it will provide more effective results in solving high-dimensional problems. These results show that the FDB method has a significant improvement effect on the search process life cycle in the RUN algorithm. It means that it balances between exploration and exploitation.

The MATLAB source codes of the FDB-RUN algorithm developed and proposed for the first time in this article will be shared on the MATLAB File Exchange platform after the article is published. You can search the MATLAB File Exchange platform with the keyword FDB-RUN to download the source codes.

VI. REFERENCES

- [1] A. H. Halim, I. Ismail, and S. Das, "Performance assessment of the metaheuristic optimization algorithms: an exhaustive review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 54, no. 3, pp. 2323-2409, 2021.
- [2] X. S. Yang, "Metaheuristic optimization". *Scholarpedia*, vol. 6, no. 8, 11472, 2011.
- [3] D. E. Goldberg and J. H. Holland, "Genetic algorithms and machine learning," *Mach Learn*, vol. 3, pp. 95-99, 1988.
- [4] S. Mirjalili, "Genetic algorithm," *In Evolutionary algorithms and neural networks*, Springer, Cham, 2019, pp. 43-55.
- [5] D. Bertsimas, and J. Tsitsiklis, "Simulated annealing," *Statistical science*, vol. 8, no. 1, pp. 10-15, 1993.
- [6] A. Franzin and T. Stützle, "Revisiting simulated annealing: A component-based analysis". *Computers & operations research*, vol. 104, pp. 191-206, 2019.
- [7] L. Xing, Y. Liu, H. Li, C. C. Wu, W. C. Lin, and X. Chen, "A novel tabu search algorithm for multi-AGV routing problem," *Mathematics*, vol. 8, no. 2, 279, 2020.

- [8] K. L. Du and M. N. S. Swamy, "Ant colony optimization," *In Search and optimization by metaheuristics*. Birkhäuser, Cham, 2016, pp. 191-199.
- [9] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 1995, pp. 1942-1948.
- [10] K. L. Du and M. N. S. Swamy, "Particle swarm optimization," *Search and optimization by metaheuristics*, Birkhäuser, Cham, 2016, pp. 153-173.
- [11] Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. V. Loganathan, "A new heuristic optimization algorithm: harmony search," *simulation*, vol. 76, no. 2, pp. 60-68, 2001.
- [12] D. Karaboga, and B. Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm," *Journal of global optimization*, vol. 39, no. 3, pp. 459-471, 2007.
- [13] E. Rashedi, H. Nezamabadi-Pour, and S. Saryazdi, "GSA: a gravitational search algorithm". *Information sciences*, vol. 179, no. 13, pp. 2232-2248, 2009.
- [14] X. S. Yang, and S. Deb, "Cuckoo search via Lévy flights," *In 2009 World congress on nature & biologically inspired computing*, 2009, pp. 210-214.
- [15] R. L. Rardin, and R. Uzsoy "Experimental evaluation of heuristic optimization algorithm: a tutorial". *J Heuristics*, vol. 7, no. 3, pp. 261–304, 2018.
- [16] V. Beiranvand, W. Hare, and Y. Lucet, "Best practices for comparing optimization algorithms," *Optimization and Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 815-848, 2017.
- [17] T. T. Nguyen, S. Yang, and J. Branke, "Evolutionary dynamic optimization: A survey of the state of the art," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 6, pp. 1-24, 2012.
- [18] J. Tian, C. Sun, Y. Tan, and J. Zeng, "Granularity-based surrogate-assisted particle swarm optimization for high-dimensional expensive optimization," *Knowledge-Based Systems*, vol. 187, 104815, 2020.
- [19] L. Cui, G. Li, Q. Lin, Z. Du, W. Gao, J. Chen, and N. Lu, "A novel artificial bee colony algorithm with depth-first search framework and elite-guided search equation," *Information Sciences*, vol. 367, pp. 1012-1044, 2016.
- [20] K. H. Truong, P. Nallagownden, Z. Baharudin, and D. N. Vo, "A quasi-oppositional-chaotic symbiotic organisms search algorithm for global optimization problems," *Applied Soft Computing*, vol. 77, pp. 567-583, 2019.
- [21] A. W. Mohamed and A. K. Mohamed, "Adaptive guided differential evolution algorithm with novel mutation for numerical optimization," *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, vol. 10, no. 2, pp. 253-277, 2019.
- [22] R. Salgotra, U. Singh, and S. Saha, "New cuckoo search algorithms with enhanced exploration and exploitation properties," *Expert Systems with Applications*, vol. 95, pp. 384-420, 2018.
- [23] H. T. Kahraman, S. Aras, and E. Gedikli, "Fitness-distance balance (FDB): a new selection method for meta-heuristic search algorithms," *Knowledge-Based Systems*, vol. 190, 105169, 2020.



- [24] U. Guvenc, S. Duman, H. T. Kahraman, S. Aras, and M. Katı, "Fitness–Distance Balance based adaptive guided differential evolution algorithm for security-constrained optimal power flow problem incorporating renewable energy sources," *Applied Soft Computing*, vol. 108, 107421, 2021.
- [25] S. Duman, H. T. Kahraman, U. Guvenc, and S. Aras, "Development of a Lévy flight and FDB-based coyote optimization algorithm for global optimization and real-world ACOPF problems," *Soft Computing*, vol. 25, no. 8, pp. 6577-6617, 2021.
- [26] S. Aras, E. Gedikli, and H. T. Kahraman, "A novel stochastic fractal search algorithm with fitness-Distance balance for global numerical optimization," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 61, 100821, 2021.
- [27] Katı M., Kahraman, H. T. "Arz-Talep tabanlı optimizasyon algoritmasının FDB yöntemi ile iyileştirilmesi: Mühendislik tasarım problemleri üzerine kapsamlı bir araştırma," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 5, ss. 156-172, 2020.
- [28] I. Ahmadianfar, A. A. Heidari, A. H. Gandomi, X. Chu, and H. Chen, "RUN beyond the metaphor: an efficient optimization algorithm based on Runge Kutta method," *Expert Systems with Applications*, vol. 181, 115079, 2021.
- [29] H. Buch, I. N. Trivedi, and P. Jangir, "Moth flame optimization to solve optimal power flow with non-parametric statistical evaluation validation," *Cogent Engineering*, vol. 4, no. 1, 1286731, 2017.
- [30] X. Cai, X. Z. Gao, and Y. Xue, "Improved bat algorithm with optimal forage strategy and random disturbance strategy," *International Journal of Bio-Inspired Computation*, vol. 8, no. 4, pp. 205-214, 2016.
- [31] Kahraman, H. T. "Rulet elektromanyetik alan optimizasyon (R-EFO) algoritması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s.1, ss. 69-80, 2020.
- [32] C. T. Yue, K. V. Price, P. N. Suganthan, J. J. Liang, M. Z. Ali, B. Y. Qu, et al., "Problem Definitions and Evaluation Criteria for the CEC 2020 Special Session and Competition on Single Objective Bound Constrained Numerical Optimization," Tech. Rep. Zhengzhou University and Nanyang Technological University, 2019.
- [33] F. A. Hashim, K. Hussain, E. H. Houssein, M. S. Mabrouk, and W. Al-Atabany, "Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems," *Applied Intelligence*, vol. 51, no. 3, pp. 1531-1551, 2021.
- [34] Q. Chen, B. Liu, Q. Zhang, J. Liang, P. Suganthan, and B. Qu, "Problem definitions and evaluation criteria for CEC 2015 special session on bound constrained single-objective computationally expensive numerical optimization". Tech. Rep. Computational Intelligence Laboratory, Zhengzhou University, Zhengzhou, China and Technical Report, Nanyang Technological University, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Üniversite Ders Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu¹

 Recep ÇOLAK^{a,*},  Tuncay YİĞİT^b

^a Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, UEMYO, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: recepcolak@isparta.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1012132

ÖZ

Üniversitelerin her dönem başında yaptığı ders çizelgeleme problemi kombinatoral optimizasyon problemlerindedir. Çizelgeleme problemleri NP-Hard sınıfına giren ve çözümü zor problemlerdedir. Determinist bir yaklaşımla olası bütün ihtimallerin denenmesi gibi algoritmalarla çözüm mümkün olsa da çok zaman alıcı bir işlem olduğundan pratikte bu algoritmalar kullanılmamaktadır. Özellikle probleme ait veriler arttıkça ve çözülmesi gereken çok fazla kısıt olması durumunda çözüme ulaşmak daha da güçleşmektedir. Bu çalışmada ders çizelgeleme problemi çözülmesi gereken katı ve esnek kısıtlar olarak ele alınmıştır. Katı kısıtlar ders çakışması, derslik çakışması, kapasiteye uygun olmayan dersliğe şube atanması gibi kesin olarak çözülmesi gereken kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise derslerin istenmeyen zaman dilimlerine atanması bir kısmı ihmal edilebilen kısıtlardır. Bu çalışmada probleme ait katı ve esnek kısıtlar belirlenmiş ve bu kısıtları ihlal edilen durumlara ceza puanları atanarak en az ceza puanına sahip çözümler aranmıştır. Problemin çözümü için çizelgeleme problemlerinde sıklıkla kullanılan Genetik Algoritma kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda Genetik Algoritma ile ders çizelgeleme probleminin kısa sürede çözülebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, ders çizelgeleme, ders programı, sezgisel algoritmalar

Optimization of University Course Scheduling Problem with Genetic Algorithm

ABSTRACT

The course scheduling problem that universities do at the beginning of each semester is one of the combinatorial optimization problems. Scheduling problems are NP-Hard problems and difficult to solve. Although it is possible to solve with algorithms such as trying all possible possibilities with a deterministic approach, these algorithms are not used in practice because it is a very time-consuming process. Especially when the data of the problem increases and there are too many constraints to be solved, it becomes more difficult to reach a solution. In this study, the lesson scheduling problem is considered as hard and soft constraints that need to be solved. Hard constraints are constraints that need to be resolved, such as course conflict, classroom conflict, assigning a branch to a classroom that is not suitable for capacity. Soft constraints, on the other hand, are constraints that can be neglected by assigning courses to undesirable time slots. In this study, the hard and soft constraints of the problem were determined and the solutions with the least penalty points were sought by assigning penalty points to the situations in which these constraints were violated. Genetic Algorithm, which is frequently used in scheduling problems, was used to solve the problem. As a result of the tests, it was seen that the course scheduling problem could be solved in a short time with the Genetic Algorithm.

Keywords: Genetic algorithm, course scheduling, course timetabling, heuristic algorithm

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 19/10/2021, Düzeltme:30/11/2021, Kabul: 06/12/2021

I. GİRİŞ

Çizelgeleme problemleri; eğitim, lojistik, sağlık gibi birçok alanda karşılaşılan ve genelde alanda uzmanlaşmış kişilerin geçmiş tecrübesi ile çözülmektedir. Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden olan çizelgeleme problemleri doğası gereği çözümü zor olan NP-Hard problemlerdir. Az sayıda veri ve koşul olduğunda probleme ait tam çözümler bulunabilirken veriler arttıkça makul bir sürelerde çözüm bulunamamaktadır. Çizelgeleme problemlerinde birden çok çözüm olup, tek ve tam bir çözüm yerine makul bir sürede çözüme yakın sonuçların elde edilmesi yeterli görülebilmektedir[1]. Çizelgeleme problemlerinin türevlerinden olan Üniversite ders çizelgeleme de derslik, ders saati ve öğretim elemanı kısıtlılığında dolayı çözümü zor bir optimizasyon problemidir [2]. Birçok araştırmacı farklı yöntemlerle problemi çözmeye çalışmışlardır [3]–[8]. Ders çizelgeleme problemini basitçe ders, öğretim elemanı ve derslik kaynaklarının istenen koşullar altında ve çakışmayacak şekilde aynı zaman periyoduna atanması olarak tanımlanabilir. Çakışmaların olmadığı bir ders çizelgesi mevcut çözümlerden biri olarak düşünülebilir. Pratikte ise sadece çakışmaların giderilmesi yeterli olmayıp başka birçok koşulunda sağlanması gerekebilir. Öğretim elemanı tercihi, derslerin atanabileceği derslik tipleri, şubeye bir günde atanması gereken maksimum ders saati, öğretim elemanının bir günde girebileceği maksimum ders sayısı, ders saati fazla olan bazı derslerin bölünerek atanmak istenmesi, uygulaması olan derslerde uygulama saatlerinin başka bir güne atanması gibi ve okula özgü başka kısıtların da dikkate alınması gerekmektedir. Problemin çözümü için gereken araştırma uzayı büyüdükçe ve atamalar için çok fazla koşulun ve kısıtların eklenmesi probleminin çözümünü daha da zorlaştırmaktadır [9]. Ders çizelgeleme problemi esnek ve katı kısıtlara ayrılabilen koşulları sağlaması gereken bir problemdir [10], [11]. Katı kısıtlar mutlaka sağlanması gereken ve sağlanmadığında çakışmaların olduğu ya da kaynakların yetersiz kaldığı kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise sağlanmadığında da bir çakışma ya da kaynak yetersizliği olmayan ama ders çizelgesinin kalitesini etkileyen kısıtlardır. Bir öğretim elemanın istemediği bir saatte derse girmesi esnek bir kısıt iken, bir şubenin derslerinin çakışması katı kısıtlara örnek olarak verilebilir. Ders Çizelgeleme Problemi için yapılan birçok çalışmada, esnek ve katı kısıtları ihlal etmeyen ya da esnek kısıtların bir kısmını ihmal eden sonuçlar problemin çözümünü olarak görülmüş ve bu kısıtlara uyan çözümler aranmıştır [9], [10], [12]–[15]. Bu çalışmada problemin çözümü için çizelgeleme problemlerinde sıklıkla kullanılan Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır [1], [7], [9], [10][16]. Geliştirdiğimiz GA’da başlangıç rotaları rastgele oluşturulmuş ve GA operatörleri ile katı ve esnek kısıtların ihlal edildiği durumlar cezalandırılmıştır. GA’nın katı kısıtları çözmesi için katı kısıtlara esnek kısıtlardan daha büyük ceza puanları verilmiştir. Katı kısıtların esnek kısıtlara görece yüksek ceza puanları olması GA uygunluk fonksiyonunda katı kısıtların daha ağırlıklı olmasını sağlamış ve bu kısıtların iyileştirilmesi ile elde edilen yeni sonuçların daha iyi sonuçlar olarak algılanmasını sağlamıştır. Bu çalışma literatüre aşağıdaki katkıları sağlamıştır:

- GA’da kullanılan mutasyon işleminin yeni üretilen bireyler yerine tüm popülasyona uygulanmasının daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.
- Derslerin ders parçalarına bölünerek atanması ile dersin farklı saatleri için farklı kısıtların nasıl çözülebileceği gösterilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında Bölüm 2’de literatür özeti, Bölüm 3’te problemin tanımı ve geliştirilen matematiksel model, Bölüm 4’te GA’nın probleme uygulanması son olarak ise elde ettiğimiz sonuçlar verilmiştir.

II. LİTERATÜR

Üniversite ders çizelgeleme problemine araştırmacılar graf boyama, tam sayılı doğrusal programlama, tam sayılı kısıt programlama, tabu arama, en yakın komşu arama, tavlama benzetimi, GA, karınca kolonisi gibi algoritmalarla çözüm aramışlardır[17]. Graf boyama algoritması ders çizelgeleme problemi için ilk kullanılan yöntemlerden birisidir. Graf boyama ile hem basit ve karmaşıklığı az olan veri kümeleri için [18] hem de ilerleyen yıllarda algoritmaya müdahaleler edilerek daha karmaşık olan veri kümelerine çözüm aranmıştır [19]. Tam sayılı doğrusal programlama da erken dönemde sıklıkla

kullanılmış algoritmalarından birisidir [20]. Tam sayılı doğrusal programlama algoritması da geliştirilerek farklı araştırmacılar tarafından problemin çözümünde kullanılmıştır [21]–[23]. Tam sayılı programlama ile yapılan çalışmalarda problemin önce matematiksel bir modeli çıkarılmış ve bu model üzerinden çözümler aranmıştır. Ders çizelgeleme gibi NP-hard problemlerin optimum çözümünü deterministik yöntemlerle kabul edilebilir bir zaman da bulmak zor olduğundan bir çok araştırmacı sezgisel yöntemlere başvurmuştur [24]. Bu çalışmada ise problem sezgisel bir yöntem olan GA ile çözülmeye çalışılmıştır. Ders çizelgeleme problemini GA ile çözmeye çalışan ilk çalışmalardan birisini Colorni ve arkadaşları yapmışlardır. Çalışmalarında özellikle çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonrası uygun olmayan çözümlerle karşılaşmışlardır[25]. Benzer şekilde Yiğit’ te yaptığı çalışmada kromozom yapısının bozulmasından dolayı çaprazlama işleminden sonra tamir operatörü kullanmıştır [10]. Bizim yaptığımız denemelerde de aynı durumla karşılaşmış ve benzer şekilde tamir operatörü kullanılmıştır. Problemi GA ile çözmeye çalışan birçok yazar kromozomları oluşturmak için rastgele bir atama işlemi uygulamıştır [26], [27]. Bizim çalışmamızda ise başlangıç rotalarının oluşturulmasında genetik çeşitlilik açısından bir rastgelelik olsa da tamamen random bir atama yoktur. Çalışmamızda başlangıç rotaları Insertion Heuristic Algoritmasına benzer bir yöntemle oluşturulmuştur[28]. Özellikle rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan bu yöntemde atama yapılmak istenen ders rastgele seçilerek ders programındaki boş bir konuma yerleştirilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu yerleştirmenin istenilen kurallara uyması beklenmektedir. İlk atamanın bu şekilde yapılması sayesinde başlangıç kromozomlarının bazı kısıtlara uymasını garanti etmektedir. Bu çalışmada literatüre yaptığımız bir katkıda mutasyon işleminde olmuştur. Mutasyon işlemi GA’nın önemli bir operatörü olup algoritmanın lokal optimumlara takılmasını engellemek için kullanılır. GA ile çözüm arayan birçok çalışma da [29], [30] mutasyon işlemi çaprazlama sonunda üretilen bireyler için kullanılmıştır. Bir başka mutasyon işlemi ise Mahiba vd. tarafından uygulanmıştır, yazarlar yeni üretilen çocuk bireyler yerine uygunluk değeri kötü olan bireylere mutasyon uygulamışlardır [31]. Bizim çalışmamızda yukarıda bahsedilen iki ayrı mutasyon da test edilmiştir. Birinci uygulamada mutasyon işlemi sadece yeni oluşan çocuk bireylere uygulanmıştır. İkinci metotta ise mutasyon işlemi uygunluk değeri daha kötü olan bireylerin seçilme şansının daha yüksek olduğu bir olasılıkla popülasyonda ki bütün bireylere uygulanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar ikinci tür mutasyon işleminin daha başarılı olduğunu göstermektedir.

III. PROBLEMİN TANIMI

Üniversite ders çizelgeleme problemi, öğrenci grubu(şube) için, dönemde açılmış derslerin uygun dersliklere okul tarafından önceden tanımlanmış zaman periyodları içinde atanmasıdır. Ders çizelgesi ataması yapılacak olan i adet şubeyi, $S = \{s_1, \dots, s_i\}$, atanması gereken j adet dersi, $D = \{d_1, \dots, d_j\}$, k adet dersliği $M = \{m_1, \dots, m_k\}$, 1 adet zaman periyodunu ise $P = \{p_1, \dots, p_l\}$ olarak tanımlayabiliriz. Bir günde 10 saat zaman periyodu olan örnek bir ders çizelgesi **Tablo 1**'de görülmektedir.

Tablo 1. Örnek bir ders çizelgesi

	Şube 1	Şube 2	Şube i_{maks}
Pazartesi	Ders Kodu;			
	Öğretim elemanı kodu;			
	1 Derslik kodu			
	2			
	...			
	10			
...	...			
Cuma	1			
	2			
	...			
	10			

Tablo 1’de iki boyutlu gibi görünen ders çizelgesinin tek bir hücrelerinde ders kodu, öğretim elemanı kodu ve derslik kodunun da olması ile aslında elimizde çözülmesi gereken, *Şube sayısı x Periyot sayısı x Ders sayısı x Öğretim elemanı sayısı x Derslik sayısı* boyutunda bir problem vardır. Birçok okulda derslerin bazılarında hem teori hem de uygulama, laboratuvar, saha çalışması gibi birden fazla durumun olmasından dolayı atanması gereken dersler kümesi olan D yerine ders parçası kümesi DP’nin kullanılması önerilmektedir. DP, D kümesinden daha büyük olan ve D kümesinin elemanlarına ait ders parçaları kümesidir. $DP = \{ d_1^1, d_2^2, d_2^3, \dots, d_j^1, d_j^2 \}$ olarak gösterilebilir. Burada d_2^1, d_2^2, d_2^3 elemanları d_2 dersine ait ders parçalarıdır. Derslerin bu şekilde parçalara bölünmesi atanması gereken ders sayısının artmasından dolayı problem boyutunu artırır da yapısal bir yaklaşım olduğundan birçok avantaj sağlamıştır. Bu avantajlar:

- Aynı dersin farklı parçaları farklı öğretim elemanına atanabilmektedir. Teori kısmına başka bir öğretim elemanı atanırken uygulama kısmına başka bir öğretim elemanı atanabilir.
- Aynı dersin farklı parçaları farklı dersliklere atanabilmektedir. Özellikle teori ve uygulaması olan derslerde dersin bir parçası teori olarak dersliğe, diğer parçası/ları ise laboratuvara atanabilir.
- Dersin farklı parçaları için farklı gün tercihi yapılabilir. Bu sayede dersin önce teorisinin daha sonra uygulamasının atanması sağlanabilir.

Ders ve ders parçası arasındaki ilişki Tablo 2 ve Tablo 3’te görülebilir.

Tablo 2. Atanması gereken dersler

Ders Kodu	Ders Adı	Teori	Uygulama
Mat101	Matematik 1	5	0
Tur101	Türk Dili 1	2	0
Bil101	Bilgisayar Programlama 1	3	2

Tablo 3. Derslere ait ders parçaları

Ders Parça Kodu	Ders Kodu	Ders Parça ID	Teori	Uygulama
Mat101-1	Mat101	1	3	0
Mat101-2	Mat101	2	2	0
Tur101-1	Tur101	1	2	0
Bil101-1	Bil101	1	3	0
Bil101-2	Bil101	2	0	2

Tablo 2’de dönemde atanması gereken örnek dersler, Tablo 3’te ise derslere ait ders parçaları görülmektedir. GA Tablo 3’teki tabloya göre atamaları gerçekleştirecektir. İki tablo incelendiğinde Mat101 kodlu ve 5 saat teorisi olan ders 2 parça şeklinde Mat101-1 ve Mat101-2 kodu ile atanacaktır. Tur101 kodlu derse ise tek parça şeklinde Tur101-1 olarak atanması yapılacaktır. Uygulaması olan Bil101 kodlu dersin ise teori ve uygulaması iki ayrı parçaya bölünmüştür. Bil101-1 kodlu ders parçası derse ait teori kısmıdır ve bu ders parçası normal bir dersliğe atanabilir. Bil101-2 kodlu ders parçası ise derse ait uygulama kısmıdır bu parçaya ait kısıtlar oluşturulurken atamanın mutlaka laboratuvara yapılması seçilerek dersin bu kısmının laboratuvarında olması sağlanabilir. Örnekte de gösterildiği gibi aynı derse ait olsalar da her ders parçasına ayrı bir kod verildiğinden bu parçalarının her birisine farklı öğretim elemanları, farklı derslik tipleri ve farklı zaman tercihleri yapılabilmektedir.

Atanması gereken her ders parçası derse kayıtlı öğrenci sayısına uygun kapasiteye sahip bir dersliğe atanmalıdır. Bu durum şöyle ifade edilebilir. Her ders parçasını alan öğrenci sayısı $DP_kapasite(n, i) = \{ dk_1^1, dk_2^1, dk_2^2, dk_2^3, \dots, dk_n^1, dk_n^i \}$ ile ve her dersliğin kapasitesi $S_kapasite(m) = \{ s_{k1}, \dots, s_{km} \}$ ile tanımlanmış olsun. Bir ders parçasının bir dersliğe atanması için derslik kapasitesinin ders parçası kapasitesinden büyük veya eşit olması gereklidir. $x_{n,m}^i$ karar

değişkenini, n. dersin i. parçasının m. dersliğe atanmış olması durumunda 1 aksi durumda ise 0 olduğunu varsayarsak. $x_{n,m}^i * S_kapasite(m) \geq x_{n,m}^i * DP_kapasite(n, i)$ koşulu mutlaka sağlanmalıdır. Üniversite ders çizelgeleme problemi temelde bir optimizasyon problemidir ve aynı veri kümesi için birden çok çözüm bulmak mümkündür. Bu çalışmada problem, istenmeyen durumların belirlenerek bu durumları ihlal etmeyen çözümlere ulaşmak şeklinde ele alınmıştır. Literatürde bu istenmeyen durumlar mutlaka ihlal edilmemesi gereken durumlar olan katı kısıtlar ve ihlal edilirse kötüde olsa bir çözümün elde edildiği esnek kısıtlar olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmıştır bu kısıtlar şunlardır [16].

Katı Kısıtlar

- Bir şubenin aynı zaman diliminde birden fazla dersi olamaz.
- Şubeye ait bütün dersler mutlaka bir zaman dilimine atanmalıdır.
- Öğretim elemanı aynı zaman diliminde birden fazla derse atanamaz.
- Bir dersliğe aynı zaman diliminde birden fazla ders parçası atanamaz.
- Ders parçaları kapasite açısından uygun dersliğe atanmalıdır.

Esnek Kısıtlar

- Bir ders parçasının bütün saatleri aynı dersliğe atanmalıdır.
- Bir ders parçasının bütün saatleri aynı güne atanmalıdır.
- Ders parçası için atanmak istendiği derslikler seçilebilmelidir.
- Bazı derslerin günün belirli zamanında yapılmak istenmesinden dolayı ders parçalarının atanması için zaman tercihi yapılabilmelidir.
- Bir derse ait birden çok ders parçası var ise bu parçalar farklı günlerde olmalıdır.
- Şubeye ait ders programında boş saatler olmamalıdır.
- Öğretim elemanları ders programları için gün ve saat tercihinde bulunabilmelidir.
- Öğretim elemanı ders programında atamalar arasında boş saatler olmamalıdır.

IV. GENETİK ALGORİTMA VE PROBLEME UYGULANMASI

GA, Holland tarafından geliştirilen [32] rastlantısal bir yaklaşımla probleme çözüm arayan evrimsel bir algoritmadır [33]. GA probleme ait çözüm ya da çözümleri aynı anda çözüm uzayının birçok noktasında paralel olarak tarayabilmektedir. GA, Sezgisel bir yaklaşım olduğundan probleme ait kesin çözümleri bulamasa da çözüme yakın sonuçlara ulaşabilmesi NP-hard sınıfına giren çizelgeleme ve optimizasyon problemlerine makul bir sürede kabul edilebilir çözümler sunabilmektedir [34]. Birçok araştırmacı GA'nın ders çizelgeleme probleminin çözümünde başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir[35][36]. Ayrıca kodlanmasının ve uygulanmasının kolay olmasından dolayı bu çalışmada GA kullanılmıştır. Ders çizelgeleme problemi için geliştirdiğimiz GA'nın akış şeması **Şekil 2**'de görülmektedir.

A. GEN YAPISI

GA'nın en temel yapı taşı ve anlamlı bilgi içeren en küçük veri yapısı genlerdir. Canlılardaki genler ve dizilimi canlıya ait özellikleri ifade ettiği gibi probleme ait çözümde gen dizileri ile ifade edilmektedir. Her problemin kendine özgü yapısından dolayı farklı gen tipleri oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada ele aldığımız problem için önerdiğimiz gen yapısı **Şekil 1**'de görülebilir.

Ders parça ID	Ders kodu	Öğrenci grup ID	Ders parça sırası	Ders parça saati	Ders parça Öğretim elem.	Öğrenci sayısı
---------------	-----------	-----------------	-------------------	------------------	--------------------------	----------------

Şekil 1. Kullanılan gen yapısı

Kullanılan gen yapısı aşağıda açıklanmıştır.

Ders parça ID: Derslerin birden çok parçaya bölünerek atama yapıldığı daha önce ifade edilmişti. GA atama için ders kodunu değil bu değeri kullanmaktadır. Buradaki ID değeri ile atanması istenen ders parçası ifade edilmektedir.

Ders Kodu: Ataması yapılan ders parçasının bağlı olduğu gerçek ders kodu değeridir. Gen yapısında yer almasının sebebi ise aynı derse ait ders parçalarının aynı gün içinde atanıp atanmadığını kontrol etmek içindir.

Öğrenci grup ID: Öğrenci gruplarını basitçe öğrenci şubeleri olarak da düşünülebilir. Bizim çalışmamızda öğrenci grup bilgisinin ayrı bir değer olarak tutulması ile farklı dersler için farklı şube sayıları tanımlanabilmektedir.

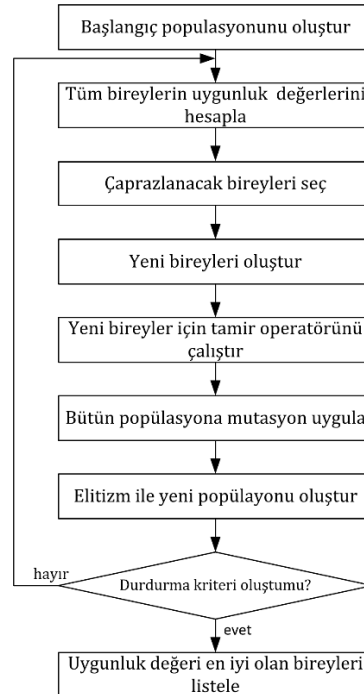
Ders parça sırası: Bir ders birden fazla parça olarak atanacağına önce hangi parçanın atanması gerektiğini tutan değerdir. Özellikle uygulaması olan derslerde önce teori sonra uygulama yapmak gereken durumlar için kullanılacaktır. Eğer bu durum önemli değil ise her ders parçası için aynı değer girilerek öncelik durumu ortadan kaldırılabilir.

Ders parça saati: Ders parçasının atanması gereken toplam ders saatidir. Oluşturulan gen ders planında bu değer kadar ardışık olarak yer alacaktır.

Ders parça Öğretim elem.: Ders parçasına atanana öğretim elemanı bilgisidir. Bu değer ile öğretim elemanın aynı anda başka bir dersinin atama yapılıp yapılmadığı kontrol edilebilmektedir.

Öğrenci sayısı: Ders parçasını alan öğrenci sayısıdır. Derslerin kapasitesi uygun dersliklere atanması için kullanılmaktadır.

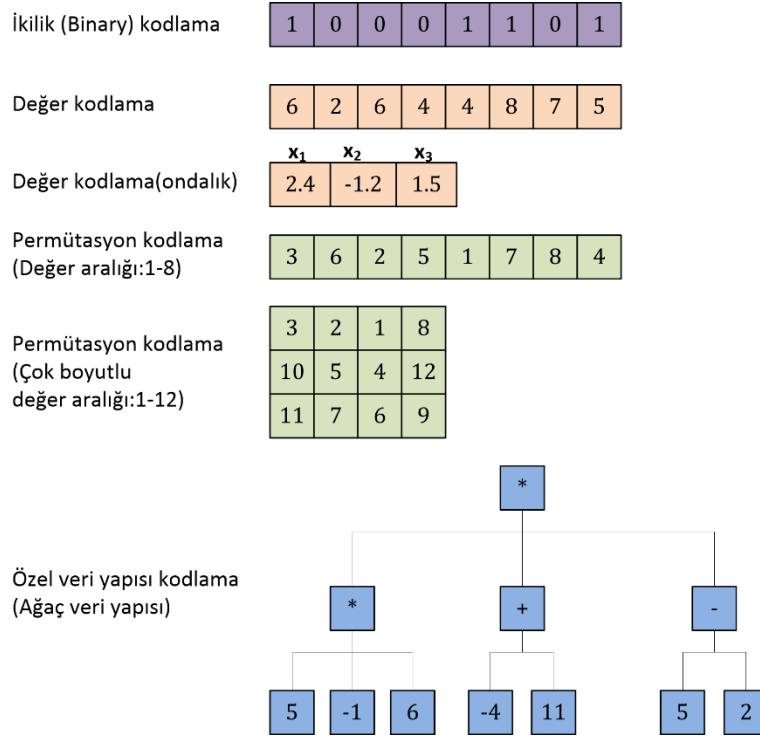
Geliştirilen uygulama yazılımında gen yapısı için bir sınıf tanımlanmıştır.



Şekil 2. Ders çizelgeleme problemi için uygulanan GA'nın akış şeması

B. KROMOZOM YAPISI

Kromozom temelde bir gen dizilimi olup probleme ait aday bir çözümü temsil etmektedir. Probleme göre tek boyutlu çok boyutlu ya da ağaç veri yapısı gibi özel bir yapıda olabilmektedir. Kromozomlar ikilik, değer, alfabetik, ondalık gibi farklı formatlarda kodlanabilmektedir. Rotalama ve atama problemi gibi seçenekler arasından belirli değerlerin seçildiği problemlerde ise permütasyon olarak kodlanabilmektedir. Şekil 3'te farklı şekillerde kodlanmış kromozom yapıları görülebilir.



Şekil 3. Farklı şekillerde kodlanmış kromozomlar

Bu çalışmada kromozom yapımız çok boyutlu permütasyon kodlama olarak uygulanmıştır. Kullanılan kromozom yapısının boyutları sabit olmayıp okuldaki ders saati periyoduna ve derslik sayısına göre değişebilmektedir. Haftada 5 gün, günde 10 saatlik bir zaman dilimi için ve toplam 12 adet derslik olduğu bir örnek te 10×50 boyutunda iki boyutlu bir kromozom yapısı elde edilecektir. Kullandığımız kromozom yapısı Şekil 4'te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi gün*günlük ders sayısı tek bir boyuta indirgenmiş bu durum bize 3 boyutlu bir dizi yerine 2 boyutlu bir dizi ile çalışmamızı sağlamıştır. Dizimizin bir boyutu derslikleri ifade eder iken diğer boyutu gün ve ders saatini birlikte barındıran periyot değerleridir. Bir periyoda ait ve gün ve saat değerleri aşağıdaki bağlantılarla bulunmuştur.

$$\text{Gün değeri} = \frac{\text{Periyod}}{\text{Günlük ders saati}} \quad (\text{Kalansız bir bölme işlemi uygulanmıştır})$$

$\text{Ders saati değeri} = \text{Periyod} \% \text{Günlük ders saati}$ (% sembolü mod alma işlemini ifade etmektedir)



Şekil 4. Problemin çözümü için önerilen kromozom yapısı

Belirli bir gün ve belirli bir ders saatinden periyod değerine ulaşmak için ise aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\text{Periyod değeri} = \text{Gün} * \text{Günlük ders saati} + \text{Ders saati}$$

Yukarıdaki bağıntı için Salı günü 4. Ders saati için periyod değeri $1*10+4=14$ olarak bulunabilir.

C. BAŞLANGIÇ POPÜLASYONUNUN OLUŞTURULMASI

Başlangıç popülasyonu oluşturmak için dönemde açılmış bütün dersler probleme ait kısıtların bir kısmına uyacak şekilde rastgele olarak atanmıştır. İlk atamada ders parçalarının kapasite ve uygulama açısından uygun bir dersliğe atanması, derslerin başladığı derslikte sonlanması, ders parçasının aynı gün içinde başlayıp bitmesi, ders parçasının her saatinin ardışık olarak atanması kontrol edilerek oluşturulmuştur. İlk atama için kullanılan algoritma aşağıdadır.

```

dersProgramı ← [derslik, günSayisi*gunlukSaatSayisi] iki boyutlu dizi
bosKonumlar ← derslik* günSayisi*gunlukSaatSayisi boyutunda bir boyutlu dizi
dersParcaList ← Atanması gereken ders parçalarını tutan bir boyutlu liste
dersParça //atama için seçilen ders parçası
indis //atama yapılacak konum
for (i=0;i<derslik*periyod)
    bosKonumlar[i]=i //ders atanabilecek boş konumların listesi
end for
for (i=0;i<dersParcaList eleman sayısı) //bütün dersler yerleştirilinceye kadar dön
    dersParça =dersParcaList[randomSayı(0,dersParcaList eleman sayısı)]
    devamEt=true
    while (devamEt)
        indis=randomSayı(0,bosKonumlar eleman sayısı)
        derslik=boskonumlar[indis] / günSayisi*gunlukSaatSayisi //tam sayı bölme işlemidir
        peryod=boskonum[indis] MOD günSayisi*gunlukSaatSayisi
        gün=periyod / gunlukSaatSayisi
        for (k=0;k<dersParça.atanabileceğiDerslikler)
            if(dersParça.atanabileceğiDerslikler[k]==derslik)
                devamEt=false //seçilen derslik uygun ise
        end for
        for (k=0;k<dersParça.dersSaati)
            derslik2= boskonumlar[indis+k] / günSayisi*gunlukSaatSayisi
            peryod2=boskonum[indis+k] MOD günSayisi*gunlukSaatSayisi
            gün2=periyod2 / gunlukSaatSayisi
            if(derslik!=derslik2 OR peryod!=periyod2 OR gün!=gün2)
                devamEt =true //kısıt ihlali var ise yeni bir konum ara
        end for
    end while //ders parçasının bütün saatleri aynı derslik ve güne atanabiliyorsa döngüden çıkar

```



```

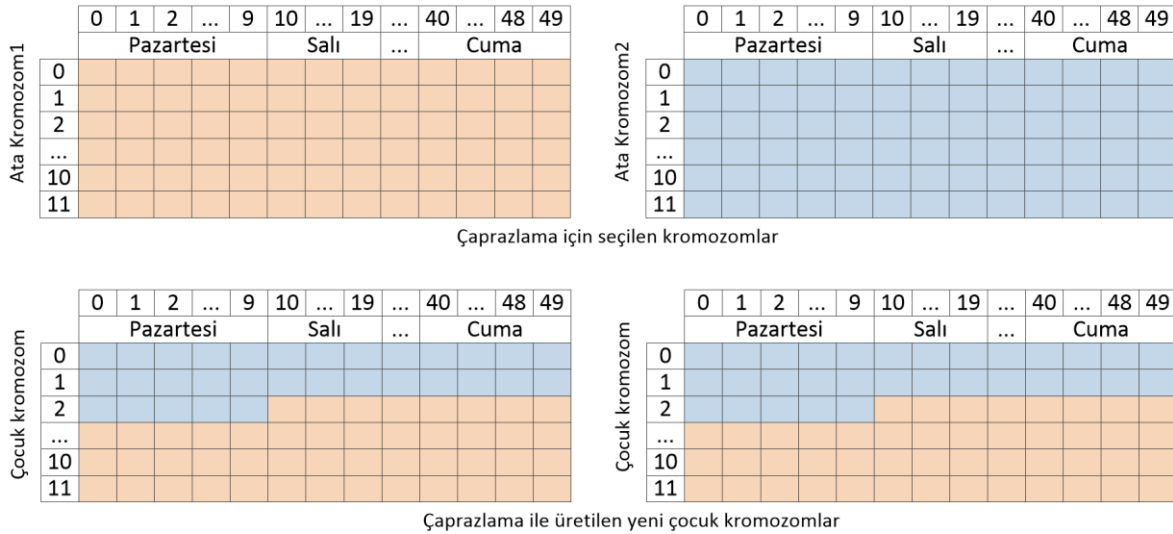
for (k=0;k<dersParça.dersSaati)
    peryod=boskonum[indis+k] MOD gunSayisi*gunlukSaatSayisi
    dersProgrami[derslik,peryod]=dersParça //ders parçası atandı
    bosKonumlar.RemoveAt(indis) //atanan konum boş konumlar listesinden silindi
end for
dersPARcaList.Remove(dersParça)// ataması yapılan ders tekrar atanmasını
end for

```

Algoritma incelendiğinde atama yapılabilecek boş konumların bir liste ile takip edildiği ve atama yapılacak konumların bu listedeki elemanlardan seçildiği görülmektedir. Atama yapılabilecek boş konumların bu şekilde takip edilmesi daha önce atama yapılmış bir konuma atama yapılmasını engellemekte ve aynı zamanda zaman karmaşıklığını da azaltmaktadır. Kullanılan yöntemde daha önce atama yapılmış bir noktanın tekrar seçilmesi engellendiğinden rastgele seçilen her noktanın boş olduğu garanti altına alınmıştır. Aksi durumda rastgele seçilen bir noktanın boş olma ihtimali ders programına yapılan ilk atamalarda yüksek iken dersler atandıkça bu ihtimal düşecektir. Atanacak konumlar rastgele seçildiğinden rastgele sayı üretici boş bir nokta bulmak için birçok defa çalıştırılmak zorunda kalacaktır.

D. ÇAPRAZLAMA OPERATÖRÜ

Popülasyondaki mevcut çözümlerden yeni çözümler üretme işlemi çaprazlama ile yapılmaktadır. Çaprazlanarak elde edilen yeni çözüm çaprazlama için kullanılan ata bireylerin özelliklerini taşıyacak yeni bireyler oluşturulması hedeflenmektedir. Çaprazlama her zaman daha iyi yeni bireyler elde edilmesini garanti etmese de üretilen yeni bireylerin bazıları ata bireylerinden daha iyi çözümler oluşturabilmektedir. Çaprazlama için probleme, kromozom yapısına ve gen temsiline göre farklı yöntemler kullanılmaktadır [37]. Bu çalışmada tek noktadan ve iki noktadan çaprazlama operatörleri ayrı ayrı test edilmiş ve tek noktalı çaprazlama operatörü ile daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Kullanılan çaprazlama operatörünün uygulanması



Şekil 5. Çaprazlama operatörünün uygulanması

Şekil 5'te görülen çaprazlama işleminde 110 değeri rastgele seçilmiş çaprazlama noktasıdır. Seçilen bu nokta için her iki ata kromozomda da ders parçalarını bölmemesi gerekmektedir. Eğer seçilen nokta ders parçalarını bölüyorsa yeni bir nokta seçilmelidir ders parçalarının ortadan bölünmemesini sağlayan algoritma aşağıda görülebilir.

```

devamEt=true
indis //çaprazlama için seçilecek konum
ata1, ata2 //çaprazlama için seçilen kromozom1 ve kromozom2
while (devamEt)

```

```

devamEt=false
indis=randomSayi(0, derslik sayisi*gunluk ders sayisi* gun sayisi)
if (ata1[indis]== ata1[indis+1] OR ata2[indis]== ata2[indis+1])
    devamEt=true

```

end while

Çaprazlama işlemi sonunda ders parçalarının olması gerektiğinden daha fazla atandığı ya da hiç atama yapılmayarak kaybolduğu gözlenmiştir. Bu durumu düzeltmek için üretilen her yeni çocuk birey tamir operatörüne sokulmuştur. Tamir işleminde eksik genler ve fazla atanan genler bulunarak eksik fazla atanan genler kromozomdan silinmiş ve eksik genlerde ilk atama yöntemine göre kromozoma yerleştirilmiştir. Tamir işlemi her zaman başarılı olamamaktadır. Eğer çocuk kromozomun genleri tamir edilemez ise kromozom popülasyona eklenmemiştir.

E. MUTASYON İŞLEMİ

birey ← mutasyon için seçilen kromozomu ifade eder

while(true)

```

    while(true) //rastgele bir nokta seç null konum seçilirse seçime devam et
        konum1=randomSayi (0, derslikSayisi*gun sayisi* gunluk ders sayisi) //seçilen ilk konum
        dersParca1=birey[konum1].dersParca //seçilen konumdaki ders parçasını bulur
        if(dersParca1!=null) break // boş bir saat seçilirse yeni konum seç

```

end while

i=0

```

while(dersParca==birey[konum1-i]) //ders parçasının başlangıç konumunu buluncaya kadar döner
    i=i+1

```

end while

```

dersKonumu1=konum1-i //ders parçasının atandığı ilk konumu bulur

```

```

dersSaati1=dersParca1.saat // dersin kaç saat olduğu bulur

```

```

konum2=randomSayi (0, derslikSayisi*gun sayisi* gunluk ders sayisi)

```

```

dersParca2=birey[konum2].dersParca //seçilen konumdaki ders parçasını bulur

```

i=0

```

while(dersParca2==birey[konum2-i]) //yeni seçilen ders parçasının başlangıç konumunu bul
    i=i+1

```

end while

```

dersKonumu2=konum2-i //ders parçasının atandığı ilk konumu

```

i=1

```

while(dersParca2==birey[dersKonumu2+i]) //dersin kaç saat olduğu bulunuyor
    i=i+1

```

end while

```

dersSaati2==i // ders parçası2'nin kaç saat olduğu bulundu, null değer ise kaç saatlik boşluk olduğu bulundu

```

```

if (dersSaati1==dersSaati2)

```

```

    for (i=0;i<dersSaati1) // iki ayrı konumdaki ders parçalarını yer değiştirerek mutasyon uygula

```

```

        gecici=birey[konum1+0]

```

```

        birey[konum1+0]= birey[konu2+0]

```

```

        birey[konu2+0]=gecici

```

```

    end for

```

```

    return //mutasyon işlemi yapıldı algoritmayı bitir

```

end if

end while

GA yapısı gereği lokal optimumlara takılması muhtemel bir algoritmadır. Bu durumun temel sebebi yeni bireylerin çaprazlama ile eski bireylerden elde edilmesidir. GA'nın lokal optimumlardan kurtulmasını sağlamak için mutasyon operatörü kullanılır [35]. Literatürdeki birçok çalışmada mutasyon operatörü yeni üretilen çocuk kromozomlara uygulanmıştır [29], [30]. Bu çalışmada ise mutasyon operatörü popülasyondaki bütün bireylere uygulanmıştır. Mutasyonun bu şekilde uygulanması popülasyondaki çeşitliliğin daha çok artmasını sağlamıştır. Mutasyonun tüm bireylere uygulanacak olması çözüme yakın olan kromozomların da bozulma ihtimalini ortaya çıkarmaktadır bunun önüne

geçmek için tamamen rastgele bir mutasyon uygulanmamış ve çözüme daha uzak bireylerin seçilme şansının yüksek olduğu rulet tekerine benzer bir yöntemler seçilen bireyler mutasyona uğramıştır. Bu şekilde diğer bireylere oranla daha iyi olan bireylerin genlerini olduğunu gibi diğer nesillere aktarma olasılığı yükselmiştir.

Bu çalışmada mutasyon işleminde yer değiştirme işlemi uygulanmıştır. Bu yer değiştirmede iki olasılık vardır bunlar ya yer değiştirecek ders parçalarının ders saatleri aynı olmalıdır ya da boş bir konuma bir ders parçası yer değiştirmelidir. Mutasyonun bu şekilde uygulanması ders parçalarının ortadan bölünme riskini de ortadan kaldırmaktadır. Kullandığımız mutasyon operatörüne ait algoritma yukarıda verilmiştir.

V. TESTLER VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada üniversite ders programı çizelgelemesi için GA ile çözüm arayan bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulamaya ait ekran görüntüsü Şekil 6'de görülmektedir. Uygulama Microsoft Visual Studio 2017'de WPF ve C# kullanılarak geliştirilmiştir. Uygulamanın kullandığı bütün veriler ve elde edilen ders çizelgeleri Microsoft SQL Sever 2018 de saklanmıştır.

Genetik Algoritma Paramterleri	
Kromozom Sayısı	120
Çaprazlama Oranı	70
Mutasyon Oranı	10
İterasyon Sayısı	50000
GA Çalıştır	
GA ilk fitness değeri	
GA son fitness değeri	

Bölüm/Şube Ders Çizelgesi	
Ders programı Bölüm	01
Ders programı Sınıf	1
Ders programı Şube	A
Kromozom Seç	0
Şube Ders Çizelgesi Göster	

Öğretim elemanı Ders Çizelgesi	
Öğretim elemanı	Re.ÇOLAK
Kromozom Seç	0
Öğretim elemanı Ders Çizelgesi Göster	

Derslik/Labaratuvur Ders Çizelgesi	
Derslik	stüdyo1
Kromozom Seç	0
Derslik ders programını göster	

Şekil 6. GA ile ders çizelgeleme uygulama ekran görüntüsü

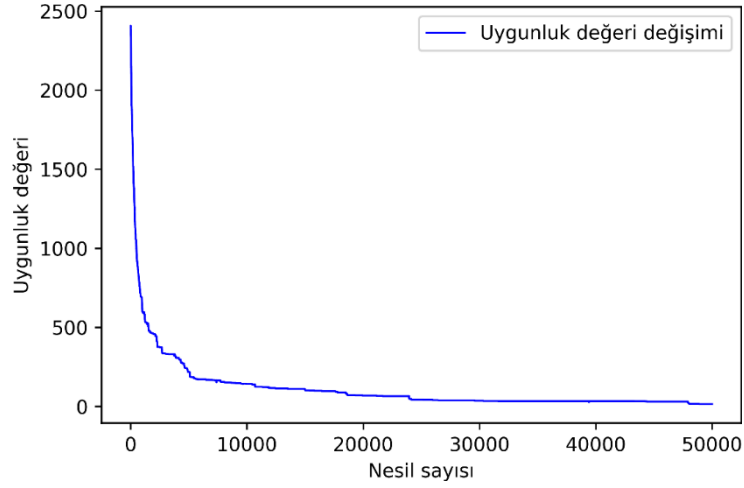
Şekil 6'da görüldüğü gibi geliştirilen GA parametreleri istenildiği gibi değiştirilebilmektedir. Geliştirilen GA, 95 bağımsız ders, 130 ders parçasına ait 276 ders saati, 40 ayrı öğretim elemanı, haftada 5 gün, günde 10 ders saati ve toplam 12 adet derslik olan örnek bir veri kümesi üzerinde çalıştırılmıştır. Testler İntel i7 9750H serisi bir CPU ve 16 GB belleğe sahip bir dizüstü bilgisayarda çalıştırılmıştır. Elde edilen test verileri Tablo 4'te görülebilir.

Tablo 4. Test verileri ve elde edilen sonuçlar

Test	KS	ÇO(%)	MO(%)	NS	İFD	SFD	KÇO(%)	TS (sn.)
1	80	80	5	50000	2409	98	95.91	3571
2	100	40	10	10000	2491	138	94.46	263
3	100	50	5	10000	2372	200	91.56	273
4	100	50	7	10000	2399	108	95.49	275
5	100	50	10	10000	2468	129	94.77	263
6	100	60	10	10000	2491	144	94.21	263
7	100	70	10	10000	2424	128	94.71	256
8	100	80	3	50000	2399	68	97.16	1485
9	100	80	5	10000	2376	149	93.72	300
10	100	80	7	50000	2259	63	97.21	1431
11	100	80	10	10000	2526	208	91.76	278
12	100	80	10	50000	2511	128	94.9	1404
13	100	90	5	50000	2432	265	89.1	1627
14	100	90	10	10000	2489	406	83.68	323
15	120	50	7	10000	2414	168	93.04	341
16	120	50	7	50000	2548	91	96.41	1628
17	120	60	7	50000	2390	91	96.19	1635
18	120	70	10	5000	2307	177	92,32	227
19	120	80	3	50000	2365	60	97.46	1811
20	120	80	5	50000	2485	55	97.78	1466
21	120	80	7	10000	2416	199	91.76	346
22	120	80	7	20000	2254	136	93.96	676
23	120	80	7	30000	2426	77	96.82	1034
24	120	80	7	40000	2477	62	97.49	1326
25	120	80	7	50000	2398	15	99.37	1708
26	150	50	5	10000	2511	148	94.1	426
27	150	50	5	20000	2501	124	95.04	828
28	150	50	7	10000	2270	97	95.72	427
29	150	50	10	10000	2447	97	96.03	402
30	150	80	7	50000	2394	59	97.53	2239

KS: Kromozom sayısı; **ÇO:** Çaprazlama oranı; **MO:** Mutasyon oranı; **NS:** Algoritmanın çalıştığı iterasyon sayısı; **İFD:** İlk nesil için en iyi çözüme sahip bireyin uygunluk değeri; **SFD:** Son nesil için en iyi çözüme sahip bireyin uygunluk değeri; **KÇO:** Kısıtların ne kadarının çözüme ulaştığını gösteren oran; **TS:** Algoritmanın saniye cinsinden çalışma süresi

GA doğası gereği rastsallık içerdiğinden aynı parametrelerle bile çalıştırılsa her seferinde farklı sonuçlar verebilmektedir. GA'nın bu durumundan dolayı her test verisi 10 defa denenmiş ve elde edilen en iyi sonuca ait veriler Tablo 4'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde 25 nolu test verisinin oldukça başarılı olduğu ve kısıtların %99.37 sini çözdüğü görülmüştür. Şekil 7'de 25 nolu teste ait GA'nın uygunluk değerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 7. GA'nın uygunluk değeri değışimi

Şekil 7 incelendiğinde GA'nın başlangıçta hızlı bir iyileşme gerçekleştirerek kısıtları hızlı bir şekilde çözdüğü daha sonra ise iyileşmenin yavaşladığı gözlenmektedir. Tablo 5'te GA'nın çözüme hangi nesilde ne kadar yakınsadığını gösteren bir tablo görülmektedir.

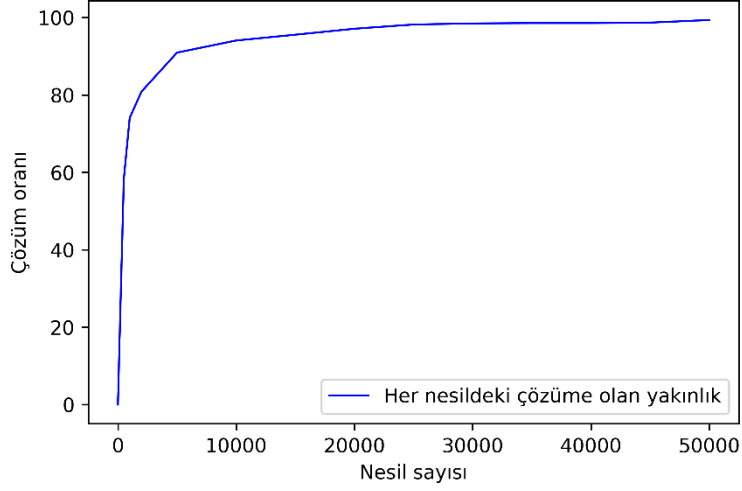
Tablo 5. GA'nın her nesilde çözüme olan uzaklığı ve geçen süre

NS	FD	KÇO (%)	TS (sn.)
1	2398	0.00	0
500	1000	58.30	19
1000	621	74.10	36
2000	458	80.90	72
5000	217	90.95	176
10000	142	94.08	347
15000	106	95.58	514
20000	69	97.12	682
25000	43	98.21	850
30000	36	98.50	1019
35000	34	98.58	1191
40000	34	98.58	1362
45000	31	98.71	1535
50000	15	99.37	2368

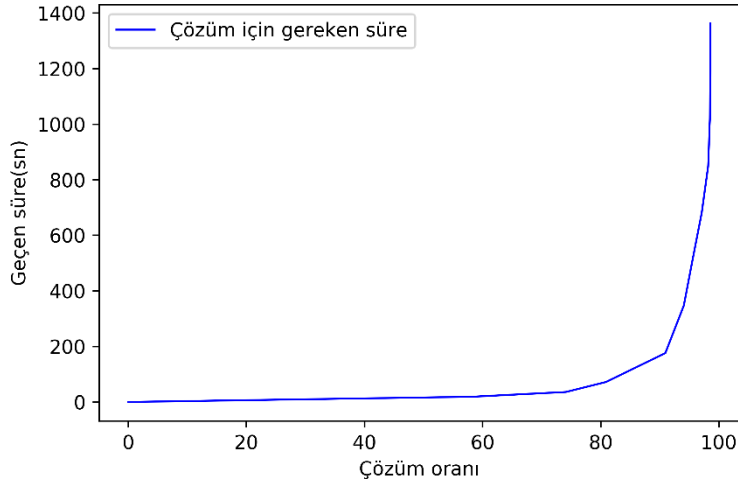
NS: Nesil sayısı; **FD:** En iyi çözüme sahip bireyin uygunluk değeri

Tablo 5'te ki verilerin daha iyi anlaşılması için nesil sayısı-çözüm oranı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

Şekil 8'de, belirli bir çözüm oranına ulaşmak için gereken süreyi gösteren grafik
Şekil 9'da görülebilir.



Şekil 8. GA'nın çözüme ne kadar yaklaştığı



Şekil 9. Çözüm için gereken süre

VI. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışma ile zor bir problem olan üniversite ders çizelgeleme problemine GA ile çözüm aranmıştır. İhlal edilen durumların cezalandırıldığı ve bu cezaların minimize edilmesine çalışan bir tasarım kullanılmıştır. Bu çalışmada ders yerine derslerin ders programına atanan parçaları dikkate alınmış ve bir ders birden fazla ders parçası olarak atanmıştır. Kullanılan kromozom yapısı derslik*periyod şeklinde iki boyutlu bir dizi olarak oluşturulmuştur. Kromozom yapısı sayesinde aynı dersliğe aynı anda birden fazla ders atanması tasarım ile çözülmüştür. İlk kromozom atamasında derslerin bölünmemesi, ders parçasının farklı günde ve farklı derslikte olmaması gibi durumlar da dikkate alındığından algoritmanın daha hızlı sonuca yaklaşmasını sağlamıştır. Kromozom sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranlarının farklı değerleri için farklı sonuçlar alınsa da yapılan bütün testlerde ilk atanan ders çizelgelerinde iyileştirmeler gözlenmiştir. Nesil sayısının artması daha fazla bölgenin aranmasını sağladığında her zaman sonucun küçükte olsa daha iyiye gitmesini sağlamıştır. Kromozom sayısının artmasının her zaman çözüme olumlu yansımadığı gözlenmiştir. Farklı kromozom sayıları için farklı çaprazlama ve mutasyon sayılarının çözüme daha yakın sonuçlar verebildiğini göstermiştir. Çözüme kavuşturulmak istenen veri kümesi ve kısıtlara göre en uygun kromozom sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranının değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Bizim veri kümemize göre

100-150 arası bir kromozom sayısı, 70-80 arası bir çaprazlama oranı ve 5-10 arası bir mutasyon oranının iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ders çizelgeleme gibi gerçek hayat problemlerinde her zaman en iyi sonuca ulaşmak yerine makul bir sürede çözüme yakın sonuçlarda kabul edilebilmektedir. Problem bu açıdan incelendiğinde 5000 nesil ve 3 dakikadan az bir sürede kısıtların %90 nın çözülebildiği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda araştırmacılar kısıtları bir bütün olarak ele almak yerine veri kümesine göre daha zor ya da daha kolay çözülen kısıtları sınıflandırma yoluna giderek veri kümesine uygun kromozom tasarımı yapabilirler.

VII. KAYNAKLAR

- [1] A. I. Diveev and O. V. Bobr, “Variational genetic algorithm for np-hard scheduling problem solution,” *Procedia Computer Science*, vol. 103, pp. 52–58, 2017.
- [2] A. Muklason, R. G. Irianti, and A. Marom, “Automated course timetabling optimization using tabu-variable neighborhood search based hyper-heuristic algorithm,” *Procedia Computer Science*, vol. 161, pp. 656–664, 2019.
- [3] K. Alomari, O. Almarashdi, A. Marashdh, and B. Zaqibeh, “A new optimization on harmony search algorithm for exam timetabling system,” *Journal Of Information And Knowledge Management*, vol. 19, no. 1, pp. 202009_1-202009_13, 2020.
- [4] M. Chen, X. Tang, T. Song, C. Wu, S. Liu, and X. Peng, “A tabu search algorithm with controlled randomization for constructing feasible university course timetables,” *Computers & Operations Research*, vol. 123, pp. 105007, 2020.
- [5] A. Gülcü And C. Akkan, “Robust university course timetabling problem subject to single and multiple disruptions,” *European Journal Of Operational Research*, vol. 283, no. 2, pp. 630–646, 2020.
- [6] K. Patrick and Z. Godswill, “Greedy ants colony optimization strategy for solving the curriculum based university course timetabling problem,” *British Journal Of Mathematics & Computer Science*, vol. 14, no. 2, pp. 1–10, 2016.
- [7] E. A. Abdelhalim and G. A. El Khayat, “A utilization-based genetic algorithm for solving the university timetabling problem (uga),” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 55, no. 2, pp. 1395–1409, 2016.
- [8] M. W. Carter, “A comprehensive course timetabling and student scheduling system at the university of waterloo,” *Practice and Theory of Automated Timetabling III. PATAT 2000*, 2000 pp. 64–82
- [9] M. Shahvali Kohshori and M. Saniee Abadeh, “Hybrid genetic algorithms for university course timetabling,” *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 9, no. 2, pp. 446-455, 2012.
- [10] T. Yiğit, “Meslek liseleri haftalık ders çizelgelerinin genetik algoritmalar yardımıyla oluşturulması,” *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol. 19, pp. 25–39, 2004.
- [11] M. A. Cruz-Chávez, M. Flores-Pichardo, A. Martínez-Oropeza, P. Moreno-Bernal, And M. H. Cruz-Rosales, “Solving a real constraint satisfaction model for the university course timetabling problem: a case study,” *Mathematical Problems In Engineering*, vol. 2016, 2016.
- [12] J. H. Obit, K. Y. Junn, and R. Alfred, “A performance comparison of metaheuristics search for university course timetabling problems,” *Advanced Science Letters*, vol. 23, no. 11, pp. 11012–11015,

2017.

- [13] K. Y. Junn, J. H. Obit, and R. Alfred, "A constraint programming approach to solving university course timetabling problem (uctp)," *Advanced Science Letters*, vol. 23, no. 11, pp. 11023–11026, 2017.
- [14] M. Lindahl, A. J. Mason, T. Stidsen, and M. Sørensen, "A strategic view of university timetabling," *European Journal Of Operational Research*, vol. 266, no. 1, pp. 35–45, 2018.
- [15] T. L. June, J. H. Obit, Y.-B. Leau, and J. Bolongkikit, "Implementation of constraint programming and simulated annealing for examination timetabling problem," *Computational Science and Technology*, pp. 175–184, 2019.
- [16] R. Çolak, "Sezgisel algoritmalarla ders programı çizeleme problemi çözümü," YL tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2015.
- [17] M. C. Chen, S. N. Sze, S. L. Goh, N. R. Sabar, and G. Kendall, "A survey of university course timetabling problem: perspectives, trends and opportunities," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 106515–106529, 2021.
- [18] D. De Werra, A. S. Asratian, and S. Durand, "Complexity of some special types of timetabling problems," *Journal Of Scheduling*, vol. 5, no. 2, pp. 171–183, 2002.
- [19] E. K. Burke, B. McCollum, A. Meisels, S. Petrovic, and R. Qu, "A graph-based hyper-heuristic for educational timetabling problems," *European Journal Of Operational Research*, vol. 176, no. 1, pp. 177–192, 2007.
- [20] N. L. Lawrie, "An integer linear programming model of a school timetabling problem," *The Computer Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 307–316, 1969.
- [21] N. Boland, B. D. Hughes, L. T. G. Merlot, and P. J. Stuckey, "New integer linear programming approaches for course timetabling," *Computers & Operations Research*, vol. 35, no. 7, pp. 2209–2233, 2008.
- [22] G. B. Bucco, C. J. Bornia-Poulsen, and D. L. Bandeira, "Development of a linear programming model for the university course timetabling problem," *Gestao E Producao*, vol. 24, no. 1, pp. 40–49, 2017.
- [23] J. M. Maldonado-Matute, M. J. González Calle, and R. M. Celi Costa, "Development of a solution model for timetabling problems through a binary integer linear programming approach," *Intelligent Human Systems Integration*, vol. 1131, pp. 510–516, 2020.
- [24] O. Kaynar ve A. Yurtsal, "Ders programı çizeleme probleminin genetik algoritma ile optimizasyonu," *Journal Of Information Systems And Management Research*, vol. 1, no. 1, pp. 9–14, 2019.
- [25] A. Colnari, M. Dorigo, and V. Maniezzo, "A genetic algorithm to solve the timetable problem," *Politecnico Di Milano*, pp. 90-060, 1992.
- [26] M. A. Mohammed, M. Khanapi, A. Ghani, O. I. Obaid, and S. Mostafa, "A review of genetic algorithm application in examination timetabling problem," *Journal Of Engineering And Applied Sciences*, vol. 12, no. 20, pp. 5166–5181, 2017.
- [27] S. Naseem Jat and S. Yang, "A guided search genetic algorithm for the university course timetabling problem," *4th Multidisciplinary International Conference On Scheduling: Theory And Applications (MISTA 2009), Dublin, Ireland, 2009*, pp. 180-191.

- [28] W. Herbawi and M. Weber, "A genetic and insertion heuristic algorithm for solving the dynamic ridematching problem with time windows," *Proceedings Of The 14th International Conference On Genetic And Evolutionary Computation*, New York, USA, 2012, pp. 385-392.
- [29] A. A. Gozali, B. Kurniawan, W. Weng, and S. Fujimura, "Solving university course timetabling problem using localized island model genetic algorithm with dual dynamic migration policy," *IEEJ Transactions On Electrical And Electronic Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 389–400, 2020.
- [30] C. Akkan and A. Gülcü, "A bi-criteria hybrid genetic algorithm with robustness objective for the course timetabling problem," *Computers And Operations Research*, vol. 90, pp. 22–32, 2018.
- [31] A. A. Mahiba and C. A. D. Durai, "Genetic algorithm with search bank strategies for university course timetabling problem," *Procedia Engineering*, vol. 38, pp. 253–263, 2012.
- [32] J. H. Holland, "Genetic algorithms and the optimal allocation of trials," *Siam Journal On Computing*, vol. 2, no. 2, pp. 88–105, 1973.
- [33] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, And Machine Learning*, Addison-Wiley, 1989.
- [34] G. Panchal and D. Panchal, "Solving np hard problems using genetic algorithm," *International Journal Of Computer Science And Information Technologies*, vol. 6, no. 2, pp. 1824–1827, 2015.
- [35] Babaei, H., Karimpour, J., Hadidi, A. "A survey of approaches for university course timetabling problem," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 86, pp. 43-59, 2015.
- [36] Rezaeipanah, A., Matoori, S. S., and Ahmadi, G. "A hybrid algorithm for the university course timetabling problem using the improved parallel genetic algorithm and local search," *Applied Intelligence*, vol.51, pp.467-492, 2021
- [37] A. J. Umbarkar and P. D. Sheth, "Crossover operators in genetic algorithms: a review," *Ictact Journal On Soft Computing*, vol. 6 pp. 1083-1092, 2015.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Application of Reconstruction Algorithms by Simulation Experiments for the Diagnosis of Breast Tumor-Like Tissues Modeled in Diffuse Optical Tomography¹

 Gençay SEVİM^{a,b,*},  Yiğit Ali ÜNCÜ^c,  Murat CANPOLAT^c

^a Health Services and Techniques, Vocational School of Medical Services, Ufuk University, Ankara, TURKEY

^b Nanotechnology, Department of Advanced Technologies, Eskisehir Technical University, Eskisehir, TURKEY

^c Biomedical Optics Research Unit, Department of Biophysics, School of Medicine, Akdeniz University, Antalya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: gencay.sevim@ufuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1016284

ABSTRACT

In Diffuse Optical Tomography (DOT), data processing and reconstruction stages are crucial to obtain high-quality images. Thus, choosing suitable algorithms for the system is a critical choice. This study aims to determine an appropriate reconstruction algorithm for DOT imaging. There are several reconstruction algorithms used in DOT systems. Some algorithms have been improved for solving specific cases, and some still need to be improved. In this study, we used three algorithms for the reconstruction process: Singular Value Decomposition (SVD), Bi-Conjugated Gradient (Bi-CG), and Transpose Free Quasi Minimal Residual (TFQMR). In testing the algorithms, data of the simulation experiments have been used. The simulation experiments model the tumoral tissue within the breast. All three algorithms were produced correct images while the tumor close to the surface. In the case of the tumor that is not close to the breast surface, the tumor location on the images created by Bi-CG and SVD algorithms was not its actual location. However, the tumor location in the image created by the TFQMR algorithm was close to its actual location. Outcomes of the reconstruction algorithms were evaluated based on correctly defining the location of the tumors by using Mean Percentage Error (MPE), Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Error (MAE) metrics. We have demonstrated the TFQMR algorithm is a more appropriate reconstruction technique for DOT systems. Thus, we have concluded that TFQMR can have the potential to be used in medical imaging systems.

Keywords: Reconstruction Algorithm, Singular Value Decomposition, Bi-Conjugated Gradient, Transpose Free Quasi Minimal Residual

Difüz Optik Tomografi'de Modellenmiş Meme Tümörü Benzeri Dokuların Teşhisi için Simülasyon Deneyleriyle Geri Çatım Algoritmalarının Uygulanması

ÖZ

Difüz Optik Tomografide (DOT), yüksek kaliteli görüntüler elde etmek için veri işleme ve geri çatım aşamaları çok önemlidir. Bu nedenle, sistem için uygun algoritmaların belirlenmesi kritik bir seçimdir. Bu çalışma, DOT görüntüleme için uygun bir geri çatım algoritmasını belirlemeyi amaçlamaktadır. DOT sistemlerinde kullanılan birçok geri çatım algoritması vardır. Bazı algoritmalar belirli özel durumları çözmek için geliştirilmiştir ve bazılarının da hala iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, geri çatım işlemi için üç algoritma kullanılmıştır; Tekil Değer Ayrışımı (SVD), Bi-Konjuge Gradyan (Bi-CG) ve Transpozitesiz Yarı Minimal Rezidüel (TFQMR). Algoritmaların test edilmesinde simülasyon deneylerinin verileri kullanılmıştır. Simülasyon deneyleri, meme içindeki tümör dokusunu modellemektedir. Her üç algoritma da tümör yüzeye yakınsa gerçeğe daha yakın

¹ This study was presented in ICAIAME 2021 and published as summary text.

görüntüler üretmiştir. Tümörün meme yüzeyine yakın olmaması durumunda ise, Bi-CG ve SVD algoritmaları ile oluşturulan görüntülerdeki tümör konumu gerçek konumu değildir. Ancak TFQMR algoritması ile oluşturulan görüntüdeki tümör konumu, gerçek konumuna yakın elde edilmiştir. Geri çatım algoritmalarının sonuçları, Ortalama Yüzde Hata (MPE), Ortalama Kare Hata (MSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) metrikleri kullanılarak tümörlerin lokasyonunun doğru tanımlanmasına dayalı olarak değerlendirilmiştir. TFQMR algoritmasının DOT sistemleri için daha uygun bir geri çatım tekniği olduğu gösterilmiştir. Böylece, TFQMR'nin tıbbi görüntüleme sistemlerinde kullanılma potansiyeline sahip olabileceği sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Geri Çatım Algoritması, Tekil Değer Ayrışımı, Bi-Konjuge Gradyan, Transpozisiz Yarı Minimal Rezidüel

I. INTRODUCTION

Diffuse Optic Tomography (DOT) is an alternative to other medical imaging systems for imaging biological tissues. DOT systems perform in different ways: Time-Domain, Frequency-Domain, Continuous-Wave (CW), and Hybrid [1]–[5].

We have designed our system as a Continuous-Wave Diffuse Optic Tomography (CW-DOT) [5]. CW-DOT systems also emit a constant amplitude of light. It provides to examine a pathological change in tissue by measuring the decrease in the amplitude of the incident light.

In CW-DOT, there are three main processes for imaging tissue. Firstly, the CW-DOT probe collects light distribution data from each biological tissue having specific optical properties such as absorption and scattering coefficients, anisotropy, and refractive indexes [6]. Secondly, Monte Carlo simulations produce a weight matrix. In back reflection DOT systems, the trajectory of the detected photons is in banana shape (it is not a straight line). Therefore, a simulation is required to create the weight matrix [7]. Finally, the reconstruction process is used for solving the linear equation system referring to light distribution within a medium. The radiative transfer equation mathematically models the light distribution in the tissue [6], but the equation is difficult to calculate. Therefore, diffusion approximation can reduce it to the diffusion equation [2]. Furthermore, applying some mathematical approximations to the equation linearizes it. The reconstruction process is applied to find the unknown matrix by solving the linear equation system, which allows obtaining an image of the tissue [1], [2].

DOT has become one of the alternative diagnostic methods, but it still has many obstacles needed to improve. One of them is the reconstruction process affecting image quality significantly. Recently, many different reconstruction algorithms have been embedded in the DOT systems [1]–[5]. However, every reconstruction algorithm has disadvantages [2], [8], [9]. A reconstruction algorithm cannot solve all matrix systems. For example, Conjugated Gradient (CG)-based algorithms can solve symmetric, positive definite, large sparse matrix systems, but not non-Hermitian [8], [9]. Each algorithm is specific to the system to be used. Therefore, choosing an appropriate reconstruction algorithm for the system is crucial.

In this study, we have designed simulations modeling the breast tissue with a tumor and without it. To reconstruct the breast phantoms, we have used three different algorithms: Singular Value Decomposition (SVD), Bi-Conjugated Gradient (Bi-CG), and Transpose Free Quasi Minimal Residual (TFQMR). We have used the SVD algorithm in this study because it is one of the most used algorithms in imaging systems in the literature. In addition to SVD, CG-based algorithms are also commonly used in many imaging systems. We have used the Bi-CG algorithm among these CG-based algorithms because it was developed for non-Hermitian systems. We have determined that TFQMR produces high-quality images in a previous study [2]. However, we have never evaluated these algorithms with performance metrics before. Therefore, we have evaluated three algorithm with the performance metrics such as Mean Percentage Error (MPE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Squared Error (MSE) [11]–[13].

II. MATERIAL AND METHOD

A. SIMULATION EXPERIMENTS

In the simulation experiments, breast and tumoral tissue were modeled with the absorption coefficient of breast and tumoral tissue being 0.04 cm^{-1} and 0.16 cm^{-1} , respectively. We have simulated breast tumors at different depths. Also, we have counted the number of photons detected from the breast tissue with a tumor and without it separately. Next, we have obtained the perturbation data by subtracting the number of photons obtained from the breast tissue without tumor from those with it. Then, we have used the perturbation data in the reconstruction algorithms.

B. RECONSTRUCTION ALGORITHMS

In the literature, reconstruction algorithms are used to solve large systems in many fields, including medical imaging systems. However, we used three algorithms: SVD, Bi-CG, and TFQMR techniques.

B. 1. Singular Value Decomposition

SVD solves large matrix systems by decomposition. In this algorithm, the coefficients are decomposed to form two eigenvectors and one eigenvalue by performing a sort of factorization operation on this matrix to invert a coefficient matrix [14]–[16].

Eigenvector of $A^T A$ is V , eigenvector of AA^T is U . Since $AA^T = A^T A$, the eigenvalues provided by the two eigenvectors are common.

The basis of the algorithm [14]–[16],

$$A = USV^T \quad (1)$$

$$A^T A = VS^T U^T USV^T = VS^T ISV^T \quad (2)$$

$$U^T U = I \quad (3)$$

$$A^T A = VS^T ISV^T = VS^T SV^T \quad (4)$$

Since S is a diagonal matrix, $SS^T = S^T S = S^2$. Then, Eqn. 4 can be written as the equality “ $A^T A = VS^2 V^T$ ”. According to the equation, it is found that S^2 is eigenvalue and that the vector V is the eigenvector. Likewise, when considering AA^T ;

$$AA^T = USV^T VS^T U^T = USS^T U^T = US^2 U^T \quad (5)$$

According to Eqn. 5, the eigenvalue of AA^T is S^2 , and the eigenvector of AA^T is obtained as U [14]–[16].

B. 2. Bi-Conjugated Gradient

The Bi-CG is also an improved version of the Conjugated Gradient (CG) for the non-Hermitian system. In addition to CG subspaces, there is another subspace of the Bi-CG, which is defined in Eqn. 6 [10], [17].

$$L_i = \text{span}(w_0, A^T w_0, (A^T)^2 w_0, \dots, (A^T)^{i-1} w_0) \quad (6)$$

Therefore, the Bi-CG does not need an asymmetric coefficient matrix to solve a system. The Bi-CG uses extra two vectors being intrinsic to L_i subspace to solve a system (Eqn. 7).

$$r_i^* = r_{i-1}^* - \alpha_i A^T p_i^*, \quad p_i^* = r_{i-1}^* - \beta_i p_{i-1}^* \quad (7)$$

where α is a constant of orthogonality relation, and β is the Gram-Schmidt constant. During obtaining a solution, the Bi-CG keeps on iterating until it gets a vector meeting the following conditions [10], [17]:

$$(r_i^*, r_j) = 0, \quad i \neq j \quad (8)$$

$$(p_i^*, A p_j) = 0, \quad i \neq j \quad (9)$$

The Bi-CG algorithm was improved to solve matrices systems with non-Hermitian matrix. However, it is inconsistent due to having a situation called wild oscillation, which causes irregular convergence behavior [8], [9].

B. 3. Transpose Free Quasi Minimal Residual

The QMR was put forward to be able to solve Bi-CG's irregular convergence behavior problem [9], [18], [19]. However, as in Eqn. 11, while the QMR method solves a matrix system, it needs to use matrix-vector multiplications with the coefficient matrix (A) and its transpose (A^T) [8].

$$\text{span}\{v_1, v_2, \dots, v_n\} = K_n(v_1, A) \quad n = 1, 2, \dots \quad (10)$$

$$\text{span}\{w_1, w_2, \dots, w_n\} = K_n(w_1, A^T) \quad n = 1, 2, \dots \quad (11)$$

The n th Krylov subspace of \mathbb{C}^N is produced by sequences of vectors v_1, w_1 and the matrices A and A^T . The QMR produces two sequences of vectors (Eqn. 10, 11). To achieve this, it needs transpose of the coefficient matrix. Thus, the TFQMR method was proposed as an alternative method to overcome the problem [8].

In QMR, as in Eqn.12, a nonsingular matrix (S) is used to be able to simplify the Lanczos process, which provides to eliminate transpose in TFQMR by rearranging the initial vector w_1 (Eqn. 13) [8], [9], [19].

$$A^T S = S A, \quad S \in \mathbb{C}^{N \times N}, \quad v_1, w_1 \in \mathbb{C}^N \quad (12)$$

$$w_1 := \frac{1}{\|S v_1\|} S v_1 \quad (13)$$

$$w_n = \frac{\gamma_n}{\|S v_n\|} S v_n = \frac{1}{\|S v_n\|} S v_n \quad (14)$$

In other words, the TFQMR converges by rearranging vector sequences of the Conjugate Gradient Squared (CGS) [9], [19]. This arrangement provides smooth convergence and low computational cost [2], [8], [9], [19].

C. PERFORMANCE EVALUATION

The error metrics define e_t error as the difference between the actual observed value y_t and its prediction \hat{y}_t at time t . This difference refers to the unpredictable part of the corresponding observation. It can be written as Eqn. 15.

$$e_t = y_t - \hat{y}_t \quad (15)$$

The error metrics used in these processes are explained and compared in Eqn. 15. All error metrics as MPE, MAE, MSE used in these processes are explained and compared. MPE measures the percentage of the mean difference between predicted values and those observed in Eqn. 16. Therefore, it becomes independent of the measurement scale. Near-zero MPE values mean that the model has no specific bias; it does not provide information about the accuracy performance of the model and weighs all mistakes equally [12].

$$MPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n e_t / y_t \quad (16)$$

The MAE measures the mean absolute difference between predicted values and those observed. Instead, it measures the overall error of the estimate. Therefore, the smaller the MAE results, the higher success of the model in Eqn. 17 [11].

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (17)$$

MSE measures the mean square prediction error in Eqn.18. Since the error measure squares the errors, the information about the general error direction is lost. For the same reason, MSE highlights gross errors to penalize overestimation errors, unlike previous error metrics. MSE is not independent of scale, even very sensitive to small-scale differences. Although MSE results are difficult to understand and interpret, it is more useful in the prediction model, especially when large errors are not desired [13].

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e^2 \quad (18)$$

All performance metrics used in this study are useful for a prediction process. Reconstruction algorithms endeavor to solve a matrix system, but they do not provide the exact solution. Therefore, performance metrics can provide information about how close the algorithms are to the solution. All performance metrics have been embedded into three reconstruction algorithms. Because all algorithms are iterative methods, performance metrics are based on the number of iterations that provide the final image.

III. RESULTS

A simulation code has been written in MATLAB 2020b to create simulation data. The experimental data have been obtained from simulation experiments in the study. Simulation data, which simulates tumoral tissue, have been generated at different locations (Figure 1 (a, b) and 2 (a, b)). Figures 1 (b) and 2 (b) are the depths at which tumoral tissues have been placed. In addition, the results of performance methods such as MPE, MAE, and MSE have been shown in Tables 1 and 2.

In this experiment, a tumor (its size is $0.4 \times 0.6 \times 0.2 \text{ cm}^3$, the depth is 0.2 cm) within the breast has been simulated in Figure 1 (a, b). Then, images have been reconstructed by three algorithms. Figure 1 (c, d) is the x-y and x-z images reconstructed by the SVD algorithm, respectively. Similarly, Figure 1 (e, f) are images generated by the Bi-CG algorithm, and Figure 1 (g, h) are images generated by the TFQMR algorithm. There seems to be no significant difference between the reconstructed images. However, when examining the error parameters of the three algorithms (Table 1), it is seen that there is a slight difference. It shows how close the reconstructed images are to the actual simulation image because these error parameters have been calculated according to the numerical data of images. Thus, it indicates that the TFQMR algorithm provides a better solution than other algorithms.

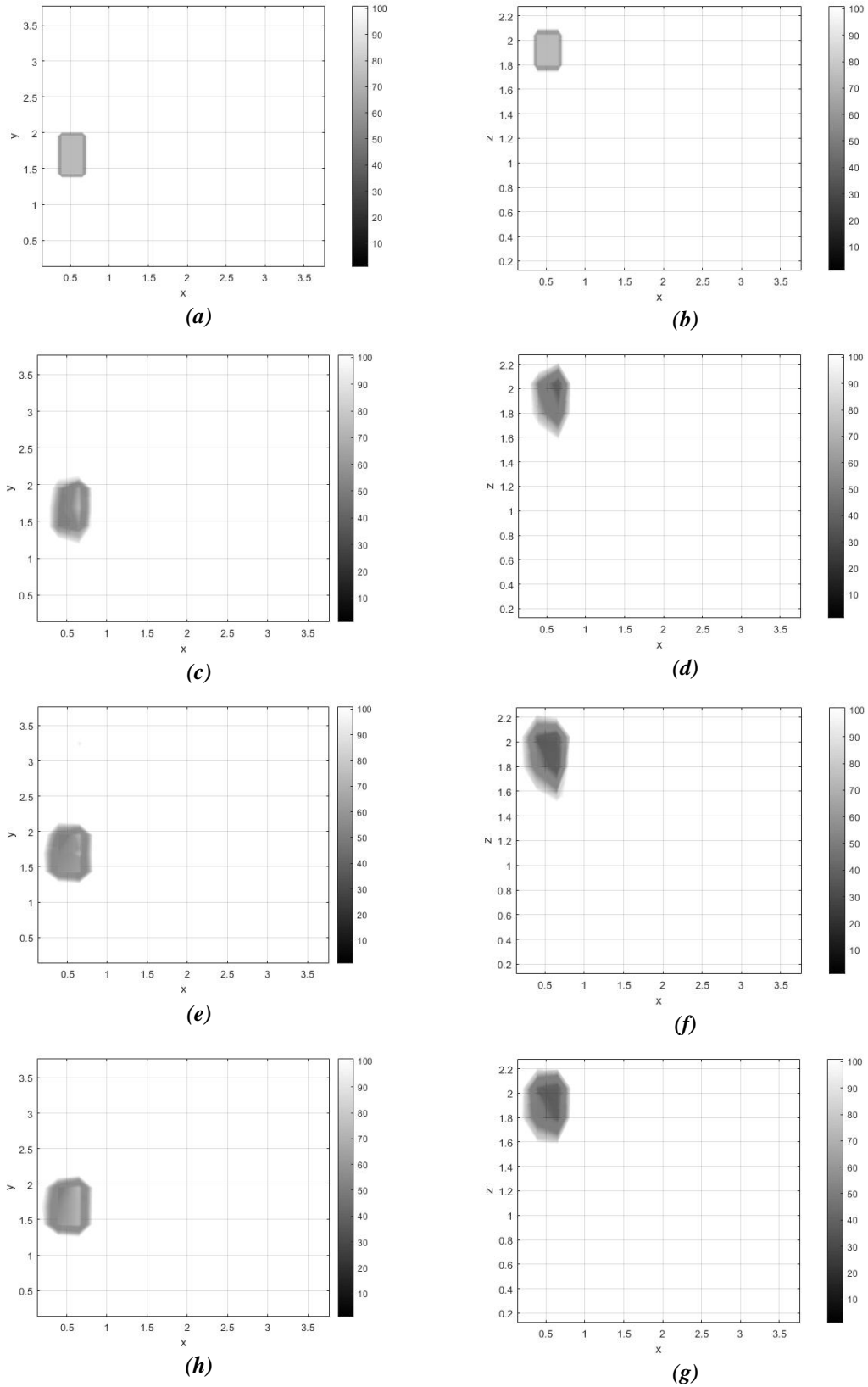


Figure 1. (a) The x-y plane and (b) The x-z plane images are the simulation of the tumoral tissue within the breast (1.4 – 2 at y, 0.3 – 0.7 at x, 1.9 – 2.1 at z coordinates), (c) The x-y plane (d) The z-x plane images are reconstructed by SVD, (e) The x-y plane (f) The x-z plane images are reconstructed by Bi-CG, (g) is the x-y plane image reconstructed by TFQMR, and (h) is the x-z plane image reconstructed by TFQMR. The gray color bars refer to the change of absorption coefficient.

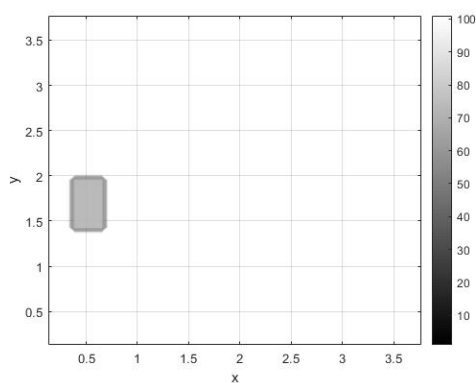
Table 1. In the first simulation experiment, the mean percentage error, mean absolute error and mean squared error of numerical data of the images were reconstructed by each algorithm according to the numerical data of real simulation. The error parameters were calculated according to the numerical data of the real simulation image and the numerical data of the images reconstructed by algorithms.

Reconstruction Algorithm	Mean Percentage Error (MPE) (%)	Mean Absolute Error (MAE)	Mean Squared Error (MSE)
SVD	35.2050	0.020896	0.00055217
Bi-CG	31.7521	0.020063	0.00052261
TFQMR	23.0437	0.015721	0.00035844

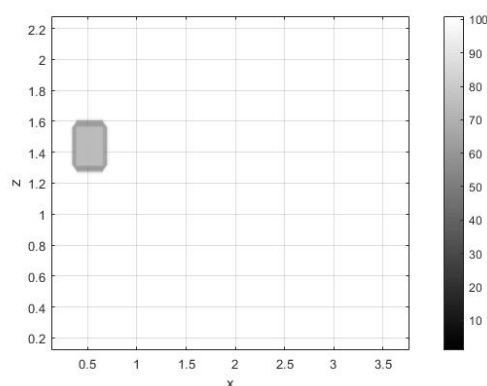
In this experiment, tumoral tissue within the breast tissue was at a depth of 0.7 cm (Figure 2 (a, b)). As like, Figure 2 (c, d) are images reconstructed by the SVD algorithm, Figure 2 (e, f) are images generated by the Bi-CG algorithm, and Figure 2 (g, h) are images generated by the TFQMR algorithm. In this experiment, there is a substantial difference between the reconstructed images. There is a significant difference in appearance between the reconstructed images. Even considering the error parameters, we see this more clearly. TFQMR and Bi-CG parameters when the error does not change significantly, but the changes SVD parameters (Table 2). Nevertheless, the TFQMR provides the ideal parameters and generates the best image for this experiment.

Table 2. In the second simulation experiment, the mean percentage error, mean absolute error and mean squared error of numerical data of the images were reconstructed by each algorithm according to the numerical data of real simulation. The error parameters were calculated according to the numerical data of the real simulation image and the numerical data of the images reconstructed by algorithms.

Reconstruction Algorithm	Mean Percentage Error (MPE) (%)	Mean Absolute Error (MAE)	Mean Squared Error (MSE)
SVD	44.7685	0.024262	0.00075688
Bi-CG	31.8817	0.020342	0.00055855
TFQMR	23.1503	0.016408	0.00039433



(a)



(b)

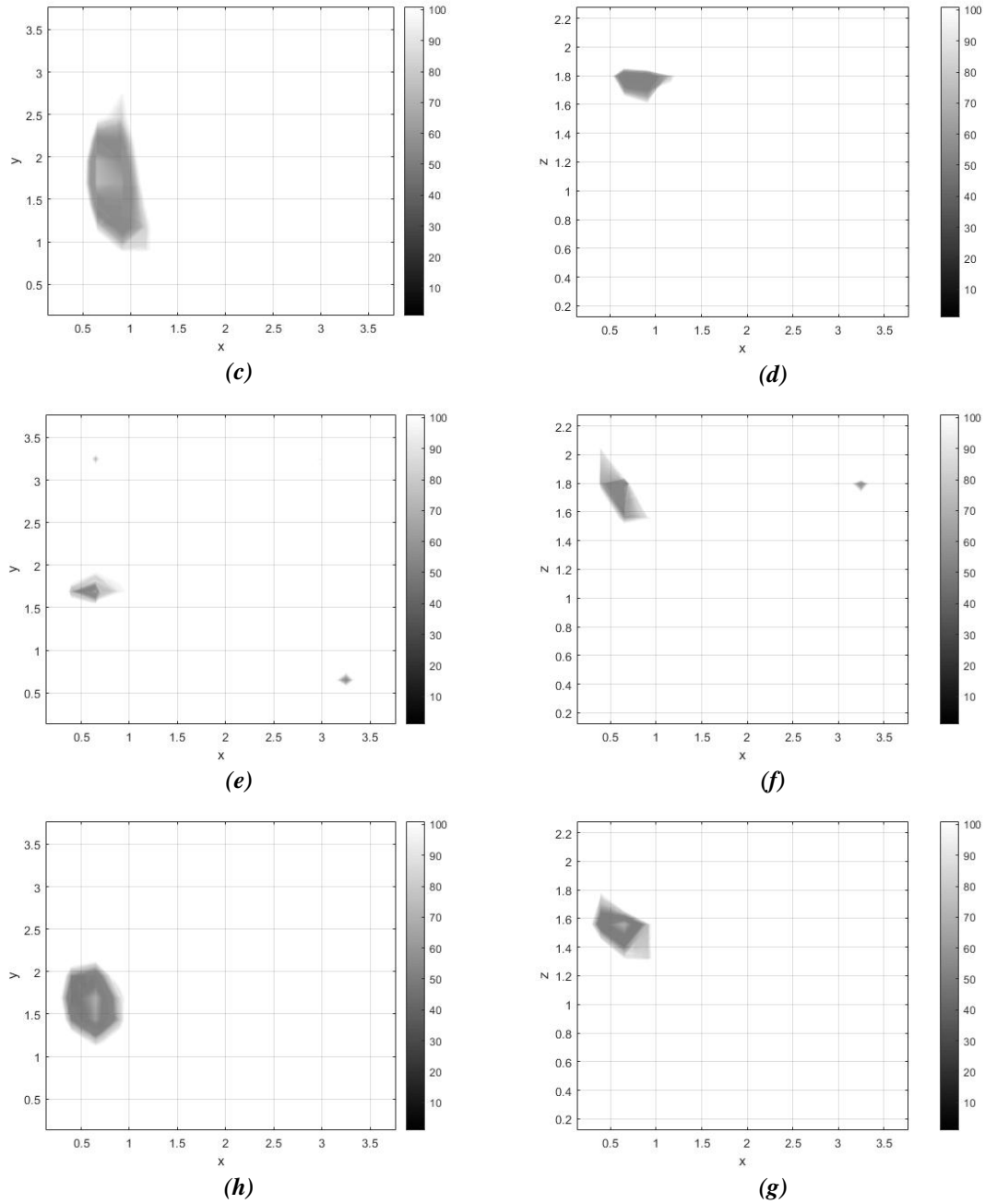


Figure 2. (a) The x-y plane and (b) The x-z plane images are the simulation of the tumoral tissue within the breast, (1.4 – 2 at y, 0.3 – 0.7 at x, 1.3 – 1.6 at z) (c) The x-y plane (d) The z-x plane images are reconstructed by SVD, (e) The x-y plane (f) The x-z plane images are reconstructed by Bi-CG, (g) is the x-y plane image reconstructed by TFQMR, and (h) is the x-z plane image reconstructed by TFQMR. The gray color bars refer to the change of absorption coefficient.

IV. CONCLUSION & DISCUSSION

The reconstruction of the DOT systems is an essential process affecting image quality, location, resolution. Although several reconstruction algorithms have been used for DOT systems, Krylov subspace algorithms provide a better solution [1], [3]. In our previous studies, we used both algebraic and subspace algorithms [1], [2], [20] - [22]. These algorithms are Algebraic Reconstruction, Simultaneous Iterative Reconstruction, SVD, CG, Bi-CG, and TFQMR techniques. In these studies, we

compared some algorithms with each other and that some algorithms provide higher quality images for CW-DOT systems. We have shown that CG-based algorithms are superior to algebraic algorithms for CW-DOT systems [1]. Later, we have compared TFQMR with only Bi-CG [2]. In the literature, the CG technique is commonly used as one of the most powerful techniques to solve large, sparse, positive definite linear systems. The CG provides a solution to Hermitian systems [21], but not non-Hermitian matrix systems [8], [9]. For this case, some algorithms were developed to solve a proper solution system [9], [19]. One of them is the Bi-CG algorithm based on CG. Although Bi-CG solves non-Hermitian systems [10], [17], it has limitations and disadvantages. An algorithm must meet two significant properties to solve non-Hermitian systems. However, the Bi-CG algorithm provides only one; thus, it produces oscillations causing irregular convergence behavior and numerical instabilities [8], [9], [19]. The TFQMR algorithm was developed to overcome the drawback of the Bi-CG [9].

In this study, we have compared three algorithms by examining performance metrics. It has been shown that TFQMR provides a better solution and generates tumor images in actual location and depth than Bi-CG and SVD. TFQMR images have the lowest MPE, MAE, and MSE rates (Table 1 and 2). When considering the results of the reconstruction algorithms, the algorithm with the lowest MSE and MAE ratios is TFQMR. Considering that the MSE value approaches 0, it is shown as a numerical evaluation that TFQMR is the most successful algorithm among the reconstruction algorithms. When examining both the visual and performance assessment of the experimental results, it is shown that the results obtained with TFQMR were better than the others. Although the simulation experiments are not suitable for the actual breast tissue, simulation experiments have given us information about which algorithm worked well. As a result of the experimental studies, it has been observed that the TFQMR algorithm is suitable for our system.

V. REFERENCES

- [1] T. Mercan, G. Sevim, Y. A. Üncü, U. Serkan, H. Ö. Kazancı, and M. Canpolat, "The comparison of reconstruction algorithms for diffuse optical tomography," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, vol. 14, no. 2, pp. 285–295, 2019.
- [2] G. Sevim, Y. A. Üncü, T. Mercan, and M. Canpolat, "Image reconstruction for diffuse optical tomography using bi-conjugate gradient and transpose-free quasi minimal residual algorithms and comparison of them," *International Journal of Imaging Systems and Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 1894-1905, 2021.
- [3] R. J. Gaudette et al., "A comparison study of linear reconstruction techniques for diffuse optical tomographic imaging of absorption coefficient," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 45, no. 4, pp. 1051-70, 2000.
- [4] D. A. Boas et al., "Imaging the body with diffuse optical tomography," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 18, no. 6, pp. 57-75, 2001.
- [5] H. Ö. Kazancı, T. Mercan, and M. Canpolat, "Design and evaluation of a reflectance diffuse optical tomography system," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 47, no. 2, pp. 257-265, 2015.
- [6] S. L. Jacques, "Optical properties of biological tissues: a review," *Physics in Medicine & Biology*, vol. 58, no. 11, R37, 2013.
- [7] M. Canpolat, "Variation of photon density distribution with system component within Intralipid emulsion," *Optik*, vol. 122, no. 10, pp. 887-890, 2011.
- [8] R. W. Freund and N. M. Nachtigal, "QMR: a quasi-minimal residual method for non-Hermitian linear systems," *Numerische Mathematik*, vol. 60, no. 1, pp. 315–339, 1991.


- [9] R. W. Freund, "A transpose-free quasi-minimal residual algorithm for non-hermitian linear systems," *SIAM Journal of Scientific Computing*, vol. 14, no. 2, pp. 470-482, 1993.
- [10] R. E. Bank and T. F. Chan, "A composite step bi-conjugate gradient algorithm for nonsymmetric linear systems," *Numerical Algorithms*, vol. 7, no. 1, pp. 1-16, 1994.
- [11] C. J. Willmott and K. Matsuura, "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance," *Climate Reseach*, vol. 30, no. 1, pp. 79-82, 2005.
- [12] A. de Myttenaere, B. Golden, B. Le Grand, and F. Rossi, "Mean absolute percentage error for regression models," *Neurocomputing*, vol. 192, pp. 38-48, 2016.
- [13] Z. Wang and A. C. Bovik, "Mean squared error: Lot it or leave it? A new look at signal fidelity measures," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 1, pp. 98-117, 2009.
- [14] C. F. Van Loan, "Generalizing the singular value decomposition," *SIAM Journal on Numerical Analysis*, vol. 13, no. 1, pp. 76-83, 1976.
- [15] V. C. Klema and A. J. Laub, "The Singular value decomposition: Its computation and some applications," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 25, no. 2, pp. 164-176, 1980.
- [16] S. L. Brunton and J. N. Kutz, "Chapter 1: Singular value decomposition (SVD)," in *Data Driven Science & Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*, Cambridge, 2019, pp. 3-47.
- [17] G. Ortega, E. M. Garzón, F. Vázquez, and I. García, "The BiConjugate gradient method on GPUs," *The Journal of Supercomputing*, vol. 64, no. 1, pp. 49-58, 2013.
- [18] C. Lanczos, "An iteration method for the solution of the eigenvalue problem of linear differential and integral operators," *Journal of Research of the National Bureau Standards*, vol. 45, no. 4, pp. 255-282, 1950.
- [19] R. W. Freund, "Transpose-free quasi-minimal residual methods for non-hermitian linear systems," in *Recent Advances in Iterative Methods*, New York: Springer, 1994, pp. 69-94.
- [20] Y. A. Üncü, G. Sevim, and M. Canpolat, "Approaches to preclinical studies with heterogeneous breast phantom using reconstruction and three-dimensional image processing algorithms for diffuse optical imaging," *International Journal of Imaging Systems and Technology*, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/ima.22648>.
- [21] T. Mercan, G. Sevim, H. Ö. Kazancı, Y. A. Üncü, and M. Canpolat, "Comparison of images produced by diffuse optical tomography with two different backscatter techniques." *21st National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)*, 2018, pp. 1-4.
- [22] Y. A. Üncü, G. Sevim, T. Mercan, V. Vural, E. Durmaz, and M. Canpolat, "Differentiation of tumoral and non-tumoral breast lesions using back reflection diffuse optical tomography: A pilot clinical study," *International Journal of Imaging Systems and Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 2023-2031, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Üstverilerin Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Otomatik Olarak Çıkarılması ve Sınıflanması¹

 Murat İNCE^{a,*}

^a Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, TBMYO, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muratince@isparta.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1012046

ÖZ

Günümüzde bilişim teknolojilerinin yaygınlaşması sebebiyle dijital içerik ihtiyacı artmıştır. Bu içeriklerin oluşturulması zaman alıcı ve maliyetli bir süreçtir. İçerik oluşturulurken öğrenme nesnelere faydalanılmaktadır. Bu nesnelerin bilgisayarlar tarafından keşfedilebilir ve okunabilir olması yeniden kullanılabilirlik ve paylaşılabilirlik açısından önemlidir. Bu sebeple nesnelere tanımlayıcı kimlik bilgilerini içeren üstveriler ile bütünleşik olarak kullanılmaktadırlar. Bu üstveriler ne kadar düzgün oluşturulup sınıflandırılırsa nesnelerin kullanılabilirliği o derece artmış olmaktadır. Bu sebeple nesnelere otomatik üstveri çıkartan birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada da Konvolüsyonel Sinir Ağları (KSA), Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) gibi derin öğrenme ve Doğal Dil İşleme (DDİ) yöntemleri kullanılarak öğrenme nesnelere otomatik olarak üstveri çıkartılması ve sınıflanması yapılmıştır. Sistemin başarısı ve doğruluğu örnek öğrenme nesnelere ile test edilmiştir. Sonuçlar sistemin başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Üstveri çıkartma, Konvolüsyonel sinir ağları, Tekrarlayan sinir ağları

Automatic Metadata Extraction and Classification by using Deep Learning Algorithms

ABSTRACT

The need for digital content has increased due to the widespread use of information technologies today. Creating these contents is a time consuming and costly process. Learning objects are used while creating the content. It is important that these objects can be discovered and readable by computers in terms of reusability and shareability. For this reason, objects are used in integration with metadata containing identifying information. The more properly these metadata are created and classified, the greater the usability of the objects. For this reason, many methods have been developed that automatically extract metadata from objects. In this study, metadata extraction and classification from the contents of learning objects were made automatically by using deep learning methods such as Convolutional Neural Networks (CNN), Recurrent Neural Networks (RNN) and Natural Language Processing (NLP). The success and accuracy of the system has been tested with sample learning objects. The results showed that the system can be used successfully.

Keywords: Metadata extraction, Convolutional neural networks, Recurrent neural networks

¹*ICAAME 2021 konferansında sunulmuştur.

Geliş: 19/10/2021, Düzeltme:09/12/2021, Kabul: 12/12/2021

I. GİRİŞ

Uzaktan eğitim bireylerin kendi kendilerine geleneksel eğitime göre daha esnek olarak öğrenmelerini desteklemektedir [1]. Uzaktan eğitim geleneksel eğitime alternatif olmamakla birlikte yüz yüze eğitim-öğretim olanaklarından kısıtlı kişilere fırsat tanımaktadır [2]. Bu tür eğitimler genellikle internet üzerinden yapılmakta ve web tabanlı eğitim olarak ta tanımlanmaktadır [3]. Günümüzde bilgisayar, tablet ve akıllı telefonların çok sık kullanılması gerek eğitim gerekse eğlence amaçlı birçok içerik ihtiyacına sebep olmuştur [4]. Bu içeriklerin oluşturulması için öğrenme nesnelere faydalanılmaktadır [5]. Öğrenme nesnesi; içerik nesnesi, eğitsel nesne, bilgi nesnesi, öğrenme kaynağı, medya nesnesi ve yeniden kullanılabilir öğrenme kaynağı olarak tanımlanmaktadır [6,7]. Diğer bir tanımla öğrenme nesnesi; eğitsel olarak anlamı olan, sayısal veya sayısal olmayan film, video, ses, animasyon, simülasyon, resim, grafik, metin, harita, kitap gibi kaynaklar olarak tanımlanmaktadır [8]. Bu nesnelere IEEE LOM, IMS, DCMI gibi birçok standart tarafından da desteklenmektedir [9]. Öğrenme nesnelere olması gereken özellikler erişilebilirlik, birlikte çalışabilirlik, uyumluluk, yeniden kullanılabilirlik ve değiştirilebilirlik olarak tanımlanmıştır [10,11]. Millar [12] öğrenme nesnesini içeriğin kendisi ve onun tanımlayıcı bilgisini içeren üstveri (metadata) olarak tanımlamıştır. Bu üstveriler kullanılarak öğrenme nesnelere çok farklı platformlar tarafından desteklenmektedir [13]. Ayrıca üstveri sayesinde bilgisayarlar ve diğer cihazlar tarafından da okunabilirlik sağlanmaktadır.

Öğrenme nesnelere içerikleri ve bunların tümleşik üstverileri öğrenme nesne ambarı denilen veritabanlarında saklanmaktadır [14]. İçeriklerin üstverileriyle depolanmaları erişilebilirliği, birlikte çalışabilirliği ve yeniden kullanılabilirliği sağlamaktadır [15,16]. Ayrıca bir nesne hem matematik hem fizik hem de diğer başka bir alan için de kullanılabilir. Böylece kaynakların veri tekrarı yapılmadan farklı amaçlar için kullanılması sağlanmakta ve verimlilik artmaktadır [17]. Öğrenme nesne ambarları gerek üzerinde bulunan araçlar gerekse diğer servisler tarafından üstveri üzerinden sorgulanarak, uygun nesnelere bulunup birleştirilmesi ve yeni içeriklerin oluşturulması sağlanmaktadır [18]. Bu içerik oluşturma işlemi kullanıcılar tarafından yapılabildiği gibi bilgisayarlar tarafından kullanıcının belirlediği kurallara göre de otomatik olarak yapılabilmektedir. Örneğin; bilgisayar bir metnin görselini dokümanları taratarak oluşturulabilmektedir. Önerilen bu çalışmada sisteme yüklenen web ya da diğer dokümanlardaki resim türündeki içeriklerin derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi yapay zeka yöntemleri ile anlamlandırılması ve yorumlanması yapılmaktadır. Elde edilen anlama göre öğrenme nesnesinin üstverileri doldurulmakta ve hangi konu alanı ile olduğu belirlenerek sınıflandırılmaktadır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de kullanılan yöntem ve metotlar açıklanmıştır. Bölüm 3’de önerilen sistem anlatılmıştır. Bölüm 4’de hesaplamalar tartışılmış ve son bölümde sonuçlar verilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. OTOMATİK ÜSTVERİ OLUŞTURMA

Dijital kaynakların verimli bir şekilde kullanılması için sistemler ve bilgisayarlar tarafından keşfedilebilir, okunabilir, paylaşılabilir ve değişim yapılabilir olması gerekmektedir [19]. Bu işlemler üstveriler tarafından kolaylıkla sağlanabilmektedir. Kaynak sayısının günümüzde çok fazla olması ve bunların üstverilerinin el ile doldurulmasının oldukça zaman alıcı bir işlem olması sebebiyle otomatik üstveri çıkarma sistemleri geliştirilmiştir [20]. Bu amaçla kural tabanlı ve makine öğrenmesi gibi farklı sistemler kullanılmıştır. Roy vd. [21] öğrenme içeriklerinden pedagojik üstverileri çıkarmışlardır. Cortez vd. [22] bilgi tabanlı veritabanlarından kendi etiketledikleri verileri kıyaslama yaparak üstveri oluşturmuşlardır. Cardineleas vd. [23] ise ARIADNE üzerinde çalışan ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak IEEE LOM üstverisi dolduran bir sistem geliştirmişlerdir. Han vd. [24] ise destek vektör makinesi ile Dublin Core (DC) üstverilerini doldurmuşlardır. Diğer bir çalışmada

istatistiki yöntemler kullanılarak metinlerin üstverileri çıkarılmıştır [25]. Bazı çalışmalarda ise ontoloji tabanlı semantik üstveriler oluşturulmuştur [26]. Üstveri çıkarmada kullanılan diğer bir yöntem ise doğal dil işlemedir [27-29]. Bu çalışmalar incelendiğinde webdeki içeriklerden ve nesne ambarlarındaki öğrenme nesnelere faydalandıkları görülmektedir. Önerilen çalışmada derin öğrenme yöntemleri ile görüntü işleme, metin oluşturma, doğal dil işleme ve sınıflama gibi birçok yöntem bir arada kullanılarak IEEE LOM üstveri bilgileri doldurulup sınıflanmaktadır.

B. DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARI

Derin öğrenme algoritmaları günümüzde görüntü işleme, sınıflandırma, doğal dil işleme gibi birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır [30]. Derin öğrenme ağları da diyebileceğimiz bu yöntemler klasik yapay sinir ağlarından katman sayılarının uygulanışı gibi birkaç yönden farklılık göstermektedir [31]. Konvülsiyonel (Evrışimli) Sinir Ağı (KSA) en bilinen derin öğrenme algoritmalarından biridir [32,33]. KSA ileri beslemeli sinir ağı olmasına karşın evrişim, ortaklama, tam bağlantı gibi birçok başka katman içermektedir [34]. KSA en çok görüntü işlemede resimlerin boyutlarının düşürülmesi, özneteliklerin çıkarılması ve sınıflandırılması amacıyla kullanılmaktadır [35]. Diğer sık kullanılan derin öğrenme algoritması ise Tekrarlayan Sinir Ağı (TSA)'dır [36]. TSA'lar aynı fonksiyonu her bir giriş için uygularken bir önceki çıkışta hesaplanan değeri ilişkilendirmektedir [37,38]. Bir çıkış değeri alınınca bu değer hafızaya kopyalanmakta ve TSA'ya giriş olarak gönderilmektedir. Böylece mevcut işlem adımındaki giriş bir önceki öğrenilen giriş değerine göre hesaplanmaktadır. TSA'lar geri beslemeli ağlardan farklı olarak kendi iç hafızasını kullanarak işlem yapmaktadır [39]. Diğer ağlarda girişler birbirinden bağımsız iken TSA' larda girişler birbirine bağımlıdır. Bu sebeple el yazısı tanıma, ses tanıma, resim etiketleme gibi alanlarda kullanılmaktadır [40,41].

C. DOĞAL DİL İŞLEME

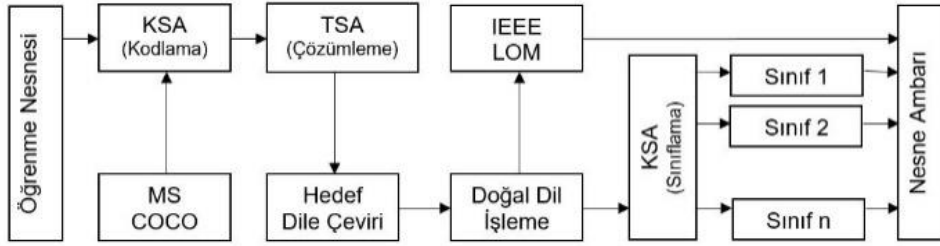
Yapay zekanın popüler uygulamalarından biri olan doğal dil işleme (DDİ), dilin belirli kurallara göre analiz edilip anlaşılması ve yeniden yapılandırılmasıdır [42]. DDİ işlemleri çoğunlukla metin ön işleme, morfolojik analiz, sözdizimsel analiz ve anlamsal analiz kısımlarını içerir [43]. Morfolojik analiz kısmında kelimelerin eklerinin ayrıştırılarak köklerinin bulunması işlemlerini içerir. Böylece kelimenin isim, sıfat, fiil gibi hangi tipe ait olduğu belirlenir [44]. Söz dizimsel analiz kısmında ise kelimelerin cümle içerisindeki özne, nesne, zarf gibi kullanım amaçları belirlenir [45]. Bu kelimelerin cümlede farklı yerde ve sayıda kullanılması farklı anlamlar içerebilmektedir. Anlamsal analiz ise ayrıık kelimelerin uygun nesnelere ilişkilendirilmesini inceler [46]. Kelimelerin birbirleriyle olan anlamsal bağlantıların ortaya çıkarılması ve kavram haritalarının ortaya çıkarılması sağlanır. Böylece eş anlamlılar, yakın anlamlılar gibi kelimeler belirlenir [47]. Bu işlemlerden sonra metin normalizasyonu yapılır. Bunun için NLTK [48] ve Zemberek [49] gibi doğal dil işleme araçları kullanılarak büyük küçük harf dönüştürme, sayıları metne dönüştürme, noktalama ve işaretlemelerin kaldırılması, boşlukların kaldırılması, kısaltmaların açılması ve gereksiz kelimelerin kaldırılması gibi işlemler uygulanır [50].

D. PERFORMANS DEĞERLENDİRME METRİKLERİ

Doğal dil işleme yöntemlerinde oluşturulan ya da çevrilen metinlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için sık kullanılan yöntemlerden birisi BLEU' dur [51]. Bu yöntemde istenilen referans metin ile test edilecek olan üretilen ya da çevrilen metin arasındaki benzerliğe bakılmaktadır [52]. Metinler arası benzerlik yakınsa değer 1'e yakınlaşmakta, benzerlik uzaksa 0'a yaklaşmaktadır. Bu işlem yapılırken referans metin ile test edilen metin arasındaki n-gramların metinler içerisinde kaçar defa geçtiğinin frekansına göre hesaplanmaktadır. Sınıflandırma sonuçlarının performansının değerlendirilmesinde doğruluk oranı sıklıkla kullanılmaktadır [53]. Söz konusu performans ölçüm parametrelerinden doğruluk oranı değeri, bir testin ilgili sınıfa ait olanları söz konusu sınıfta bulanma oranıdır [54].

III. OTOMATİK ÜSTVERİ DOLDURMA VE SINIFLAMA SİSTEMİ

Bu çalışmada sisteme yüklenen öğrenme nesnelerinin içindeki resimlerin ve metinlerin derin öğrenme ve doğal dil işleme yöntemleri ile özelliklerinin çıkarılması, üstverilerinin doldurulması ve ilgili konu alanına göre sınıflandırılmasını sağlayan web tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir (Şekil 1). Sisteme yüklenen nesnenin içindeki resim KSA ile kodlanıp, TSA ile de bu kodlanan özelliklerin çözümü ve metinsel olarak karşılığının bulunması sağlanmaktadır. KSA’ da resimler giriş katmanında 240 x 240 x 3 olarak kodlanmış ve VGG16 ön eğitim özellikleri kullanılmıştır. Bunun için MS-COCO veri setindeki resimler ve açıklamaları kullanılmıştır. MS-COCO veri seti 300.000 ‘den fazla resim ve bunların metinsel açıklamalarını içermektedir [55]. Elde edilen metin Google translate servisi ile ilgili dile çevrilmektedir. Daha sonra ise ilgili metin üzerinde temel DDİ yöntemleri uygulanmaktadır. Bunun için Zemberek kütüphanesi kullanılmıştır. Elde edilen metin ile IEEE LOM üstverisine ait ad, açıklama gibi bilgiler otomatik olarak doldurulmaktadır. Ayrıca bu metin sosyal bilimler (Coğrafya, Tarih), fen bilimleri (Fizik, Kimya, Biyoloji, Matematik) alanlarını içeren metinler ile eğitilmiş yeni bir KSA’ ya sokularak hangi konu alanına ait olduğu gibi sınıflama bilgileri otomatik olarak doldurulmaktadır. Üstverilerin doğru bir şekilde doldurulması sayesinde öğrenme nesneleri bilgisayarlar ve diğer sistemler tarafından keşfedilebilir, okunabilir ve kullanılabilir olmaktadır.



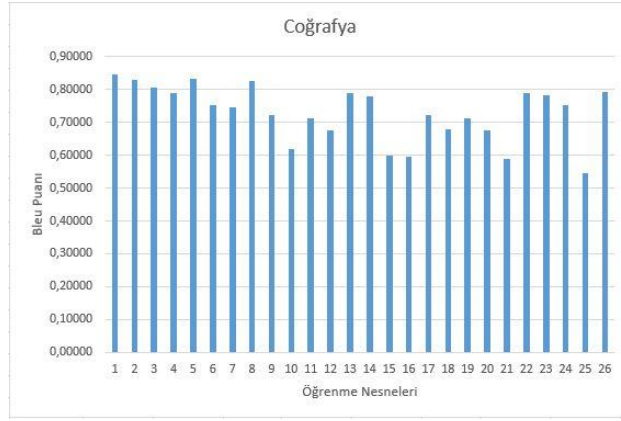
Şekil 1. Üstveri doldurma sistemi şeması

IV. HESAPLAMALAR VE TARTIŞMA

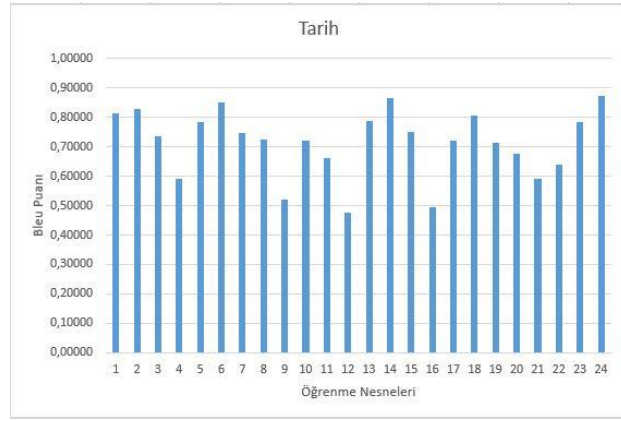
Önerilen otomatik üstveri doldurma ve sınıflama sistemi 130 adet öğrenme nesnesi ile test edilmiştir. Sistem tarafından resimlere ait olarak oluşturulan metinler Bleu yöntemi ile benzerlik oranları test edilmiştir (Tablo 1). Her konu alanına ait olan öğrenme nesnelerinin Bleu karşılaştırmaları hesaplanmıştır (Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7). Sonuçlara bakıldığında en düşük Bleu benzerlik ortalaması Fizik alanı nesnelerinde, en yüksek Bleu benzerlik ortalaması ise Biyoloji alanı nesnelerinde bulunmuştur. Biyoloji alanındaki Bleu puanlarının diğerlerine göre yüksek olmasının sebebi içerdikleri resimlerin MS-COCO veri setindeki resimlere daha çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 1. Nesne sayıları ve Bleu puanları

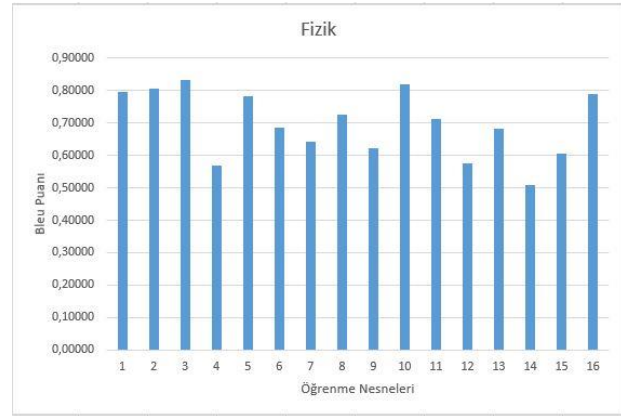
Konu	Nesne Sayısı	Bleu Puan Ortalaması
Coğrafya	26	0,72996
Tarih	24	0,71563
Fizik	16	0,69772
Kimya	14	0,74464
Biyoloji	20	0,75454
Matematik	30	0,73346



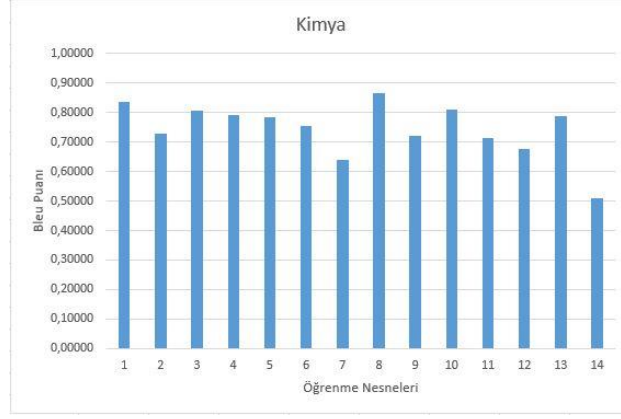
Şekil 2. Coğrafya Bleu puanları



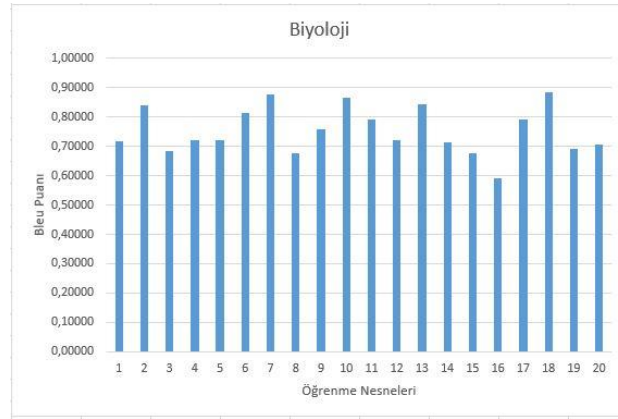
Şekil 3. Tarih Bleu puanları



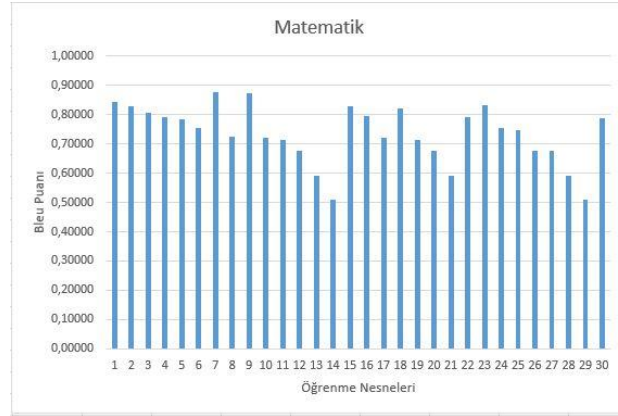
Şekil 4. Fizik Bleu puanları



Şekil 5. Kimya Bleu puanları



Şekil 6. Biyoloji Bleu puanları



Şekil 7. Matematik Bleu puanları

Sistem tarafından oluşturulan metinlerin DDİ yöntemleri sonrasında ilgili konu alanına ait olduğunun belirlenmesi için sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bu sonuçlara ait karışıklık matrisi (Şekil. 8) oluşturulmuştur. Ayrıca doğruluk, kesinlik ve duyarlılık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu sonuçlara göre en düşük sınıflama doğruluk oranı yine Fizik alanında bulunmuşken, en yüksek sınıflama doğruluk oranı ise yine Biyoloji alanında bulunmuştur. Bleu ve sınıflama oranlarının birbiriyle paralel olması, resimden metin oluşturulma başarısının sınıflama sonuçlarını doğrudan etkilediğini göstermektedir.



Şekil 8. Karışıklık matrisi

Tablo 2. Nesne sayıları ve doğruluk oranları

Konu	Toplam	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	f1-score
Coğrafya	26	0,846	0.880	0.846	0,863
Tarih	24	0.833	0.909	0.833	0.870
Fizik	16	0.687	0.611	0.688	0.647
Kimya	14	0.785	0.647	0.786	0.710
Biyoloji	20	0.900	0.857	0.900	0.878
Matematik	30	0.866	0.963	0.867	0.912

V. SONUÇ

Artan içerik ve görselleştirme ihtiyaçları için otomatik sistemler kullanılmakta ve bunun için yapay zeka tekniklerinden faydalanılmaktadır. Derin öğrenme ve doğal dil işleme algoritmaları bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada da öğrenme nesnelерinin üstverilerinin KSA ve TSA ile görsel özelliklerinin metine dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Oluşturulan metin üzerinde ise DDİ metotları uygulanarak IEEE LOM üstverisi doldurulmakta ve hangi konu alanına ait olduğu sınıflandırılmaktadır. Böylece üstveriler hızlı, kolay ve başarılı bir şekilde doldurulmakta ve bilgisayar gibi diğer sistemler tarafından otomatik olarak okunabilir ve kullanılabilir olmaktadır. Gelecek çalışmalarda otomatik olarak doldurulmuş ve sınıflandırılmış olan bu üstveriler kullanılarak otomatik içerik üretimi sağlanabilecektir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] D. Jonassen, M. Davidson, M. Collins, J. Campbell, and B. B. Haag, "Constructivism and computer-mediated communication in distance education," *American Journal of Distance Education*, vol. 9, no. 2, pp. 7-26, 1995.
- [2] Y. Beldarrain, "Distance education trends: integrating new technologies to foster student interaction and collaboration," *Distance Education*, vol. 27, no. 2, pp. 139-153, 2006.
- [3] Ö. F. Bay ve H. Tüzün, "Yüksek öğretim kurumlarında ders içeriğinin web tabanlı olarak aktarılması-I," *Politeknik Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 13-22, 2002.

- [4] T. Yigit, A. H. Isik, and M. Ince, "Web-based Learning object selection software using analytical hierarchy process," *IET Software*, vol. 8, no. 4, pp. 174-183, 2014.
- [5] L. Becksford and S. Metko, "Using a library learning object repository to empower teaching excellence for distance students," *Journal of Library & Information Services in Distance Learning*, vol. 12, pp. 120-129, 2018.
- [6] K. Harman and A. Koohang, "Discussion board: a learning object," *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects*, vol. 1, pp. 67-77, 2005.
- [7] J. Sinclair, M. Joy, Y. J. Yau, and S. Hagan, "A practice-oriented review of learning objects," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 6, pp. 177-192, 2013.
- [8] A. Zapata, V. H. Menéndez, M. E. Prieto, and C. Romero, "A framework for recommendation in learning object repositories: an example of application in civil engineering," *Advances in Engineering Software*, vol. 56, pp. 1-13, 2013.
- [9] M. Ince, T. Yiğit, and A. H. Işık, "A hybrid AHP-GA method for metadata-based learning object evaluation," *Neural Computing and Applications*, vol. 31, no. 1, pp. 671-681, 2019.
- [10] R. McGreal and T. Roberts, "A primer on metadata for learning objects: fostering an interoperable environment," *E-learning*, vol. 2, no. 10, pp. 26-29, 2001.
- [11] P. Balatsoukas, A. Morris, and A. O'Brien, "Learning objects update: review and critical approach to content aggregation," *Educational Technology & Society*, vol. 11, no. 2, pp. 119-130, 2008.
- [12] G. Millar, *Learning Objects 101: A Primer for Neophytes*. Learning Resources Unit, British Columbia Institute of Technology, 2002.
- [13] Y. Chen, "Educational resource management in grid community based on learning object metadata standard," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 13, no. 11, pp. 130-143, 2018.
- [14] M. Knapp, Z. Risha, R. Gatewood, J. Van Der Volgen, R. Brown, and R. Kizilboga, "Learning to love the lor: implementing an internal learning object repository at a large national organization," *Medical Reference Services Quarterly*, vol. 38, no. 2, pp. 143-155, 2019.
- [15] P. Brusilovsky, J. Eklund, and E. Schwarz, "Web-based education for all: a tool for development adaptive courseware," *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 30, no. 1, pp. 291-300, 1998.
- [16] F. A. Dorça, R. D. Araújo, V. C. De Carvalho, D. T. Resend, and R. G. Cattelan, "An automatic and dynamic approach for personalized recommendation of learning objects considering students learning styles: an experimental analysis," *Informatics in Education*, vol. 15, no. 1, pp. 45-62, 2016.
- [17] H. Imran, M. Belghis-Zadeh, T. W. Chang, and S. Graf, "PLORS: a personalized learning object recommender system," *Vietnam Journal of Computer Science*, vol. 3, no. 1, pp. 3-13, 2016.
- [18] V. Dagiene, D. Gudoniene, and R. Bartkute, "The integrated environment for learning objects design and storing in semantic web," *International Journal of Computers, Communications & Control*, vol. 13, no. 1, pp. 39-49, 2018.

- [19] F. Esposito, S. Ferilli, T. M. Basile, and N. Di Mauro, "Machine learning for digital document processing: from layout analysis to metadata extraction," in *Machine learning in document analysis and recognition*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, pp. 105-138.
- [20] S. Miranda and P. Ritrovato, "Supporting learning object repository by automatic extraction of metadata," *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, vol. 11, no. 1, pp. 43-54, 2015.
- [21] D. Roy, S. Sarkar, and S. Ghose, "Automatic extraction of pedagogic metadata from learning content," *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 18, no. 2, pp. 97-118, 2008.
- [22] E. Cortez, A. S. Da Silva, M. A. Gonçalves, F. Mesquita, and E. S. De Moura, "A flexible approach for extracting metadata from bibliographic citations," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 60, no. 6, pp. 1144-1158, 2009.
- [23] K. Cardinaels, M. Meire, and E. Duval, "Automating metadata generation: the simple indexing interface," in *Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web*, 2005, pp. 548-556.
- [24] H. Han, C. L. Giles, E. Manavoglu, H. Zha, Z. Zhang, and E. A. Fox, "Automatic document metadata extraction using support vector machines," in *Joint Conference on Digital Libraries Proceedings*, 2003, pp. 37-48.
- [25] P. Cimiano, S. Handschuh, and S. Staab, "Towards the self-annotating web," in *Proceedings of the 13th International Conference on World Wide Web*, 2004, pp. 462-471.
- [26] B. Jebali and R. Farhat, "Ontology-based semantic metadata extraction approach," in *International Conference on Electrical Engineering and Software Applications*, 2013, pp. 1-5.
- [27] W. Paik, S. Yilmazel, E. Brown, M. Poulin, S. Dubon, and C. Amice, "Applying natural language processing (nlp) based metadata extraction to automatically acquire user preferences," in *Proceedings of the 1st International Conference on Knowledge Capture*, 2001, pp. 116-122.
- [28] P. Spinosa, G. Giardiello, M. Cherubini, S. Marchi, G. Venturi, and S. Montemagni, "NLP based metadata extraction for legal text consolidation," in *Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence and Law*, 2009, pp. 40-49.
- [29] R. Liu, L. Gao, D. An, Z. Jiang, and Z. Tang, "Automatic document metadata extraction based on deep networks," in *National CCF Conference on Natural Language Processing and Chinese Computing*, 2017, pp. 305-317.
- [30] L. Deng and D. Yu, "Deep learning: methods and applications," *Foundations and Trends® in Signal Processing*, vol. 7, pp. 197-387, 2014.
- [31] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep Learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436-444, 2015.
- [32] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2012, pp. 1097-1105.
- [33] J. Salamon and J. P. Bello, "Deep convolutional neural networks and data augmentation for environmental sound classification," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 24, no. 3, pp. 279-283, 2017.

- [34] Y. J. Cha, W. Choi, and O. Büyüköztürk, "Deep learning-based crack damage detection using convolutional neural networks," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 32, no. 5, pp. 361-378, 2017.
- [35] O. Vinyals, A. Toshev, S. Bengio, and D. Erhan, "Show and tell: lessons learned from the 2015 mscoco image captioning challenge," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 39, no. 4, pp. 652-663, 2016.
- [36] A. V. D. Oord, N. Kalchbrenner, and K. Kavukcuoglu, "Pixel recurrent neural networks," 2016, arXiv:1601.06759.
- [37] M. Schuster and K. K. Paliwal, "Bidirectional recurrent neural networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 45, no. 11, pp. 2673-2681, 1997.
- [38] G. Toderici, D. Vincent, N. Johnston, S. Jin Hwang, D. Minnen, J. Shor, and M. Covell, "Full resolution image compression with recurrent neural networks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2017, pp. 5306-5314.
- [39] A. Graves, "Generating sequences with recurrent neural networks," 2013, arXiv:1308.0850.
- [40] A. Graves and J. Schmidhuber, "Offline handwriting recognition with multidimensional recurrent neural networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2009, pp. 545-552.
- [41] T. Hughes and K. Mierle, "Recurrent neural networks for voice activity detection," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2013, pp. 7378-7382.
- [42] S. K. Metin, T. Kışla, and B. Karaoglan, "Named entity recognition in Turkish using association measures," *Advanced Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 43-49, 2012.
- [43] M. H. Stefanini and Y. Demazeau "TALISMAN: a multi-agent system for natural language processing," in *Brazilian Symposium on Artificial Intelligence*, 1995, pp. 312-322.
- [44] S. Sun, C. Luo, and J. Chen, "A review of natural language processing techniques for opinion mining systems," *Information Fusion*, vol. 36, pp. 10-25, 2017.
- [45] T. Strzalkowski, F. Lin, J. Wang, and J. Perez-Carballo, "Evaluating natural language processing techniques in information retrieval," in *Natural Language Information Retrieval*, Dordrecht: Springer, 1999, pp. 113-145.
- [46] T. Nasukawa and J. Yi, "Sentiment analysis: capturing favorability using natural language processing," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Capture*, 2003, pp. 70-77.
- [47] Y. Aktaş, E. Y. İnce, and A. Çakır, "Doğal dil işleme kullanarak bilgisayar ağ terimlerinin wordnet ontolojisinde uyarlanması," *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 1-9, 2019.
- [48] J. Cushing and R. Hastings, "Introducing computational linguistics with NLTK (natural language toolkit)," *Journal of Computing Sciences in Colleges*, vol. 25, no. 1, pp. 167-169, 2009.
- [49] S. Savaş and N. Topaloğlu, "Data analysis through social media according to the classified crime," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 27, no. 1, pp. 407-420, 2019.




- [50] E. Y. İnce, "Spell checking and error correcting application for Turkish," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 68-71, 2017.
- [51] M. N. Al-Kabi, T. M. Hailat, E. M. Al-Shawakfa, and I. M. Alsmadi, "Evaluating English to Arabic machine translation using BLEU," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 66-73, 2013.
- [52] S. Stoll, N. C. Camgöz, S. Hadfield, and R. Bowden, "Text2Sign: towards sign language production using neural machine translation and generative adversarial networks," *International Journal of Computer Vision*, vol. 128, pp. 891-908, 2020.
- [53] T. Sing, O. Sander, N. Beerenwinkel, and T. Lengauer, "ROCR: visualizing classifier performance in R," *Bioinformatics*, vol. 21, no. 20, pp. 3940-3941, 2005.
- [54] M. Hossin and M. N. Sulaiman, "A review on evaluation metrics for data classification evaluations," *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, vol. 5, no. 2, pp. 1-11, 2005.
- [55] Coco. (2021, Aug 1). *Ms-coco*. [Online]. Available: <https://cocodataset.org/#home>



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Prediction of Flexural Properties of Wood Material Reinforced with Various FRP Fabrics by Artificial Neural Networks¹

 Şemsettin KILINÇARSLAN^{a,*},  Yasemin ŞİMŞEK TÜRKER^a,  Murat İNCE^b

^a Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, TURKEY

^b Vocational School of Technical Science, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: semsettin kilincarslan@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1015572

ABSTRACT

Recently, fiber reinforced polymer (FRP) applications have started to be used in the reinforcement of wooden structures, such as in the reinforcement of steel and reinforced concrete structures. It is necessary to strengthen the wooden structures for reasons such as removing the damages caused by external factors and earthquakes in time, increasing the load-bearing capacity of the structure by restoration, preventing early fatigue and breakages that may occur as a result of mistakes made in the design. The necessity to improve the repair and strengthening methods of the structures damaged as a result of the earthquake over time arises. In this study, the maximum load, displacement, flexural strength and modulus of elasticity of the wood material of Iroko and Ash tree species reinforced with 4 different FRP fabrics, namely carbon, glass, aramid and basalt, were determined by bending test. As a result of the experimental study, the maximum load, displacement, flexure strength and elasticity modulus values of the reinforced samples were estimated by artificial neural network (ANN). As a result, it was determined that the flexural properties of a wood material strengthened with FRP by using ANN can be predicted.

Keywords: Wood Materials, FRP, Reinforcement, Artificial Neural Network, Iroko, Ash

Çeşitli FRP Kumaşlarla Güçlendirilmiş Ahşap Malzemenin Eğilme Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

Öz

Son zamanlarda çelik ve betonarme yapıların güçlendirilmesinde olduğu gibi ahşap yapıların güçlendirilmesinde de fiber takviyeli polimer (FRP) uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Dış etkenlerin ve depremin neden olduğu hasarların zamanla giderilmesi, restorasyon ile yapının taşıma kapasitesinin artırılması, erken yorulma ve yapılan hatalar sonucu oluşabilecek kırılmaların önlenmesi gibi nedenlerle ahşap yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Zamanla deprem sonucu hasar gören yapıların onarım ve güçlendirme yöntemlerinin iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, karbon, cam, aramid ve bazalt olmak üzere 4 farklı FRP kumaş ile güçlendirilmiş İroko ve Dişbudak ağaç türlerinin maksimum yükü, yer değiştirmesi, eğilme dayanımı ve elastisite modülü eğilme testi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, güçlendirilmiş numunelerin maksimum yük, yer değiştirme, eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, YSA kullanılarak FRP ile güçlendirilmiş bir ahşap malzemenin eğilme özelliklerinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Malzeme, FRP, Güçlendirme, Yapay Sinir Ağları, Iroko, Dişbudak

¹ Presented at the ICAIAME 2021 conference as summary text .

Received: 28/10/2021, Revised: 10/12/2021, Accepted: 13/12/2021

I. INTRODUCTION

In addition to the superior properties of wood material, it also has some undesirable properties. These properties; Being destroyed by fungi and insects due to its organic structure, changing its dimensions depending on the humidity and temperature in the atmosphere due to its hygroscopic feature, and being a combustible material [1-3]. Therefore, the durability of wood in its natural state; in other words, the natural resistance time it shows against various environmental factors in the place of use cannot be long enough. Various biotic (vegetable, animal) and abiotic (physical, chemical, mechanical) pests that destroy the wood material have a great effect on this [4-8].

Wooden structures, which make up the majority of historical buildings, are exposed to wear caused by natural and artificial factors in the historical process. In order to transfer these structures, which are an important part of our cultural heritage, to future generations, wooden building elements need to be repaired and strengthened. In order for these restoration works to be of the desired quality, sufficient research should be done and restoration should be done with a scientific approach [9,10]. The fact that fiber reinforced polymers can be applied without spoiling the appearance of wood, in addition to their lightness, non-corrosion and flexibility, is a scientific fact revealing that FRPs should be preferred in solving the aforementioned problem [11,12]. Artificial neural networks (ANN), which is an artificial intelligence method, is a black box model that has been used frequently in recent years [13]. In recent years, various studies have been carried out in many areas for the use and development of artificial neural networks. As a result, the artificial neural networks literature has developed quite rapidly. Artificial neural networks have a wide range of applications [14,15]. Artificial neural networks are a system modeled on the basis of the human brain. It tries to solve problems that cannot be solved by classical methods with methods similar to the working system of the human brain [16]. In this study, flexural strength and modulus of elasticity values of Iroko (*Chlorophora excelsa*) and Ash (*Fraxinus excelsior*) beams reinforced with carbon, glass, basalt and aramid based FRP fabrics were estimated by artificial neural networks.

II. MATERIAL AND METHOD

A. PREPARATION OF SAMPLES AND FLEXURAL TESTS

In this study, ash (*Fraxinus excelsior*) and Iroko (*Chlorophora excelsa*) wood species, which is widely used in the production of wood composites and especially for structural purposes, is studied. The Iroko and Ash beam samples used in the study have been supplied from Antalya region. The wooden beams are manufactured from smooth, knot-free, flawless timber with dimensions of 20x20x360 mm. To determine the effect of fiber reinforced polymer type on the reinforcement of wood material, the sample fibers with carbon, aramid, basalt, and glass fibers polymers are used. The properties of fiber reinforced polymer material are given in Table 1.

Table 1. Technical properties of FRP fabric.

Material Properties	Carbon	Aramid	Glass	Basalt
Weight (g/m ²)	300	300	300	200
Modulus of elasticity (GPa)	230	100	72	82
Tensile strength (N/mm ²)	4900	3300	3900	3200
Design Section Thickness (mm)	0.166	0.170	0.162	0.167

Before the beams are tested, all samples have been kept at temperature 20±2 °C and relative humidity 65±5% conditions until they reached the same equilibrium humidity. Densities of wood materials were determined before the reinforcement application. Afterwards, the reinforcement process was carried out. The properties of the samples are given in Table 2.

Table 2. The properties of the samples.

Samples Code	N	FRP Type
I-FRP-C	15	Carbon
I-FRP-G	15	Glass
I-FRP-A	15	Aramid
I-FRP-B	15	Basalt
A-FRP-C	15	Carbon
A-FRP-G	15	Glass
A-FRP-A	15	Aramid
A-FRP-B	15	Basalt

In this study, at least two layers of wrapping are used for the strengthened samples with fiber-reinforced polymer fabrics, due to two layers of wrapping is proposed in the practical use of industry. Roll priming is performed to form a thin film layer (0.1 -0.2 mm) with an epoxy based primer developed for the MasterBrace® FRP (MasterBrace® P 3500) System. After the priming process, Developed Epoxy adhesive for MasterBrace® FRP (MasterBrace® SAT 4500) Fibres Polymer System is used. Epoxy adhesive is applied to the primed surfaces with a roller to achieve a thickness of 1 mm. As seen in Figure 1, the wrapping process of wooden beams with FRP composites has been performed in a U-shaped reinforcement in three regions of the beam.



Figure 1. Wrapping process of wooden beams with FRP.

After the epoxy adhesive is applied, fibers polymer fabrics cut in appropriate sizes are stretched in the direction of their fibers and adhered to the surface, immediately. Then, it is ensured that the epoxy is absorbed into the fabric and there is not any gap between it and the surface by pressing in the direction of the fibers of the fibrous polymer fabrics with a roller. After the first layer of adhesive is completed, the same operations have been repeated once again, the second layer is wrapped and the wrapping process is completed.

The wrapped beams are stored for 1 week before being subjected to the bending test. The flexural strength tests were performed on 20x20x360 mm specimens prepared according to TS 2474(2005).

B. MACHINE LEARNING METHODS USED FOR PREDICTIVE PURPOSES

Prediction of new data using mathematical relationship with existing data is machine learning [17]. This model consists of three different areas: supervised, unsupervised and reinforced learning [18]. supervised learning; It aims to detect correlations and obtain outputs using data [19]. Unsupervised

learning aims to identify unknown structures from data [20]. Reinforced learning is a behavioral machine learning model similar to supervised learning, however, the algorithm is not trained using sample data [21]. Algorithms such as artificial neural networks, random forest algorithm, decision trees and support vector machine are used in machine learning [22]. Artificial neural networks were used in this study. ANN tries to train and predict the results of data not entered into the system [23].

C. CREATING THE DATA SET

After preparing 120 test materials, artificial neural networks were used to predict flexural properties. Artificial neural networks, which are among the widely used methods of artificial intelligence, are used in various fields [24]. 70% of the data used in the study was used for training of ANN and 30% for testing.

D. PERFORMANCE MEASUREMENT METRICS

It should be determined how successful the estimation methods used in the studies are. The Root Mean Square Error (RMSE) is frequently used in estimations and regression analysis. The R-Square (R^2) value shows the closeness of the regression line and the actual data values [25]. R^2 value varies between 0-1. Having this value close to 1 is important for the accuracy of the estimations. The Mean Absolute Error (MAE) is calculated as the mean of the absolute differences between the estimates and the target data.

III. RESULTS AND CONCLUSIONS

In this study, the flexural properties of the materials were estimated according to the wood density, FRP weight, FRP modulus of elasticity, tensile strength, design section thickness of FRP. Modulus of elasticity and flexural strength values of Ash and Iroko samples are given in Table 3.

Table 3. Ash and Iroko samples test results.

Sample Code	Modulus of elasticity (MPa)	Flexural strength (MPa)
I-FRP-C	126,16	12864
I-FRP-G	109,65	10981
I-FRP-A	119,99	12085
I-FRP-B	118,44	11956
A-FRP-C	125,38	12648
A-FRP-G	109,15	10762
A-FRP-A	119,64	12041
A-FRP-B	112,32	11950

In this study, artificial neural networks were used to estimate modulus of elasticity and flexural strength from wood density, FRP weight, FRP modulus of elasticity, tensile strength, and design section thickness of FRP. Statistical analysis results are given in Table 4.

Table 4. Statistical analysis of prediction data of reinforced Iroko and Ash samples.

Samples Code	RMSE	R²	MAE
I-FRP-C	0,066635317	0,974765436	0,054791878
I-FRP-G	0,15227748	0,638888891	0,107777778
I-FRP-A	0,076122505	0,875195051	0,063914877
I-FRP-B	0,091841056	0,907869284	0,08350397
A-FRP-C	0,074889609	0,947781489	0,064212572
A-FRP-G	0,109652131	0,885863107	0,098525274
A-FRP-A	0,199627355	0,453113365	0,147715943
A-FRP-B	0,091161144	0,88244131	0,066579115

The flexural strength and modulus of elasticity values of reinforced ash and Iroko woods were estimated by considering various parameters. It was determined that the best estimation ($R^2= 0.97$) was made for Iroko beams reinforced with carbon-based fiber reinforced polymer. It was determined that the lowest estimation ($R^2= 0.45$) was made in ash beams reinforced with aramid based fiber reinforced polymer. In general, predictions were made with high accuracy in all samples that were strengthened.

Wooden materials could be destroyed over time and lose their function due to environmental conditions and the effect of various pests (fungi, insects, etc.). For this reason, wood material might lose its durability feature over time. In recent years, one of the methods used to increase the strength properties of these materials was reinforcement with fiber reinforced polymers. In this study, different lengths of reinforcement were applied with aramid based fiber reinforced polymers and the effects on the flexural strength, modulus of elasticity and load carrying capacity of wood material were investigated. Prepared test material properties were used for ANN to predict flexural properties of sample woods. Then, RMSE, R^2 and MAE values were calculated to show the efficiency of the ANN. Results showed that best value was obtained for Iroko beams reinforced with carbon-based fiber polymer with $R^2= 0,97$ and $RMSE=0,066$.

ACKNOWLEDGMENTS: This study has been prepared within the scope of the thematic area of “Sustainable Building Materials and Technologies” with SDÜ BAP project with FDK-2019-6950 project code and YÖK 100/2000 doctoral program. The authors thank the SDU BAP unit, YÖK and YÖK100/2000 program staff.

IV. REFERENCES

- [1] I. Usta, “The current state of the wood material impregnation industry in Turkey and suggestions for its development,” M.S. thesis, Dep. Woodworking Industrial Engineering, Hacettepe University, Ankara, Turkey, 1993.
- [2] B. Uysal, “Wood material lecture notes,” *Karabük University, Faculty of Technical Education*, Karabük, Turkey, 2005.
- [3] J. E. Winandy, “Wood properties,” *Encyclopedia of Agricultural Science*, vol. 4, pp. 549-561, 1994.
- [4] P. O. Kettunen, “Wood: Structure and properties,” Uetikon-Zuerich: Trans Tech Publication, 2006.

- [5] S. Kilincarslan and Y. Şimşek Türker “Experimental investigation of the rotational behaviour of glulam column-beam joints reinforced with fiber reinforced polymer composites,” *Composite Structures*, vol. 262, 2021.
- [6] H. T. Sahin, M. B. Arslan, S. Korkut and C. Sahin. “Colour Changes of Heat-Treated Woods of Red-Bud Maple, European Hophornbeam And Oak”. *Color Research & Application*, vol. 36, no. 6, 462-466, 2011.
- [7] C. K. Sahin and B. Onay. “Alternative wood species for playgrounds wood from fruit trees”. *Wood Research*, vol. 65, no. 1, pp. 149- 160, 2020.
- [8] C. Sahin, M. Topay and A.A. Var. “A study on some wood species for landscape applications: surface color, hardness and roughness changes at outdoor conditions”. *Wood Research*, vol. 65, no. 3, pp. 395-404, 2020.
- [9] R. Günay, *Traditional Wooden Structures Problems and Solutions*, Istanbul: Birsen Publishing, pp. 43-64, 2002.
- [10] B. R. Öztürk, “Mechanical properties of laminated wooden beams from Turkish yellow pine,” *Journal of Istanbul Technical University*, vol. 5, no. 2, pp. 25-36, 2006.
- [11] S. Kilincarslan and Y. S. Turker, “Investigation of wooden beam behaviors reinforced with fiber reinforced polymers,” *Organic Polymer Material Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1-7, 2020.
- [12] Y. Şahin, *Introduction to Composite Materials*, Ankara: Gazi Bookstore, pp. 2-33, 2000.
- [13] Ş. Kilincarslan, Y. Şimşek Türker and M. İnce, “Prediction of heat-treated spruce wood surface roughness with artificial neural network and random forest algorithm,” *The International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering*, Cham, 2020.
- [14] S. Bolat and Ö. Kalenderli, “Electrode shape optimization with artificial neural network using levenberg-marquardt algorithm,” *International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN*, 2003, pp. 256-261.
- [15] S. Subaşı, “Prediction of mechanical properties of cement containing class C fly ash by using artificial neural network and regression technique,” *Scientific Research and Essay*, vol. 4, no. 4, pp. 289-297, 2009.
- [16] S. S. Dorvlo, Jervase, J.A. and Al-Lawati, A., “Solar radiation estimation using artificial neural network,” *Applied Energy*, vol. 71, pp. 307–319, 2002.
- [17] D. L. Shrestha and D. P. Solomatine, “Machine learning approaches for estimation of prediction interval for the model output,” *Neural Networks*, vol. 19, no. 2, pp. 225-235, 2006.
- [18] T. Sasakawa, J. Hu and K. Hirasawa, “A brainlike learning system with supervised, unsupervised, and reinforcement learning,” *Electrical Engineering in Japan*, vol. 162, no. 1, pp. 32-39, 2008.
- [19] S. Ghosh-Dastidar and H. Adeli, “A new supervised learning algorithm for multiple spiking neural networks with application in epilepsy and seizure detection,” *Neural Networks*, vol. 22, no. 10, pp. 1419-1431, 2009.
- [20] T. D. Sanger, “Optimal unsupervised learning in a single-layer linear feedforward neural network,” *Neural Networks*, vol. 2, no. 6, pp. 459-473, 1989.



- [21] S. Singh, T. Jaakkola, M. L. Littman and C. Szepesvári, “Convergence results for single step on policy reinforcement learning algorithms,” *Machine Learning*, vol. 38, no. 3, pp. 287-308, 2000.
- [22] V. Rodriguez-Galiano, M. Sanchez-Castillo, Chica-Olmo, M. and M. J. O. G. R. Chica-Rivas, “Machine learning predictive models for mineral prospectivity: an evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines,” *Ore Geology Reviews*, vol. 71, pp. 804-818, 2015.
- [23] M. Van Gerven and S. Bohte, “Artificial neural networks as models of neural information processing,” *Frontiers in Computational Neuroscience*, no.11, pp.114, 2017.
- [24] G. Zhang, B. E. Patuwo, M. Y. Hu, “Forecasting with artificial neural networks: the state of the art,” *International Journal of Forecasting*, vol. 14, no. 1, pp. 35-62, 1998.
- [25] A. Recchia, “R-Squared measures for two-level hierarchical linear models using SAS,” *Journal of Statistical Software*, vol. 32, no. 2, pp. 1-9, 2010.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Financial Ratio Analysis on BIST Information and Technology Index (XUTEK) Using AHP-weighted Grey Relational Analysis¹

 Tunahan TURHAN^{a,*},  Erdal AYDEMİR^b

^a Elementary Mathematics Education, Faculty of Education, Süleyman Demirel University, Isparta, TURKEY

^b Dept. of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: tunahanturhan@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1011252

ABSTRACT

The financial ratio analysis is an important issue for the stock exchange markets which have many sub-sectoral indexes. During Industry 4.0 revolution and transition, the sector of information and technology is shown as one of the sectors that have great strategic importance in the global change and development process. So, the performance of the information and technology sector provides a significant added value to the economies. In this study, multi-criteria decision-making (MCDM) approaches will be used to determine the weights of the criteria with considering the experts' opinions used in the evaluation of the financial performance of the companies operating in the field of Information and Technology Sector of BIST Stock Index (XUTEK). In order to measure the financial performance of companies with MCDM methods, the ratios of the liquidity, operational/activity, financial structure, and profitability are obtained from the financial statements are frequently applied in the scientific literature. In the study, criteria weights were determined by using the pairwise comparison feature of the analytical hierarchy process method and expert opinions. Then, the smallest and largest values of the financial ratio values in quarterly periods in 2020 and the uncertainty formed were evaluated with the gray relational analysis method. After all; XUTEK stocks to be included in the priority investment portfolio in terms of financial performance have been determined.

Keywords: Analytic hierarchy process, Grey relational analysis, BIST stock index, Uncertainty.

AHP Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Kullanarak BIST Bilişim ve Teknoloji Endeksinde (XUTEK) Finansal Oranlar Analizi

ÖZ

Finansal oran analizi, birçok alt sektör endeksinde sahip borsalar için önemli bir konudur. Endüstri 4.0 devrimi ve geçiş sürecinde bilgi ve teknoloji sektörü, küresel değişim ve gelişim sürecinde büyük stratejik öneme sahip sektörlerden biri olarak gösterilmektedir. Dolayısıyla bilgi ve teknoloji sektörünün performansı ekonomilere önemli bir katma değer sağlamaktadır. Bu çalışmada, Bilgi ve Teknoloji Sektörü alanında faaliyet gösteren şirketlerin finansal performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan uzman görüşleri dikkate alınarak kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımları kullanılacaktır. ÇKKV yöntemleri ile şirketlerin finansal performanslarını ölçmek için finansal tablolardan elde edilen likidite, operasyonel/faaliyet, finansal yapı ve karlılık oranları bilimsel literatürde sıklıkla uygulanmaktadır. Çalışmada, analitik hiyerarşi süreci yönteminin ikili karşılaştırma özelliği ile uzman görüşleri kullanılarak kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra, 2020 yılında üçer aylık dönemlerdeki finansal oran değerlerinin en küçük ve en büyük değerleri ile oluşan belirsizlik gri ilişkisel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sonuçta; finansal performans açısından öncelikli yatırım portföyüne alınacak XUTEK hisse senetleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi süreci, Gri ilişkisel analiz, Hisse senedi endeksi, Belirsizlik.

¹The part of this study was presented as an oral presentation in ICAIAME 2021, Antalya, Turkey.

Received: 18/10/2021, Revised:10/12/2021, Accepted: 13/12/2021

I. INTRODUCTION

Unlike many sectors, the recent changes and developments in the information and technology sector have an extremely important place in the country's economies and as a reflection of this, in the shaping of business structures. The financial structure created by the advanced developments in the field of technology in the global economy has developed and expanded the competitive environment. With the increase in competition, businesses have had to learn to innovate, to open, to keep up with the changes in information and technology to survive and reach the cake that falls under their share in the financial environment. The information technologies provide changes in information levels. In addition, the continuous improvements in science, communication, computer, and transportation technologies play an important role in the globalization that occur in trade and economy. However, the correct determination and evaluation of business performance is important for the prediction and interpretation of situations such as the ability of businesses to compete under difficult competitive conditions, to find a place for themselves in the global market and to ensure continuity on there [1, 2]. The information technologies businesses gain the ability to access reliable and complete information as soon as possible and to manage and market this information in the best way. Moreover, this situation enables businesses to make the right strategic decisions, reduce their costs in their activities and increase their performance. In addition, the situation of the information and technology sector, which is of great importance in the country and business economies, is thought to be directly related to the performance of the businesses operating in this field [3, 4].

Although multi-criteria decision making (MCDM) techniques have emerged to choose the best among a certain number of alternatives or to rank the alternatives, they can be used in financial performance analysis to compare the performances of the enterprises and to make forward-looking comments about the enterprises. Recently, Analytical Hierarchical Process (AHP) and Grey Relational Analysis (GRA) methods are used in most of the multi-criteria decision-making problems. It is especially seen in many sectors where financial performance analysis is performed. For example, it can be found in areas such as textile, automotive, asset management, insurance sector, portfolio management, banking [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Then, in detail, according to near scientific literature, MCDM methods for stock selection under fuzzy environment [11, 12], AHP based stock index ranking [13], private banking stock selection with fuzzy uncertainties [14], grey based asset allocation [15], DEMATEL based portfolio selection [16], TOPSIS based stock index classification [17], financial and operational risk analysis [18, 19, 20]; stock selection on Gordon model [21]. About the studies of Borsa Istanbul (BIST) stock indexes are holding and investment index [22], PROMETHEE and TOPSIS methods for 131 manufacturing firms stock index evaluation [23], and technology index [24] like as this study used to analyze financial performance.

In this study, MCDM methods used to analyze financial performance were applied to businesses included in the BIST (Borsa Istanbul) Information and Technology Index. Thus, an idea about the financial performance of the enterprises in the sector will be formed and some data will be obtained about the enterprises. Considering the studies aiming to measure the financial performance of companies with MCDM methods, it is seen that the liquidity, activity, financial structure, and profitability ratios obtained from the financial statements are frequently used. From this point of view, a grey relational method will be applied under uncertainty by using the pairwise comparison of the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which helps to determine the most appropriate option by considering many independent criteria or objectives as a financial analysis application during the quarterly in year of 2020. So, the scope of this paper, which is based on these needs, is to select the Information and Technology stock indexes using AHP weighted GRA methodology with expert opinions.

The rest of this study is organized as follows: decision problem design process is given in Section 2. Then, the proposed methodology is explained by combining AHP and GRA methodologies in Section 3. The numerical study is given in Section 4 with the financial performance data. In Section 5, the conclusion and discussions are presented for considering future analysis.

II. MATERIALS and METHODS

The research problem is to select and rank the stock index of information and technology sector in BIST by applying the expert's opinions and using the financial indicators during the quarterly in year of 2020. The AHP pairwise comparison matrix is used for determining the criteria weights reflecting the expert's opinions. Then, the values of financial indicators have also some changes in periods. It's explained the max and min values as an interval grey number for each financial indicator. So, for the whitenization of the values, mean and degree of greyness approaches are used to clarifying the grey uncertainties. Finally, the prioritization of the stock indexes is obtained from the classical and the proposed methodology on a convex solution.

A. CRITERIA DESIGN

Evaluating the financial performance of 18 enterprises operating in the information and technology sector with the data obtained from the balance sheets published in 2020. At first, ratio analysis method was applied to measure the financial performances of the mentioned enterprises, and then AHP and GRA methods were used. Then, Liquidity and borrowing strategies and efficiency and profitability ratios in their activities come to the fore in the financial performance evaluations of enterprises. In this context, liquidity, financial structure, profitability, and activity ratios are considered as the main criteria in the study. In addition, other sub-criteria used in the study are the most frequently used ratios in studies that reveal business performance in the literature. In the tables below, the ratios and formulas related to the main and sub-criteria are given [25, 26, 27, 28, 29, 30]:

Table 1. Financial evaluation criteria.

Code	Criteria	Equation
L	Liquidity Ratios	
L1	Current Ratio	Current Assets / Current Debts
L2	Quick Ratio	(Current Assets - Inventories) / Current Debts
L3	Cash Ratio	Liquid Assets / Current Debts
F	Financial Structure Ratios	
F1	Debt Ratio	Total Debt / Total assets
F2	Total debt/Equity Ratio	Total Debt / Equity
F3	Asset Coverage Ratio of Short-Term Liabilities	Ratio of Short-Term Liabilities / Total Assets
O	Operational/Activity Ratios	
O1	Accounts Receivable Turnover	Net Credit Sales / Average Accounts Receivable
O2	Equity Ratio	Net Sales / Equity
O3	Working Capital Ratio	Net Sales / (Current Assets - Short-term debts)
P	Profitability Ratios	
P1	Net Profit Margin	Net Profit / Revenue
P2	Asset (Investment) Profitability Ratio	Net Profit / Total Assets
P3	Return on Equity Ratio	Net Profit / Equity

B. METHODS

B. 1. Analytical Hierarchy Process (AHP)

The Analytical Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty (1977), is a method that hierarchically identifies the problem addressed through objectives, criteria, sub-criteria and options to find solutions to complex decision-making problems. It represents an accurate approach to quantifying the weights of decision criteria. Individual experts' experiences are utilized to estimate the relative magnitudes of factors through pair-wise comparisons. Each of the respondents compares the relative importance each pair of items using a specially designed questionnaire. With the help of this hierarchical structure, decision options are subjected to scoring and ranking by using many performance criteria, thus simplifying the decision-making process. By making pairwise comparisons in complex decision problems with AHP, it is evaluated to what extent the options and criteria are dominant according to their relative importance. The AHP consists of four steps [31, 32]:

- Identify the decision, options, and criteria.
- Conduct pairwise comparisons.
- Calculate the importance weight of each criterion.
- Identify the best option by calculating something called utility.

Step 1: Comparison matrix is created in which pairwise comparisons will be made. While making the comparison, the scale is used 1 to 9 from Saaty [33].

Step 2: The generated comparison matrix is standardized. For this, column totals are taken, and each value is divided by its column total. Thus, the standardized matrix is obtained.

Step 3: The row average is taken to obtain the weights.

Step 4: After the weights are obtained, the consistency of the comparison matrix should be checked. If the comparison matrix is not consistent, the resulting weights cannot be used.

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w \quad (1)$$

The max vector satisfying the equality must be obtained first. Here, A is the comparison matrix and w is also the resulting weight matrix. Calculations are made using max in equation 2 and the "consistency index (CI)", which is considered as an indicator of closeness to consistency, is obtained.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

After the CI value is calculated, another value that needs to be obtained is the "Randomness Index (RI)". This value is tabulated for different matrix sizes. The RI values for different matrix sizes are shown in Table 2 [33].

Table 2. Randomness index.

<i>n</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

AHP method is a frequently preferred method for solving multi-criteria decision problems. When the scientific literature is examined, supplier selection is mostly preferred in problem types [34, 35, 36, 37]. Like this study, AHP was applied for stock index ranking [13]. In this study, the pairwise comparison of AHP method applied for determining the criteria and sub-criteria weights. So, the pairwise comparison approach is reliable in decreasing the effect of subjective point-of-views associated with eliciting the weights directly [38].

B. 2. Grey Relational Analysis (GRA)

Grey Relational Analysis (GRA) is a multi-criteria decision-making method for selecting, ranking, and classifying the decision-making problems which have incomplete and inadequate knowledge situations. The qualitative and quantitative measures between two decision sequences are called grey relational degrees and are assigned values between 0 and 1. GRA is a useful method that can be applied to decision problems where the relationships between factors have higher complexity. Therefore, it can be used as a unique and/or hybrid model to solve many types of multi-criteria decision problems. The advantages of the method are that a small data set is sufficient for the application, calculation process is simple, and a specific package program is not required in real world problems. The primary procedure of GRA is to convert the performance of all alternatives into a benchmarking sequence at the beginning [39, 40, 41, 42, 43]. The six steps of the GRA are given below [44, 45]:

Step 1: Creating the Decision Matrix

A decision matrix is created showing the values of the alternatives for each criterion, a decision matrix consisting of n alternatives, m criteria,

$$X_i(j) = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(m) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \dots & x_n(m) \end{bmatrix} \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Here $X_i(j)$ indicates the value of i. alternative for j. criterion.

Step 2: Standardization process: Since the criteria are measured in different units, standardization is done to make them comparable with each other. In the standardization process, three different equations are used according to the preference of high, low or ideal value,

$$x'_i(j) = \frac{x_i(j) - \min_{i=1}^n x_i(j)}{\max_{i=1}^n x_i(j) - \min_{i=1}^n x_i(j)}, \text{ if bigger value is better,} \quad (4)$$

$$x'_i(j) = \frac{\max_{i=1}^n x_i(j) - x_i(j)}{\max_{i=1}^n x_i(j) - \min_{i=1}^n x_i(j)}, \text{ if smaller value is better,} \quad (5)$$

$$x'_i(j) = 1 - \frac{|x_i(j) - x_{idal}(j)|}{\max\{\max_{i=1}^n x_i(j) - x_{idal}(j), x_{idal}(j) - \min_{i=1}^n x_i(j)\}}, \text{ if the ideal value is better.} \quad (6)$$

Here $x_{idal}(j)$ represents the ideal value, large values are optimized for all cases after standardization is applied, and standardized values take values between 0 and 1.

Step 3: Creating the standardized decision matrix and reference series: At this stage, a standardized decision matrix is created by using the values obtained in the previous step. The reference series is created from the largest values in each column of the standardized decision matrix.

Step 4: Creating the difference matrix: The difference matrix is obtained by subtracting the reference series from the standardized decision matrix.

$$\Delta_{0i}(j) = |x'_0(j) - x'_i(j)|, \quad (7)$$

$$\Delta_{ij} = \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(m) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0n}(1) & \Delta_{0n}(2) & \dots & \Delta_{0n}(m) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Step 5: Calculation of grey relational coefficients: For each value in the difference matrix, the grey relational coefficient is calculated as

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\min_{i=1}^n \min_{j=1}^m \Delta_{0i}(j) + \xi \times \max_{i=1}^n \max_{j=1}^m \Delta_{0i}(j)}{\Delta_{0i}(j) + \xi \times \max_{i=1}^n \max_{j=1}^m \Delta_{0i}(j)}. \quad (9)$$

Here, ζ is a coefficient that takes a value between 0 and 1 and is usually taken as 0.5.

Step 6: Calculating the grey relationship degree: When the obtained grey relational coefficients are multiplied by the weight of the relevant criterion and summed for each alternative, the grey relation degree is obtained. When the values of the grey relationship degree for each alternative are ordered from the largest to the smallest, the alternatives are ranked from the best to the worst.

B.3. Proposed Methodology

In this study, after determining the financial criteria, stocks of BIST information and technology index and experts, the pairwise comparison of AHP is used to obtain the criteria weights by applying the expert opinions. Then, the criteria values are gathered for 18 stocks in quarterly of 2020. After that, the minimum and maximum criteria values are assigned from the financial data during year of 2020 as an interval grey number. Then, the whitenization of the interval grey criteria values is applied with mean and degree of greyness approaches. On the other hand, using the degree of greyness was used firstly for whitenization methods of the interval grey number by Aydemir et al. in 2015 [46].

Finally, GRA is also applied in twice for the whitenization approaches. As a results, the rankings are listed by using two models and convex solution. The experts' qualification levels are given as Figure 1 and the proposed methodology is given as Figure 2.



Figure 1. The experts' qualification levels.

The pairwise comparison matrices are evaluated, and the consistency ratios of the main and sub-criteria are calculated for all experts. In the calculations, it is seen that the consistency ratios are less than 0.10. Since the main and sub-criteria were compared by more than one expert in the study, they were evaluated with the coefficients determined that Investor is to be 1, Academician is to be 2 and Financial Manager is to be 3 in 6 value of total weight and expert evaluations were combined with the weighted average method. So, the expert opinions were not evaluated equally in this study.

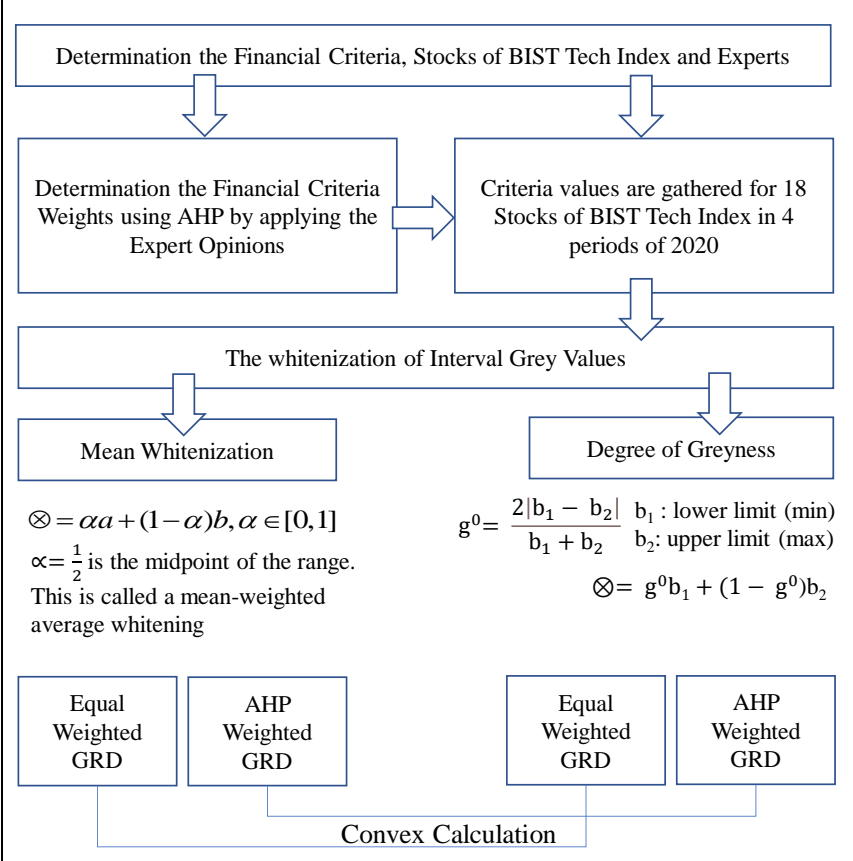


Figure 2. The proposed methodology.

III. THE CASE ANALYSIS

The aim of this study is to evaluate the performances of 18 companies operating in the field of information and technology registered in BIST with the data obtained from 2020 and to rank the companies from the best to the worst according to their performance. The hierarchical tree diagram used in the study is given in Figure 3.

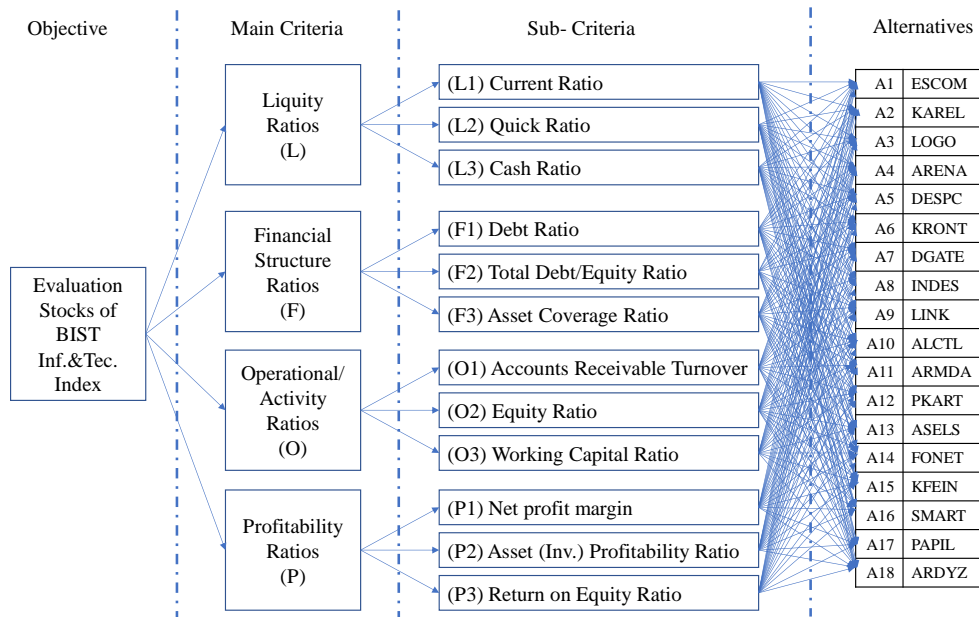


Figure 3. The hierarchical decision scheme of study.

While making the application, the criteria weights were found with the help of AHP pairwise comparison approach based on the expert opinions. Three experts in the field, whose information is given above, compared the main and sub-criteria in pairs with the help of a questionnaire to obtain the criterion weights. In these comparisons, the scale developed by Saaty 1-9 scale. The final criteria weights are given as Table 3.

Table 3. Criteria weights by applying the experts' opinions.

Main Criteria	Sub-Criteria	Sub-Criteria Weights	Main-Criteria Weights
Liquidity Ratios (L)	L1: Current Rate	0.025	0.174
	L2: Quick Ratio	0.046	
	L3: Cash Ratio	0.103	
Financial Structure Ratios (F)	F1: Debt Ratio	0.026	0.127
	F2: Total debt/Equity Ratio	0.082	
	F3: Asset Coverage Ratio of Short-Term Liabilities	0.019	
Activity Ratios (O)	O1: Accounts Receivable Turnover	0.034	0.120
	O2: Equity Ratio	0.016	
	O3: Working Capital Ratio	0.070	
Profitability Ratios (P)	P1: Net profit margin	0.363	0.579
	P2: Asset (Investment) Profitability Ratio	0.062	
	P3: Return on Equity Ratio	0.154	

According to Table 3, the main criterion with the highest weight is the profitability ratio with 57.9%, the liquidity ratio at the second place with 17.4%, the financial structure ratio at the third place with 12.7% and the activity ratio with 12.0 % takes fourth place.

Then, the performances of businesses may differ from year to year and even from period to period. For this reason, the limits for the general outlook of the sector were determined by using the maximum and minimum values of the ratios obtained from the financial data of the enterprises discussed in the study for each balance sheet period of 2020. In this study, there are 18 alternatives (stocks), 12 sub-criteria of 4 main criteria. Table 4 shows the min and max financial data obtained from quarterly of the year 2020.

Then, the whitenization of the interval grey criteria values is applied with mean and degree of greyness approaches. After this for each model, the normalization process is applied separately. As it is known, the rates discussed in the study may differ according to the sector in which the enterprises are located, the size of the enterprise, their sales and the financing policy applied by the enterprises. Therefore, while giving ideal values in the study, values close to the generally accepted ratios in the scientific literature are considered. In this context, maximum values for Liquidity, Profitability and Activity ratios and accepted ideal values for Financial Structure Ratios are used. Equation 4 is used when normalization for the Liquidity, Profitability and Activity ratios, and equation 6 is used when normalization for the Financial Structure Ratios. Then, the Reference Series (A0) is created from the largest values of each column. The normalized decision matrix and reference values are given for mean weighted and degree of greyness approaches in the Table 5 and Table 6 respectively.

The rest steps of GRA are applied for each model and grey relational degrees are obtained for each model separately. In addition, to show effects of the AHP pairwise comparison weighted models, all models are solved with the classical GRA which has applied using the equal weights of the criteria. On the other hand, the expert opinions have not affected the results on the classical GRA. Furthermore, mean weighted and degree of greyness whitenization approaches are evaluated by classical and AHP-weighted GRA models together. Finally, all results are given in Table 7.

Table 4. Applying the GRA for Min-Max Interval Values from the four periods in 2020.

	Liquidity Ratios						Financial Structure						Activity Ratios						Profitability Ratios					
	0.174						0.127						0.12						0.579					
W	0.025		0.046		0.103		0.026		0.082		0.019		0.034		0.016		0.07		0.363		0.062		0.154	
w	max		max		max		0.5		0.5		0.3		max		max		max		max		max		max	
Obj	L1		L2		L3		F1		F2		F3		O1		O2		O3		P1		P2		P3	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
A1	1.70232	7.39625	0.03479	3.32893	0.12130	0.30597	0.03394	0.09215	0.03513	0.10150	0.04295	0.98958	0.37125	0.37125	0.00173	0.00513	0.00603	0.07254	3.96064	92.70573	0.01843	0.34575	0.02030	0.35790
A2	1.40617	1.50446	0.97172	2.64017	0.40691	0.59145	0.65234	0.66852	1.87635	2.01678	0.53968	0.87988	0.62219	0.84791	0.46824	0.73844	0.56572	1.03056	0.03097	0.32667	0.00580	0.08028	0.01668	0.24123
A3	1.33822	1.61710	0.48361	1.61414	0.64373	0.94192	0.45810	0.51003	0.84536	1.04095	0.28907	0.72597	0.57663	0.87547	0.23231	0.38367	0.72386	1.50111	0.20371	0.69143	0.02633	0.10435	0.04982	0.21298
A4	1.52660	1.65640	0.73480	1.24530	0.21392	0.32222	0.60111	0.64971	1.50699	1.85476	0.59408	0.97829	1.57987	400.46633	2.13917	2.56731	2.27970	2.68683	0.01119	0.04313	0.00975	0.03879	0.02524	0.11073
A5	1.51958	1.85323	1.17369	4.33328	0.00821	0.07382	0.53729	0.65314	1.16117	1.88300	0.53058	0.99280	0.96828	1.09138	1.29587	2.13312	1.32450	2.20137	0.07702	0.10834	0.04618	0.08016	0.09980	0.23110
A6	1.44869	1.64778	0.15400	1.51023	0.37892	0.53901	0.37712	0.41506	0.60545	0.70956	0.34096	0.93522	0.19408	2.05094	0.13984	0.18032	0.39710	0.62256	0.11447	1.27246	0.01286	0.10409	0.02064	0.17794
A7	1.43301	1.55480	0.16210	1.20210	0.04966	0.24402	0.63374	0.68809	1.73033	2.20603	0.64315	0.99319	1.04431	1.51817	2.08033	2.74520	2.19964	2.89359	0.01874	0.05327	0.01430	0.04920	0.04076	0.13434
A8	1.16355	1.20696	0.98208	1249.63056	0.19913	0.39082	0.79466	0.83579	3.86985	5.08965	0.78693	0.99423	1.06137	1.59164	3.57111	4.80623	4.50260	5.89265	0.01310	0.04472	0.00961	0.03529	0.04679	0.21493
A9	12.62936	18.56755	0.09744	16.00031	10.68998	16.68194	0.10229	0.11453	0.11395	0.12935	0.04128	0.53745	1.02266	1.39550	0.08427	0.18601	0.10204	0.23008	0.62166	2.24024	0.04739	0.23547	0.05278	0.26593
A10	1.81814	2.33698	0.70656	1.66102	0.18249	0.49816	0.59280	0.64655	1.45580	1.82925	0.37521	0.76402	0.54024	0.63969	0.60963	0.81726	0.48388	0.63625	0.06016	0.23527	0.01460	0.05840	0.03773	0.14343
A11	1.44190	1.54379	1.26634	27.73843	0.16047	0.25345	0.76170	0.79575	3.19644	3.89604	0.63978	0.86027	0.65834	0.79684	1.95601	2.79333	1.32087	1.88600	0.00278	0.01516	0.00128	0.00865	0.00611	0.04235
A12	1.94559	2.82699	0.00661	1.75714	0.31265	0.88184	0.31070	0.45073	0.45076	0.82060	0.38836	0.93635	2.08695	4.67781	0.87732	1.24791	1.16953	1.62455	0.03494	0.09053	0.01797	0.07787	0.03065	0.11297
A13	1.59047	1.91992	1.59002	2082.18796	0.00020	0.00033	0.43625	0.46917	0.77384	0.88386	0.31134	0.77017	0.00048	0.00107	0.00017	0.00042	0.00040	0.00106	354.54425	936.22480	0.03506	0.13049	0.06348	0.24583
A14	1.70340	2.95257	0.50306	2.81428	0.06883	0.92144	0.10958	0.13087	0.12307	0.15058	0.07677	0.76729	1.07965	1.72979	0.17311	0.21209	1.08030	2.92156	0.25011	1.40566	0.04264	0.25512	0.04906	0.29238
A15	1.21602	5.38233	1.21111	13.61178	0.33959	3.40432	0.19325	0.30067	0.23954	0.42995	0.12316	0.84010	1.00688	1.19813	0.19384	0.25606	0.27038	3.28170	0.12361	0.52037	0.01921	0.09318	0.02396	0.13325
A16	2.09975	3.58546	2.06955	9.03475	0.40155	0.85711	0.15686	0.19805	0.18605	0.24696	0.07774	0.69072	0.60807	1.04674	0.09680	0.17097	0.40605	0.76047	0.14866	0.45009	0.01854	0.04598	0.02199	0.05734
A17	27.95547	37.20482	11.11981	32.83074	23.23807	30.18166	0.04377	0.05114	0.04577	0.05389	0.02521	0.65217	1.10279	11.32114	0.02472	0.21656	0.02584	0.23186	0.48440	3.70791	0.03072	0.09984	0.03213	0.10517
A18	2.99917	9.11004	2.99307	9.11004	0.61723	3.12092	0.09376	0.21960	0.10346	0.28139	0.05197	0.81774	0.24595	1.02079	0.11938	0.36798	0.25667	0.80838	0.48654	1.76124	0.05264	0.33818	0.05808	0.37845

Table 5. Normalized decision matrix for mean weighted whitenization of GRA.

Liquidity Ratios				Financial Structure			Profitability Ratios			Activity Ratios		
w	0.025	0.046	0.103	0.026	0.082	0.019	0.363	0.062	0.154	0.034	0.016	0.070
Obj	max	max	max	0.5	0.5	0.3	max	max	max	max	max	max
	L1	L2	L3	F1	F2	F3	P1	P2	P3	O1	O2	O3
A0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
A1	0.10715	0.00096	0.00799	0.96555	0.10847	0.36619	0.07488	0.93006	0.84968	0.00184	0.00075	0.00742
A2	0.00860	0.00108	0.01868	0.35450	0.36348	0.69387	0.00026	0.19992	0.53971	0.00365	0.14398	0.15344
A3	0.00931	0.00035	0.02967	0.03521	0.11135	0.35138	0.00068	0.31704	0.55231	0.00361	0.07346	0.21393
A4	0.01294	0.00030	0.01003	0.27712	0.29672	0.82323	0.00003	0.10137	0.22551	1.00000	0.56178	0.47770
A5	0.01596	0.00199	0.00153	0.21039	0.25682	0.78176	0.00013	0.30563	0.72780	0.00512	0.40928	0.33909
A6	0.01156	0.00014	0.01717	0.22961	0.03958	0.57248	0.00106	0.28096	0.38684	0.00558	0.03815	0.09796
A7	0.00983	0.00000	0.00549	0.35558	0.36891	0.87739	0.00004	0.14067	0.32631	0.00637	0.57599	0.48989
A8	0.00000	0.59990	0.01103	0.69655	1.00000	1.00000	0.00003	0.09183	0.54956	0.00659	1.00000	1.00000
A9	0.45909	0.00708	0.51239	0.86530	0.09507	0.01801	0.00220	0.71655	0.69640	0.00601	0.03219	0.03181
A10	0.02842	0.00048	0.01273	0.26445	0.28709	0.45653	0.00021	0.16561	0.34194	0.00293	0.17027	0.10763
A11	0.00980	0.01327	0.00774	0.61591	0.76543	0.76201	0.00000	0.00000	0.00000	0.00362	0.56690	0.30840
A12	0.03826	0.00019	0.02235	0.26358	0.03409	0.61356	0.00008	0.22556	0.24522	0.01682	0.25363	0.26868
A13	0.01815	1.00000	0.00000	0.10449	0.08263	0.40766	1.00000	0.40859	0.67218	0.00000	0.00000	0.00000
A14	0.03640	0.00094	0.01853	0.83919	0.09126	0.20663	0.00127	0.75567	0.75497	0.00698	0.04591	0.38488
A15	0.06733	0.00646	0.07008	0.55914	0.04152	0.30755	0.00049	0.26902	0.28022	0.00548	0.05364	0.34161
A16	0.05279	0.00468	0.02355	0.71273	0.07123	0.14263	0.00045	0.14335	0.07956	0.00411	0.03189	0.11209
A17	1.00000	0.02045	1.00000	1.00000	0.11311	0.06552	0.00323	0.31671	0.22895	0.03090	0.02873	0.02465
A18	0.15510	0.00516	0.06997	0.75865	0.07729	0.22835	0.00173	1.00000	1.00000	0.00315	0.05811	0.10233

Table 6. Normalized decision matrix for degree of greyness whitenization of GRA.

Liquidity Ratios				Financial Structure			Profitability Ratios			Activity Ratios		
w	0.025	0.046	0.103	0.026	0.082	0.019	0.363	0.062	0.154	0.034	0.016	0.070
Obj	max	max	max	0.5	0.5	0.3	max	max	max	max	max	max
	L1	L2	L3	F1	F2	F3	P1	P2	P3	O1	O2	O3
A0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
A1	0.99085	0.97413	0.41344	0.89035	1.00000	0.98872	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	0.57301	0.99844
A2	0.02520	0.27559	0.07505	1.00000	0.90735	0.11559	0.87815	0.94676	0.95564	0.15476	0.18883	0.27322
A3	0.12404	0.37954	0.07944	0.82591	0.62056	0.36158	0.50177	0.52083	0.45186	0.20743	0.21978	0.34913
A4	0.03664	0.00000	0.09853	0.88813	0.62157	0.12165	0.55933	0.52300	0.46778	1.00000	0.00000	0.00000
A5	0.13148	0.42655	0.91629	0.64220	0.05464	0.19781	0.00000	0.00000	0.00000	0.06024	0.21758	0.21771
A6	0.07500	0.75218	0.06077	0.85013	0.72454	0.40700	0.88903	0.81158	0.79726	0.83365	0.05038	0.18170
A7	0.03661	0.68121	0.72751	0.87861	0.54777	0.08241	0.41461	0.44543	0.27763	0.18639	0.06649	0.07088
A8	0.00000	0.99994	0.26669	0.94542	0.48289	0.04334	0.50434	0.48119	0.49537	0.20146	0.08020	0.06757
A9	0.28059	0.98572	0.12165	0.81404	0.79183	0.91203	0.52942	0.62874	0.54850	0.15541	0.40544	0.39638
A10	0.17379	0.19621	0.45664	0.86912	0.57817	0.24665	0.56567	0.52551	0.37649	0.08495	0.07746	0.07058
A11	0.02579	0.88417	0.12950	0.95957	0.64197	0.00389	0.69534	0.75220	0.70789	0.09593	0.12119	0.12308
A12	0.27135	0.99194	0.47405	0.27804	0.17349	0.33996	0.36583	0.56522	0.35562	0.38603	0.11846	0.10562
A13	0.12320	1.00000	0.17309	0.89858	0.77883	0.35361	0.37601	0.48820	0.38871	0.38260	0.46266	0.47780
A14	0.40773	0.59257	1.00000	0.67906	0.63387	0.86142	0.70608	0.70596	0.63696	0.23325	0.01450	0.49378
A15	1.00000	0.78143	0.94200	0.13671	0.14596	0.76627	0.59689	0.61794	0.60175	0.08742	0.06723	1.00000
A16	0.39637	0.49879	0.31731	0.56340	0.46366	0.83510	0.44648	0.24813	0.09831	0.26719	0.26419	0.28970
A17	0.20165	0.31886	0.00000	0.72512	0.71489	1.00000	0.80089	0.41359	0.27258	0.82899	1.00000	0.93689
A18	0.79323	0.33428	0.73841	0.63757	0.90059	0.94188	0.53146	0.73302	0.67984	0.61653	0.59526	0.56940

Table 7. All results.

	Mean Whitenization				Degree of Greyness				Convex Decision			
	Classical GRA		AHP_weighted GRA		Classical GRA		AHP_weighted GRA		Classical GRA		AHP_weighted GRA	
	GRD	Rank	GRD	Rank	GRD	Rank	GRD	Rank	GRD	Rank	GRD	Rank
A1	0.48023	5	0.46129	4	0.83839	1	0.90633	1	0.65931	1	0.68381	1
A2	0.40132	12	0.38600	10	0.59084	5	0.70207	2	0.49608	9	0.54404	3
A3	0.37523	17	0.37811	13	0.46762	15	0.47687	14	0.42143	16	0.42749	14
A4	0.47280	6	0.39739	9	0.49794	12	0.49737	12	0.48537	10	0.44738	12
A5	0.42612	11	0.40997	8	0.42730	18	0.40795	18	0.42671	15	0.40896	17
A6	0.37564	16	0.36451	16	0.58077	7	0.66613	3	0.47820	12	0.51532	7
A7	0.43196	10	0.38515	11	0.47543	13	0.47660	15	0.45369	13	0.43087	13
A8	0.61635	1	0.50707	2	0.50433	11	0.49888	11	0.56034	3	0.50298	8
A9	0.45106	7	0.43287	6	0.57722	8	0.54052	9	0.51414	7	0.48669	10
A10	0.37620	15	0.36514	15	0.46012	17	0.48582	13	0.41816	18	0.42548	15
A11	0.43502	9	0.38407	12	0.53009	10	0.56915	8	0.48256	11	0.47661	11
A12	0.38265	13	0.36094	17	0.47313	14	0.46201	16	0.42789	14	0.41147	16
A13	0.49181	3	0.66013	1	0.54236	9	0.49922	10	0.51708	5	0.57967	2
A14	0.44287	8	0.42915	7	0.58709	6	0.62830	4	0.51498	6	0.52872	6
A15	0.38237	14	0.36650	14	0.61579	4	0.61152	5	0.49908	8	0.48901	9
A16	0.37175	18	0.35123	18	0.46646	16	0.44673	17	0.41911	17	0.39898	18
A17	0.51801	2	0.45450	5	0.63664	2	0.60581	6	0.57733	2	0.53015	5
A18	0.48727	4	0.49360	3	0.62803	3	0.59293	7	0.55765	4	0.54327	4

About the ranking the financial performances, using the mean weighted whitenization approach for clarifying the greyness, A8 – A17 – A13 – A18 – A1 ranking order of the first five is obtained from the classical GRA, and then, A13 – A8 – A18 – A1 – A17 ranking order of the first five is obtained from the AHP-weighted (experts’ opinions) GRA. On the other hand, using the degree of greyness approach for clarifying the greyness, A1 – A17 – A18 – A15 – A2 ranking order of the first five is

obtained from the classical GRA, and then, A1 – A2 – A6 – A14 – A15 ranking order of the first five is obtained from the AHP-weighted GRA. In addition, a convex decision which is obtained the average of the mean weighted and degree of greyness approaches, A1 – A17 – A8 – A18 – A13 ranking order of the first five is obtained from the classical GRA, and then, A1 – A13 – A2 – A18 – A17 ranking order of the first five is obtained from the AHP-weighted GRA. The changes of GRD results for the models are given as Figure 4 with using radar chart.

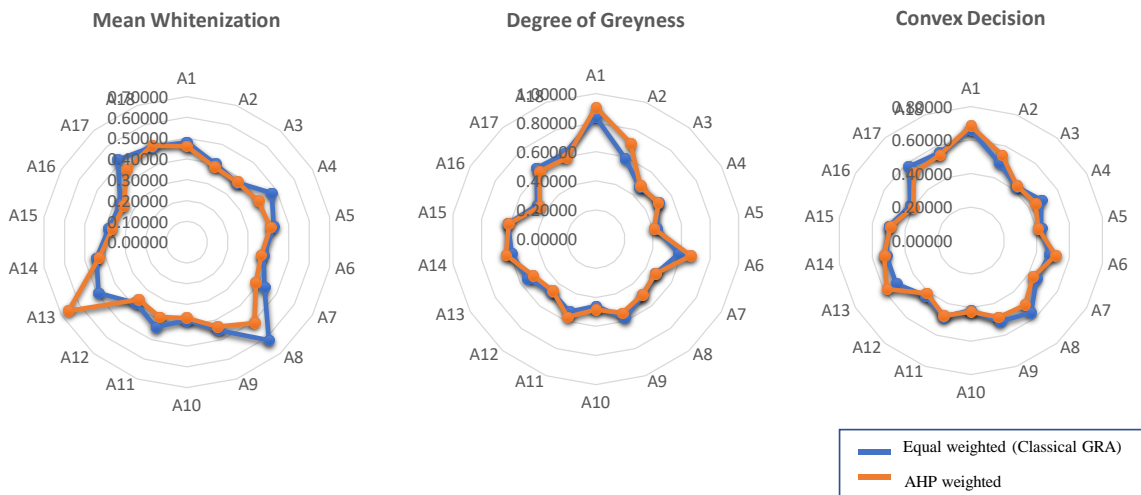


Figure 4. The changes of GRD results of study.

When all results are evaluated, as a intersection solution set, A1 – A2 – A6 – A8 – A13 – A14 – A15 – A17 – A18 must be prefer for the information and technology investment portfolio in the first fifty percent for Borsa Istanbul stock exchange according to financial performance evaluation of the year 2020.

IV. CONCLUSIONS

In the study, the performance of the information and technology sector stock indexes of BIST has been demonstrated by using AHP and GRA methods. The financial criteria are selected by using the experts’ opinions and the criteria weights are determined by using experts’ Opinions (Academician, Financial Manager and Investor) on AHP pairwise comparison matrices under higher consistency ratios.

In GRA, mean and degree of greyness approaches are used for whitenization to interval grey values from 4 periods in 2020. It was concluded that the best performing enterprises were at an acceptable level in terms of liquidity ratios during the periods covered by the study, the borrowing policy was used correctly, and they continued their activities profitably compared to other enterprises operating in the sector. When the profitability ratios, which are determined as the most weighted criterion, are considered, it is seen that the profitability ratios of the companies that stand out in the ranking are at higher levels compared to the other businesses, while the profitability ratios of the companies with low performance are generally not at the desired levels. Then, as well as mean weighted and degree of greyness whitenization results are obtained, a convex decision solution is applied for the average of the classical GRA and the AHP-weighted (using experts’ opinions) GRA. As a result, the prioritization of the stocks for portfolio management is provided to finance researchers in the most useful financial ratios.

V. REFERENCES

- [1] M. Tekin and M. Zerenler, *İş Dünyası İçin Krizi Yönetebilmenin Sırları*. Konya, Türkiye: Çizgi Kitabevi, 2005.
- [2] F. A. N. Tayyar, E. Genç and I. Erem, “BİST’e Kayıtlı Bilişim ve Teknoloji alanında Faaliyet Gösteren İşletmelerin Finansal Performanslarının Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemiyle değerlendirilmesi,” *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, c. 2014, s. 61, ss. 19-40, 2014.
- [3] I. Aydın, “Bilişim sektörü ve Türkiye’nin sektördeki potansiyeli,” *International Journal of New Trends in Arts, Sports & Science Education*, vol. 1, no. 1, pp. 180-200, 2012.
- [4] C. Ceylan and U. Çağlar, *Küreselleşmenin Sektörel Etkileri: Araştırma Projesi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Ticaret Odası Yayınları Küresel Ekonomik Araştırmalar, 2011.
- [5] I. Marković, M., Stojanović, J., Stanković, and M. Stanković, “Stock market trend prediction using AHP and weighted kernel LS-SVM,” *Soft Computing*, vol. 21, no. 18, pp. 5387-5398, 2017.
- [6] S. Lin and S. Ling-Wu, “Is grey relational analysis superior to the conventional techniques in predicting financial crisis?,” *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 5, pp. 5119-5124, 2011.
- [7] A. Ozdemir and M. Deste, “Gri ilişkisel analiz ile çok kriterli tedarikçi seçimi: otomotiv sektöründe bir uygulama,” *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, c. 38, s. 2, ss. 147-156, 2009.
- [8] I. Peker and B. Baki, “Performance Evaluation in Turkish Insurance Sector with Grey Relationship Analysis,” *International Journal of Economic and Administrative Studies*, vol. 3, no. 7, pp. 1-17, 2011.
- [9] C. Wu, C. T. Ru-Lin and P. H. Tsai, “Evaluating business performance of wealth management banks,” *European Journal of Operational Research*, vol. 207, no. 2, pp. 971-979, 2010.
- [10] Y. Sahin and H. Akyer, “Efficient use of country resources: practice of the AHP and topsis methods in selection of 4x4 search and Rescue (Sar) vehicle,” *Süleyman Demirel University Visionary Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 72-87, 2011.
- [11] T. Poklepović and Z. Babić, “Stock selection using a hybrid MCDM approach,” *Croatian Operational Research Review*, vol. 5, no. 2, pp. 273-290, 2014.
- [12] C. T. Tsao, “A fuzzy MCDM approach for stock selection,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, no. 11, pp. 1341-1352, 2006.
- [13] H. S. A. V. K. Hota and S. K. Singhai, “Comparative analysis of AHP and its integrated techniques applied for stock index ranking,” in *Progress in Intelligent Computing Techniques: Theory, Practice, and Applications*, P. K. Sa, M. N. Sahoo, M. Murugappan, Y. Wu, B. Majhi Eds., Singapore, Springer, 2018, pp. 127-134.
- [14] M. M. M. H. A. M. A. Momeni, J. S. Moradi and J. Mohammadi, “A fuzzy MCDM approach for evaluating listed private banks in Tehran stock exchange based on balanced scorecard,” *International Journal of Business Administration*, vol. 2, no. 1, pp. 80-97, 2011.

- [15] E. F. E. A. Mills, M. A. Baafi, N. Amowine and K. Zeng, "A hybrid grey MCDM approach for asset allocation: evidence from China's Shanghai Stock Exchange," *Journal of Business Economics and Management*, vol. 21, no. 2, pp. 446-472, 2020.
- [16] W. R. J. Ho, C. L. Tsai, G. H. Tzeng and S. K. Fang, "Combined DEMATEL technique with a novel MCDM model for exploring portfolio selection based on CAPM," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 1, pp. 16-25, 2011.
- [17] R. Dash, S. Samal, R. Dash and R. Rautray, "An integrated TOPSIS crow search based classifier ensemble: In application to stock index price movement prediction," *Applied Soft Computing*, vol. 85, no. 105784, 2019.
- [18] G. P. Y. Kou and G. Wang, "Evaluation of clustering algorithms for financial risk analysis using MCDM methods," *Information Sciences*, vol. 275, pp. 1-12, 2014.
- [19] P. J. G. Pineda, J. J. Liou, C. C. Hsu and Y. C. Chuang, "An integrated MCDM model for improving airline operational and financial performance," *Journal of Air Transport Management*, vol. 68, pp. 103-117, 2018.
- [20] A. Safaei Ghadikolaei, S. Khalili Esbouei and J. Antucheviciene, "Applying fuzzy MCDM for financial performance evaluation of Iranian companies," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 20, no. 2, pp. 274-291, 2014.
- [21] W. S. Lee, G. H. Tzeng, J. L. Guan, K. T. Chien and J. M. Huang, "Combined MCDM techniques for exploring stock selection based on Gordon model," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 6421-6430, 2009.
- [22] H. Bagci and C. Y. Kaygin, "The Financial Performance Measurement of the Companies Listed In The BIST Holding and Investment Index by the MCDM Methods," *The Journal of Accounting and Finance*, vol. 87, pp. 301-324, 2020.
- [23] M. Baydas and O. E. Elma, "An objective criteria proposal for the comparison of MCDM and weighting methods in financial performance measurement: An application in Borsa Istanbul," *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 257-279, 2021.
- [24] E. Aldalou and S. Perçin, "Application of integrated fuzzy MCDM approach for financial performance evaluation of Turkish technology sector," *International Journal of Procurement Management*, vol. 13, no. 1, pp. 1-23, 2020.
- [25] K. H. Chen and T. A. Shimerda, "An empirical analysis of useful financial ratios," *Financial management*, vol. 10, no. 1 pp. 51-60, 1981.
- [26] P. Barnes, "The analysis and use of financial ratios," *Journal of Business Finance dan Accounting*, vol. 14, no. 4, pp. 449-461, 1987.
- [27] J. Lewellen, "Predicting returns with financial ratios," *Journal of Financial Economics*, vol. 74, no. 2, pp. 209-235, 2004.
- [28] H. Ozturk and T. A. Karabulut, "The relationship between earnings-to-price, current ratio, profit margin and return: an empirical analysis on Istanbul stock exchange," *Accounting and Finance Research*, vol. 7, no. 1, pp. 109-115, 2018.
- [29] H. O. Sarıdoğan, "Financial Performance Analysis of Firms Which are Quoted in Tehnology Index in the BIST," *CAKU Journal of Institute of Social Sciences*, vol. 11, no. 2, pp. 22-36, 2020.

- [30] A. S. Temur, "The Effect of Covid-19 Outbreak on BIST Technology Index (XUTEK)," *International Review of Economics and Management*, vol. 9, no. 1, pp. 28-49, 2021.
- [31] F. Zahedi, "The analytic hierarchy process—a survey of the method and its applications," *Interfaces*, vol. 16, no. 4, pp. 96-108, 1986.
- [32] T. Saaty, "How to make a decision: the analytic hierarchy process," *Interfaces*, vol. 24, no. 6, pp. 19-43, 1994.
- [33] T. Saaty. *The Analytic Hierarchy Process*, New York, USA: McGraw-Hill, 1980.
- [34] M. Dagdeviren and T. Eren, "Analytical Hierarchy Process and Use of 0-1 Goal Programming Methods in Selecting Supplier Firm," *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, vol. 16, no. 2, pp. 41-52, 2001.
- [35] C. Kahraman, U. Cebeci and Z. and Ulukan, "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP," *Logistics Information Management*, vol. 16, no. 6, pp. 382-394, 2003.
- [36] F. T. Chan, N. Kumar, M. K. Tiwari, H. C. Lau and K. Choy, "Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach," *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 14, pp. 3825-3857, 2008.
- [37] F. Dweiri, S. Kumar, S. A. Khan and V. Jain, "Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry," *Expert Systems with Applications*, vol. 62, pp. 273-283, 2016.
- [38] S. H. Zyoud and D. Fuchs-Hanusch, "A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques," *Expert Systems with Applications*, vol. 78, pp. 158-181, 2017.
- [39] C.-M. Feng and R.-T. Wang, "Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios," *Journal of Air Transport Management*, vol. 6, no. 3, pp. 133-142, 2000.
- [40] S. Liu, Y. Yang, Y. Cao and N. Xie, "A summary on the research of GRA models," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 3, no. 1, pp. 7-15, 2013.
- [41] G. Wei, "Grey relational analysis method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 5, pp. 4824-4828, 2011.
- [42] E. Aydemir and Y. Sahin, "Evaluation of healthcare service quality factors using grey relational analysis in a dialysis center," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 9, no. 4, pp. 432-448, 2019.
- [43] Y. Sahin and E. Aydemir, "An AHP-weighted grey relational analysis method to determine the technical characteristics' importance levels of the smartphone," *Eskişehir Osmangazi University Journal of Economics and Administrative Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 225-238, 2019.
- [44] H. Wu, "A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems," *Quality Engineering*, vol. 159, no. 2, pp. 209-217, 2002.
- [45] T. Sarı, K. Baynal and O. Ergul, "Supplier selection with grey relational analysis," *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, vol. 5, pp. 61-70, 2016.
- [46] E. Aydemir, F. Bedir and G. Ozdemir, "Degree of greyness approach for an EPQ model with imperfect items in copper wire industry," *Journal of Grey System*, vol. 27, no. 2, pp. 13-26, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bulanık Mantık Tabanlı Performans Değerlendirme Algoritmasının Tasarımı ve Uygulaması¹

 Hamit ARMAĞAN

Enformatik Bölümü, Rektörlük, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE
Sorumlu yazarın e-posta adresi: hamitarmagan@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1015317

ÖZ

Günümüzde eğitim ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte bu teknolojiler eğitim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yükseköğretimde bu teknolojiler sayesinde uzaktan eğitim, karma eğitim gibi modeller hızla çoğalmaktadır. Uzaktan eğitim modeli yüz yüze eğitim modeline göre avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Uzaktan eğitimin yapıldığı ortamın yeterli düzeyde teknolojik donanıma sahip olması, ses akustiği, aydınlatma şiddeti gibi temel bileşenlerin uygun aralıkta olması öğrencilerin uzaktan eğitime bakış açısını olumlu etkilemektedir. Bu çalışmada uzaktan eğitim sistemleri için öğrenci memnuniyet performansını değerlendirme parametrelerine (ses kalitesi, görüntü kalitesi, eğitim teknolojileri) bağlı olarak hesaplamak için bulanık mantık tabanlı bir model tasarlanmıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu bilgisayar programcılığı ikinci sınıf öğrencilerinin katılımı ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyeti performans değerlendirme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen veriler geliştirilen bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritması ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyeti performans değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında; hesaplanan performans değeri ile öğrencilerin genel not ortalaması eşleştirilmiştir. Elde edilen veri setinde korelasyon, eğri uydurma, merkezi eğilim ölçüleri ve merkezi dağılım ölçüleri analizi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmanın sonuç aşamasında elde edilen tüm veriler bir bütün olarak değerlendirmeye alınmıştır. Parametreye bağlı olarak uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansının öğrenci başarısı üzerine etkisi istatistiksel yöntemlerle karşılaştırma yapılarak sonuç bölümünde paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Bulanık mantık, Matematiksel modelleme, Eğri uydurma, Tanımlayıcı istatistik*

Design and Application of Fuzzy Set Based Assessment Algorithm

ABSTRACT

Today, with the development of education and communication technologies, these technologies are widely used in the field of education. Especially in higher education, models such as distance education and coeducation are increasing rapidly thanks to these technologies. The distance education model has both advantages and disadvantages compared to the face-to-face education model. The fact that the environment in which distance education takes place has sufficient technological equipment, the basic components such as sound acoustics and lighting intensity are in the appropriate range, positively affect the students' perspective on distance education. In this study, a fuzzy logic-based model was designed to calculate student satisfaction performance based on evaluation parameters (sound quality, image quality, educational technologies) for distance education systems. With the participation of Süleyman Demirel University Distance Education Vocational School second year computer programming students, a student satisfaction performance evaluation study was conducted for the distance education system. The student satisfaction performance values for the distance education system were calculated with the fuzzy set-based evaluation algorithm developed from the data obtained from this study. In the second stage of the study; The calculated performance value was matched with the overall grade point average of the students. Necessary calculations were made for the analysis of correlation, curve fitting, measures of central tendency and measures of central distribution in the obtained data set. All data obtained at the conclusion stage

¹ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş ve özet olarak yayımlanmıştır.
Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 10/12/2021, Kabul: 14/12/2021

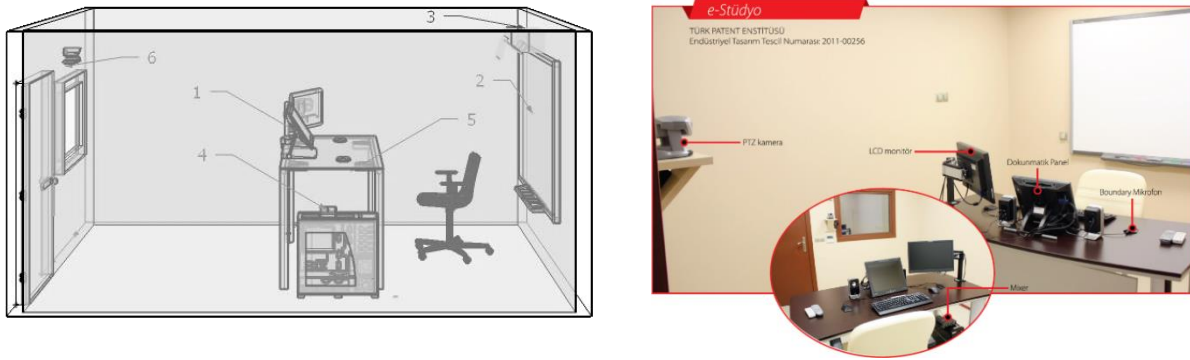
of the study were evaluated as a whole. Depending on the parameter, the effect of student satisfaction performance on student success for the distance education system was compared with statistical methods and shared in the conclusion section.

Keywords: Fuzzy logic, Mathematical modeling, Curve fitting, Descriptive statistics

I. GİRİŞ

Günümüzde uzaktan eğitim alanında akıllı sınıf, e-sınıf ve e-stüdyo gibi uzaktan eğitim ortamları online eğitim veren üniversitelerde ve kurumlarda ders alan öğrencilerin derse aktif katılımlarını ve öğretim elemanlarının interaktif dersler oluşturmalarını sağlamak amacıyla etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlardan “e-stüdyo” modeli eğitim teknolojilerinin bilişim ergonomisine uygun olarak kullanıldığı ses, görüntü, aydınlatma gibi temel parametreleri optimize edilmiş uzaktan eğitimin kolay ve interaktif bir şekilde yapılmasını sağlamak amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiş bir modeldir. Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulunda tüm bölümlerin dersleri bu platform üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Aşağıda şekil 1 de e-stüdyo içerisindeki donanımlar gösterilmiştir. Verilen numaralara göre donanımlar sırasıyla interaktif ekran, interaktif akıllı tahta, kısa atım projeksiyon, ses mikseri, mikrofon ve ptz kamera şeklindedir. Bu donanımlar sayesinde bilgisayar ortamındaki her türlü belge ve görüntü üzerinde yazma ve çizme işlemleri kolayca yapılabilmektedir. Bu sayede dersler etkileşimli olarak yapılabilmektedir. Kullanılan senkron eğitim platformu yazılımları ile öğrencilerin bu dersleri sesli ve görüntülü olarak izlemeleri sağlanmaktadır. Bu özelliklere ek olarak senkron eğitim platformu yazılımları sayesinde dersler video formatında kayıt edilmekte ve arşivlere internet üzerinden erişim yapılabilmektedir. E-Stüdyo ortamında kullanılan PTZ(pan,tilt,zoom) kamera sayesinde öğretim elemanının dersi anlatacağı farklı noktalar kameraya kayıt edilmekte ve ders sırasında kontrol ünitesi üzerinden kameranın öğretim elemanına odaklanması sağlanmaktadır. Senkron eğitim platformu yazılımları ile canlı derslerde öğretim elemanına öğrenciler sesli yada yazılı olarak soru sorabilmektedir. Sesli sorularda karşılaşılan sesin geri dönmesi, yankı, vb. olumsuz durumlar kullanılan “USB Audio Interface” donanımı ve e-stüdyo içerisindeki ses akustik ve yalıtımı sayesinde problemsiz olarak sağlanmaktadır.



Şekil 1. e-Stüdyo tasarım modeli ve yan görünüm

Ayrıca e-stüdyo içerisinde yaptığımız aydınlatma analizi ve iyileştirmeleri ile görüntü kalitesinin en uygun aralıkta olmasını sağlamıştır. Aydınlatma seviyesinin uygun aralıklara getirilmesi ile ortamda çalışan donanımların da performansının artması sağlanmıştır. Kameranın renk derinliğinin artması yani görüntüdeki renklerin gerçeğe yaklaşması, interaktif tahta üzerindeki projeksiyon ışığının ortam aydınlatma seviyesi ile azaltılmaması sonucunda interaktif tahta üzerindeki renk kontrastının korunması, ortamda yansıma, parlama, titreşim seviyeleri kontrol edilerek öğretim elemanının göz

sağlığının korunması, konsantrasyon ve verimliliğin artırılması sağlanmıştır. Bununla da yaptığımız online derslerin yada oluşturduğumuz arşiv kayıtlarının kalitesinin artırılması sağlanmıştır.

Akıllı sınıf, e-sınıf, e-stüdyo gibi uzaktan eğitim ortamları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda eğitim teknolojisi, bilişim ergonomisi, bu eğitim ortamlarında öğrencilerin tutum ve davranışları hakkında araştırmalar yapılmıştır. Shi [1], akıllı sınıfı; gerçek bir sınıf deneyimine benzer bir uzaktan eğitim deneyimi sağlamak için ses tanıma, bilgisayarla görme ve diğer teknolojileri birleştirir şeklinde tanımlamıştır. Winer [2], öğrenciler için akıllı sınıftaki çoklu sunum teknikleri ve ders kayıtlarına sonradan erişim sağlamalarını eğitim açısından bir fırsat olduğunu ifade etmiştir. Shi [3], uzaktan eğitim sisteminde kullanılan akıllı sınıfları, öğretmenler için insan-bilgisayar etkileşimini üst seviyeye çıkaracak sistem olarak tanımlamaktadır. Ren ve Xu [4], akıllı sınıfların, elektronik ortamlarla kullanıcıları bütünleştiren yeni bir eğitim ortamı olduğunu ifade etmiştir. Wang [5], akıllı sınıf ortamlarını yalnızca eğitim ortamlarında değil, her türlü toplantı ve uygulamaları için de kullanılabileceğini belirtmiştir. Carter ve Linder [6], akıllı sınıflar ve işbirlikçi öğrenme arasında ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Tiburcio ve Finch [7], akıllı sınıfların öğrencilerin etkileşimli davranışlarını olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Yau [8], akıllı sınıfın üniversite öğrencileri arasında işbirliğine dayalı öğrenmeyi kolaylaştırdığını ifade etmiştir. Bautista ve Borges [9], akıllı bir sınıfın kullanıcıların ihtiyaçlarına göre uyarlanmış, rahat, kişiselleştirilmiş, güvenli ve teknolojik olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ren ve Xu [10], akıllı sınıfta öğretmenin hareketlerini algılayan hareket tanıma sisteminin etkileşim üzerine olumlu katkıları olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada uzaktan eğitim sistem değerlendirme parametrelerine bağlı olarak uzaktan eğitim sistemleri için öğrenci memnuniyet performansını değerlendirmek amacıyla bulanık mantık tabanlı bir model tasarlanmıştır

Bulanık mantık, 1965 yılında L. Zadeh'in "Fuzzy Sets" başlığı ile yayımladığı bir makalenin [13,14] sonucu ortaya çıkmış bir mantık yapısıdır. Bulanık mantığın temeli bulanık küme kavramına dayanmaktadır [13-15]. Bulanık küme, klasik kümenin bir genellemesidir. Klasik küme yaklaşımında bir varlık bir kümenin ya elemanıdır, ya da değildir. Dolayısıyla bir A klasik kümesinin karakteristik fonksiyonu olan $X_A: E \rightarrow \{0,1\}$, varlık-küme üyeliği ilişkisi bakımından sadece 0 yada 1 değerlerini alır. Bulanık küme yaklaşımında ise her bir varlığın küme üyeliği derecesi vardır. Varlıkların üyeliği derecesi, $[0,1]$ kapalı aralığında herhangi bir değer olabilir [11-15]. Bir A bulanık kümesini temsil eden karakteristik fonksiyona bu kümenin üyeliği fonksiyonu denir ve genellikle $\mu_A: E \rightarrow [0,1]$ ile gösterilir [13-15].

E bir evrensel küme ve $A \subset E$ bir klasik küme olmak üzere A nın karakteristik fonksiyon gösterimi olan, $X_A: E \rightarrow \{0,1\}$ bulanık kümelerde yerini üyeliği fonksiyonuna bırakır. Bu da; $\mu_A: E \rightarrow [0,1]$ şeklinde gösterilir. İkinci gösterimde A bir bulanık kümedir [11-15].

Performans değerlendirmesi genellikle değerlendirme yapılacak sistemin parametrelerinin sayısal notlar verilerek veya sözlü ifadeler kullanılarak derecelendirilmesidir. Bu notlar ve sözlü ifadeler aritmetik veya istatistiksel yöntemler yardımıyla sistemin başarısını ifade etmek için kullanılır. Farklı değerlendirme bileşenlerinin bir kombinasyonu genellikle notların farklı paylaşılması ile kullanılmaktadır. Aritmetik yöntemlerin kullanımında örneğin; her bir değerlendirmeden gelen farklı puanlar tek bir puan elde etmek için toplanabilir. Değişik değerlendirmelerden elde edilen puanların ortalamasının hesaplanması gibi basit istatistiksel yöntemler de sık kullanılmaktadır. Performans değerlendirmeleri tanımlayıcı istatistik yöntemlerinden merkezi eğilim ölçüleri ya da merkezi dağılım ölçüleri kullanılarak da yapılabilir.

Bu çalışmanın amacı, performans değerlendirmelerinde istatistiksel değerlendirme yöntemlerinden farklı olarak, bulanık kümeleri kullanan araçları incelemektir. Örneğin bir sistemin performans durumu değerlendirilirken "kötü", "orta", "iyi" gibi, derecesi ve niteliği sistemi değerlendiren kişiye veya bulunduğu ortamın kendine özgü koşullarına göre farklılıklar gösteren birtakım sözlü ifadeler kullanılır. Bu tip belirsizlikler matematiksel olarak bulanık mantık yardımıyla modellenabilir [11,12].

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Çalışmamızda uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansını değerlendirmek amacıyla anket çalışması yapılmıştır. Anket Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karma (Uzaktan) Eğitim Bilgisayar Mühendisliği öğrencileri ile Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar programcılığı öğrencilerine uygulanmıştır. Anket mühendislik öğrencilerine yüz yüze çoktan seçmeli olarak uygulanmış, bilgisayar programcılığı öğrencilerine ise online olarak sunulmuştur. Anketle ilgili bilgiler aşağıda tablo1 de verilmiştir. SDÜ, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı öğrencilerimizin anketleri eğitim yönetim sistemi üzerinden online olarak yapılmıştır.

Tablo 1. Bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritmasının giriş parametreleri (uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performans anketi)

Soru	Seçenekler	Uygulanan Bölüm	Uygulama Şekli	Sayı
Canlı derslerde ve arşiv kayıtlarında ses kalitesini yeterli buluyor musunuz?	Çok İyi İyi Orta Kötü	SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Karma (Uzaktan) Eğitim Bilgisayar Mühendisliği	Yüz yüze Çoktan seçmeli	50
	Çok Kötü Fikrim Yok	SDÜ, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı	Online Çoktan Seçmeli	68
Canlı derslerde ve arşiv kayıtlarında ekran paylaşımı ve web kamera görüntü kalitesini yeterli buluyor musunuz?	Çok İyi İyi Orta Kötü	SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Karma (Uzaktan) Eğitim Bilgisayar Mühendisliği	Yüz yüze Çoktan seçmeli	50
	Çok Kötü Fikrim Yok	SDÜ, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı	Online Çoktan Seçmeli	68
Canlı derslerde İnteraktif eğitim için Eğitim teknolojilerini yeterli buluyor musunuz?	Çok İyi İyi Orta Kötü	SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Karma (Uzaktan) Eğitim Bilgisayar Mühendisliği	Yüz yüze Çoktan seçmeli	50
	Çok Kötü Fikrim Yok	SDÜ, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı	Online Çoktan Seçmeli	68

B. METOT

B. 1. Bulanık Mantık Tabanlı Değerlendirme Algoritması

Uzaktan eğitim sisteminin performansının değerlendirilmesi için bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritması kullanılmaktadır. Bu değerlendirme dört parametre üzerinden yapılmaktadır. Bu parametreler; ses kalite parametresi (canlı dersler ve arşiv kayıtlarında), görüntü kalite parametresi (canlı dersler ve arşiv kayıtlarında), eğitim teknolojisi parametreleri (canlı derslerde).

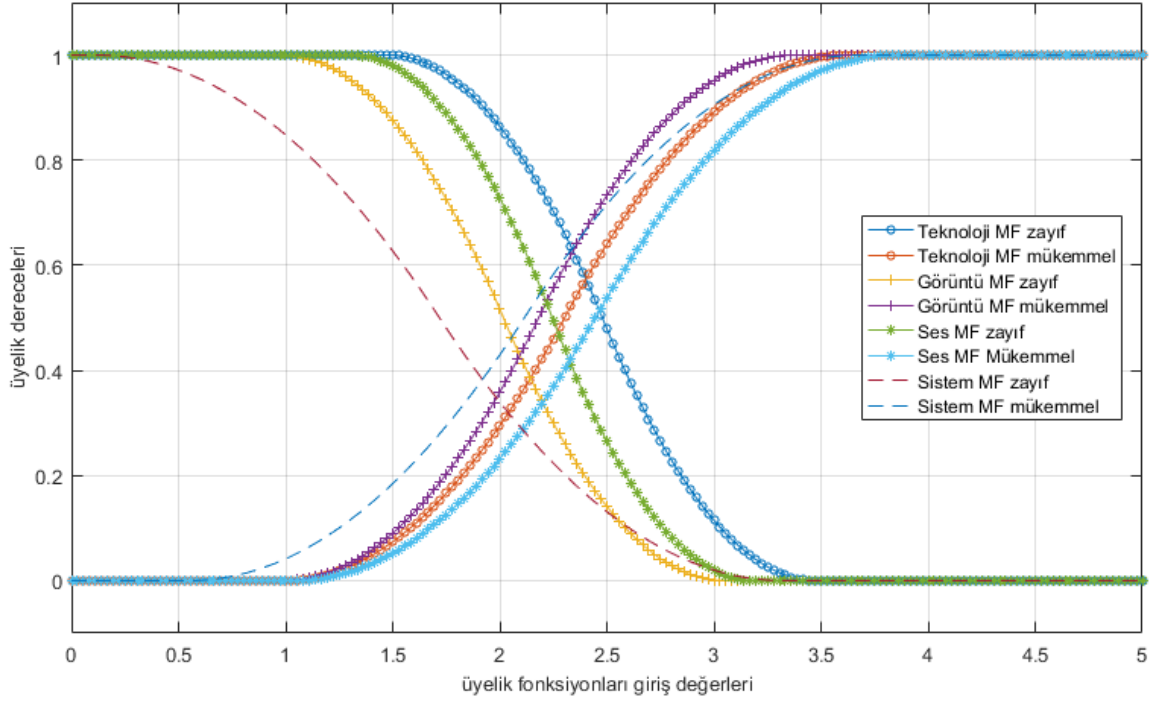
Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu bilgisayar programcılığı ikinci sınıf öğrencilerinin katılımı ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı ölçme çalışması yapılmıştır. Bu ölçüm çalışmasından elde edilen veriler geliştirilen bulanık mantık tabanlı değerlendirme modeli ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performans değerlendirme hesaplanmıştır. Memnuniyet performansı hesaplanırken canlı derslerde yada arşiv derslerinde ki ses kalitesi, görüntü kalitesi ve eğitim teknolojileri (interaktif) parametre olarak kullanılmıştır. Geliştirilen bulanık model üzerinde kullanılan algoritmadaki operatörler ve yöntemler aşağıda tablo2 de verilmiştir.

Tablo 2. Bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritmasının operatör ve yöntemleri

Operatör	Yöntem
Bulanık “and” operatörü	min
Bulanık “or” operatörü	max
Uygulama Operatörü	min
Birleştirme operatörü	sum
Durulaştırma operatörü	mom

Algoritmanın tasarım ve uygulama çalışmalarında MATLAB Fuzzy Logic araç kutusu kullanılmıştır. Bulanık bir sistemin kurulumu ve analizi için aşağıdaki işlem basamakları sırasıyla uygulanmıştır. İşlem adımları;

a-) Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması: bu işlem için sözel olarak tanımlanan değerlendirme ifadeleri üyelik fonksiyonları yardımıyla [0,1] aralığında sayısal değerlere dönüştürülmüşlerdir. Algoritmanın tasarımında “zayıf” ve “mükemmel” durumlarını temsil etmek üzere iki farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuş ve bu fonksiyonlar üzerinden bulanıklaştırma işlemleri yapılmıştır. Kullanılan üyelik fonksiyonları ve tipleri aşağıda tablo 3 de verilmiştir. Kullanılan üyelik fonksiyonlarının karşılaştırmalı grafiği şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritmasının üyelik fonksiyonları(MF) ve giriş-çıkış değerleri [17-20]

Tablo 3. Bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritmasının üyelik fonksiyonları ve tipleri [19,20]

Parametre	“zayıf” Üyelik Fonksiyonu	“mükemmel” Üyelik Fonksiyonu
Ses kalitesi, Görüntü kalitesi, Eğitim Teknolojisi, Sistem	$Z(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$	$S(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$

Bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritmasında her bir giriş parametresi için “zayıf” ve “mükemmel” durumlarını temsil etmek için sırasıyla “Z” tipi ve “S” tipinde olmak üzere iki üyelik fonksiyonu kullanılmıştır [18-20]. Bu üyelik fonksiyonları uzman görüşleri kullanılarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bundan dolayı sistem değerlendirme yaparken öncelik ve belirleyici katsayı ses kalitesi olarak belirlenmiştir.

b-) Kural tabanının oluşturulması; Bulanık çıkarım sistemi olarak "Mamdani" yöntemi kullanılmıştır. Mamdani yöntemi, üyelik fonksiyonlarını bulanık kümelere dönüştüren bir sistemdir. Mamdani sisteminde her kuralın çıktısı bulanık kümenin elemanıdır [16-18]. Mamdani sisteminde kural tabanı basit ve kullanışlıdır. Bu yüzden uzman görüşleri kullanılarak oluşturulan uzman-sistem uygulamalarında başarı oranı yüksektir. Sugeno çıkarım sistemi giriş parametrelerini doğrusal bir fonksiyona çevirdiğinden dolayı bu çalışmada tercih edilmemiştir.

Bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritmasında sistemin giriş parametrelerine (ses kalitesi, görüntü kalitesi, eğitim teknolojisi) bağlı olarak “zayıf” yada “mükemmel” kararını vermesi için sekiz adet kural oluşturulmuştur. Bir önceki adımda olduğu gibi uzman görüşleri (öğretim elemanları) kullanılarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Sistemin “mükemmel” üyelik fonksiyonuna çıkış yapabilmesi için ses ve görüntünün “mükemmel” olarak tanımlanan üyelik fonksiyonları üzerinden

giriş alması gerekir. Aksi diğer tüm durumlarda “zayıf” üyelik fonksiyonu üzerinden çıkış yapılacaktır. Bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritmasının oluşturulan ve kullanılan kural tabanı aşağıda tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritmasının kural tabanı

No	Kural
1	If (TEKNO is mükemmel) and (GÖRÜNTÜ is mükemmel) and (SES is mükemmel) then (SİSTEM is mükemmel) (1)
2	If (TEKNO is zayıf) and (GÖRÜNTÜ is mükemmel) and (SES is mükemmel) then (SİSTEM is mükemmel) (1)
3	If (TEKNO is mükemmel) and (GÖRÜNTÜ is zayıf) and (SES is mükemmel) then (SİSTEM is zayıf) (1)
4	If (TEKNO is zayıf) and (GÖRÜNTÜ is zayıf) and (SES is mükemmel) then (SİSTEM is zayıf) (1)
5	If (TEKNO is mükemmel) and (GÖRÜNTÜ is mükemmel) and (SES is zayıf) then (SİSTEM is zayıf) (1)
6	If (TEKNO is zayıf) and (GÖRÜNTÜ is mükemmel) and (SES is zayıf) then (SİSTEM is zayıf) (1)
7	If (TEKNO is mükemmel) and (GÖRÜNTÜ is zayıf) and (SES is zayıf) then (SİSTEM is zayıf) (1)
8	If (TEKNO is zayıf) and (GÖRÜNTÜ is zayıf) and (SES is zayıf) then (SİSTEM is zayıf) (1)

c-) Bulanık operatörlerin uygulanması: bu aşamada iki farklı operatör çalışmaktadır. Birinci operatör (fuzzy operator) kural tabanındaki her bir kuralı oluşturan alt koşullar için giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonlarından aldığı değerlerin tek bir bulanık kümeye dönüştürülmesidir. Bu çalışmada fuzzy operatör olarak “MIN” operatörü kullanılmıştır. İkinci operatör ise uygulama operatörüdür (apply implication operator). Birinci operatörden elde edilen bulanık kümenin değerinin kural tabanını oluşturan çıkış üyelik fonksiyonuna karşılık gelen değeridir. Sonuç olarak kural tabanındaki ilgili kuralın (koşullar bütünü) üretmiş olduğu bulanık küme değeridir. Çalışmamızda uygulama operatörü olarak “MIN” operatörü kullanılmıştır.

d-) sonuçların birleştirilmesi: her bir kuralın çıktılarını temsil eden bulanık kümelerin tek bir bulanık kümede birleştirilmedi. Toplama işleminin çıktısı da bir bulanık kümedir. Bu çalışmada birleştirme operatörü olarak “SUM” operatörü kullanılmıştır.

e-) durulaştırma: Durulaştırma işleminin girdisi, her bir kuralın çıktılarını temsil eden bulanık kümelerin birleşimidir. Durulaştırma işleminde girdi olarak kullanılan bulanık kümelerin birleşiminin maksimum olduğu noktaların ortalamasının alınması ile tek bir bulanık sayıya dönüştürülmesi işlemidir.

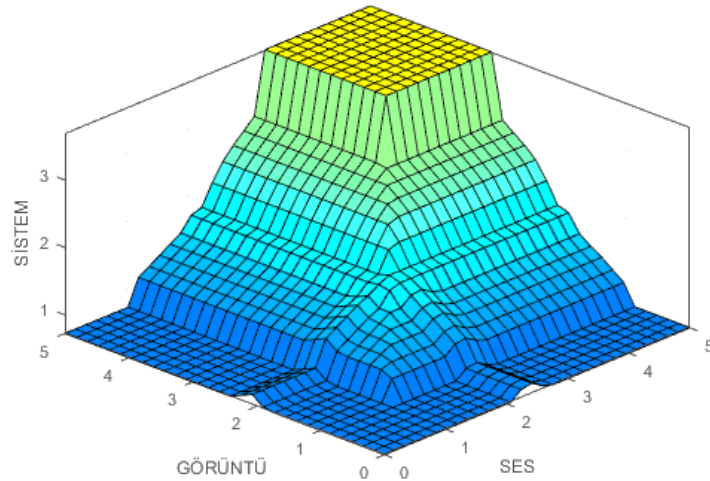
III. ARAŞTIRMA BULGULARI

Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu bilgisayar programcılığı ikinci sınıf öğrencilerinin katılımı ile uzaktan eğitim sistemi için değerlendirme çalışması yapılmıştır. Çalışmada öğrencilerimize uzaktan eğitim (canlı yada arşiv) derslerindeki ses kalitesi, görüntü kalitesi ve eğitim teknolojileri (etkileşim) ile ilgili üç soru yöneltilmiştir. Bu sorular ve verilen cevaplar aşağıda tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Uzaktan eğitim sistemi öğrenci memnuniyet performans anketi istatistikleri

Soru	Çok Kötü	Kötü	Orta	İyi	Çok İyi	Toplam	
Canlı derslerde ve arşiv derslerinde ses kalitesi yeterli mi?	1 %1,5	3 %4,4	12 %17,6	35 %51,5	17 %25,0	68 %100	Frekans Yüzde
Canlı derslerde ve arşiv derslerinde görüntü(Ekran Paylaşımı / Kamera) kalitesi yeterli mi?	1 %1,5	3 %4,4	14 %20,6	33 %48,5	17 %25,0	68 %100	Frekans Yüzde
Canlı derslerde ve arşiv derslerinde interaktif (etkileşimli) eğitim için eğitim teknolojileri / donanımları yeterli mi?	0 0	4 %5,9	15 %22,1	29 %42,6	20 %29,4	68 %100	Frekans Yüzde

Bu çalışmadan elde edilen veriler geliştirilen bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritması ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı hesaplanmıştır. Uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı hesaplanırken canlı derslerde yada arşiv derslerinde ki ses kalitesi, görüntü kalitesi ve eğitim teknolojileri (etkileşim) parametre olarak kullanılmıştır. Sistem değerlendirmesi yapılırken kullanılan en önemli parametre ses ve görüntüdür. Sistem tasarımı yapılırken (üyelik fonksiyonu tasarlanırken ve kural tabanı oluşturulurken) bu iki parametre özellikle ses parametresi belirleyici olmuştur. Uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansına ses ve görüntü parametrelerinin etkisi aşağıda şekil 3’de verilmiştir.



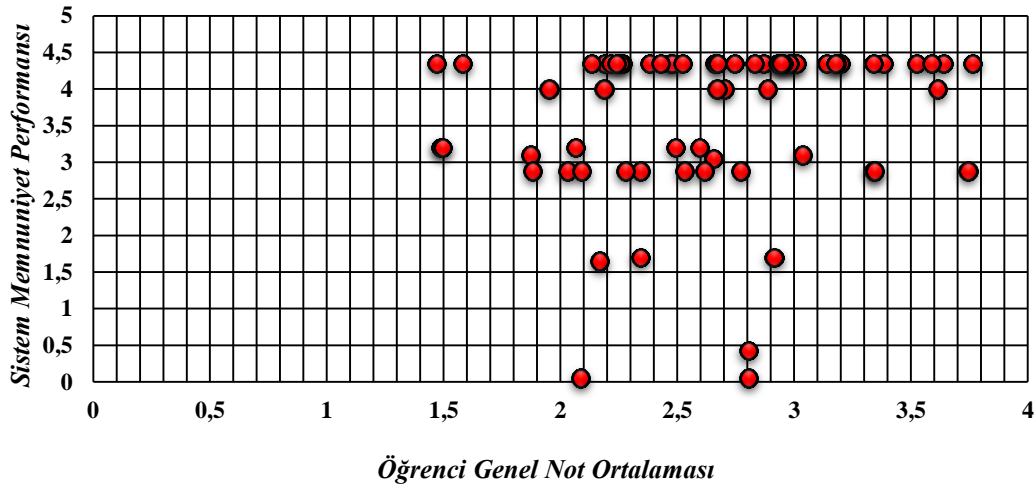
Şekil 3. Bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritmasında ses ve görüntü üyelik fonksiyonlarının uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansına etkisi

Geliştirilen bulanık model üzerinde bazı giriş değerlerine ait hesaplama sonuçları aşağıda tablo 6’da verilmiştir. Ayrıca bu değerler için merkezi eğilim ölçüleri tabloda sunulmuştur. Tasarlanan bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritması ile merkezi eğilim ölçülerinin birbirlerine yaklaşımları tablo 6’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6. Bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritmasının bazı giriş değerleri için hesaplanan sonuçları ve merkezi eğilim ölçümleri (uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı)

Eğitim Teknolojisi	Görüntü kalitesi	Ses kalitesi	Sistem Başarısı (Fuzzy)	Aritmetik Ortalama	Geometrik Ortalama	Harmonik Ortalama	Ağırlıklı Ortalama	Kareli Ortalama
4	4	4	4,35	4,0	4,0	4,0	4	4
4	4	3	2,88	3,7	3,6	3,6	3,5	3,7
4	3	4	3,2	3,7	3,6	3,6	3,7	3,7
3	4	4	4	3,7	3,6	3,6	3,8	3,7
3	3	3	2,88	3,0	3,0	3,0	3	3
3	3	2	1,3	2,7	2,6	2,6	2,5	2,7
3	2	3	1,7	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7
2	3	3	2,88	2,7	2,6	2,6	2,8	2,7
2	2	2	1,65	2,0	2,0	2,0	2	2
1	1	1	0,05	1,0	1,0	1,0	1	1

Yapılan hesaplamalarda uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performans değerlendirilmesi ile öğrencilere ait genel not ortalaması verileri eşleştirilmiştir. Eşleştirme sonucunda verilerin düzensiz dağılım gösterdiği şekil 4’de gözlenmiştir. Veriler arasında korelasyon 0.17 olarak hesaplanmıştır. Buradan da öğrencilerimizin uzaktan eğitim sistemlerinden beklentilerinin heterojen dağılım gösterdiği görülmektedir. Ayrıca verileri MatLab uygulamasını kullanarak matematiksel model tasarlanmak istediğimizde dokuzuncu dereceden polinom regresyon modeli için R-square=0.4687, ikinci olarak kullanılan lineer interpolasyon modelinde R-square=1 olarak hesaplanmıştır. Buradan da düzensiz dağılım gösteren verilerde interpolasyon işlemlerinin regresyon işlemlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performans değeri ile öğrenci genel not ortalaması dağılım grafiği

IV. SONUÇ

Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu bilgisayar programcılığı ikinci sınıf öğrencilerinin katılımı ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı ölçme çalışması yapılmıştır. Çalışmada öğrencilerimize uzaktan eğitim (canlı yada arşiv) derslerindeki ses kalitesi, görüntü kalitesi ve eğitim teknolojileri (etkileşim) ile ilgili üç soru yöneltilmiştir. Bu

çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak geliştirilen bulanık mantık tabanlı değerlendirme algoritması ile uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı hesaplanmıştır. Uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performansı hesaplanırken canlı derslerde yada arşiv derslerinde ki ses kalitesi, görüntü kalitesi ve eğitim teknolojileri (etkileşim) parametre olarak kullanılmıştır. Sistem tasarımı yapılırken uzman görüşleri kullanılarak parametre ağırlıkları tespit edilmiştir. Sistem değerlendirmesi yapılırken kullanılan en önemli parametre ses ve görüntüdür. Üyelik fonksiyonu tasarlanırken ve kural tabanı oluşturulurken bu iki parametre özellikle ses parametresi belirleyici olmuştur. Bulanık tabanlı değerlendirme algoritmasının tasarımı ve uygulama çalışmalarında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Bulanık küme tabanlı değerlendirme algoritmasında giriş ve çıkış parametreleri, üyelik fonksiyonları, kural tabanı ve bulanık operatörler uzman görüşleri(öğretim elemanları) kullanılarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu tip algoritmalar uzman görüşlerine göre sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmada üretilen sonuçlar uzman görüşlerini yansıttığı için uzman-sistem olarak sadece ilgili problemin ilgili uzman görüşüne göre analizi için kullanımı doğru sonuçlar verecektir.
- Bir sistemin performans durumu değerlendirilirken “kötü”, “orta” , “iyi” gibi derecesi ve niteliği; sistemi değerlendiren kişiye veya bulunduğu ortamın kendine özgü koşullarına göre farklılıklar göstermektedir.
- Bulanık tabanlı değerlendirme algoritmalarında hesaplamalar üyelik fonksiyonları, kural tabanı ve bulanık operatörlerin dahil olduğu bir süreçte hesaplanır. Bu tip performans değerlendirmeleri istatistiksel olarak merkezi eğilim ölçüleri ile hesaplanması durumunda beklenen (uzman-sistem) değerleri sağlamadığı görülmüştür.
- Yapılan hesaplamalarda uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performans değerlendirmesi ile öğrencilere ait genel not ortalaması verileri eşleştirilmiştir. Verilerin düzensiz dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Veriler arasında korelasyon 0.17 olarak hesaplanmıştır. Buradan da öğrencilerimizin bölüm derslerindeki alt yapı hazır bulunuşlukları, uzaktan eğitim sistemlerinden beklentileri, kişisel farklılıkları (yaş, meslek, gelir, ...) heterojen dağılım gösterdiği görülmektedir. Ayrıca bu verilere ait MatLab uygulaması üzerinde bir matematiksel model tasarlanmak istediğimizde dokuzuncu dereceden polinom regresyon modeli için R-square=0.4687, ikinci olarak kullanılan lineer interpolasyon modelinde r-square=1 olarak hesaplanmıştır. Düzensiz dağılım gösteren verilerde interpolasyon işlemlerinin regresyon işlemlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.
- Aynı uzaktan eğitim alt yapısını kullanan SDÜ Mühendislik Fakültesi, Karma (Uzaktan) Eğitim Bilgisayar Mühendisliği programlarındaki öğrencilerimizin, SDÜ Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı programındaki öğrencilerimize göre sistem beklentilerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. SDÜ Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı öğrencilerimizin, Uzaktan eğitim sistemi için öğrenci memnuniyet performans değerlendirmelerinin [2.75,3.25] aralığında(orta) ve [4,5] aralığında (iyi-çok iyi) eğilim-yığılma gösterdiği gözlemlenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Y. Shi, W. Xie, G. Xu, R. Shi, E. Chen, Y. Mao, and F. Liu, "The smart classroom: merging technologies for seamless tele-education," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 2, no. 2, pp. 47-55, 2003.
- [2] L. R. Winer and J. Cooperstock, "The 'Intelligent Classroom': Changing teaching and learning with an evolving technological environment," *Computers & Education*, vol. 38, no. 1-3, pp. 253-266, 2002.

- [3] Y. Shi, W. Xie and G. Xu, "Smart remote classroom: creating a revolutionary real-time interactive distance learning system," *Advances in Web-Based Learning. ICWL 2002. Lecture Notes in Computer Science*, J. Fong, C.T. Cheung, H.V. Leong, Q. Li Q, Eds. Berlin: Springer, 2002, pp. 130-141.
- [4] H. Ren and G. Xu, "Human action recognition in smart classroom," *Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition*, 2002, pp. 417-422.
- [5] Z. Wang, "Smart spaces: creating new instructional space with smart classroom technology," *New Library World*, vol. 109, no. 3/4, pp. 150-165, 2008.
- [6] B. Carter and T. Linder, "Collaborative learning environments: developing smart classrooms in theory and in practice," *Advances in Educational Administration*, vol. 8, pp. 201-211, 2006.
- [7] T. Tibúrcio and E. Finch, "The impact of an intelligent classroom on pupils' interactive behaviour," *Facilities*, vol. 23, no. 5/6, pp. 262-278, 2005.
- [8] S. Y. Stephen, S. K. S. F Karim, S. I. Ahmed, Y. Wang and B. Wang, "Smart classroom: Enhancing collaborative learning using pervasive computing technology," *In ASEE Annual Conference Proceedings*, 2003, pp. 13633-13642
- [9] G. Bautista and F. Borges, "Smart Classrooms: Innovation in formal learning spaces to transform learning experiences," *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 18-21, 2013.
- [10] H. Ren and G. Xu, "Human action recognition in smart classroom," *Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition*, 2002, pp. 399-404.
- [11] N. Baykal ve T. Beyan, 2004. *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Ankara, Türkiye: Bıçaklar Kitabevi, 2004, böl. 11, ss. 335-387.
- [12] N. Baykal ve T. Beyan, *Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler*, Ankara, Türkiye: Bıçaklar Kitabevi, 2004, böl. 2,3,4, ss. 99-154, 155-264, 265-326.
- [13] L. A., Zadeh, "Information and control," *Fuzzy Sets*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [14] L. A., Zadeh. "Fuzzy Logic," *Computer*, vol. 21, no. 4, pp. 83-93, 1988.
- [15] D. Dubois, and H.M. Prade, *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, Mathematics in Science and Engineering, v. 144. New York: Academic Press, 1980, pp. 9-34.
- [16] E.H., Mamdani and S., Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 1975.
- [17] MathWorks Inc. (2021, October 24). *Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems* [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>.
- [18] MathWorks Inc. (2021, October 24). *Foundations of Fuzzy Logic* [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>.
- [19] MathWorks Inc. (2021, October 24). *Z-shaped membership function* [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/zmf.html>.

[20] MathWorks Inc. (2021, October 24). *S-shaped membership function* [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/smf.html>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı Modeline Eleştirel Bir Bakış¹

Nigar KARAGÜL^{a,*}, Abdullah EROĞLU^b, Sezai TOKAT^c

^a Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Honaz Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ntokat@pau.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1016731

Öz

Harris tarafından 1913 yılında ilk önerildiği günden bugüne Ekonomik Sipariş Miktarı modeli temel ve etkin bir model olarak literatürde, endüstride ve ders kaynaklarında hak ettiği yeri edinmiştir. O günden bugüne çok farklı Ekonomik Sipariş Miktarı modelleri önerilmiştir. Dünya ekonomisi, endüstri ve bilimsel dünyanın son dönemdeki eğilimlerine bağlı olarak sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı ve Ekonomik Üretim Miktarı modelleri önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada sürdürülebilir bir Ekonomik Sipariş Miktarı modeli önerilmiş ve sipariş verme ve stokta tutma maliyeti, emisyon maliyeti, kusurlu ürünler, taşıma ve atık yok etme bileşenleri üzerinden bir model tasarlanmıştır. Modelin bileşenlerinin optimal çözüm üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Modelin çözümleri sembolik hesaplama ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekonomik sipariş miktarı modeli, Sürdürülebilirlik, Kusurlu ürün, Emisyon maliyeti, Sembolik hesaplama

A Critical Review at the Sustainable Economic Order Quantity Model

ABSTRACT

Since it was first introduced by Harris in 1913, the Economic Order Quantity model has gained its deserved place in the literature, industry and course resources as a basic and effective model. Since then, many different Economic Order Quantity models have been proposed. Depending on the recent trends of the world economy, industry and scientific world, sustainable Economic Order Quantity and Economic Production Quantity models have become an important research problem. In this study, a sustainable Economic Order Quantity model is proposed and a model is designed based on ordering and holding cost, emission cost, defective products, transportation and waste disposal components. The effects of the components of the model on the optimal solution were analyzed. The solutions of the model are obtained by symbolic computation.

Key words: Economic order quantity model, Sustainability, Defective product, Emission cost, Symbolic computation

¹ Bu çalışmanın belirli bir kısmı 3. Uluslararası Mühendislikte Yapay Zeka ve Uygulamalı Matematik Konferansında (UMYMK 2021) özet bildiri olarak sunulmuştur.

Geliş: 30/10/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 15/12/2021

I. GİRİŞ

İşletmelerde envanter yönetimi, finansal yönetimin önemli bileşenlerinden birisi olması nedeniyle maliyetlerin kontrolü açısından rekabet avantajı sağlar. İşletmelerin etkinliği ve verimliliği, üretim ve servis süreçlerinin aksamadan yürütülmesi ile optimal kontrol altında tutulan envanter düzeyi arasında önemli bir ilişki vardır. Bu ilişkinin işletme üzerindeki etkileri envanter yönetimi üzerine yapılan çalışmaların ve öneminin literatürde artmasına neden olmuştur [1].

Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeli, toplam stok maliyetini (sipariş verme/üretim hazırlık maliyeti, stok bulundurma maliyeti, stok bulundurmama maliyeti) minimum seviyede tutan sipariş miktarını belirlemek için kullanılan stok yönetim modelidir. 1913 yılında Harris tarafından ilk önerildiği günden bugüne Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeli temel ve etkin bir model olarak literatürde yerini almıştır.

Dünya ekonomisi, endüstri ve bilimsel dünyanın son dönemdeki eğilimlerine bağlı olarak sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) ve sürdürülebilir Ekonomik Üretim Miktarı (EÜM) modelleri önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik konusunda giderek artan bilinç düzeyi, bilim dünyasında da çevreye duyarlı uygulamaların benimsenmesi doğal akışın bir parçası olmuştur. Klasik envanter modellerinin, çevresel maliyetleri göz ardı etmesinden dolayı sürdürülebilirlik boyutuyla eksik kaldığı söylenebilir.

Bu çalışmada Bonney ve Jaber [2] makalesinde ele alınan sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeline matematiksel boyutlarıyla farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Yazarların çalışmasında ele alınan model, klasik Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modelini bazı çevresel maliyetleri içerecek şekilde genişleten bir yapının önerilmesidir. Ele alınan model, çevresel Ekonomik Sipariş Miktarı (Çevresel-ESM) modeli olarak ifade edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde bilimsel literatür araştırması yer almaktadır. Üçüncü bölümde metodoloji ve modelin detayları verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular yer almaktadır. Beşinci bölümde sonuç ve öneriler bulunmaktadır.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sürdürülebilir envanter modelleri, ekolojik, ekonomik ve sosyal hayatta aldığı kritik rollerle kültürel dönüşümün önemli bir parçası haline gelmektedir. Bu bağlamda Ekonomik Sipariş Miktarı ve Ekonomik Üretim Miktarı modellerinin evrimsel süreçlerinde, sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı modelleri temel yapıları oluşturacaktır. Bu nedenle sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı konusunda yapılan çalışmalar önemli fikirlerin gelişmesinde kritik süreçlere zemin hazırlayacaktır.

Bonney ve Jaber [2] klasik ESM modeline ulaştırma, araç emisyonu, atık yok etme maliyetleri gibi çevresel maliyetleri de ekleyen yeni bir ESM modeli önermişlerdir. Makale, özellikle, geleneksel envanter analizi tarafından uygun şekilde kapsanmayan bir dizi envanter problemini tanımlamaktadır. Yazarlar daha sonra envanter planlamasının çevreye olan önemini daha ayrıntılı olarak incelemişler ve envanter politikalarının çevresel kaygılarıyla ilgili konuları tartışmışlardır. Hua vd. [3] karbon ticareti, karbon fiyatı ve karbon üst sınırının sipariş kararları, karbon emisyonları ve toplam maliyet üzerindeki etkilerini analitik ve sayısal olarak incelemişler ve optimum sipariş miktarını türetmişlerdir. Bu makalede, firmaların karbon emisyon ticareti mekanizması altında envanter yönetiminde karbon ayak izlerini nasıl yönettikleri araştırılmıştır. Chen vd. [4] ESM modelinde sipariş miktarlarını değiştirerek emisyonları azaltmanın mümkün olduğu bir koşul sağlamışlar ve emisyon azaltımı ile maliyet artışının büyüklüğündeki farkı etkileyen faktörleri tartışmışlardır. Sonuçların çeşitli çevresel düzenlemeler altındaki sistemlere uygulanabilirliğini tartışmışlardır. Hariga vd. [5] bir fabrika/depo, bir dağıtım merkezi ve bir perakendeciden oluşan çok aşamalı bir tedarik zinciri bağlamında, soğuk bir ürünün nakliye ve depolama faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonlarının muhasebeleştirilmesinin

etkisini değerlendirmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, operasyonel maliyet minimizasyon modeli, karbon ayak izi minimizasyon modeli ve hibrit ekonomik ve çevresel minimizasyon modeli sunmuşlardır. Üçünün optimal çözümü için yapısal özellikler tanımlanmış ve çözüm algoritmaları da önerilmiştir. Battini vd. [6] klasik ESM modelinde çevresel etkiyi etkileyen faktörlerin entegrasyonunu araştırmışlar ve bir “Sürdürülebilir ESM Modeli” önermişlerdir. Sipariş büyüklüğüne bağlı tüm sürdürülebilirlik faktörleri modele dahil edilmiş ve ekonomik bir bakış açısıyla incelenmiştir. Nakliye maliyetleri, satıcı ve tedarikçi konumu ve farklı yük aracı kullanım oranları dikkate alınmıştır. Yeni “Sürdürülebilir ESM Modelini” kullanmanın etkisinin bir örneği sunulmuştur. Tiwari vd. [7] karbon emisyonunu dikkate alan kusurlu kaliteye sahip bozulan kalemler için tek alıcı ve tek satıcıli entegre envanter modeli sunmuşlardır. Karbon emisyonu, bozulan ürünlerin taşınması, depolanması ve muhafaza edilmesinden kaynaklanır. Nakliye emisyonu, aracın yakıt tüketimine, yakıt emisyonuna ve kat edilen mesafeye bağlıdır. Depo emisyonu, toplam envantere ve birim kalem başına depo enerji tüketimine bağlıdır. Bozulan öğeden kaynaklanan emisyon, elden çıkarılmasıyla ilgilidir. Bir özüm prosedürü önerilmiş ve teoriyi açıklamak için sayısal bir örnek sunulmuştur. Entegre modelin hem maliyet hem de karbon emisyonu azaltımı açısından üstün olduğu ortaya konulmuştur. Liao ve Li [8] klasik ESM modelinin sınırlarını gevşetmiş ve uygulamayı kapalı döngü tedarik zinciri (CLSC) sistemlerine genişletmişlerdir. Piyasa belirsizliğinin yeniden imalat ve operasyon süreçleri üzerindeki etkileri ölçülmüş, tüm üretim endeksleri karbon eşdeğeri emisyonlara dönüştürülerek, farklı satın alma senaryoları altında çevresel verimliliğin karşılaştırılmalı bir analizi yapılmış ve optimal bir sipariş stratejisi tasarlanmıştır.

Aydemir vd. [9] grilik derecesi yaklaşımı kullanılarak bakır tel üretim sisteminde gri talep oranı, gri maliyet değerleri ile genişletilen ve kusurlu kalemler altında maksimum geri sipariş seviyesine izin verilen bir EÜM modeli geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Yazarlar matematiksel model geliştirilmişler ve sonuçlar, bir bakır tel üretim sisteminin uygulamalı bir vaka çalışması ile sistemin belirsizlik altındaki davranışları ile birlikte ele alınmıştır. Aydemir [10] ulusal ve uluslararası indeksleri tarayarak elde edilen bilimsel yazın örnekleri ile envanter yönetimi ve EÜM modellerinde yaşanan değişim sürecini araştırmıştır. Aydemir vd. [11] kusurlu bir üretim süreci altındaki birimlerdeki iyi kaliteli ürünlerle izin verilen maksimum geri sipariş düzeyine sahip gri talep oranı ve maliyet değerlerine sahip bir EÜM modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar önerdikleri modelin gösterimi için bir matematiksel model geliştirmişler ve ardından ahşap sunta üretim süreci üzerinde endüstriyel bir örnek sunmuşlardır. Eroğlu ve Aydemir [12] geri dönüşüm sürecinde toplanan ürünlerin yeniden üretim yoluyla geri kazanımı esnasında yeniden üretim sürecine dahil olan ürünlerin bir kısmının kusurlu olabileceği durum için yeni bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Model örnek bir uygulama problemi ile desteklenerek özömlenmiştir. Eroğlu ve Aydemir [13] geri dönüşüm süreci, kusursuz hale getirilmek için toplanan ürünlerin tamamının ya geri dönüşerek ya da kısmı geri dönüşerek işlendiği ve kalan kısmın ise tamir edildikten sonra geri dönüşüme verilmesi durumunu gösteren bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Model örnek bir uygulama problemi ile özömlenmiştir. Algburı vd. [14] stok yönetimiyle ilgili olarak ekonomik literatürü incelemişler ve farklı durumlar altında geliştirilen stok kontrol modelleri için kapsamlı bir yazın taraması yapmışlardır.

III. METODOLOJİ VE MODEL

Bonney ve Jaber [2] makalesindeki model, klasik Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modelini bazı çevresel maliyetleri içerecek şekilde genişleten bir modeldir. Yazarlar bu modeli, evresel Ekonomik Sipariş Miktarı (evresel-ESM) modeli olarak adlandırmışlardır. Bu alışmada Bonney ve Jaber [2] makalesinde ele alınan sürdürülebilir Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modeline matematiksel boyutlarıyla farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Yeni bakış açısı ile önerilen sürdürülebilir ESM modeli adım adım geliştirilme süreci açıklanmıştır.

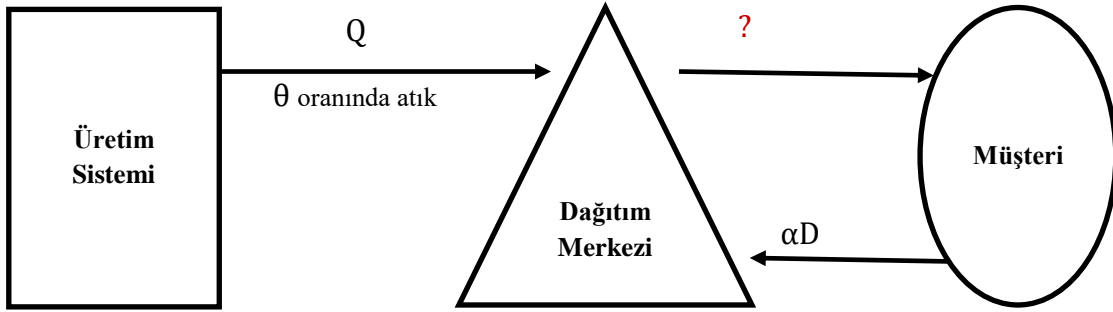
A. MATEMATİKSEL MODEL

Modele ilişkin terimler ve açıklamalar aşağıda verilmiştir.

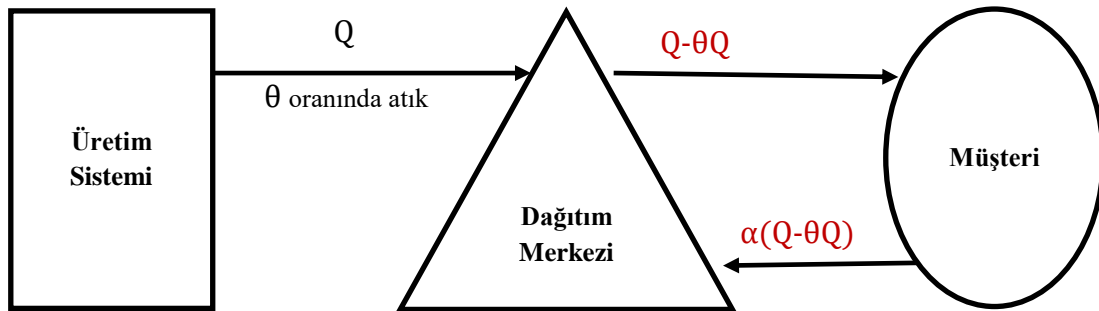
Notasyon

Değişken	Birim	Tanım
A	pb	Sipariş verme maliyeti
c	pb/birim	Birim başına satın alma maliyeti
h	pb/birim/yıl	Stokta tutma maliyeti
a	pb	Sefer başına sabit ulaştırma maliyeti
b	pb/birim/km	Bir birim ürünün bir birim uzaklığa ulaştırılması değişken maliyeti
d	km	Ulaştırma mesafesi (tedarikçi-müşteri arasındaki uzaklık)
α	oran	Talep iade oranı ($0 < \alpha < 1$)
D	birim/yıl	Talep hızı
β	pb/saat	Araç emisyonuna bağlı sosyal maliyet
v	km/saat	Aracın ortalama hızı
γ	pb/birim	Atık yok etme maliyeti
θ	oran	Parti büyüklüğü (lot) başına üretilen atık oranı ($0 < \theta < 1$)

Bonney ve Jaber [2] tarafından önerilen model Şekil 1’de ve tarafımızdan önerilen modelin işleyişi Şekil 2’de verilmiştir.

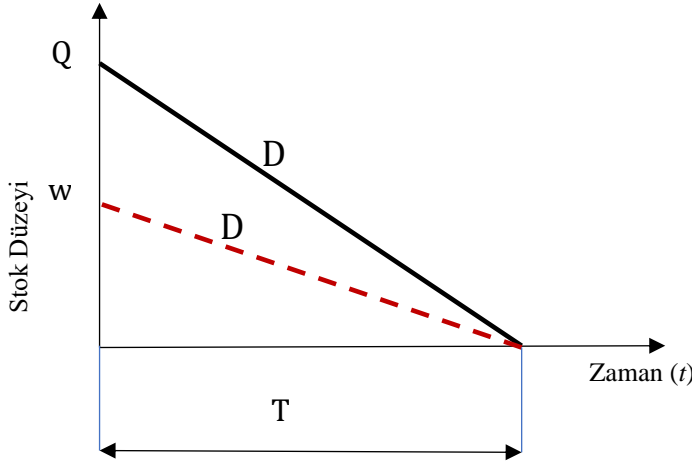


Şekil 1. Bonney-Jaber [2] ESM Modelinin İşleyiş Yapıları



Şekil 2. Önerilen Sürdürülebilir ESM Modelinin İşleyiş Yapıları

Şekil 3’te ise önerilen sürdürülebilir ESM modeli için envanter düzeylerinin nasıl değişebileceği ile ilgili bir grafik verilmiştir. Ancak bu modelde sadece ilk üretim sisteminden depoya sevk edilen kusurlu ürünlerin etkisi envanter düzeyleri ile ilgili değişim burada gösterilmiştir. Diğer sürdürülebilir ESM modeli üzerine etki eden olgular matematiksel olarak analiz edilmiştir.



Şekil 3. Önerilen modeldeki stok düzeyleri değişimi

Önerilen ESM modeli için aşağıdaki matematiksel ifadelerin geçerliliği varsayılmıştır.

Q	: Depoya gelen ürün miktarı
θQ	: Atık miktarı
$Q - \theta Q$: Müşteriye teslim edilen ürün miktarı
$\alpha(Q - \theta Q)$: Müşteri tarafından iade edilen ürün miktarı
$\theta Q + \alpha(Q - \theta Q)$: Toplam atık ürün miktarı

Matematiksel model aşağıdaki şekilde adım adım inşa edilmiştir.

Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

İlk olarak modelde sipariş verme ve stokta tutma maliyeti klasik ESM modelinde var olduğu şekliyle oluşacaktır. Sipariş verme ve stokta tutma maliyeti denklem (1)'de verilmiştir.

$$C = A + cQ + h \frac{(Q - \theta Q)^2}{2D} \quad (1)$$

Ulaştırma maliyeti denklem (2)'de verilmiştir. Burada $2a$ terimi ile ifade edilen bileşen sabit maliyet, bdQ terimi ile ifade edilen bileşen depoya geliş maliyeti, $bd(Q - \theta Q)$ ifadesi ile gösterilen müşteriye teslim maliyeti ve son terim $bd\alpha(Q - \theta Q)$ ise iade edilen ürün maliyeti olarak tasarlanmıştır.

$$C_t = 2a + bdQ + bd(Q - \theta Q) + bd\alpha(Q - \theta Q) \quad (2)$$

Sürdürülebilir ESM modelinin kritik bileşeni olan emisyon gazı ortaya çıkarmanın maliyeti ise denklem (3) ile açıklanmıştır. Bu denklemde ele alınan yapıda emisyon maliyeti yük miktarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Buradaki tanımlamada, β_0 sabit emisyon maliyeti, β_1 emisyon maliyeti (pb/kg/km), β_2 CO_2 miktarı (kg/km/birim) olarak ele alındığında Q terimine bağlı emisyon maliyeti aşağıdaki şekilde ortaya çıkacaktır.

$$C_e = \beta_0 + \beta_1\beta_2Q + \beta_1\beta_2(Q - \theta Q) + \beta_1\beta_2\alpha(Q - \theta Q) \quad (3)$$

γ_0 : Her bir atık yok etme faaliyeti başına oluşan sabit maliyet olmak üzere, sürdürülebilir ESM modelinin diğer önemli bileşeni olan atık yok etme maliyeti ise denklem (4) ile açıklanmıştır.

$$C_w = \gamma_0 + \gamma\theta Q + \gamma\alpha(Q - \theta Q) \quad (4)$$

Önerilen sürdürülebilir ESM modelinin toplam maliyet fonksiyonu (φ) bu durumda, sipariş verme ve stokta tutma maliyeti (C), ulaştırma maliyeti (C_t), emisyon maliyeti (C_e) ve atık yok etme (C_w) maliyetlerinin toplamı şeklinde denklem (5) ile gösterilebilir.

$$\varphi = C + C_t + C_e + C_w \quad (5)$$

Önerilen sürdürülebilir ESM modeline ilişkin toplam maliyet fonksiyonu çevrim zamanı (T)'ye bölünerek birim toplam maliyet fonksiyonu (φ_U) denklem (6)'da gösterildiği şekilde elde edilecektir.

$$\varphi_U = \frac{\varphi}{T} \quad (6)$$

IV. BULGULAR

Sürdürülebilir ve çevreci bir ESM modeli önerilmiştir. Önerilen modelin optimal çözümü araştırılmıştır.

Önerilen sürdürülebilir model sembolik hesaplama yazılımı SageMath ile çözümlerse optimal sipariş miktarı (Q_E^*) denklem (7)'deki şekliyle elde edilir.

$$Q_E^* = \frac{\sqrt{\frac{2AD}{h} + \frac{4Da}{h} + \frac{2D\beta_0}{h} + \frac{2D\gamma_0}{h}}}{\theta - 1} \quad (7)$$

Önerilen sürdürülebilir ESM modeli incelendiğinde, sürdürülebilirlik anlamında modele eklenen tüm bileşenlere ilişkin fonksiyonların sabit bileşenlerin optimal çözüm bir etki ürettiği görülmektedir. Eklenen bileşenlerin değişken olarak ifade edilebilecek parametrelerinin optimal çözüm değerini belirleme konusunda bir katkısının olmadığı görülmektedir.

Önerilen sürdürülebilir modelin klasik ESM ve Bonney-Jaber [2] modelleri ile ilişkilerinin analiz edilebilmesi için denklem (8) ve denklem (9)'da sırasıyla optimal sipariş miktarı çözümleri verilmektedir.

Klasik ESM modeli optimal sipariş miktarı:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (8)$$

Bonney-Jaber [2] çevreci ESM modeli optimal sipariş miktarı:

$$Q_{Enviro}^* = \sqrt{\frac{2AD}{h} + \frac{4Da}{h} + \frac{2D\beta d}{hv} + \frac{2D\gamma_0}{h}} \quad (9)$$

Sayısal Örnek: Bir işletme için, sipariş verme maliyeti (A) 50 \$, satın alma maliyeti (c) 3 \$/br, stokta tutma maliyeti (h) 0,2 \$, sefer başına sabit maliyet (a) 10 \$, birim başına değişken ulaştırma maliyeti (b) 0,01 \$/km, yük taşıma mesafesi (d) 100 km, talep iade oranı (α) 0,1, talep miktarı (D) 1200 br/yıl, araç emisyonuna bağlı sosyal maliyet (β) 0,05 \$/saat, ortalama hız (v) 60 km/saat, atık yok etme sabit maliyet (γ_0) 15 \$, atık yok etme birim maliyeti (γ) 1,5 \$/br, üretim sisteminin atık üretme oranı (θ) 0,15, sabit emisyon maliyeti (β_0) 10 \$, emisyon birim maliyeti (β_1) 0,1 \$/kg/km, CO_2 salınım miktarı birim ürün başına (β_2) 0,456 kg/km/br olarak verildiğinde Klasik ESM (Q^*), Bonney-Jabber (Q_{Enviro}^*)

ve önerilen ESM modeli (Q_E^*) için optimal ESM nedir ve önerilen ESM modeli için optimal sipariş miktarı ile maliyetler ($C, C_t, C_e, C_w, \varphi$) ne olur?

Optimal çözüm denklemleri yukarıda elde edildiği şekilde çalıştırılırsa:

Klasik ESM modeli için optimal miktar $Q^* = 774,6$ br, Bonney ve Jaber ESM modeli için optimal miktar $Q_{Enviro}^* = 885,1$ br ve Karagül-Eroğlu-Tokat ESM modeli için optimal miktar, $Q_E^* = 1256,1$ br olarak elde edilir. Elde edilen Karagül-Eroğlu-Tokat modeli optimal miktarı, maliyet denklemlerinde yerine konursa; sipariş verme ve stokta tutma maliyeti $C = 3193,3$ \$, ulaştırma maliyetleri $C_t = 2450,6$ \$, emisyon maliyetleri toplamı $C_e = 120,8$ \$, atık yok etme maliyetleri toplamı $C_w = 457,8$ \$ ve toplam maliyet fonksiyonu değeri $\varphi = 6942,5$ \$ olarak elde edilmektedir.

Önerilen model için yapılan sayısal analiz, Bonney ve Jaber ESM modeli için optimal miktarının, klasik ESM modeli optimal miktarından daha büyük, önerilen modelin optimal miktarının ise her ikisinden daha büyük olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Dolayısıyla önerilen modelin maliyetlerinin daha fazla olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Toplam maliyet içindeki maliyet bileşenlerinin dağılımı incelendiğinde; sipariş verme ve stokta tutma maliyeti %56, ulaştırma maliyetleri %35, emisyon maliyetleri %2, atık yok etme maliyetlerinin %7 olduğu görülmektedir. Model maliyetleri incelendiğinde görece olarak atık yok etme ve CO_2 salınım maliyetlerinin hala daha düşük olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Ancak günümüz koşullarında görece olarak düşük olan bu maliyetlerin zaman içinde artmaya devam edebileceği söylenebilir. Bu artışın kaynağını zaman içinde yapılacak sosyal, kültürel, çevresel, ekonomik ve yasal düzenlemelerin meydana getireceği söylenebilir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe insanoğlunu üretim ve sınır tanımayan tüketim yaklaşımları nedeniyle dünya yaşanamaz bir hale gelebilecek korkusu almaya başlamış ve bu nedenle belirli ölçülerde insanoğlu için çevre duyarlılığı artma eğilimi göstermeye başlamıştır. Bu bağlamda düşünüldüğünde bilim dünyası da kendi çalıştığı alanlar üzerinde bu duyarlılığın artmasına katkı sağlamalı ve çalışmalarını ile hem üretim hem tüketim ilişkileri açısından çevreci yaklaşımlar ortaya konulmasında etkin roller üstlenmelidir. Bu çerçevede Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) modelleri için çevreci bir ESM modeli insanoğlunun sürdürülebilir bir çevrede yaşamasına katkı sağlamak üzere tasarlanmış ve tartışmaya açılmıştır.

Bu çalışmada, Bonney-Jaber [2] çevresel Ekonomik Sipariş Miktarı (Çevresel-ESM) modeline matematiksel boyutlarıyla eleştirel bir bakış açısı getirilmiştir. Sürdürülebilir bir ESM modeli önerilmiş ve sipariş verme ve stokta tutma maliyeti, emisyon maliyeti, kusurlu ürünler, taşıma ve atık yok etme bileşenleri üzerinden bir model tasarlanmıştır. Bu bakış açısında optimal sipariş miktarının sürdürülebilirlik varsayımları altında nasıl etkilendiği analiz edilmiştir. Modelin çözümleri sembolik hesaplama ile elde edilmiştir.

Çalışmada önerilen modelin optimal çözümü ile klasik ESM ve Bonney-Jaber [2] modelleri karşılaştırılmıştır. Eleştiri üzerinden inşa edilen model, hem klasik hem Bonney-Jaber [2] modeline göre daha büyük parti büyüklüğünde sipariş verilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Yeni inşa edilen modelde atık geri dönüşüne bağlı değişken α parametresinin ve diğer parametreler olan β_1, β_2 ve γ 'nın optimal parti büyüklüğünün hesaplanmasında bir etki üretmediği, ancak tanımlamalarda yer a, β_0 ve γ_0 sabit parametrelerinin optimal parti büyüklüğünün belirlenmesinde rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

ESM modelleri karşılaştırılarak literatüre bir katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bundan sonra önerilen sürdürülebilir ESM modellerinin geliştirilmesinde teşvik edici rol oynaması beklenmektedir. Yeni sürdürülebilir modeller üretmek için hatalı ürün oranı rassal değişken olarak, emisyon ve atık ürün maliyetleri de farklı bakış açıları altında yeni fonksiyonlarla ifade edilebilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] A. Eroğlu, *Deterministik Envanter Modelleri*, Isparta, Türkiye: Fakülte Kitabevi, 2002.
- [2] M. Bonney and M. Y. Jaber, “Environmentally Responsible Inventory Models: Non-Classical Models For A Non-Classicalera,” *Int. J. Production Economics*, vol. 133, pp. 43–53, 2011.
- [3] G. Hua, T.C.E. Cheng and S. Wang, “Managing Carbon Footprints In Inventory Management,” *Int. J. Production Economics*, vol. 132, pp. 178–185, 2011.
- [4] X. Chen, S. Benjaafar and A. Elomri, “The Carbon-Constrained EOQ,” *Operations Research Letters*, vol. 41, pp. 172–179, 2013.
- [5] M. Hariga, R. As'ad and A. Shamayleh, “Integrated Economic And Environmental Models For A Multi Stage Cold Cupply Chain Under Carbon Tax Regulation,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 1357-1371, 2017.
- [6] D. Battini, A. Persona and F. Sgarbossa, “A sustainable EOQ model: theoretical formulation and applications,” *Int. J. Production Economics*, vol. 149, pp. 145–153, 2014.
- [7] S. Tiwari, Y. Daryanto and H. M. Wee, “Sustainable inventory management with deteriorating and imperfect quality items considering carbon emission,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 192, pp. 281–292, 2018.
- [8] H. Liao and L. Li, “Environmental sustainability EOQ model for closed-loop supply chain under market uncertainty: a case study of printer remanufacturing,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 151, 106525, 2021.
- [9] E. Aydemir, F. Bedir and G. Özdemir, “Degree of greyness approach for an EPQ model with imperfect items in copper wire industry,” *Journal of Grey System*, vol. 27, no. 2, pp. 13-26, 2015.
- [10] E. Aydemir, “Envanter yönetimi ve uzantıları: ekonomik üretim miktarı modelleri üzerine bir bilimsel yazın araştırması,” *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 15, s. 3, ss. 97-112, 2015.
- [11] E. Aydemir, F. Bedir, G. Özdemir and A. Eroğlu, “An EPQ model with imperfect items using interval grey numbers,” *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, vol. 5, no. 1, pp. 21-32, 2015.
- [12] R. Eroğlu ve E. Aydemir, “geri dönüşüm sürecinde kusurlu yeniden üretim durumu için yeni bir envanter modeli,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 23, s. 68, ss. 381-397, 2021.
- [13] R. Eroğlu ve E. Aydemir, “Tamir sürecini içeren geri dönüşüm süreci için yeni bir envanter modeli geliştirilmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 4, ss. 1086-1098, 2020.
- [14] A. A. H. Algburı, A. Eroğlu ve H. Sulak, “Farklı durumlar altında geliştirilen stok kontrol modelleri yazın taraması,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 24, s. 1, ss. 19-31, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Atriyal Fibrilasyon Tespiti için Evrişimli Sinir Ağı Tabanlı Bir Derin Ağ Modeli¹

 Fatma MURAT ^{a,*},  Ferhat SADAK ^b,  Muhammed TALO ^c,  Özal YILDIRIM ^d,
 Yakup DEMİR ^a

^a Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, TÜRKİYE

^c Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

^d Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fmurat@firat.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1011246

ÖZ

Atriyal Fibrilasyon (AFib), yaşlılarda ve hatta herhangi bir kalp hastalığı olmayan gençlerde bile görülebilen yaygın bir kalp ritim bozukluğudur. AFib; inme, kalp yetmezliği ve ani ölümlere neden olabilir. Tüm bu mevcut ve gelecekteki endişeler, dünya çapında AFib'in erken tespitinde önemli önlemlerin alınmasını gerektirir. Elektrokardiyografik (EKG) dalga formları, AFib gibi anormal kalp ritimlerini saptamak için en güvenilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak EKG sinyallerinin karmaşıklığı ve doğrusal olmaması nedeniyle bu sinyalleri manuel olarak analiz etmek zordur. Bunun yanı sıra, EKG sinyallerinin yorumlanması kişiye özgü ve uzmanlar arasında farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle otomatik ve güvenilir bir AFib algılama için bilgisayar destekli teşhis (BDT) sistemlerinin kullanımı önemlidir. BDT sistemleri, EKG sinyallerinin değerlendirilmesinin objektif ve doğru olmasını sağlayacak potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, derin öğrenme yapısı kullanılarak EKG sinyallerinden otomatik AFib tespiti gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme algoritmalarından evrişimli sinir ağı (ESA) mimarisinin AFib sınıflandırma probleminde kullanımı için çalışma kapsamında derin bir ağ modeli tasarlanmıştır. Kullanılan verisetinde normal sinüs ritimlerinin (SR) yanısıra AFib ve Atriyal Flutter (AFL) aritmileri bulunmaktadır. AFib ve AFL sınıfları birleştirilerek model çıkışında SR ve AFib ayırımının otomatik yapılması sağlanmıştır. Önerilen model, 2222 SR ve 2218 AFib tanısı alan kişilere ait her biri 5000 örneğe sahip EKG sinyali içeren veri seti üzerinde uygulanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan ESA modeli, test aşamasında sırasıyla %95.09 hassasiyet, %97.27 özgüllük ve %97.26 kesinlik değerlerine ulaşmıştır. Modelin test verileri üzerindeki doğruluk oranı %96.17 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atriyal fibrilasyon, Evrişimsel sinir ağları, Derin öğrenme

A Convolutional Neural Network Based Deep Network Model for Atrial Fibrillation Detection

ABSTRACT

Atrial Fibrillation (AFib) is a common heart rhythm disorder that can occur in the elderly and even young people without any heart disease. AFib can result in a stroke, heart failure, or sudden death.. All of these existing and future concerns require significant efforts in the early diagnosis of AFib around the world.. Electrocardiographic (ECG) waveforms are considered the most reliable method for detecting abnormal heart rhythms such as AFib. However, due to the complexity and non-linearity of ECG signals, it is difficult to analyze these signals

¹ICAAME 2021 konferansında sunulmuştur.

manually. Furthermore, the interpretation of ECG data is subjective and may differ amongst specialists.. Therefore, the use of computer-assisted diagnostic (CAD) systems is important for automatic and reliable detection of AFib. CAD systems have the potential to make objective and accurate evaluation of ECG signals. In this paper, automatic AFib detection from ECG signals was performed using deep learning system. A deep network model was proposed within the scope of this study for the use of convolutional neural network (CNN) architecture, one of the deep learning algorithms, in the AFib classification problem. The dataset used includes normal sinus rhythms (SR) as well as AFib and Atrial Flutter (AFL) arrhythmias. By combining AFib and AFL classes, automatic classification of SR and AFib is provided at the model output. The suggested model was tested on a data set of 5000 samples of ECG signals from patients with 2222 SR and 2218 AFib, respectively. The CNN model developed within the scope of this study achieved 95.09% sensitivity, 97.27% specificity and 97.26% precision values, respectively, during the test phase. The accuracy percentage of the model on the test data was 96.17%.

Keywords: Atrial fibrillation, Convolutional neural networks, Deep learning

I. GİRİŞ

Kalp hastalıklarında ölüm oranlarının yüksek olması nedeniyle hastalığın erken teşhisi ve aritminin kesin olarak ayırt edilmesi, hastaların tedavisi için hayati öneme sahiptir [1]. Aritmiler, kardiyovasküler hastalık gruplarında önemli bir yer tutar. Aritmi, kendiliğinden veya diğer kardiyovasküler hastalıklar ile birlikte ortaya çıkabilir [2]. Bir aritmi çeşidi olan atriyal fibrilasyon (AFib), en yaygın kalp ritmi bozukluğudur. Çoğunlukla yaşlılarda görülür, ancak kalp hastalığı geçmişi olmayan gençler bile bundan muzdarip olabilir. AFib'nin kendisi nadiren öldürücü olmasına rağmen, kalp yetmezliği ve tromboembolizm gibi AFib ile ilişkili durumlarda komplikasyon riskini artırarak morbidite ve mortalitede artışa neden olur [3].

Aritmi saptama için en yaygın uygulanan çözüm, cilt üzerine yerleştirilen elektrotları kullanarak kalbin elektriksel aktivitesini belirli bir süre boyunca kaydeden elektrokardiyografidir (EKG). Farklı aritmiler, farklı EKG dalga formları ile temsil edilen farklı kalıplara karşılık gelir [4]. Bu kalıplar, kalbin çalışması ve durumu hakkında bilgiler içerir. Bundan dolayı, EKG sinyallerinin izlenmesi ve tanınması biyomedikal alanda son derece önemli bir konudur [5].

Bilgisayar destekli yorumlama, ortaya atılmasından bu yana geçen yaklaşık 50 yıllık süreçte sağlık alanında giderek daha önemli hale gelmiştir [6]. Bu sistemlerin geliştirilmesiyle birlikte kardiyologların iş yükü azaltılmış; hastalık tespitinin etkinliği ve doğruluğu artırılmıştır. Görsel hataları ve kişisel yorumları telafi etmek için araştırmacılar, EKG'yi otomatik olarak teşhis etmek amacıyla bilgisayar destekli teşhis (BDT) sistemleri geliştirmeye başladılar [7]. Etkili bir BDT sisteminin, güçlü bir sınıflandırıcı gereksiniminin yanı sıra ham verilerden gizli katmanlar yardımıyla önemli bilgileri çıkarabilen çok iyi bir özellik çıkarıcı gereksinimi de bulunur [1]. Sinyallerin ön işleme, dalga formu algılama, özellik çıkarma ve sınıflandırma işlemleri için geleneksel yöntemlerde el yapımı özelliklerin kullanılması gerekmektedir. Bu yöntemlerde, kodlanmış özellikler genellikle deneme-yanılma yoluyla ya da deneyimle tasarlanır ve seçilir. Bu yüzden bu sistemlerde yanlış tanı ve uygunsuz tedaviye yol açabilecek daha yanlış pozitifler üretme eğilimleri söz konusudur. Geleneksel sistemlerin karşılaştığı bu zorlukların üstesinden gelmek ve kodlanmış sabit özellikler kullanmadan daha iyi tespit doğruluğu sağlamak amacıyla derin öğrenme teknikleri geliştirilmiştir [8].

Evrişimli sinir ağları (ESA'lar), EKG sinyallerinin analizi ve sınıflandırılması için derin öğrenme modellerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [9-15]. ESA'lar, karmaşık temsili özellikleri doğrudan verilerden otomatik olarak öğrenebildiklerinden, el yapımı özelliklere olan ihtiyacı ortadan kaldırırlar [16]. Xia ve ark. [17] AFib tespiti amacıyla ESA'ları kullanan ilk çalışma iddiasını taşımaktadır. Diğer geleneksel AFib tespiti algoritmaları ile karşılaştırıldığında önerilen yöntem, P-dalgası ve R-dalgası tespitini ve dahası herhangi bir manuel özellik çıkarımı ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Nguyen ve ark. [18] çalışmalarında özellik çıkarım işlemine gereksinim duymadan her segmenti otomatik olarak sınıflandırmak için bir ESA mimarisi geliştirmiştir. ESA, aşırı uydurmadan kaçınırken küçük bir

eğitim setinin tümünden yararlanmak için herhangi bir doğrulama verisi kullanmadan eğitilmiştir. Ayrıca, her bir EKG sinyalinin sınıflandırılması için ESA'den gelen çıktıları girdi olarak alan bir destek vektör makinesinin(DVM) kullanımı önerilmiştir. Özetle tasarladıkları modelde derin özellikleri çıkarmak için ESA yapısını, sınıflandırma için ise DVM kombinasyonunu kullanmışlardır. Attia ve ark. [19] standart 10 saniyelik, 12 kanallı EKG'leri kullanarak normal sinüs ritmi sırasında mevcut olan atriyal fibrilasyonun elektrokardiyografik imzasını saptamak için bir evrişimsel sinir ağı kullanan yapay zeka özellikli bir elektrokardiyograf geliştirmişlerdir. AFib tespitinde kullandıkları model tek konvolüsyon katmanına sahip ESA modelidir.

Bu çalışmada, derin öğrenme yapısı kullanılarak EKG sinyallerinden otomatik AFib tespiti gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme algoritmalarından evrişimli sinir ağı (ESA) mimarisinin AFib sınıflandırma probleminde kullanımı için çalışma kapsamında derin bir ağ modeli tasarlanmıştır.

II. METARYAL VE YÖNTEM

A. VERİ SETİ

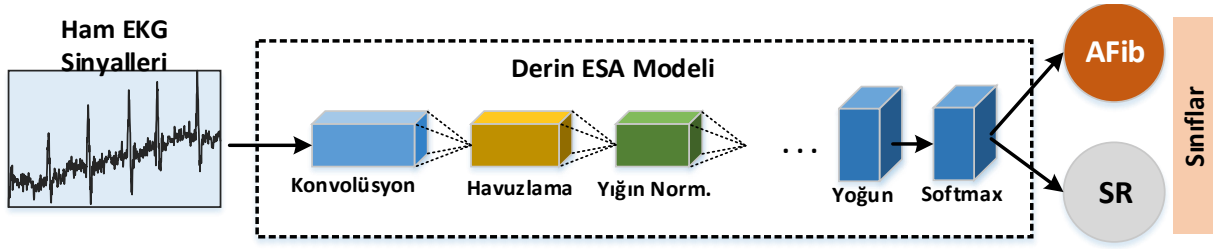
ESA mimarisinin AFib sınıflandırma görevindeki performansını gözlemlemek için çalışma kapsamında bir ESA modeli tasarlanmıştır. Bu çalışmada, Chapman University and Shaoxing People's Hospital (Shaoxing Hospital Zhejiang University School of Medicine) tarafından toplanan ve 10,000 üzerinde hasta kaydı içeren bir veriseti kullanılmıştır [20]. Kayıtlar her biri 5000 örnek içeren 12-kanal sinyalleri içeren 11 ritim sınıfından oluşmaktadır. Model için 11 ritim sınıfından sadece 4 tanesi seçilmiş ve Tablo 1'de gösterildiği gibi birleştirilmiştir. Sinüs Düzensizliği (SD) ve Sinüs Ritimleri (SR), SR sınıfı olarak; AFib ve Atriyal flutter (AFL) ritimleri ise AFib sınıfı olarak birleştirilmiştir. 2218 AFib ve 2222 SR sınıfı olmak üzere toplam 4440 örnek üzerinde uygulama yapılmıştır.

Tablo 1 Kullanılan birleştirilmiş ECG ritimlerine ait sayısal değerler ve etiket bilgileri.

Birleştirilmiş Ritimler	Sınıf İsmi	Toplam Örnek Sayısı
AFib, AFL	AFib	2218
SR, SD	SR	2222
Toplam Örnek Sayısı		4440

B. ESA MODELİ

EKG sinyalleri, kullanılan cihazlara veya sinyallerin elde edildiği ortama bağlı olarak çeşitli gürültüler içermektedir. Sinyal içerisinde istenmeyen bileşenlerin silinmesi ve sinyallerin standardize edilmesi için çeşitli ön işleme teknikleri araştırmacılar tarafından uygulanmıştır. Derin öğrenme yöntemleri ile bahsedilen ön işleme tekniklerine olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır. Bu çalışmada, ön işleme olmadan ham EKG sinyallerinden AFib tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Oluşturulan model, standart ESA mimarisi katmanları olan konvolüsyon, havuzlama(pooling) ve tamamen bağlı(fully-connected) katmanlarından oluşan 13 katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu katmanların yanı sıra son zamanlarda kullanılan iki adet yığın normalizasyon(batch-normalization) katmanları modele yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan ESA modeline ait bir blok gösterim Şekil 1'de verilmiştir.

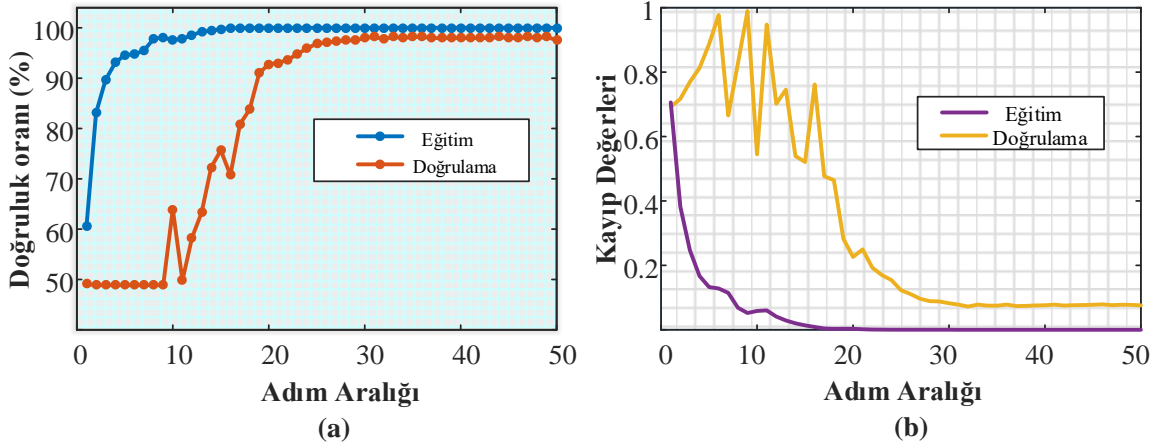


Şekil 1. Tasarlanan ESA Modelinin blok gösterimi

Model içerisindeki ilk iki konvolüsyon katmanı 128×5 ve 128×3 boyutlu filtrelerle sahip iken sonraki konvolüsyon katmanları ise sırasıyla 256×5 ve 64×3 boyutlu filtrelerle sahiptir. Her bir konvolüsyon katmanını takip eden havuzlama katmanları model içerisine yerleştirilmiştir. Yığın normalizasyon katmanları ise ilk ve ikinci havuzlama katmanlarından sonra yerleştirilmiştir. ESA modelinin sınıflandırma katmanından önce iki adet yoğun katmanı yerleştirilmiştir. Modelde “ReLU” aktivasyon fonksiyonu ile son katmanda sınıflandırma amaçlı “softmax” katmanı kullanılmıştır. Sınıflandırma çıktısını veren iki birimli softmax katmanı ile AFib ve SR sınıflarına ait olasılık değerleri elde edilerek tespit işlemi tamamlanmıştır.

III. DENEYSEL BULGULAR

ESA modeli uygulanırken toplam verilerin %80’i üzerinde eğitim, %10’u üzerinde doğrulama ve %10’u üzerinde test işlemi yapılmıştır. Tüm deneyler Intel Core i7-7700HQ 2.81GHz CPU, 16GB bellek ve 8 GB NVIDIA GeForce GTX 1070 grafik kartı özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelin standart hiper parametreleri 0,001 öğrenme hızına ayarlanmıştır. Adam optimizasyonu, modelin ağırlıklarını kategorik bir çapraz entropi kaybı işleviyle ayarlamak için kullanılmıştır. ESA modelinin eğitim ve doğrulama aşamalarında katman çıktılarında elde edilen öznetelikler üzerinde sınıflandırıcıların performansı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan modelin eğitim ve doğrulama aşamasındaki (a) Doğruluk oranı ve (b) Kayıp değerleri

Eğitilmiş model 444 adet eğitim aşamasında kullanılmamış test verisi üzerinde 50 adım aralığında yürütülerek AFib tespit performansı test edilmiştir. Model test için kullanılan 219 AFib sinyalinin 213 tanesini doğru tespit etmiştir. Böylelikle model test aşamasında sırasıyla %95.09 duyarlılık, %97.27 özgüllük ve %97.26 kesinlik başarımına ulaşmıştır. Modelin test doğruluk oranı %96.17 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. ESA ile AFib tespiti çalışmaları.

Yazar, Yıl	Sınıflandırıcı	Girdi	Model doğruluğu (%)
Acharya, 2017 [21]	11-katmanlı ESA	8683 5s EKG sinyali	94.9
Attia, 2019 [19]	ESA	649,931 10s EKG sinyali	83.3
Lai, 2020 [22]	8-katmanlı ESA	510,472 10s EKG sinyali	93.1
Nurmaini, 2020 [23]	13-katmanlı ESA	6114 örnek (9s)	99.98
Mevcut çalışma	13-katmanlı ESA	4440 kayıt	96.17

Tablo 2’de bildiri kapsamında incelenen AFib çalışmalarına ait performansların bir karşılaştırılması sunulmuştur. AFib çalışmalarından elde edilen doğruluk oranlarının genellikle %90 üzerinde bir değere sahip olduğu görülmektedir. Acharya [21], 11 katmanlı bir ESA modeli ile %94.9 başarımla elde etmiştir. Benzer şekilde 8 katmanlı [22], 13 katmanlı [23] modeller oluşturularak AFib tespiti sağlanmıştır.

IV. SONUC

Bu çalışmada, derin öğrenme tabanlı AFib tespiti gerçekleştirmek amacıyla 4440 hasta verisi içeren bir veri seti üzerinde yeni bir ESA modeli tasarlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen model aynı problem için oluşturulan literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında %96.17’lik doğruluk ile başarılı bir sonuç elde etmiştir. Tüm deneyler hasta düzeyinde tasarım kullanılarak gerçekleştirilmiş ve önerilen sınıflandırıcıların performansının EKG sinyalleri üzerinde AFib tespiti için umut verici olduğu görülmüştür. Gelecekteki çalışmalarda, 12 kanallı EKG sinyalinin tümünü kullanarak derin öğrenme modelleri tasarlayacak ve farklı kanallarda model performansını karşılaştıracaktır. Derin öğrenme modellerinin AFib tespitinde başarılı olduğu ancak bu alanda hala çalışılması gereken boşlukların olduğu söylenebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. N. Yu and K. T. Chou, “Integration of independent component analysis and neural networks for ECG beat classification,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 34 no. 4, pp. 2841-2846, 2008.
- [2] J. Huang, B. Chen, B. Yao and W. He, “ECG arrhythmia classification using STFT-Based spectrogram and convolutional neural network,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 92871-92880, 2019.
- [3] C. D. Furberg, B. M. Psaty, T. A. Manolio, J. M. Gardin, V. E. Smith, and P. M. Rautaharju, “Prevalence of atrial fibrillation in elderly subjects (the Cardiovascular Health Study),” *Am. J. Cardiol.*, vol. 74, no. 3, pp. 236–241, 1994.
- [4] Y. Li, Y. Pang, J. Wang, and X. Li, “Patient-specific ECG classification by deeper CNN from generic to dedicated,” *Neurocomputing*, vol. 314, pp. 336-346, 2018.
- [5] Ö. Yildirim, “A novel wavelet sequences based on deep bidirectional LSTM network model for ECG signal classification,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 96, pp. 189-202, 2018.
- [6] A. Y. Hannun, P. Rajpurkar, M. Haghpanahi, G. H. Tison, C. Bourn, M. P. Turakhia and Y. A. Ng, “Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network,” *Nature Medicine*, vol. 25 no. 1, pp. 65-69, 2019.

- [7] J. Jiang, H. Zhang, D. Pi, and C. Dai, "A novel multi-module neural network system for imbalanced heartbeats classification," *Expert Syst. with Appl.* vol. X, no. 1, p. 100003, 2019.
- [8] S. L. Oh, E. Y. K. Ng, R. S. Tan, and U. R. Acharya, "Automated diagnosis of arrhythmia using combination of CNN and LSTM techniques with variable length heart beats," *Comput. Biol. Med.*, vol. 102, pp. 278-287, 2018.
- [9] B. M. Maweu, S. Dakshit, R. Shamsuddin, and B. Prabhakaran, "CEFEs: A CNN Explainable Framework for ECG Signals," *Artif. Intell. Med.*, vol. 115, p. 102059, 2021.
- [10] F. Rabbi, S. Islam, D. Kumar, S. M. R. Islam, and M. Ali, "SCNN : Scalogram-based convolutional neural network to detect obstructive sleep apnea using single-lead electrocardiogram signals," *Comput. Biol. Med.*, vol. 134, p. 104532, 2021.
- [11] X. Yang, X. Zhang, M. Yang, and L. Zhang, "12-Lead ECG arrhythmia classification using cascaded convolutional neural network and expert feature," *J. Electrocardiol.*, vol. 67, pp. 56–62, 2021.
- [12] Y. Zhang, Z. Zhao, Y. Deng, X. Zhang, and Y. Zhang, "Biomedical Signal Processing and Control Human identification driven by deep CNN and transfer learning based on multiview feature representations of ECG," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 68, no. April, p. 102689, 2021.
- [13] M. Sepahvand and F. Abdali-mohammadi, "Biomedical Signal Processing and Control A novel multi-lead ECG personal recognition based on signals functional and structural dependencies using time-frequency representation and evolutionary morphological CNN," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 68, no. January, p. 102766, 2021.
- [14] Z. Yao, Z. Zhu, and Y. Chen, "Atrial fibrillation detection by multi-scale convolutional neural networks," In 2017 20th International Conference on Information Fusion (Fusion) (pp. 1-6). IEEE, 2017.
- [15] L. S. Y Huang, J Lin, G Wang, Z Ding, "A Multi-dilation Convolution Neural Network for Atrial Fibrillation Detection," in *ICDSP 2020: Proceedings of the 2020 4th International Conference on Digital Signal Processing*, pp. 136–140, 2020.
- [16] F. Murat, O. Yildirim, M. Talo, U. B. Baloglu, Y. Demir, and U. R. Acharya, "Application of deep learning techniques for heartbeats detection using ECG signals-analysis and review," *Comput. Biol. Med.*, vol. 120, no. April, p. 103726, 2020.
- [17] Y. Xia, N. Wulan, K. Wang, and H. Zhang, "Detecting atrial fibrillation by deep convolutional neural networks," *Comput. Biol. Med.*, vol. 93, no. July 2017, pp. 84–92, 2018.
- [18] Q. H. Nguyen, B. P. Nguyen, T. B. Nguyen, T. T. T. Do, J. F. Mbinta, and C. R. Simpson, "Stacking segment-based CNN with SVM for recognition of atrial fibrillation from single-lead ECG recordings," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 68, no. April, p. 102672, 2021.
- [19] Z. I. Attia *et al.*, "An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction," *Lancet*, vol. 394, no. 10201, pp. 861–867, 2019.
- [20] J. Zheng, J. Zhang, S. Danioko, H. Yao, H. Guo, and C. Rakovski, "A 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia research covering more than 10,000 patients," *Sci. Data*, vol. 7, no. 1, pp. 1-8, 2020.

[21] U. R. Acharya, H. Fujita, O. S. Lih, Y. Hagiwara, J. H. Tan, and M. Adam, "Automated detection of arrhythmias using different intervals of tachycardia ECG segments with convolutional neural network," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 405, pp. 81–90, 2017.

[22] D. Lai, Y. Bu, Y. Su, X. Zhang, and C. S. Ma, "Non-standardized patch-based ECG lead together with deep learning based algorithm for automatic screening of atrial fibrillation," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 24, no. 6, pp. 1569–1578, 2020.

[23] S. Nurmaini, A. E. Tondas, A. Darmawahyuni, M.N. Rachmatullah, R. U. Partan, F. Firdaus, B. Tutuko, F. Pratiwi, A. H. Juliano and R. Khoirani, "Robust detection of atrial fibrillation from short-term electrocardiogram using convolutional neural networks," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 113, pp. 304–317, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Tarım Arazilerinde Harcanan Su Miktarını Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Belirlenmesi¹

 Hilmi Cenk BAYRAKÇI^{a*},  Rabia Sultan ÇİÇEKDEMİR^b,  Merdan ÖZKAHRAMAN^a

^a Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cenkbayrakci@isparta.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1015690

ÖZ

Ülkemizde ve dünyada en önemli problemlerden birisi de su problemidir. Su tüketiminin en çok olduğu alanlar arasında tarım sektörü gelmektedir. Tarımda sulamada kullanılan önemli yöntemlerden birisi de damla sulama yöntemidir. Damlama sulama sisteminde bitkilerin köküne su vererek büyümesi sağlanarak daha az su tüketilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca önemli noktalardan birisi de her bitkinin su ihtiyacının farklı olmasıdır. Çalışmada örnek bölgelerden ve açık erişimli internet sitelerinden toplanan İl, ilçe, bitkinin türü gibi veriler ışığında tespit edilen su harcama miktarına göre veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen veri seti üzerinde farklı yapay zekâ algoritmaları kullanılarak harcanan su miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. En doğru sonucu veren yapay zekâ modeli için ara yüz programı hazırlanarak kullanıcının ara yüz programından girmiş olduğu değerlere göre en doğru su harcama miktarını veren ve sonucu ekranda görüntüleyen bir sistem oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, Makine öğrenmesi, Tarım

Determining the Amount of Water Used in Agricultural Lands Using Artificial Intelligence Techniques

ABSTRACT

One of the most important problems in our country and in the world is the water problem. The agricultural sector is among the areas with the highest water consumption. One of the important methods used in irrigation in agriculture is the drip irrigation method. In the drip irrigation system, less water is consumed by giving water to the roots of the plants and allowing them to grow. In addition, one of the important points is that the water needs of each plant are different. In the study, a data set was created according to the amount of water consumption determined in the light of data such as province, district, plant species collected from sample regions and open access websites. The amount of water consumed was tried to be estimated by using different artificial intelligence algorithms on the obtained data set. An interface program has been prepared for the artificial intelligence model that gives the most accurate result, and a system has been created that gives the most accurate water consumption amount according to the values entered by the user from the interface program and displays the result on the screen.

Keywords: Artificial intelligence, Machine learning, Agriculture

¹ICAIAE 2021 konferansında sunulmuş, özet metin Kabul Edilen Özetler E-Kitabı ss.23'te verilmiştir.

Geliş: 01/11/2021, Düzeltme: 22/12/2021, Kabul: 25/12/2021

I. GİRİŞ

Tarım, bitkisel ürünlerin ve bu bitkileri tüketen canlılardan elde edilen ürünlerin üretilmesi, üretilen ürünlerin niteliklerinin üst düzeye getirilmesi, uygun koşullarda depolanması ve işlenmesiyle ilgilenen bir bilim dalıdır. Bitkisel ve hayvansal üretimler tarım biliminin en önemli ve en başta gelen kollarıdır ve bu sektör, insanların yaşamaları için en temel gereksinimlerini karşılamaktadır [1]. Dünyada tarıma gösterilen ilginin nedeni ise iklim değişiklikleri, kullanılabilir su kaynaklarının büyük ölçüde azalması ve tarıma elverişli ortamların zamanla yok olmasıdır. Gelecekteki tahminlerin bazıları gıda ve su savaşlarının olması yönündedir ve bu tahminler bile konunun ne kadar önemli olduğunu anlatmaktadır [2].

Tarımda bitkinin gereksinimi olan ve havanın neme doymasıyla yeryüzüne düşen damlacıkların yeterli olmamasından dolayı bitkinin kök bölgesine yeterli miktarda ve zamanda su verilmesine sulama denmektedir [3]. Tüketilen su miktarı nüfus oranının artışı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Dünya nüfusu 1700'lü yıllarda 700 milyon dolayında iken, su tüketimi yaklaşık 110 m³ olup, bunun da yaklaşık % 90'ının tarımda sulama amaçlı kullanıldığı, 1990'lı yıllara gelindiğinde ise tüketilen su miktarının 40 kat arttığı belirtilmektedir. Dünyada bulunan su kaynaklarının değişmemiş olması tarım alanında kısıtlı koşullarda sulamanın yapılmasını zorunlu kılmıştır [4]. Son senelerde hızla gelişme gösteren sanayi sektörünün yoğun su gereksinimi ile tarımsal sulama için ihtiyaç duyulan miktarın sağlanabilmesi, Ülke nüfusunun artmasından dolayı kaliteli içme ve kullanma suyuna olan gereksinimin karşılanabilmesi için ülkemizin su kaynaklarının daha doğru ve verimli kullanılması oldukça fazla önem taşımaktadır. Bitkisel üretim bakımından ülkemizin birçok yerinde yağış olayının yetersiz olması, kurak ve yarı kurak olan bölge sayımızın çok olması dolayısıyla kaliteli ürün ve yüksek oranda verim elde etmek için sulama yapılması gerekmektedir [3]. Ülkemizin ekonomik olarak tüketilebilir su potansiyeli 110 km³ tür ve bunun 40 km³'ü tüketilmektedir. Bu miktarın %75'i sulamada, %15'i içme ve kullanma sektöründe %10'u ise endüstride kullanılmaktadır. Bizim ve gelecek nesillerin yaşamını sürdürebilmesi için toprak ve su gibi doğal kaynakların tükenmemesi için tarımsal üretimde suyu bilinçli bir şekilde kullanmalıyız [5]. Doğru su ve toprak yönetimi, tüm bu kullanımların sonucunda ortaya çıkan kaliteli su ihtiyacını karşılayabilmektedir [3].

Günümüzde ve yakın gelecekte tarımsal araştırma konularının başında yapay zekâ gelecektir bunun nedeni ise yapay zekâ uygulamalarının tarımsal işlemlerin kolaylaştırılması ve çözüm veya iyileştirme bekleyen sorunlara alternatif çözümler geliştirme potansiyeli olmasıdır. Tarımda birçok alanda yapay zeka teknikleri kullanılarak; bitkisel üretim planlamaları, bitkilerin sınıflandırılması, verim tahmini, bitki hastalık, zararlı ve yabancı otlarının tespiti, tarım robotlarında rota belirlenmesi ve uygulama kararlarının alınması, serada uygun çevre şartlarının belirlenmesi, işletme kararlarının alınması, sulama yönetimi, ürün rotasyonunun belirlenmesi, en uygun gübre ve alet makine seçimi, hayvan hastalıklarının tespiti, uygun yem rasyonlarının hazırlanması, hayvan davranışlarının belirlenmesi gibi konularda araştırmacılar tarafından çok sayıda çalışma yapılmıştır [6]. Kompleks ve çok olan verilerin daha hızlı, daha iyi yorumlanması ve çözümlenmesi yapay zekâ yöntemi ile sağlanır [7].

Yapay zekâ, zeki makinelerin zeki bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği olarak John McCarthy tarafından tanımlanmıştır. Silage'ye göre ise sezgisel programlama temelinde olan yaklaşım olarak görülürken Popov'a göre ise insanların yapmış oldukları çalışmalarını bilgisayarlara yaptırabilme olarak tanımlanmaktadır [8]. Axe'nin görüşü ise yapay zekâyı akıllı programları hedefleyen birim şeklindedir [9].

Akıllı uygulama yazılımlarında, yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme gibi kavramlar çoğunlukla karıştırılır ve birbiri yerine kullanılır. Oysaki aralarında ufak farklılıklar vardır. Makine öğrenmesi yapay zekânın bir alt kümesi olarak yer alırken derin öğrenme ise makine öğrenmesinin bir alt kümesi olarak yer alır. Yani tüm makine öğrenmesi uygulamaları yapay zekâ olarak sayılır [8].

Makine öğrenmesi, bilgisayarın yani makinenin önceden edindiği bilgileri öğrenerek hafızasında tutması ve gelecekte oluşabilecek, öğrenmiş olduğu bilgiye benzeyen olaylar hakkında karar

verebilmesini ve oluşacak herhangi bir problemde çözüm üretebilmesidir [10]. Aynı zamanda makine öğrenmesi, çalışılmakta olan sorunun çözümünü kendi kendine öğrenebilen, karmaşık görüntüleri algılama ve veriye dayalı karar verebilme özelliği olan bilgisayar algoritmalarıdır [11]. Makine öğrenmesi geçmişteki verileri baz alarak yeni veri için en uygun modeli bulmaya çalışır. Çok fazla verinin elle girilmesi çok zahmetlidir ve oldukça zaman alır. Oluşturulan veya hazır bir şekilde açık erişimli internet sitelerinde kullanıma sunulan veri setleri ile makine öğrenmesi yöntemleriyle oluşturulan model, en yüksek performansı elde etmek için kullanılmaktadır. Günümüzde makine öğrenmesinin popüler olması ve önem kazanmasının nedeni ise uygulama alanı ne olursa olsun, çok miktardaki verinin analiz edilerek gelecek ile ilgili tahminlerde bulunması ve bizim karar vermemize yardımcı olmasıdır [10].

II. MATERİYAL VE METOT

Yapılan çalışmada T.C. Tarım ve Orman Bakanlığının açık erişimli internet sitesinde yayınlamış olduğu TÜRKİYE’DE SULANAN BİTKİLERİN BİTKİ SU TÜKETİMLERİ isimli çalışmasından bazı veriler alınarak düzenlenmiş ve veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde toplam 3203 adet veri kullanılmıştır.

Veri seti, Doğrusal (Linear) Regresyon, Ridge Regresyon, Lasso Regresyon, Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon, XGboost Regresyon yöntemleri ile eğitilmiş ardından Python ile bir ara yüz oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan veri seti, Doğrusal (Linear) Regresyon, Ridge Regresyon, Lasso Regresyon, Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon, XGboost Regresyon yöntemleri ve oluşturulan arayüz aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

A. MATERİYAL

A. 1. Veri seti

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığının araştırma sonuçlarından İl-ilçe, Tarih, Bitkiler ve Yağış verileri alınarak 3203 adet veri oluşturulmuş ve çalışmada kullanılmıştır. Tablo 1’ de kullanılan veri setinin bir örnekleme görülmektedir. Oluşturulan veri setinde Tarih, İl, Bitki, Etc, Yağış ve Gölge sınıfı mevcuttur.

Tablo 1. Veri seti

	Tarih	İl	Bitki	Etc	Yağış	Gölge
0	OcakI	Adana	Ayçiçeği	0.0	41.9	80
1	OcakII	Adana	Ayçiçeği	0.0	23.3	80
2	OcakIII	Adana	Ayçiçeği	0.0	39.9	80
3	ŞubatI	Adana	Ayçiçeği	0.0	31.4	80
4	ŞubatII	Adana	Ayçiçeği	0.0	33.9	80
...
3201	AralıkI	Karaisalı	Karpuz	0.0	45.9	80
3202	AralıkII	Karaisalı	Karpuz	0.0	58.6	80
3203	AralıkII	Karaisalı	Karpuz	0.0	52.7	80

$$dt = \frac{[Etc * (\frac{Ps}{85}) - Ps]}{0.8575} \quad (1)$$

Denklem 1 'de ETc bitki su tüketimini (mm), Ps bitki tarafından gölgelenen alan yüzdesini (%), Pe etkili yağışı (mm), dt toplam sulama suyu ihtiyacını (mm) ifade etmektedir.

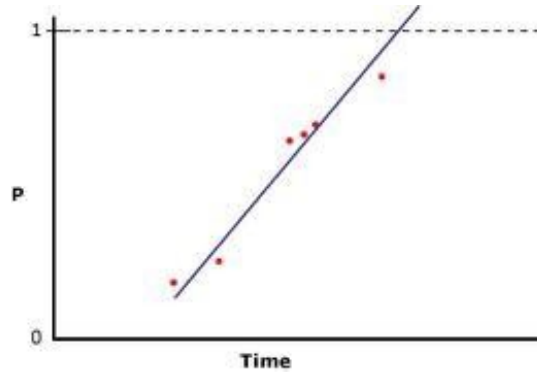
Bu bilgileri denklem 1'de yerine yazarak toplam sulama suyu ihtiyacını yani çıkış değerimizi hesaplattık ve tahmin etme işleminde kullandık. Tarih bilgisi ise 10'ar günlük periyotlar halinde her ay için verilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler çok fazla olmadığından dolayı, random olarak eğitim ve test verisi oluşturan sklearn kütüphanesi içerisinde yer alan train_test_split komutu ile %75 eğitim, %25 test veri kümesi olarak ayrılır.

B. METOT

Gerçekleştirilen çalışmanın ilk aşamasında T.C. Tarım ve Orman Bakanlığının internet sitesinde yayınlamış olduğu TÜRKİYE'DE SULANAN BİTKİLERİN BİTKİ SU TÜKETİMLERİ isimli çalışmasından il-ilçe, tarih, bitkiler ve yağış verileri alınarak veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti kullanılarak yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi ile eğitim gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen eğitimde makine öğrenmesinde kullanılan Doğrusal (Linear) Regresyon, Ridge Regresyon, Lasso Regresyon, Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon, XGboost Regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Python ile bir arayüz oluşturulmuştur.

B. 1. Doğrusal (Linear) Regresyon

Şekil 1'de de görüldüğü gibi Doğrusal (Linear) Regresyon analizi basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal regresyon analizi, yanıt değişkeni ile tek bir açıklayıcı değişken arasındaki fonksiyonel ilişkinin doğrusallığıdır. Kullanılan değişkenin sayısına göre, basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon olarak iki kategoriye ayrılır. Eğer bir yanıt değişkeni ve birden çok açıklayıcı değişken arasındaki ilişki tanımlanmak istenirse, ilişki çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenir [12].



Şekil 1. Doğrusal (Linear) Regresyon Grafiği

B.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli:

Normal dağılım gösteren bilinen bir değişkenden, aralarında ilişki olan başka bir normal dağılım gösteren sayısal değişken tahmini basit doğrusal regresyon (simple linear regression) olarak tanımlanır. Bağımlı değişken (y) ile bağımsız değişken(ler) (x,..) arasındaki ilişkiyi inceler [13].

$$Y = a + bX + e \quad (2)$$

Denklem 2’de Y çıkış değerini yani bağımlı değişkeni, a sabit katsayısı, b regresyon katsayısını, X bağımsız değişkeni, e ise hata terimini ifade etmektedir.

Denklem 2’ de “a” olarak gösterilen değer, doğrunun y eksenini kestiği nokta analitik yöntemde sabit hata ölçüsüdür. “b” olarak gösterilen değer regresyon katsayısı (eğim) ise analitik yöntemde oransal hata ölçüsüdür. Bağımlı değişkende gerçekleşen ortalama değişim miktarı, bağımsız değişkende ki bir birimlik değişime yani artma veya azalmaya bağlıdır. Bir regresyon analizinin basit regresyon olarak tanımlanabilmesi için her iki değişkenin dağılımı da normal olmalıdır. İlişki katsayısı gibi regresyon katsayısı da pozitif veya negatif olabilir. İlişki katsayısı -1 ile +1 arasında değişirken, regresyon katsayısı her değeri alabilir. Regresyon katsayısı değişkenin ölçüldüğü birimden etkilenir [13].

B.1.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli:

Açıklayıcı değişkenler olan bağımsız değişkenler ile cevap değişkeni olan bağımlı değişkendeki toplam değişim çoklu doğrusal regresyon modeli olarak tanımlanır. Bu regresyon analizinde, bağımsız değişkenler model oluşturur ve bu bağımsız değişkenlerden bazılarının modele katkısı çok önemsiz olabilir. Bu nedenle, bağımlı değişkeni "en uygun" şekilde açıklayacak bağımsız değişkenlerin belirlenmesi ve önemsiz değişkenlerin modelden çıkarılması gerekir. Bu sürece "değişken seçimi" denir [14].

$$Y = a_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + e \quad (3)$$

Denklem 3’te Y çıkış değerini yani bağımlı değişkeni, a sabit katsayısı, b regresyon katsayısını, X bağımsız değişkeni, e ise hata terimini ifade etmektedir.

Formül (3)’te b değeri sabit değer ve modelde yer alan değişkenlere ait katsayıları gösterirken, e ise tesadüfi hata (rezidüel) göstermektedir. Rezidüel, örneklemdaki bireylere ait gözlenen değerle ile bu bireyler için modelden belirlenen değerler arasındaki farktır [13].

B. 2. Ridge Regresyon

Ridge regresyon yöntemi Hoerl ve Kennard tarafından 1970 yılında geliştirilmiştir. Technometrics dergisinde yayınladıkları ilk makaleleri “Ridge Regresyon: Ortogonal Olmayan Problemler İçin Sapmalı Tahmin” makalesidir. Ridge regresyonun yöntemi, basit en küçük kareler yöntemine benzer bir yöntemdir. Ridge regresyon yönteminde, (X’X) matrisinin köşegen elemanlarına küçük ve pozitif bir sabitin eklenmesiyle standart formdaki değişken oluşturulur. Buna göre ridge regresyon çözümü denklem 4 şeklindedir.

$$(X'X) - 1 X'Y \quad (4)$$

Denklem 4’ te verilen (X’X) matrisinin köşegen elemanlarına küçük ve pozitif sabitlerin eklenmesindeki amaç, matris şartlı sayısının önemli oranda küçültülmesidir [15]. Çoklu bağlantı olduğunda bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin fazla olması nedeniyle X’X matrisinin varyansları önemli bir şekilde büyüyecektir. Böylece gerçekte önemli gözükken parametre değerleri varyansın artması neticesinde önemsiz çıkacaktır [16].

Çoklu bağlantı problemlerinin giderilmesine yönelik çeşitli öneriler vardır. Bunları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- a) Bir veya daha fazla değişkenin modelden çıkartılması,
- b) Modele yeni değişkenler ilave edilmesi,
- c) Birbirleri ile ilişkili olan değişkenlerin toplanması,
- d) Temel Bileşenler Regresyon analizi ya da Ridge Regresyon analizi kullanarak değişkenlerin standardize edilmesi çözüm olarak verilebilir [16].

B. 3. Lasso Regresyon

En küçük Mutlak Küçülme ve Seçim Operatörü olarak adlandırılan LASSO ilk olarak 1996 yılında Tibshirani tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntem, bazı değişken katsayılarını küçültürken, bazı değişken katsayılarını da sıfıra indirir [17]. Fakat değişkenler arasında fazla ilişki olduğunda ilişkili olan değişkenlerden bir tanesini modele alır ve diğer ilişkili değişkenleri modelden çıkarır. Bu özelliğe de değişken seçimi denir. Bu yöntemin en büyük avantajı, çok iyi tahminler yapabmesidir. Katsayıların sıfır olması veya sıfıra doğru daralması varyansı azaltabilmektedir. Özellikle diğer yöntemlerin çözmekte yetersiz kaldığı bir durum olan örnek genişliği küçük ve bağımsız değişken sayısı fazla olduğu durumda kullanışlı bir yöntemdir [18]. Lasso yöntemi, hem katsayıları tahmin etmek hem de değişken seçimi yapmak için kullanılır. Belirli sabit bir katsayıdan daha küçük olan katsayıların mutlak değerlerinden yola çıkarak artıkların kareleri toplamını minimize eden bir değişken seçme yöntemidir [17,18].

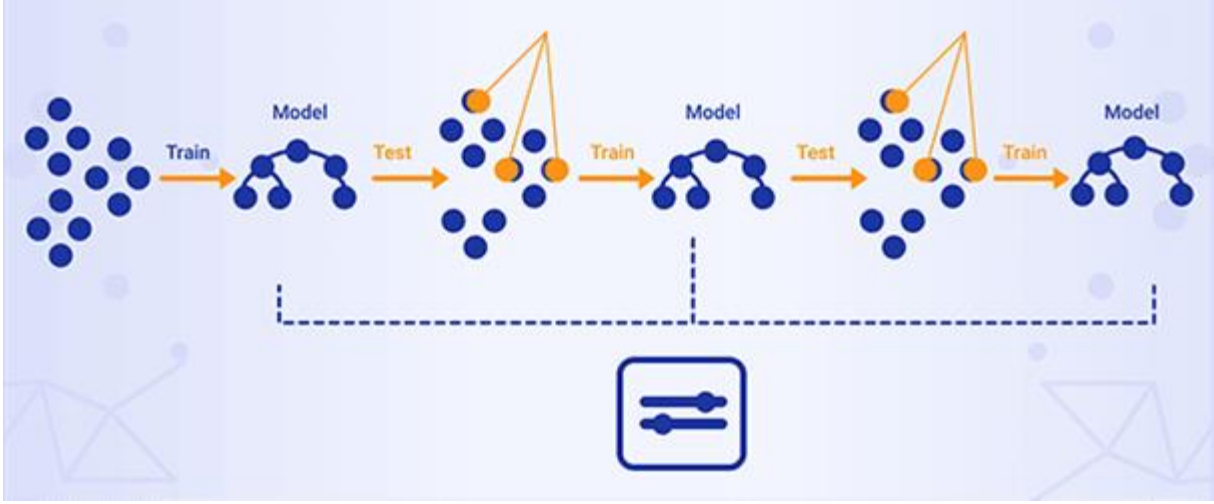
Denklem 5'te Lasso Regresyon fonksiyonu verilmiştir.

$$\beta_{Lasso} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \right) \quad (5)$$

B. 4. Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon

Gradyan Artırma, makine öğrenmesi algoritmasıdır ve karar ağaçlarının tahminini iyileştirmek için geliştirilmiş bir modeldir [19,20]. Friedman ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu karar ağaçlarının en büyük dezavantajı basit ağaçlarda büyük bir "bias", karmaşık ağaçlarda ise büyük bir varyans oluşturmalarıdır. Torbalama bir veri kümesinden rasgele sayıda veri seçme yöntemidir ve ağacın varyansını azaltmak için kullanılır. Bu algoritmada diğer karar ağaçlarına benzer, zayıf halkaların birbirlerinin zayıf yönlerinden hata çıkararak daha güçlü bir halka ortaya çıkarır. Gradyan Artırma algoritmasına göre öncelikle ilk iterasyonda bir tahmin fonksiyonu oluşturulur ve bu fonksiyonlara ağaç adı verilir [19]. Bir sonraki ağaç oluşturulurken daha önce oluşturulan ağaçların hata oranları hafızada tutulur [20]. Tahminler ile gözlemler arasındaki fark hesaplanarak bu farklardan bir kayıp fonksiyonunu elde edilir. İkinci iterasyonda ise tahmin ve kayıp fonksiyonları birleştirilerek tekrar tahminler ile gözlemler arasındaki fark hesaplanır. Böylelikle sürekli üstüne ekleyerek tahmin fonksiyonunun başarısı arttırılmaya çalışılır ve hata oranının sıfıra yaklaşması sağlanır [19]. Gradyan Artırma Regresyon modeli için uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır;

1. Regresyon ağacı oluşturulur.
2. Her bir ağacın dalı için tahminler ile gözlemler arasındaki fark yani hata oranı hesaplanır.
3. Hesaplanan hata oranları yeni gözlem verileri olarak kullanılır.
4. Yeni ağaç oluşturularak hata oranlarını en aza indirmeyi hedefler
5. Hata oranı sıfıra yaklaşıncaya kadar bu adımlar tekrarlanır.



Şekil 2. Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting) algoritmasının işleyiş süreci

Şekil 2’de Gradyan Artırma algoritmasının işleyiş süreci verilmiştir.

B. 5. XGboost Regresyon

XGBoost algoritması 2016 yılında Washington Üniversitesi'nde Tianqi Chen ve Carlos Guestrin tarafından bir araştırma projesi olarak geliştirildi [21]. XGBoost algoritması gradyan artırma temelinin kullandığı karar ağacı tabanlı ve karar ağacını güçlendiren makine öğrenme algoritmasıdır [21,22]. Sistem açık kaynak paketi olarak mevcut olup sistem makine öğreniminde kabul görmüş ve çok sayıda Kaggle yarışmasını kazanan algoritma olmasıyla ilgiyi üzerinde toplamıştır [21,22,24]. Ağaçları oluşturmak için CART(Classification and Regression Tree) algoritmasını kullanan XGBoost algoritması, Gradient Boosting Machines algoritmasının geliştirilmiş ve daha hızlı hale getirilmiş bir uygulamasıdır. Özellikle gradyan artırma algoritmaları için bellek ve donanım kaynaklarını verimli bir şekilde optimize etmektedir. XGBoost algoritması özellikle hesaplama hızına ve Gradient Boosting Machines algoritmasından farklı olarak düzenleme (regularization) gibi modelin performansına odaklanan pek çok avantajı vardır [23]. Avantajlarından bazıları ise; ölçeklenebilirlik, dağıtılmış veya paralel hesaplama ve algoritmik optimizasyon işlemlerini kullanarak milyarlarca örnek üretir ve tümü minimum kaynak kullanır. Bu nedenle, verilerin sınıflandırılması ve verilerin üst düzey ön işlenmesi gibi konularda oldukça etkilidir [22]. Bu gibi algoritmaların mantığında ise birden fazla küçük ve zayıf kişiyi bir araya getirerek daha güçlü bir kişi çıkarmaya dayanır [22,25]. Arttırma sıralı bir süreçtir; yani ağaçlar, daha önce yetiştirilmiş bir ağaçtan gelen bilgiler kullanılarak birbiri ardına büyütülür. Bu süreç verilerden yavaş yavaş öğrenir ve sonraki iterasyonlarda tahminini iyileştirmeye çalışır [25].

B. 6. Arayüz Programı

Arayüz, bilgisayar ve kullanıcı arasında iletişimin başladığı ve kullanıcının ihtiyaç duyduğu bilgilere ulaşabildiği bir tasarımdır ve yapılan programların en önemli parçasıdır. Program ile kullanıcı arasındaki iletişim için her şeyden önce bilgisayar ekranı (arayüz) ve arayüzün nasıl tasarlandığı önem taşımaktadır [26].

Bu çalışmada tahmin etme işlemi gerçekleştirildikten sonra Şekil 3’te verilmiş olan arayüz tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüzde kullanıcıdan, kullanılacak olan bilgilerin ComboBox içerisinden seçilmesi isteniyor ve hesaplama butonuna basıldığında tahmin edilen bitkinin su ihtiyacı Label içerisine yazdırılıyor.



Şekil 3. Tasarlanan arayüz

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, veri setindeki Tarih, İl, Bitki, Etc, Yağış, Gölgeleme alanı giriş, bitki su tüketimi ise çıkış değeri olarak belirlenmiştir.

Doğrusal (Linear) Regresyon, Ridge Regresyon, Lasso Regresyon, Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon, XGboost Regresyon algoritmaları ile tahmin etme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bulunan değerler aşağıda verilmiştir.

C. 1. Doğrusal (Linear) Regresyon Algoritması Bulguları

Doğrusal (Linear) regresyon algoritmasında Tablo 2’de verilen değerler kullanılarak model eğitilmiştir.

Tablo 2. Doğrusal (Linear) regresyon algoritmasında kullanılan değerler

Doğrusal Regresyon katsayıları (coefficients)						
Kullanılan Değerler	0.00408814	-0.00158106	0.00304061	1.07188616	-0.98434975	0.30402362

Tablo 2’de ki değerler ile model eğitildiğinde model doğruluk oranı:

Linear Doğruluk : 0.9422738346364411 olarak bulunmuştur.

C. 2. Ridge Regresyon Algoritması Bulguları

Ridge regresyon algoritmasında Tablo 3 ve Tablo 4’te verilen değerler kullanılarak model eğitilmiştir.

Tablo 3. Ridge Regresyon yönteminde kullanılan katsayılar (coefficients)

Ridge Regresyon katsayıları (coefficients)						
Kullanılan Değerler	0.00408809	-0.00158097	0.00304043	1.07188584	-0.9843495	0.30401972

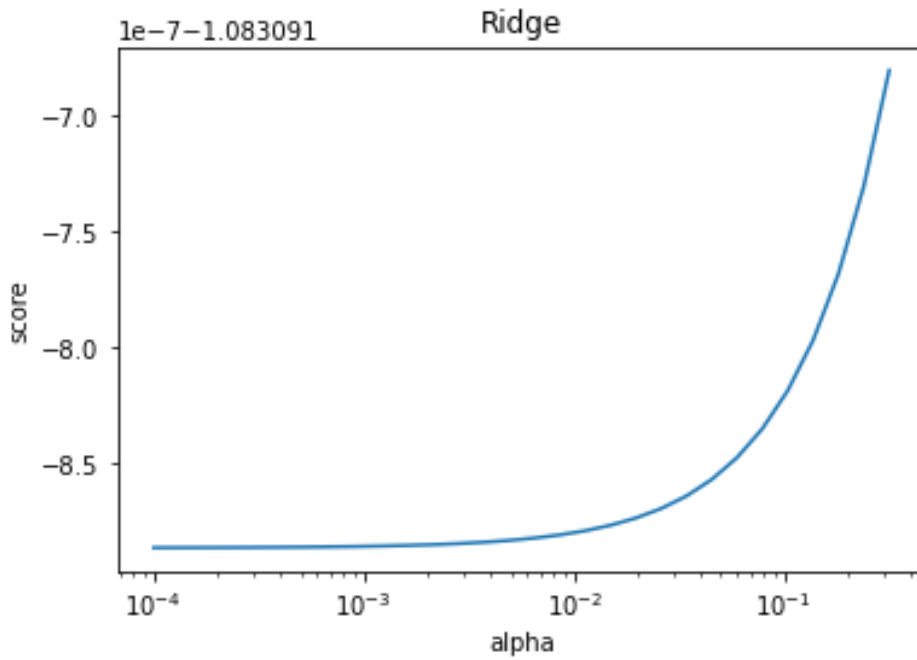
Tablo 4. Ridge Regresyonda En İyi Değerler

	alpha	max_iter	random_state
Ridge Best Estimator	0.31622776601683794	10000	42

Tablo 4’te verilen değerlerden alpha değeri bulunan en iyi alpha değeridir, max_iter ve random_state bizim belirlediğimiz parametrelerdir. max_iter değeri maksimum iterasyon sayısını, random_state ise belirlenen rasgele değerdir. random_state belirlenmesinin amacı ise belirlenen sabit sayı girildiğinde sonucun hep aynı olmasıdır. Örneğin bu eğitimde random_state yerine 42 yazıldığında eğitim farklı bir bilgisayarda da gerçekleşse bulunan sonuç aynıdır.

Tablo 3 ve Tablo 4’teki değerler kullanılarak model eğitildiğinde model doğruluk oranı:

Ridge Doğruluk: 0.9422747313642407 olarak bulunmuştur. Grafiği ise aşağıdaki gibidir.



Şekil 4. Ridge Regression Grafiği

Şekil 4’te alphanın score’a göre değişimi verilmiştir. Şekil 4’teki grafik incelendiğinde alpha değeri 10^{-2} ye kadar sabit kalmış daha sonra ise alpha değeri arttıkça score değeri de artmıştır.

C. 3. Lasso Regresyon Algoritması Bulguları

Ridge regresyon algoritmasında Tablo 5 ve Tablo 6’da verilen değerler kullanılarak model eğitilmiştir.

Tablo 5. Lasso Regresyon yönteminde kullanılan katsayılar (coefficients)

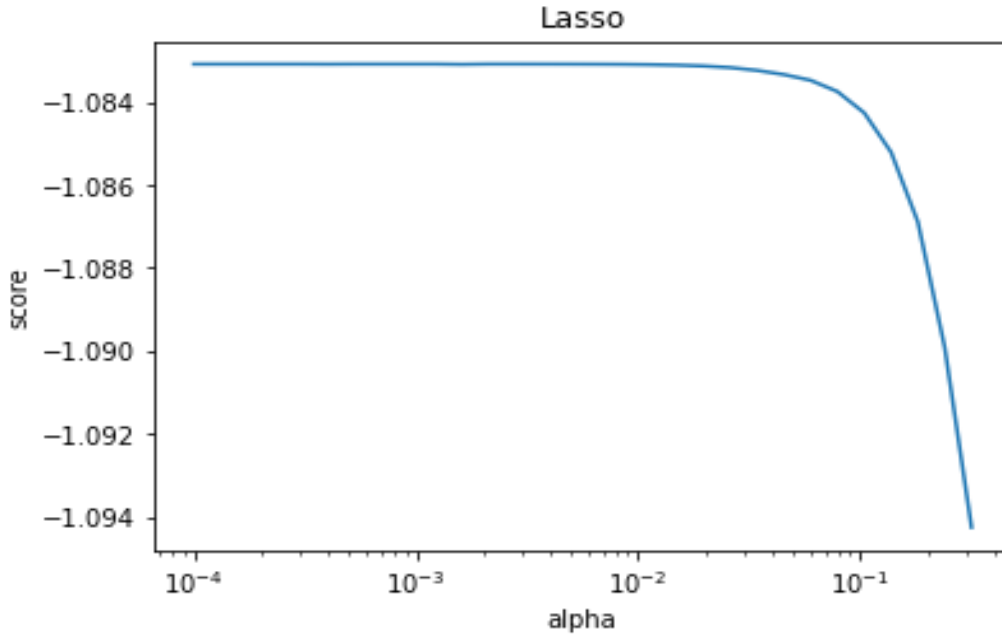
	Lasso Regresyon katsayıları (coefficients)					
Kullanılan Değerler	0.00407022	-0.00155213	0.00301901	1.07188815	-0.98434229	0.30382161

Tablo 6. Lasso regresyonda en iyi değerler

	alpha	max_iter	random_state
Lasso Best Estimator	0.0021261123338996556	10000	42

Tablo 5 ve Tablo 6'daki değerler kullanılarak model eğitildiğinde model doğruluk oranı:

Lasso Doğruluk: 0.9422382039109994olarak bulunmuştur. Grafiği ise aştadıki gibidir.



Şekil 5. Lasso Regresyon Grafiği

Şekil 5'te alphanın score'a göre değişimi verilmiştir. Şekil 5'teki grafik incelendiğinde alpha değeri 10^{-4} te en yüksek score değerine sahip olup yaklaşık olarak 10^{-1} alpha değerine kadar bu değeri korumuşt daha sonrasında ise score değeri düşmüştür.

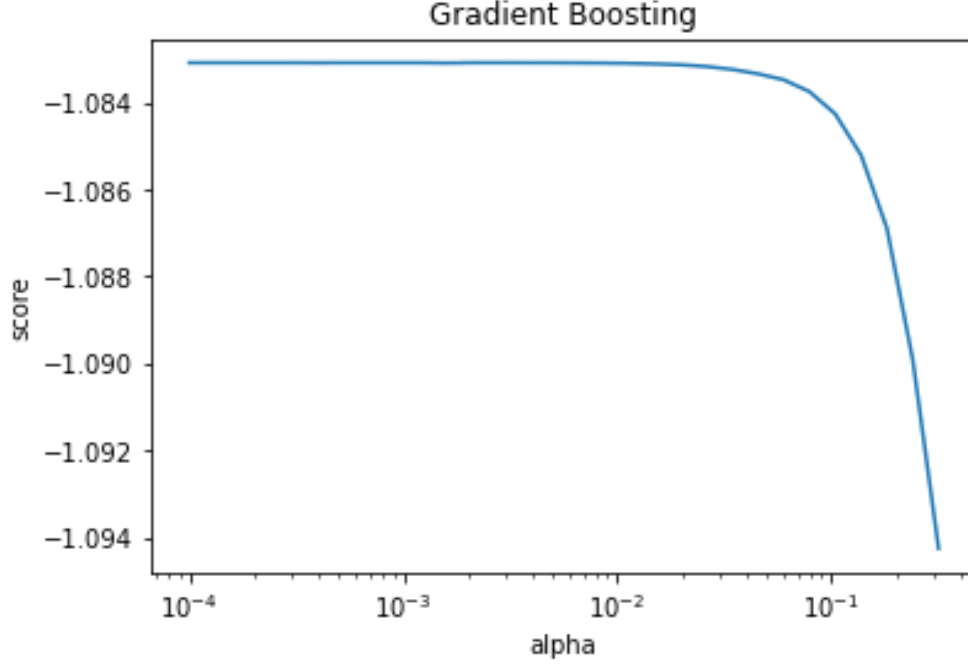
C. 4. Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon Algoritması Bulguları

Gradyan Artırma (Gradient Boosting) regresyon algoritmasında Tablo 7'de verilen değerler bulunmuştur.

Tablo 7. Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon algoritması eğitim sonuçları

	Doğruluk Oranı	The mean squared error (MSE)
Bulunan Değerler	0.998	2.0755

Grafiği ise aştadıki gibidir.



Şekil 6. Gradyan Artırma (Gradient Boosting) regresyon grafiği

Şekil 6’da alphanın score’a göre değişimi verilmiştir. Şekil 5’teki grafik incelendiğinde alpha değeri 10^{-4} te en yüksek score değerine sahip olup yaklaşık olarak 10^{-1} alpha değerine kadar bu değeri korumuş daha sonrasında ise score değeri düşmüştür. Şekil 6’da verilmiş olan Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon Grafiği Şekil 5’te verilmiş olan Lasso Regresyon Grafiğine oldukça benzemektedir.

C. 5. XGBoost Regresyon Algoritması Bulguları

XGBoost regresyon algoritmasında Tablo 8’de verilen değerler en iyi hiperparametre tahmini için kullanılmıştır.

Tablo 8. XGBoost Regresyon algoritması için en iyi hiperparametre tahmininde kullanılan params değerleri

	params değerleri				
colsample_bytree	0.4	0.5	0.6		
learning_rate	0.01	0.02	0.09		
max_depth	2	3	4	5	6
n_estimators	100	200	500	2000	

Tablo 9. XGBoost Regresyon algoritması için en iyi değerleri elde eden hiperparametreler

	colsample_bytree	learning_rate	max_depth	n_estimators
En iyi hiperparametreler	0.4	0.09	2	2000

Tablo 9’da verilmiş olan hiperparametreler, hiperparametre optimizasyonu yöntemlerinden biri olan GridSearchCV metodu kullanılarak 1800 farklı varyasyon arasından en iyi değerleri elde eden hiperparametreler olarak belirlenmiştir. GridSearchCV metodunda params değerleri kullanılmış ve 10 katlı cross validation uygulanmıştır.

Model doğruluk oranı ise %99.95 olarak ölçülmüştür.

C. 6. Beş Algoritma İçin Elde Edilen Bulguların Karşılaştırılması

Veri setinde bulunan parametrelerin önem dereceleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 10. Veri setinde bulunan parametrelerin önem dereceleri

	Tarih	İl	Bitki	Etc	Yağış	Gölge
Doğrusal Regresyon	0.073668	0.003452	0.004278	0.672296	0.237698	0.008607
Ridge Regresyon	0.073668	0.003452	0.004278	0.672296	0.237698	0.008607
Lasso Regresyon	0.073668	0.003452	0.004278	0.672296	0.237698	0.008607
Gradyan Artırma	0.073668	0.003452	0.004278	0.672296	0.237698	0.008607
XGBoost Regresyon	0.073668	0.003452	0.004278	0.672296	0.237698	0.008607

Tablo 10’da da görüldüğü gibi çalışmada kullanılan beş algoritma için her bir sınıfın önem dereceleri aynıdır ve Tarihin önemi %7.3, İlin önemi %0.345, Bitkinin önemi %0.427, Etc’nin önemi %67.22, Yağışın önemi %23.76, Gölgenin önemi %0.860 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan regresyon algoritmaları içerisinde en yüksek doğruluk oranını %99.95 doğruluk oranı ile XGBoost başarılı model olarak belirlenmiştir.

IV. SONUC

Tarım arazilerinde harcanan su miktarını yapay zekâ teknikleri kullanarak belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada giriş parametresi olarak Tarih, İl, Bitki, Etc, Yağış, Gölge, çıkış parametresi olarak toplam sulama suyu ihtiyacı belirlenmiştir. Çalışmada makine öğrenme algoritmaları içerisinde yer alan Doğrusal (Linear) Regresyon, Ridge Regresyon, Lasso Regresyon, Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon, XGboost Regresyon algoritmaları kullanılmıştır.

Tablo 11. Gerçekleştirilen eğitim modellerinin doğruluk oranları

	Doğrusal (Linear) Regresyon	Ridge Regresyon	Lasso Regresyon	Gradyan Artırma (Gradient Boosting) Regresyon	XGBoost Regresyon
Doğruluk Oranı (%)	94.23	94.23	94.22	99.8	99.95

Tablo 11’de verilmiş olan doğruluk oranları ışığında tahmin etme işleminde en doğru sonucu verecek olan algoritma %99.95 doğruluk oranı ile XGBoost Regresyon algoritması seçilmiştir ve seçilen bitkinin toplam sulama suyu ihtiyacı tahmin edilmiştir.

Bütün algoritmalarda veri setinde bulunan parametrelerin önem dereceleri aynıdır. En önemli parametre bitki su tüketimi olarak bilinen Etc olarak bulunmuştur. Etc, bir bitkinin ele alınan bir dönem için, her hangi bir hastalık zararlı etkisinin bulunmadığı, bitki besin elementi bakımından eksiklik çekmediği ve su stresi olmadığı standart koşullar altındaki su tüketimidir. İkinci en önemli parametre olarak Yağış parametresi bulunmuştur. Üçüncü en önemli parametre olarak Tarih parametresi bulunmuştur. Her bir bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarı büyüme mevsimi boyunca

farklılıklar göstermektedir bu nedenle bitkinin dikileceği tarihte oldukça önemlidir. Yapılacak olan sulama genel olarak Yağış miktarı, bitkinin Etc katsayısı ve tarih parametrelerine göre değişmektedir.

TEŞEKKÜR: Çalışmada kullanılan veri setinin oluşturulmasında açık erişimli internet sitesinde yayınlayan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığına, verdikleri bilgilerden dolayı Dinar İlçe Tarım Müdürlüğüne teşekkürlerimi iletirim.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Aksoy, H. D. Halis ve O. K. M. Salman, "Elma bitkisindeki hastalıkların yapay zekâ yöntemleri ile tespiti ve yapay zekâ yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması," *International Journal of Engineering and Innovative Research*, c. 2, s. 3, ss. 194-210.
- [2] E. Kılavuz ve İ. Erdem , "Dünyada tarım 4.0 uygulamaları ve Türk tarımının dönüşümü", *Social Sciences*, c. 14, s. 4, ss. 133-157, 2019.
- [3] S. Dorak , B. B. Aşık ve G. Özsoy , "Tarımda su kalitesi ve su kirliliğinin önemi: Bursa Nilüfer Çayı örneği," *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 33, s. 1, ss. 155-166, 2019.
- [4] S. Örs ve M. Ekinçi , "Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi," *Derim*, c. 32, s. 2, ss. 237-250, 2016.
- [5] İ. Aras , "Damla sulama yöntemi", *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, c. 15, s. 1-2, ss. 49-60, 2006.
- [6] İ. Terzi, M. M. Özgüven, Z. Altaş, & T. Uygun, "Tarımda yapay zeka kullanımı" *International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference Proceedings Book*, Kayseri, Türkiye, 2019, ss. 245-255.
- [7] A. Turgut , A. Temir , B. Aksoy ve K. Özsoy , "Yapay zekâ yöntemleri ile hava sıcaklığı tahmini için sistem tasarımı ve uygulaması," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 3, s. 3, ss. 244-253, 2020.
- [8] B. L. Aylak, O. Oral ve K. Yazıcı , "Yapay zeka ve makine öğrenmesi tekniklerinin lojistik sektöründe kullanımı," *El-Cezeri*, c. 8, s. 1, ss. 74-93, 2021.
- [9] K. Öztürk & M. E. Şahin , "Yapay sinir ağları ve Yapay Zekâ'ya genel bir bakış," *Takvim-i Vekayi*, c. 6, s. 2, ss. 25-36, 2018.
- [10] M. A. Kutlugün, "Gözetimli makine öğrenmesi yoluyla türe göre metinden ses sentezleme," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [11] Y. Gültepe , "Makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliği tahmini üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 16, ss. 8-15, 2019.
- [12] A. Arı and H. Onder , "farklı veri yapılarında kullanılacak regresyon yöntemleri," *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 28, s. 3, ss. 168-174, 2013.
- [13] S. Kılıç , "Doğrusal regresyon analizi," *Journal of Mood Disorders*, c. 3, s. 2, ss. 90-92, 2013.

- [14] G. T. Kayaalp, M. Çelik Güney ve Z. Cebeci , "Çoklu doğrusal regresyon modelinde değişken seçiminin zootekniye uygulaması", *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 30, s. 1, ss. 1-8, 2015.
- [15] M. R. Özkale, "Çoklu iç ilişki ile ilgili problemler," Doktora tezi, İstatistik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [16] F. Üçkardeş, E. Efe, D. Narinç ve T. Aksoy "Japon bildircinlarında yumurta ak indeksinin ridge regresyon yöntemiyle tahmin edilmesi", *Akademik Ziraat Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 11-20, 2012.
- [17] H. K. Topal ve E. Ç. Akay, "Hanehalkı tüketim harcamalarının mikroekonometrik analizi LAD-LASSO yöntemi," *Journal of Econometrics and Statistics* , s. 33 , ss. 13-31, 2021.
- [18] D. Derici Yıldırım ve A. T. Çiftçi , "Etkili değişkenlerin cezalı regresyon yöntemleri ile belirlenmesi: Diyabet veri kümesi üzerine bir uygulama," *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, c. 14, s. 1, ss. 105-112, 2021.
- [19] M. B. Keleş, A. Keleş ve A. Keleş, "Yapay zekâ teknolojisi ile uçuş fiyatı tahmin modeli geliştirme," *Turkish Studies*, c. 15, s. 4, ss. 511-520.
- [20] F. V. Şahinarslan, "Makine öğrenmesi algoritmaları ile nüfus tahmini: Türkiye örneği," Yüksek Lisans tezi, İşletme Lisansüstü Programı, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [21] A. Kurt, B. Buldu ve İ. H. Cedimoğlu, "Xgboost ve rastgele orman algoritmalarının ağ tabanlı saldırı tespitine yönelik performanslarının karşılaştırılması", *International Marmara Sciences Congress Proceedings Book*, c. 3, ss. 730-736, Kocaeli, Türkiye, 2020.
- [22] T. Chen, and C. Guestrin, "Xgboost: A scalable tree boosting system", *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*, Seattle, USA, 2016, pp. 785-794.
- [23] S. S. Dhaliwal, A. A. Nahid and R. Abbas, "Effective intrusion detection system using XGBoost" , *Information*, vol. 9, no. 7, pp. 149, 2018.
- [24] H. Abar, "Xgboost ve Mars yöntemleriyle altın fiyatlarının kestirimi", *Ekev Akademi Dergisi*, c. 24, s. 83, ss. 427-446, 2020.
- [25] M. Saraswat, (2016, December 20). *Beginners Tutorial on XGBoost and Parameter Tuning in R* [Online]. Available: <https://www.hackerearth.com/blog/developers/beginners-tutorial-on-xgboost-parameter-tuning-r/>
- [26] E. K. Çakmak, "Arayüz tasarımında yeni bir yaklaşım: Paralel öğretim tasarımı", *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 1, ss. 1-22, 2007.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Performance Analysis of Machine Learning Algorithms in Intrusion Detection Systems¹

Fethi Mustafa ÇİMEN^{a,*}, Yusuf SÖNMEZ^b, Mustafa İLBAŞ^c

^a Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, TURKEY

^b Department of Computer Technologies and Cyber Security, Faculty of Information and Telecommunication Technologies, Azerbaijan Technical University, AZERBAIJAN

^c Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: fethimustafacimen@gazi.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1018229

ABSTRACT

With the developing technology, the need for the dissemination and protection of information is becoming increasingly important. Recently, attacks on information systems have increased significantly. In addition to the rise in the number of attacks, attacks of different types pose a great threat to systems. As a result of these attacks, institutions and users suffer serious damages. At this point, Intrusion Detection Systems (IDS) have a very important position. The pre-detection of these attacks on the systems and the preparation of the necessary reports can reduce the impact of the threats that may be encountered in the future. Recent studies are carried out so as to increase the performance of IDS. In this paper, classification was made using NSL-KDD dataset and SVM, KNN, Bayesnet, NavieBayes, J48 and Random Forest algorithms, and it was aimed to compare performance of these classifications by using WEKA. Consequently, it has been reached that the KNN algorithm had the best performance with an accuracy rate of 98.1237 %. In addition, the effect of increasing the number of folds and neighborhoods on the classification result has been examined comparatively.

Keywords: Machine learning, IDS, KNN

Saldırı Tespit Sistemlerinde Makine Öğrenimi Algoritmalarının Performans Analizi

ÖZ

Gelişen teknoloji ile bilginin yayılması ve korunması gereksinimi giderek önem kazanmaktadır. Son dönemde bilişim sistemlerine yönelik saldırılar önemli düzeyde artış göstermiştir. Saldırı sayısındaki artışın yanı sıra farklı türlerde meydana gelen saldırılar sistemler üzerinde büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Yapılan bu saldırılar neticesinde kurumlar ve kullanıcılar ciddi zararlar görmektedir. Bu noktada Saldırı Tespit Sistemleri (IDS) oldukça önemli bir konuma sahiptir. Sistemlere yönelik yapılan bu saldırıların önceden tespit edilip gerekli raporların hazırlanması ileride karşılaşılabilecek tehditlerin etkisini azaltabilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar Saldırı Tespit Sistemlerinin performanslarını artırma doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada NSL-KDD veri seti ile SVM, KNN, Bayesnet, NavieBayes, J48 ve Random Forest algoritmaları kullanılarak sınıflandırma yapılmış, özellik çıkarımı gerçekleştirilerek sonuçların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda KNN algoritması % 98.1237 doğruluk oranı ile en iyi performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra artan fold ve komşuluk sayısının sınıflandırma sonucuna etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenimi, IDS, KNN

¹This paper has been presented at the 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME 2021).

I. INTRODUCTION

With the development of technology and the internet, our lives have become more comfortable, and information has become much easier to use and accessible. However, the internet has been the ultimate driver of globalization in recent years; a lot of data can be easily outsourced over the internet anytime and anywhere. Accessing data covering comprehensive information on passwords, systems, individuals and companies has become quite simple. Thanks to the Internet, instant access to all kinds of events and data around the world has become possible. However, this convenience always brings with it potential dangers. Abusing this convenience brought by technology, attackers attack systems and networks, posing a risk to data.

Intrusion Detection System (IDS) are methods that can help detect what type of attack is trying to damage data and systems. These determinations can be made by monitoring computer systems and network traffic. With the increasing awareness of attacks on the system, the success rate of detection systems can be increased by developing better classifiers. There are many studies in the literature using different data sets. However, it is seen that different types of classifiers give variable results for different data sets.

Mandal et al. [1] focused on security difficulties to detect intrusion in IoT system in their study. They carried out a study on the machine learning classification algorithm applied in the IoT system network to analyze diverse attacks for the IDS on effects, types, and surface attacks over the IoT network and to increase the efficiency in identifying attacks. The accuracy of the classification model was determined as 94.57 percent by applying the model to the datasets with the machine learning algorithm to classify normal attacks and abnormality of the TCP packets. Model accuracy is predicted by utilizing Machine Learning over the IoT network.

Yu et al. combined traditional intrusion detection systems with deep learning theory to improve network security and the accuracy of intrusion detection. As a result of the experiments, it has been revealed that intrusion detection systems based on multi-scale convolutional neural networks have faster convergence speed and reach higher detection accuracy [2].

Dina and Manivannan made a compilation of the problem of detecting intrusion into networks, which researchers have been dealing with for a long time. In the study, the problems in which machine learning techniques were applied in the IDS made in the last 10 years were discussed and the problems were discussed. [3].

Roy et al. have suggested a model for the Internet of Things, which is the subject of increasing study day by day. In the model they created, they used machine learning in intrusion detection systems. So as to evaluate the proposed approach, NSL-KDD and CICIDS2017 datasets have been used to carry out experiments.. With the optimization processes, they have achieved a shorter training time in their models. In addition, less training data is used thanks to the proposed approach [4].

Sharma and Yadav aimed to monitor and secure traffic in intrusion detection systems. In their studies, they have improved the error detection rate in IDS by using machine learning in which feature elimination technique is applied. Thanks to the technique they use, it is aimed to eliminate all kinds of redundancy in the KDD CUP99 dataset. They argued that the current data set of their study, in which different classification methods were applied, had a successful classification rate for intrusion detection systems [5].

Nimbalkar and Kshirsagar have proposed an intrusion detection system using Information Gain and Gain Ratio in Internet of Things network traffic, which is the target of attacks due to many security vulnerabilities in devices. The proposed system has been validated by applying it to KDD Cup 1999 and IoT-BoT datasets. As a result of the study, it was emphasized that by using 16 and 19 features, a better performance was achieved than traditional systems [6].

Fang et al. in their study, proposed a machine learning technique to resolve and detect the intrusion threat. With the proposed system, the advantages of Elman neural network and robust Support Vector Machine (SVM) noise data elimination are utilized. It has been suggested that the system detection rate can go up to 100% if the false alarm rate reaches 2.8% [7].

Verma and Ranga [8] classified the CIDD-001 dataset by using k-means clustering and k-nearest neighbor classification algorithms. Openstack and external servers data were individually evaluated for classification. It was concluded from the results that both k-means clustering and k-nearest neighbor classification outperformed the CIDD-001 dataset from the point of the salient metrics used.

Gu and Lu proposed an effective IDS based on the SVM with feature embedding in the Navie Bayes algorithm in their study to ensure network security. By using the transformed data, the SVM classifier was trained and as a result of the experiments, the proposed method reached 99.35% accuracy on the NSL-KDD dataset [9].

The aim of this study is to classify the NSL-KDD dataset, which is widely utilized in the literature, with different algorithms, as well as to examine the feature extraction, fold and neighborhood effects. Also, it has been investigated the changes in the results as a result of the improvement on performance. Thus, it has been aimed to contribute to the literature.

In this study, classification process has been performed with SVM, KNN, Random Forest, J48 and Bayes algorithms using NSL-KDD data set. After the classification was completed, the process has been repeated by performing feature extraction to improve the results and the KNN algorithm has been applied by repeating for different neighborhood values.

II. MATERIAL & METHOD

As stated before, the NSL-KDD dataset was used in this study. NSL-KDD dataset, which is one of the foremost commonly used datasets in IDS, contains the records of internet traffic seen by a simple intrusion detection network and expresses the estimation of the traffic encountered by a real IDS. The NSL-KDD dataset has been created by removing some records from the KDD-CUP 99 dataset and it includes 41 features [10]. In the first part of the study, classification was carried out for all features, and in the following stages, as given in Table 1., the 10 features with the lowest impact were extracted.

Table 1. NSL-KDD dataset attribute table

Attributes	
wrong_fragment	num_access_file
root_shell	num_outbound_cms
su_attempted	count
num_root	srv_count
num_file creations	dst_houst_count

Weka is a extensive open source software that allows to preprocess big data, applying different machine learning algorithms to big data and contrast various outputs. This software facilitates working with big data and many operations using machine learning algorithms. Depending on the type of machine learning model that is being developed, automatic selection for features is provided to form a dataset with reduced selection features by choosing from options such as Cluster, Classify or Associate. In the study, the classification of the NSL-KDD data set with various algorithms was carried out through WEKA.

III. RESULTS & DISCUSSIONS

The data set was primarily classified by SVM, KNN, Random Forest, J48, Bayesnet and NaiveBayes algorithms. In the next stages, performance analysis was made for the case of Fold value of 6, 10 and 20. In the continuation of the study, after feature extraction, the classification was repeated for different neighborhood values in the KNN algorithm, which gave the best accuracy.

A. ACCURACY ACCORDING TO CLASSIFIERS

Table 2. and Figure 1. show the accuracy rates and classification times according to different classifier types for the 10 fold value. When the graph is examined, it is seen that the Random Forest algorithm, which correctly classifies 22252 samples with 98.70% accuracy, reaches the highest accuracy rate. However, it is clear that the algorithm with the lowest percentage is the NaiveBayes algorithm with an accuracy rate of 80.74%. In addition, when the classification times are compared, SVM reaches the highest time. The KNN algorithm has the lowest classification time with 0.05 seconds. When the results were examined, it has been seen that they showed parallelism with the study of Tavallae et al. [10], however, different accuracy rates have been obtained due to the difference in the data set and software used.

Table 2. Results of classifier effect

Classifier	Correctly Classified Instances	Accuracy (%)	Time
Bayesnet	21446	95.13	0.92
KNN	21999	97.58	0.05
J48	22228	98.60	1.8
NaiveBayes	18201	80.74	0.19
Random Forest	22252	98.70	7.51
SMO	21327	94.60	80.75

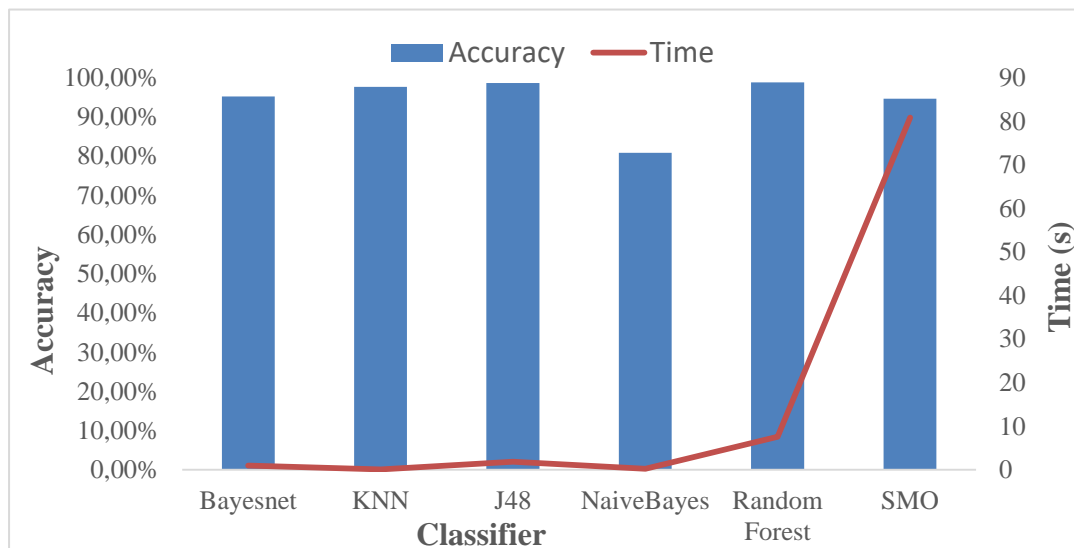


Figure 1. Accuracy and model setup time according to classifiers

B. FOLD EFFECT

Table 3. and Figure 2. show the effect of increasing fold value on different algorithms. It cannot be said that the changing fold value has a generally accepted effect on the algorithms. In the Bayesnet algorithm, there is an increase in the accuracy rate in the transition from 6 fold to 10 fold value, while a decrease is observed in the accuracy rate when changing 10 fold-20 fold. Except for SVM, there is a decrease and then an increase in others. In SVM, on the other hand, a result could not be obtained when the fold value is 20.

Table 3. Results of fold effect

Classifier	Accuracy (%)		
	Fold Value		
	6	10	20
Bayesnet	95.063	95.1295	95.1073
KNN	97.6047	97.58	97.5869
J48	98.6826	98.5983	98.6914
NaiveBayes	80.833	80.7355	80.7443
Random Forest	98.7181	98.7048	98.7136
SMO	94.5795	94.6017	

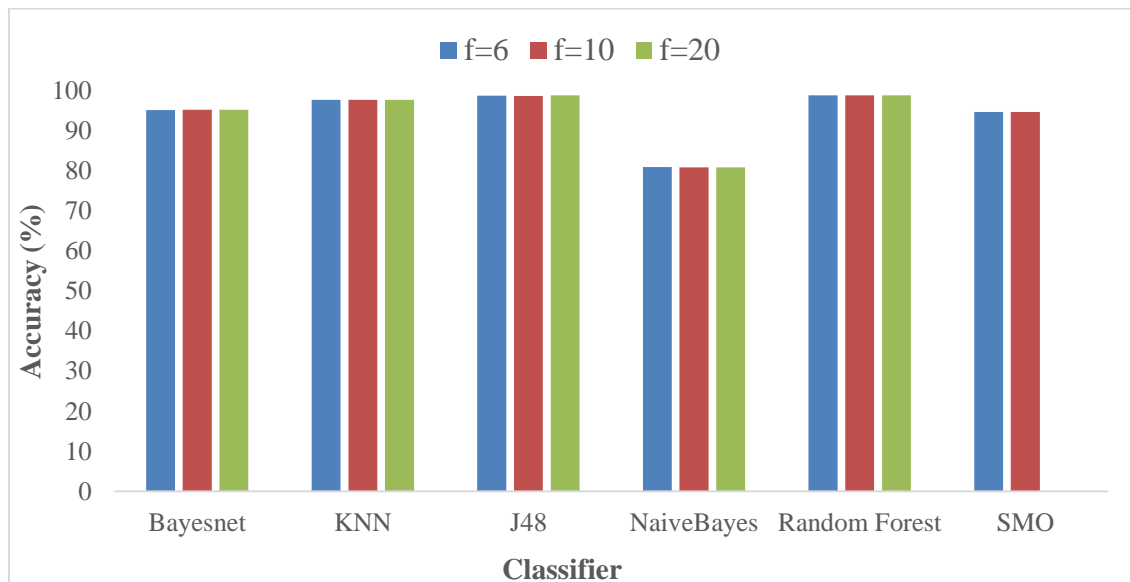


Figure 2. Fold value effect

C. FEATURE EXTRACTION EFFECT

In this section, the analyzes have been made for the 10 fold value. The classification results after the extraction of the 10 features with the lowest effect are shown in Table 4. While Random Forest algorithm had the highest accuracy rate before feature extraction, KNN algorithm reached the highest rate with 98.1273% with feature extraction. While there is a decrease in the accuracy rate for the J48 algorithm, it is seen a significant increase in the accuracy percentage of the NaiveBayes algorithm.

Table 4. Feature extraction effect

Classifier	42 Features		Total Number Instances	32 Features	
	Correctly Classified Instances	Accuracy (%)		Correctly Classified Instances	Accuracy (%)
Bayesnet	21446	95.13	22544	21466	95.2182
KNN	21999	97.58		22121	98.1237
J48	22228	98.60		21959	97.4051
NaiveBayes	18201	80.74		21436	95.0852
Random Forest	22252	98.70		---	---
SMO	21327	94.60		---	---

D. NEIGHBORHOOD EFFECT

After feature extraction, reclassification was made in different neighborhood values in order to improve the KNN algorithm, which has the highest accuracy rate. Figure 3. shows the classification results for 1,3,5,7 and 9 neighborhood values. As can be clearly seen from the graph, the increase in the number of neighborhoods decreased the accuracy rate in the KNN algorithm. While the accuracy rate for 1 neighborhood was 98.1237%, this rate was 97.6535% for 9 neighborhoods.

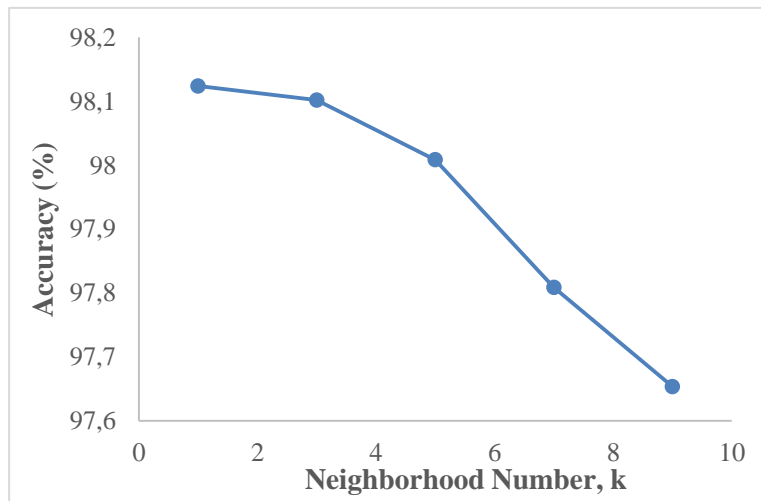


Figure 3. k value for KNN

E. DISCUSSION

In order to evaluate the results of the study, the study outputs of Tavallae et al. are discussed in this section by comparing them with the present results. Figure 4 shows the performance values of the classifiers as a result of the study performed by Tavallae et al. [10] using the NSL-KDD data set.

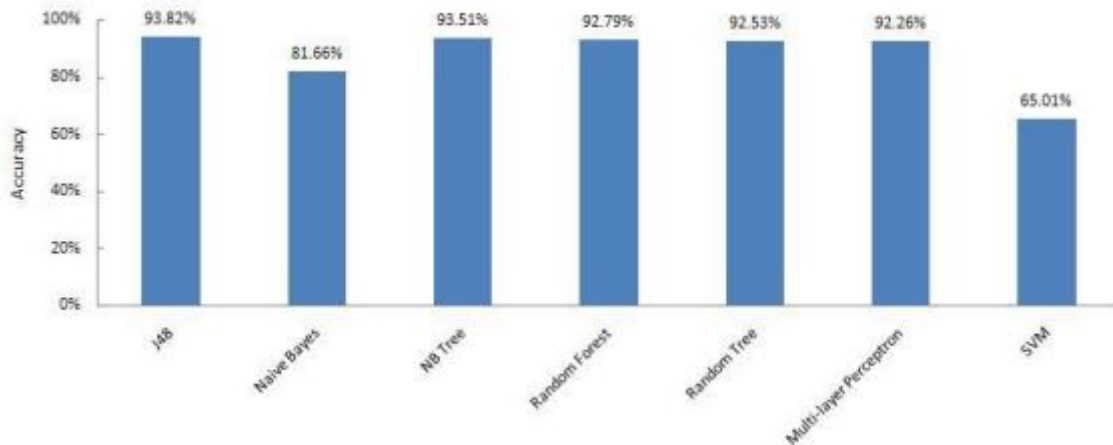


Figure 4. The performance of machine learning algorithms on the data set in the study selected for validation

As can be clearly seen from the figure, there is a concordance between the present results and the results selected in the validation. When the J48, Naive Bayes, Random Forest, and SVM classifiers are examined, it is seen that the accuracy rates of 93.82%, 81.66%, 82.79% and 65.01% are reached, respectively. In the present results, 98.60%, 80.74%, 98.70% and 94.60% accuracy rates were achieved in J48, Naive Bayes, Random Forest and SVM classifiers, respectively. This is because the studies have a different approach. It is thought that the widespread use of machine learning algorithms in studies will allow future studies to increase and to be used in different areas.

IV. CONCLUSION

In this study, it is aimed to see the effect of different algorithms on the classification result for the NSL-KDD dataset and to determine the most appropriate algorithm.

As a result of classification, the accuracy rates were compared for 6 different algorithms proposed for the current data set, and it was seen that the Random Forest algorithm reached the highest rate with 98.70%. As a result of feature extraction, it is seen that the KNN algorithm achieves the highest accuracy in the repeated classification process by removing the 10 features that have the least effect, while there is an improvement of about 15% in the accuracy rate for NaiveBayes, one of the other classifier types. However, it has been concluded that the increase in the number of neighborhoods in the KNN algorithm has a negative effect on the accuracy rate and the highest accuracy rate is reached in the number of 1 neighborhood.

In future studies, it is planned to contribute to the literature by comparing the effects of fold number, feature extraction and neighborhood number values on performance for different data sets.

V. REFERENCES

- [1] K. Mandal, M. Rajkumar, P. Ezhumalai, D. Jayakumar, and R. Yuvarani, "Improved security using machine learning for IoT intrusion detection system", *Materials Today: Proceedings*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.187>.
- [2] J. Yu, X. Ye, and H. Li, "A high precision intrusion detection system for network security communication based on multi-scale convolutional neural network", *Future Generation Computer Systems*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.10.018>.




- [3] A.S. Dina and D. Manivannan, "Intrusion detection based on machine learning techniques in computer networks", *Internet of Things*, vol. 16, no. 100462, 2021.
- [4] S. Roy, J. Li, B.J. Choi, and Y. Bai, "A lightweight supervised intrusion detection mechanism for IoT networks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 127, pp. 276-285, 2022.
- [5] N. V. Sharma and N. S. Yadav. "An optimal intrusion detection system using recursive feature elimination and ensemble of classifiers," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 85, 2021.
- [6] P. Nimbalkar and D. Kshirsagar, "Feature selection for intrusion detection system in Internet of-Things (IoT)," *ICT Express*, vol. 7, pp. 177-181, 2021.
- [7] W. Fang, X. Tan, and D. Wilbur, "Application of intrusion detection technology in network safety based on machine learning," *Safety Science*, vol. 124, 2020.
- [8] A. Verma and V. Ranga, "Statistical analysis of CIDDS-001 dataset for Network Intrusion Detection Systems using Distance-based Machine Learning", *Procedia Computer Science*, vol. 125, pp. 709-716, 2018.
- [9] J. Gu and S. Lu, "An effective intrusion detection approach using SVM with naïve Bayes feature embedding," *Computers & Security*, vol. 103, 2021.
- [10] M. Tavallaei, E. Bagheri, W. Lu, and A. Ghorbani, "A Detailed Analysis of the KDD CUP 99 Data Set," *Second IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA)*, 2009.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Asymptotic Frame Fields of Rational Bézier Curves¹

 Gözde ÖZKAN TÜKEL^{a,*},  Tunahan TURHAN^b,  Ayşe YILMAZ CEYLAN^c

^a Basic Sciences, Faculty of Technology, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, TURKEY

^b Division of Elementary Mathematics Education, Faculty of Education, Suleyman Demirel University, Isparta, TURKEY

^c Department of Mathematics, Faculty of Science, Akdeniz University, Antalya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address; gozdetukel@isparta.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1016157

ABSTRACT

Bézier curves are a type of curves used in computer aided design and related fields. The curves can be defined with the help of De Casteljau algorithm, which is one of the most basic elements of curve and surface design, and Bernstein polynomials, which facilitate theoretical developments. A rational Bézier curve may be evaluated by applying the de Casteljau algorithm to both numerator and denominator and finally dividing through. The curves are defined by suitable control points and corresponding scalar weights. In this work, we constitute the asymptotic orthonormal frame field of a spacelike quadratic rational Bézier curve at all points on 2 and 3-dimensional lightlike cones which are degenerate surfaces in Minkowski 3 and 4-spaces. We get the formulas of curvatures for a spacelike quadratic rational Bézier curve 2 and 3-dimensional lightlike cones.

Keywords: Asymptotic frame field, Rational bézier curve, Lightlike cone

Rasyonel Bézier Eğrilerinin Asimptotik Çatı Alanları

ÖZ

Bézier eğrileri, bilgisayar destekli tasarım ve bununla ilişkili alanlarda kullanılan bir eğri türüdür. Bu eğriler eğri ve yüzey tasarımının en temel unsurlarından biri olan De Casteljau algoritması ve teorik gelişmeleri kolaylaştıran Bernstein polinomları yardımıyla tanımlanabilir. Rasyonel bir Bézier eğrisi, hem paya hem de paydaya de Casteljau algoritması uygulanarak ve son olarak bölünerek değerlendirilebilir. Bu eğriler, uygun kontrol noktaları ve karşılık gelen skaler ağırlıklarla tanımlanır. Bu çalışmada, Minkowski 3 ve 4-uzaylarında dejenere yüzeyler olan 2 ve 3-boyutlu lightlike konilerinde bir spacelike kuadratik rasyonel Bézier eğrisinin bütün noktalarında asimptotik ortonormal çatı alanını oluşturduk. Spacelike kuadratik rasyonel Bézier eğrisi 2 ve 3-boyutlu lightlike koniler için eğrilik formüllerini elde ettik.

Anahtar Kelimeler: Asimptotik çatı alanı, Rasyonel bézier curve, Lightlike koni

¹ The part of this study was presented as an oral presentation in ICAIAME 2021.

Received: 29/10/2021, Revised: 10/12/2021, Accepted: 15/12/2021

I. INTRODUCTION

Any space curve is studied by assigning at each point a specific frame in differential geometry. In the 3-dimensional spaces a frame field is a set of three unit vector fields and the ratio of these vectors along the curve is usually expressed with regard to the vectors themselves by the famous Frenet formulas [7]. The curvature and the torsion functions of arc length in the Frenet formulas has attention because a curve in 3-dimensional spaces is completely determined (up to Euclidean motions) by these functions. Although Frenet frame fields are one of the most common moving frames, alternative frame fields may be preferred as they will be more useful at times. For example, different moving frame fields may be preferred, which are more convenient when studying a curve on a surface, or working with lightlike curves in non-Euclidean spaces, or studying curves on a degenerate surface like a lightlike cone.

Among the most studied non-Euclidean spaces in differential geometry is the Minkowski space equipped with the metric which is a non-degenerate, symmetric and bilinear form. A differentiable curve is called spacelike, timelike or lightlike if its velocity vector is spacelike, timelike or lightlike, respectively. A surface in Minkowski 3-space R_1^3 (or a hypersurface in Minkowski 4-space R_1^4) is called non-degenerate or degenerate if induced metric on its tangent plane is non-degenerate or degenerate, respectively [4]. To study a curve on 2 and 3-dimensional lightlike cones which are respectively degenerate surface in R_1^3 and degenerate hypersurface in R_1^4 , it is better to choose a more suitable moving Frame, called the asymptotic orthonormal frame curve field (or cone Frenet frame) of the curve (see [2,3]).

Bézier curves, developed in 1960 by French engineer Pierre Bézier for use in the design of the car bodies, are parametric curve types that have been used in many disciplines recently. Bézier curves are commonly used in industrial design such as automobiles, ships, airframe and product design [1, 5]. Although Bézier curves can represent a wide variety of curves, the conic sections cannot be represented in the Bézier form. In order to be able to include conic sections in the Bézier form, rational quadratic Bézier curves are defined. A rational Bézier curve is defined by control points and corresponding scalar weights. To investigate the geometry of Bézier curves, moving frame fields and curvatures of those curves are studied by different spaces or surfaces [8,9,13].

Darboux frame and geodesic curvature of a quadratic rational Bézier curve at the end points on two-dimensional sphere have studied in [13]. The frame field for quadratic rational Bézier curves on 2-dimensional sphere have been generalized to hyperquadrics in Minkowski 3-space and Darboux frame and geodesic curvature of a non-null quadratic rational Bézier curve at the end points on 2-dimensional de Sitter space S_1^2 and 2-dimensional anti de Sitter space H_0^2 are presented [11, 12]. However, this issue has not been studied so far in 2-dimensional lightlike cone which includes all lightlike curves in Minkowski 3-space R_1^3 .

We deal with geometry of rational Bézier curves on 2-dimensional lightlike cone which are degenerate surface in R_1^3 . We obtain the elements of the frame field of a rational Bézier curve on 2-dimensional lightlike cone Q^2 in Minkowski 3-space. Thus, we derive the asymptotic frame field and cone curvature function of a spacelike quadratic rational Bézier curve at all points and the formulas of for the quadratic rational Bézier curve on 2-dimensional lightlike cone Q^2 . Moreover, we generalize the results on 3-dimensional lightlike cone which is degenerate hypersurface in Minkowski 4-space R_1^4 .

II. PRELIMINARIES

In this section, we give some explanatory materials including short information about cone Frenet frame fields of spacelike curves in a 2- dimensional lightlike cone Q^2 in Minkowski 3-space R_1^3 and 3-dimensional lightlike cone Q^2 in Minkowski 4-space R_1^4 .

Minkowski 3-space R_1^3 and Minkowski 4-space R_1^4 are the metric spaces endowed with the symmetric, bilinear and non-degenerate metric \langle, \rangle . A tangent vector x in R_1^n , $n=3,4$, is called spacelike (resp. timelike, lightlike) if it satisfies $\langle x, x \rangle > 0$ or $x = 0$ (resp. $\langle x, x \rangle < 0$, $\langle x, x \rangle = 0$ and $x \neq 0$). A curve α in R_1^n is said spacelike (resp. timelike, lightlike) if its velocity vector is spacelike (resp. timelike, lightlike). A surface in R_1^3 is a degenerate if induced metric on its tangent plane is degenerate. 2-dimensional lightlike cone Q^2 which is a degenerate surface in R_1^3 is the set of all null vectors of R_1^3 given by

$$Q^2 = Q_1^2(0) = \{x \in \mathbb{R}_1^3 \mid \langle x, x \rangle = 0\} - \{(0,0,0)\}.$$

All curves in a 2-dimensional lightlike cone Q^2 are spacelike [2, 3, 6]. For a spacelike curve $\gamma: I \rightarrow Q^2 \subset R_1^3$ with arc length parameter s in 2-dimensional lightlike cone Q^2 in Minkowski 3-space R_1^3 , we have the spacelike unit tangent vector field $T(s) = \gamma'(s)$ and the unit normal vector field $N(s) = -\gamma''(s) - \frac{1}{2} \langle \gamma''(s), \gamma''(s) \rangle \gamma(s)$ satisfying following conditions

$$\langle \gamma(s), N(s) \rangle = 1, \quad \langle N(s), N(s) \rangle = \langle T(s), N(s) \rangle = 0.$$

The frame field $\{\gamma, T, N\}$ is called an asymptotic orthonormal frame field along the curve γ in Q^2 . The derivative equations of the asymptotic orthonormal frame field are given by

$$\begin{aligned} \gamma'(s) &= T(s), \\ T'(s) &= \kappa(s)\gamma(s) - N(s), \\ N'(s) &= -\kappa(s)T(s), \end{aligned} \tag{1}$$

where $\kappa(s) = -\frac{1}{2} \langle \gamma''(s), \gamma''(s) \rangle$ is the cone curvature function [2, 10].

3-dimensional lightlike cone Q^3 which is a degenerate hypersurface in R_1^4 is the set of all null vectors of R_1^4 given by

$$Q^3 = \{x \in \mathbb{R}_1^4 \mid \langle x, x \rangle = 0\} - \{(0,0,0,0)\}.$$

All curves in a 3-dimensional lightlike cone Q^3 are spacelike [3]. For a spacelike curve $\gamma: I \rightarrow Q^3 \subset R_1^4$ with arc length parameter s in 3-dimensional lightlike cone Q^3 in Minkowski 4-space R_1^4 , we have the spacelike unit tangent vector field $T(s) = \gamma'(s)$, the unit normal vector field $N(s) = -\gamma''(s) - \frac{1}{2} \langle \gamma''(s), \gamma''(s) \rangle \gamma(s)$ and the binormal vector field $Q(s) = \frac{1}{\tau(s)} \{\gamma'''(s) + \langle \gamma''(s), \gamma''(s) \rangle \gamma'(s) + \langle \gamma'''(s), \gamma''(s) \rangle \gamma(s)\}$ satisfying following conditions

$$\begin{aligned} \langle \gamma(s), \gamma(s) \rangle &= \langle N(s), N(s) \rangle = \langle \gamma(s), T(s) \rangle = \langle \gamma(s), Q(s) \rangle = 0, \\ \langle T(s), N(s) \rangle &= \langle N(s), Q(s) \rangle = \langle T(s), Q(s) \rangle = 0, \\ \langle \gamma(s), N(s) \rangle &= \langle T(s), T(s) \rangle = \langle Q(s), Q(s) \rangle = 1, \end{aligned}$$

where $\kappa(s) = -\frac{1}{2} \langle \gamma''(s), \gamma''(s) \rangle$ and $\tau = \sqrt{\langle \gamma'''(s), \gamma'''(s) \rangle - \langle \gamma''(s), \gamma''(s) \rangle^2}$ is the cone torsion (or second cone curvature). The frame field $\{\gamma, T, N, Q\}$ is the asymptotic orthonormal frame field along the curve γ in Q^3 . The derivative equations of the asymptotic orthonormal frame field are given by

$$\begin{aligned} \gamma'(s) &= T(s), \\ T'(s) &= \kappa(s)\gamma(s) - N(s), \\ N'(s) &= -\kappa(s)T(s) - \tau(s)Q(s), \\ Q'(s) &= \tau(s)\gamma(s) [3]. \end{aligned} \tag{2}$$

A rational Bézier curve of degree n with control points b_0, b_1, \dots, b_n and corresponding scalar weights $\omega_i, 0 \leq i \leq n$, is defined to be

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^n \omega_i b_i B_{i,n}(t)}{\sum_{i=0}^n \omega_i B_{i,n}(t)}, \quad t \in [0,1]$$

where

$$B_{i,n}(t) = \begin{cases} \frac{n!}{(n-i)!i!}, & \text{if } 0 \leq i \leq n \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

are called the Bernstein polynomials, with the understanding that if $\omega_i = 0$, then $\omega_i b_i$ is to be replaced by b_i . It is assumed that all the weights are non-zero. Rational Bézier curves are called quadratics for $n = 2$ [1, 5]. If $\omega_0 = \omega_1 = \dots = \omega_n$, then the curve becomes an integral Bézier curve.

III. QUADRATIC RATIONAL BEZIER CURVES IN 2-DIMENSIONAL LIGHTLIKE CONE

In this section we give certain geometric properties for a spacelike quadratic Bézier curve in 2-dimensional lightlike cone $Q^2 \subset R_1^3$. Now, we suppose that a spacelike quadratic rational Bézier curve with its arc length s , weights ω_i control points b_i , $0 \leq i \leq 2$,

$$P(s) = \frac{\sum_{i=0}^2 \omega_i b_i B_{i,2}(s)}{\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s)}, \quad (3)$$

lies in 2-dimensional lightlike cone Q^2 . So we have $\langle P(s), P(s) \rangle = 0$. The first order derivative of the spacelike quadratic rational Bézier curve is given by the following equation

$$P'(s) = \frac{\sum_{i=0}^2 a_i B_{i,2}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^2}, \quad (4)$$

where $a_0 = 2\omega_0\omega_1\Delta^1 b_0$, $a_1 = \omega_0\omega_2(b_2 - b_0)$, $a_2 = 2\omega_1\omega_2\Delta^1 b_1$ such that $\Delta^1 b_0 = b_1 - b_0$ and $\Delta^1 b_1 = b_2 - b_1$. The second derivative of (3) is given by

$$P''(s) = \frac{\sum_{i=0}^5 c_i B_{i,5}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4}, \quad (5)$$

where

$$c_0 = 2\omega_0^3\omega_2(b_2 - b_0) + (4\omega_0^3\omega_1 + 8\omega_0^2\omega_1^2)\Delta^1 b_0,$$

$$c_1 = \frac{1}{5}(6\omega_0^3\omega_2(b_2 - b_0) + (8\omega_0^2\omega_1^2 - 16\omega_0\omega_1^3 - 8\omega_0^2\omega_1\omega_2)\Delta^1 b_0 + (4\omega_0^2\omega_1\omega_2)\Delta^1 b_1),$$

$$c_2 = \frac{1}{10}((8\omega_0\omega_1^2\omega_2 + 8\omega_0^2\omega_1\omega_2)\Delta^1 b_1 + (16\omega_0^2\omega_1\omega_2 - 8\omega_0\omega_1^2\omega_2 - 4\omega_0^2\omega_2^2)(b_2 - b_0) - 24\omega_0\omega_1^2\omega_2\Delta^1 b_0),$$

$$c_3 = \frac{1}{10}(24\omega_0\omega_1^2\omega_2\Delta^1 b_1 - (8\omega_0\omega_1^2\omega_2 + 8\omega_0\omega_1\omega_2^2)\Delta^1 b_0 + (-16\omega_0\omega_1\omega_2^2 + 8\omega_0\omega_1^2\omega_2 + 4\omega_0^2\omega_2^2)(b_2 - b_0)),$$

$$c_4 = \frac{1}{5}((-8\omega_1^2\omega_2^2 + 16\omega_1^3\omega_2 + 8\omega_0\omega_1\omega_2^2)\Delta^1 b_1 - 6\omega_0\omega_2^3(b_2 - b_0) - 4\omega_0\omega_1\omega_2^2\Delta^1 b_0)$$

and

$$c_5 = (-4\omega_1\omega_2^3 + 8\omega_1^2\omega_2^2)\Delta^1 b_1 - 2\omega_0\omega_2^3(b_2 - b_0)$$

[12].

In the following theorem, we give the asymptotic orthonormal frame field of a spacelike quadratic rational Bézier curve in 2-dimensional lightlike cone $Q^2 \subset R_1^3$ for all $t \in R$.

Theorem 1. Let $P(s)$ be a spacelike quadratic rational Bézier curve parametrized by arc length s in 2-dimensional lightlike cone Q^2 in Minkowski 3-space R_1^3 . Then the asymptotic orthonormal frame field $\{P, T, N\}$ and cone curvature function along $P(s)$ are given by

$$P(s) = \frac{\sum_{i=0}^2 \omega_i b_i B_{i,2}(s)}{\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s)},$$

$$T(s) = \frac{\sum_{i=0}^2 a_i B_{i,2}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^2},$$

$$N(s) = -\frac{1}{2} \left(\frac{2 \sum_{i=0}^5 \sum_{k=0}^2 c_i \omega_k B_{i,5}(s) B_{k,2}(s) \left(\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s) \right)^4 + \sum_{i,j=0}^5 \sum_{k=0}^2 \omega_k b_k B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) B_{k,2}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^9} \right) \quad (6)$$

and

$$\kappa(s) = -\frac{1}{2} \frac{\sum_{i,j=0}^5 B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4 (\sum_{i=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^4}. \quad (7)$$

Proof. Assume that $P(s)$ is a spacelike quadratic rational Bézier curve parametrized by arc length s defined by (3) in 2-dimensional lightlike cone Q^2 in Minkowski 3-space R_1^3 . The formulation of $P(s)$ and $T(s)$ can be clearly see from (3) and (4). Taking into consideration (5), we have

$$\begin{aligned} \kappa(s) &= -\frac{1}{2} \langle P''(s), P''(s) \rangle \\ &= -\frac{1}{2} \left\langle \frac{\sum_{i=0}^5 c_i B_{i,5}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4}, \frac{\sum_{j=0}^5 c_j B_{j,5}(s)}{(\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^4} \right\rangle \\ &= -\frac{1}{2} \frac{\sum_{i,j=0}^5 B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4 (\sum_{i=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^4}. \end{aligned} \quad (8)$$

By using (3), (5) and (8), we obtain

$$\begin{aligned} N(s) &= -P''(s) - \frac{1}{2} \langle P''(s), P''(s) \rangle P(s) \\ &= -\frac{\sum_{i=0}^5 c_i B_{i,5}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4} - \frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{i,j=0}^5 \sum_{k=0}^2 \omega_k b_k B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) B_{k,2}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4 (\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^4 \sum_{k=0}^2 \omega_k B_{k,2}(s)} \right) \\ &= -\frac{1}{2} \left(\frac{2 \sum_{i=0}^5 \sum_{k=0}^2 c_i \omega_k B_{i,5}(s) B_{k,2}(s) \left(\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s) \right)^4 + \sum_{i,j=0}^5 \sum_{k=0}^2 \omega_k b_k B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) B_{k,2}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^9} \right). \end{aligned}$$

The following results give the asymptotic frame and the cone curvature for a spacelike quadratic rational Bézier curve at the points $P(0) = b_0$ and $P(1) = b_2$, respectively. The proofs are clear.

Corollary 1. The asymptotic orthonormal frame field $\{P, T, N\}$ and cone curvature function κ of the spacelike quadratic rational Bézier curve $P(s)$ parametrized by arclength s and defined by (3) at $s = 0$ in 2-dimensional lightlike cone Q^2 in R_1^3 are defined by

$$P(0) = b_0, \quad T(0) = 2 \frac{\omega_1}{\omega_0} \Delta^1 b_0, \quad N(0) = -\frac{1}{2} \left(\frac{2c_0 \omega_0^4 + \|c_0\|^2 b_0}{\omega_0^8} \right)$$

and

$$\kappa(0) = -\frac{1}{2} \frac{\|c_0\|^2}{\omega_0^8}.$$

Corollary 2. The asymptotic orthonormal frame field $\{P, T, N\}$ and cone curvature function κ of the spacelike quadratic rational Bézier curve $P(s)$ parametrized by arclength s and defined by (3) at $s = 1$ in 2-dimensional lightlike cone Q^2 in R_1^3 are defined by

$$P(1) = b_2, \quad T(1) = 2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \Delta^1 b_1, \quad N(1) = -\frac{1}{2} \left(\frac{2c_5 \omega_2^4 + \|c_5\|^2 b_2}{\omega_2^8} \right)$$

and

$$\kappa(1) = -\frac{1}{2} \frac{\|c_5\|^2}{\omega_2^8}.$$

IV. QUADRATIC RATIONAL BEZIER CURVES IN 3-DIMENSIONAL LIGHTLIKE CONE

In this section we obtain the asymptotic orthonormal frame of a spacelike quadratic Bézier curve in 3-dimensional lightlike cone $Q^3 \subset R_1^4$. Now, we suppose that a spacelike quadratic rational Bézier curve with its arc length s , weights ω_i control points b_i , $0 \leq i \leq 2$, defined by (3) in $Q^3 \subset R_1^4$. So we have $\langle P(s), P(s) \rangle = 0$. The third order derivative of the spacelike quadratic rational Bézier curve is given by the following equation

$$P'''(s) = \frac{\sum_{i=0}^{12} h_i B_{i,12}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^8}, \quad (9)$$

where

$$h_0 = 5(c_1 - c_0)r_0 - c_0 z_0,$$

$$h_1 = \frac{1}{12} (5(c_1 - c_0)r_1 + 20(c_2 - c_1)r_0 - c_0 z_1 - 5c_1 z_0),$$

$$h_2 = \frac{1}{66} (5(c_1 - c_0)r_2 + 20(c_2 - c_1)r_1 + 30(c_3 - c_2)r_0 - c_0 z_2 - 5c_1 z_1 - 10c_2 z_0),$$

$$h_3 = \frac{1}{220} (5(c_1 - c_0)r_3 + 20(c_2 - c_1)r_2 + 30(c_3 - c_2)r_1 + 20(c_4 - c_3)r_0 - c_0 z_3 - 5c_1 z_2 - 10c_2 z_1 - 10c_3 z_0),$$

$$h_4 = \frac{1}{495} (5(c_1 - c_0)r_4 + 20(c_2 - c_1)r_3 + 30(c_3 - c_2)r_2 + 20(c_4 - c_3)r_1 + 5(c_5 - c_4)r_0 - c_0 z_4 - 5c_1 z_3 - 10c_2 z_2 - 10c_3 z_1 - 5c_4 z_0),$$

$$h_5 = \frac{1}{792} (5(c_1 - c_0)r_5 + 20(c_2 - c_1)r_4 + 30(c_3 - c_2)r_3 + 20(c_4 - c_3)r_2 + 5(c_5 - c_4)r_1 - c_0 z_5 - 5c_1 z_4 - 10c_2 z_3 - 10c_3 z_2 - 5c_4 z_1 - c_5 z_0),$$

$$h_6 = \frac{1}{924} (5(c_1 - c_0)r_6 + 20(c_2 - c_1)r_5 + 30(c_3 - c_2)r_4 + 20(c_4 - c_3)r_3 + 5(c_5 - c_4)r_2 - c_0z_6 - 5c_1z_5 - 10c_2z_4 - 10c_3z_3 - 5c_4z_2 - c_5z_1),$$

$$h_7 = \frac{1}{792} (5(c_1 - c_0)r_7 + 20(c_2 - c_1)r_6 + 30(c_3 - c_2)r_5 + 20(c_4 - c_3)r_4 + 5(c_5 - c_4)r_3 - c_0z_7 - 5c_1z_6 - 10c_2z_5 - 10c_3z_4 - 5c_4z_3 - c_5z_2),$$

$$h_8 = \frac{1}{495} (5(c_1 - c_0)r_8 + 20(c_2 - c_1)r_7 + 30(c_3 - c_2)r_6 + 20(c_4 - c_3)r_5 + 5(c_5 - c_4)r_4 - 5c_1z_7 - 10c_2z_6 - 10c_3z_5 - 5c_4z_4 - c_5z_3),$$

$$h_9 = \frac{1}{220} (20(c_2 - c_1)r_8 + 30(c_3 - c_2)r_7 + 20(c_4 - c_3)r_6 + 5(c_5 - c_4)r_5 - 10c_2z_7 - 10c_3z_6 - 5c_4z_5 - c_5z_4),$$

$$h_{10} = \frac{1}{66} (30(c_3 - c_2)r_8 + 20(c_4 - c_3)r_7 + 5(c_5 - c_4)r_6 - 10c_3z_7 - 5c_4z_6 - c_5z_5),$$

$$h_{11} = \frac{1}{12} (20(c_4 - c_3)r_8 + 5(c_5 - c_4)r_7 - 5c_4z_7 - c_5z_6),$$

$$h_{12} = 5(c_5 - c_4)r_8 - c_5z_7$$

and

$$z_0 = 8\omega_0^3(\omega_1 - \omega_0), \quad z_1 = 8\omega_0^2(6\omega_1^2 + \omega_0\omega_2 - 7\omega_0\omega_1),$$

$$z_2 = 24\omega_0(4\omega_1^3 + 3\omega_0\omega_1\omega_2 - \omega_0^2\omega_2 - 6\omega_0\omega_1^2),$$

$$z_3 = 64\omega_1^4 + 192\omega_0\omega_1^2\omega_2 + 24\omega_0^2\omega_2^2 - 120\omega_0^2\omega_1\omega_2 - 160\omega_0\omega_1^3,$$

$$z_4 = 160\omega_1^3\omega_2 + 120\omega_0\omega_1\omega_2^2 - 64\omega_1^4 - 192\omega_0\omega_1^2\omega_2 - 24\omega_0^2\omega_2^2,$$

$$z_5 = 24\omega_2(6\omega_1^2\omega_2 + \omega_0\omega_2^2 - 4\omega_1^3 - 3\omega_0\omega_1\omega_2),$$

$$z_6 = 8\omega_2^2(7\omega_1\omega_2 - \omega_0\omega_2 - 6\omega_1^2), \quad z_7 = 8\omega_2^3(\omega_2 - \omega_1),$$

$$r_0 = \omega_0^4, \quad r_1 = 8\omega_0^3\omega_1, \quad r_2 = 4\omega_0^2(\omega_0\omega_2 + 6\omega_1^2), \quad r_3 = 8\omega_0\omega_1(3\omega_0\omega_2 + 4\omega_1^2),$$

$$r_4 = 6\omega_0^2\omega_2^2 + 48\omega_0\omega_1^2\omega_2 + 16\omega_1^4, \quad r_5 = \omega_1\omega_2(24\omega_0\omega_2 + 32\omega_1),$$

$$r_6 = 4\omega_2^2(6\omega_1^2 + \omega_0\omega_2), \quad r_7 = 8\omega_1\omega_2^3, \quad r_8 = \omega_2^4.$$

In the following theorem, we give the asymptotic orthonormal frame field and curvatures of a spacelike quadratic rational Bézier curve in 3-dimensional lightlike cone $Q^3 \subset R_1^4$ for all $t \in R$.

Theorem 2. Let $P(s)$ be a spacelike quadratic rational Bézier curve parametrized by arc length s in 3-dimensional lightlike cone Q^3 in Minkowski 4-space R_1^4 . Then the asymptotic orthonormal frame field $\{P, T, N, Q\}$, cone curvature and cone torsion along $P(s)$ are respectively given by

$$P(s) = \frac{\sum_{i=0}^2 \omega_i b_i B_{i,2}(s)}{\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s)},$$

$$T(s) = \frac{\sum_{i=0}^2 a_i B_{i,2}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^2},$$

$$N(s) = -\frac{1}{2} \left(\frac{2 \sum_{i=0}^5 \sum_{k=0}^2 c_i \omega_k B_{i,5}(s) B_{k,2}(s) (\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^4 + \sum_{i,j=0}^5 \sum_{k=0}^2 \omega_k b_k B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) B_{k,2}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^9} \right),$$

$$Q(s) = \frac{1}{\tau(s)} \left\{ \frac{\sum_{i=0}^{12} h_i B_{i,12}(s)}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^8} + \frac{(\sum_{i,j=0}^5 B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) \langle c_i, c_j \rangle) (\sum_{k=0}^2 a_k B_{k,2}(s))}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^{10}} \right. \\ \left. + \frac{((\sum_{i=0}^{12} \sum_{j=0}^5 B_{i,12}(s) B_{j,5}(s) \langle h_i, c_j \rangle) (\sum_{k=0}^2 w_k b_k B_{k,2}(s)))}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^{13}} \right\},$$

$$\kappa(s) = -\frac{1}{2} \frac{\sum_{i,j=0}^5 B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) \langle c_i, c_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4 (\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^4}$$

and

$$\tau(s) = \frac{1}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^4} \left(\sum_{i,j=0}^{12} B_{i,12}(s) B_{j,12}(s) \langle h_i, h_j \rangle - (\sum_{i,j=0}^5 B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) \langle c_i, c_j \rangle)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Proof. Assume that $P(s)$ is a spacelike quadratic rational Bézier curve parametrized by arc length s defined by (3) in 3-dimensional lightlike cone Q^3 in Minkowski 4-space R_1^4 . The formulation of $P(s)$, $T(s)$, $N(s)$ and $\kappa(s)$ are clearly seen from (3), (4), (6) and (7). Now we focus on the proof of $Q(s)$ and $\tau(s)$. From (9), we get

$$\langle P'''(s), P'''(s) \rangle = \frac{\langle \sum_{i=0}^{12} h_i B_{i,12}(s), \sum_{j=0}^{12} h_j B_{j,12}(s) \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^8 (\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^8}$$

or

$$= \frac{\sum_{i,j=0}^{12} B_{i,12}(s) B_{j,12}(s) \langle h_i, h_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^8 (\sum_{j=0}^2 \omega_j B_{j,2}(s))^8} = \frac{\sum_{i,j=0}^{12} B_{i,12}(s) B_{j,12}(s) \langle h_i, h_j \rangle}{(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s))^{16}}. \quad (11)$$

From (8) and (11), we get (10).

By using (3), (4), (5), (8), (9) and (10), we obtain

$$Q(s) = \frac{1}{\tau(s)} \{ P'''(s) + \langle P'''(s), P'''(s) \rangle P'(s) + \langle P'''(s), P''(s) \rangle P(s) \}$$

$$= \frac{1}{\tau(s)} \left\{ \frac{\sum_{i=0}^{12} h_i B_{i,12}(s)}{\left(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s)\right)^8} + \frac{\left(\sum_{i,j=0}^5 B_{i,5}(s) B_{j,5}(s) \langle c_i, c_j \rangle\right) \left(\sum_{k=0}^2 a_k B_{k,2}(s)\right)}{\left(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s)\right)^{10}} + \frac{\left(\sum_{i=0}^{12} \sum_{j=0}^5 B_{i,12}(s) B_{j,5}(s) \langle h_i, c_j \rangle\right) \left(\sum_{k=0}^2 w_k b_k B_{k,2}(s)\right)}{\left(\sum_{i=0}^2 \omega_i B_{i,2}(s)\right)^{13}} \right\}.$$

The following results give the asymptotic frame, the cone curvature and the cone torsion for a spacelike quadratic rational Bézier curve at the points $P(0) = b_0$ and $P(1) = b_2$, respectively. The proofs are clear.

Corollary 3. The asymptotic orthonormal frame field $\{P, T, N, Q\}$, cone curvature function κ and cone torsion τ of the spacelike quadratic rational Bézier curve $P(s)$ parametrized by arc length s and defined by (3) at $s = 0$ in 3-dimensional lightlike cone Q^3 in R_1^4 are defined by

$$P(0) = b_0, \quad T(0) = 2 \frac{\omega_1}{\omega_0} \Delta^1 b_0, \quad N(0) = -\frac{1}{2} \left(\frac{2c_0 \omega_0^4 + \|c_0\|^2 b_0}{\omega_0^8} \right),$$

$$Q(0) = \frac{1}{\tau(0)} \left\{ \frac{h_0}{\omega_0^8} + \frac{\|c_0\|^2 a_0}{\omega_0^{10}} + \frac{\langle h_0, c_0 \rangle \omega_0 b_0}{\omega_0^{13}} \right\},$$

$$\kappa(0) = -\frac{1}{2} \frac{\|c_0\|^2}{\omega_0^8}$$

and

$$\tau(0) = \frac{(\|h_0\|^2 - \|c_0\|^4)^{1/2}}{\omega_0^4}.$$

Corollary 4. The asymptotic orthonormal frame field $\{P, T, N, Q\}$, cone curvature function κ and cone torsion τ of the spacelike quadratic rational Bézier curve $P(s)$ parametrized by arclength s and defined by (3) at $s = 1$ in 3-dimensional lightlike cone Q^3 in R_1^4 are defined by

$$P(1) = b_2, \quad T(1) = 2 \frac{\omega_1}{\omega_2} \Delta^1 b_1, \quad N(1) = -\frac{1}{2} \left(\frac{2c_5 \omega_2^4 + \|c_5\|^2 b_2}{\omega_2^8} \right)$$

$$Q(1) = \frac{1}{\tau(1)} \left\{ \frac{h_{12}}{\omega_2^8} + \frac{\|c_5\|^2 a_2}{\omega_2^{10}} + \frac{\langle h_{12}, c_5 \rangle \omega_2 b_2}{\omega_2^{13}} \right\},$$

$$\kappa(1) = -\frac{1}{2} \frac{\|c_5\|^2}{\omega_2^8}$$

and

$$\tau(1) = \frac{(\|h_{12}\|^2 - \|c_5\|^4)^{1/2}}{\omega_2^4}.$$

V. REFERENCES

- [1] G. Farin, *Curves and Surfaces for CAGD: a practical guide*, Morgan Kaufmann Pub., USA, 2002.
- [2] H. Liu, "Curves in the Lightlike Cone," *Contributions to Algebra and Geometry*, vol. 45, no. 1, pp. 291-303, 2004.

- [3] H. Liu, and M. Qingxian, "Representation Formulas of Curves in a Two-and Three-dimensional Lightlike Cone," *Results in Mathematics*, vol. 59 no.3 pp. 437-451, 2011.
- [4] R. López, "Differential Geometry of Curves and Surfaces in Lorentz-Minkowski Space," *International Electronic Journal of Geometry*, vol. 7, no.1, pp. 44-107, 2014.
- [5] D. Marsh, *Applied Geometry for Computer Graphics and CAD*, Springer Science and Business Media, USA, 2005.
- [6] B. O'Neill, *Semi-Riemann Geometry with Applications to Relativity*, Academic Pres., New York, 1983.
- [7] B. O'Neill, *Elementary Differential Geometry*, Academic Pres., New York, 2006.
- [8] H.K. Samancı, "Minkowski 3-uzayında Timelike Rasyonel Bézier Eğrilerinin Eğrilikleri Üzerine," *Bitlis Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 243-255, 2018.
- [9] H.K. Samancı, "Some Geometric Properties of the Spacelike Bézier Curve with a Timelike Principal Normal in Minkowski 3-space," *Cumhuriyet Science Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 71-79, 2018.
- [10] G. Özkan Tükel, A. Yücesan, "Elastic Curves in a Two-dimensional Lightlike Cone," *International Electronic Journal of Geometry*, vol. 8, no.2, pp. 1-8, 2015.
- [11] T. Turhan, A. Yılmaz Ceylan and G. Özkan Tükel, "Rational Bézier Curves on 2-dimensional Anti de Sitter Space," International Asian Congress on Contemporary Sciences-V, Nakhchivan, Azerbaijan, 2021, pp. 467-473.
- [12] A. Yılmaz Ceylan, T. Turhan, and G. Özkan Tükel, "On Non-null Rational Bézier Curves on 2-dimensional de Sitter Space", 4th International Conference on Mathematics "An İstanbul Meeting for World Mathematicians," İstanbul, Turkey, 2020, pp. 132.
- [13] A. Yılmaz Ceylan, T. Turhan, and G. Özkan Tükel, "On the Geometry of Rational Bézier Curves," *Honam Mathematical Journal*, vol. 43, no. 1, pp. 88-99, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hareket Yakalama ve Sanal Gerçeklik Teknolojileri Kullanarak Oyun Tabanlı Rehabilitasyon¹

 Ali Hakan IŞIK^a,  Ferdi ALAKUŞ^b,  Ömer Can ESKİCİOĞLU^{b,*}

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Itech Robotik Otomasyon Yenilenebilir Enerji Eğitim Medikal Taahhüt Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Isparta, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: eskiciogluomer@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1015397

ÖZ

İnsanların kas ve sinir sisteminin tahribatı ile ortaya çıkan hastalıklar hayat kalitesi üzerinde ciddi etkiler göstermektedir. Bu hastalıklardan en önemlilerden biri hemiplejidir. Hemipleji, diğer bir adıyla kısmi felç, vücudun sol ve sağ bölgelerini etkileyen sinir sistemi hastalığıdır. Söz konusu hastalıkta, bireylerin beyinlerinde meydana gelen hasarlardan dolayı hareket edememe veya hareket etmekte güçlük yaşanması gibi sorunlar oluşmaktadır. Bu hastalıkta tedavi ve rehabilitasyon aşaması son derece önemlidir. Hastalığı erken teşhis ederek rehabilitasyon süreci hemen başlatılmalıdır. Diğer vücut fonksiyonlarına zarar verilmeden iyileşme sağlanması tedavinin temel amacıdır. Çalışmamızda, rehabilitasyon süreci aşamasındaki hastaların hareketlerini algılayarak, oyun tabanlı bir sanal gerçeklik uygulaması geliştirilmiştir. Hastanın parmaklarına 10 adet esneklik sensörü ve eklemine 13 adet MPU9250 eğim sensörü olmak üzere toplamda 23 adet sensör yerleştirilmiştir. Sensörlerden alınan veriler öncelikle kalibre edilmiştir. Kalibre edilmiş sensörlerden, sanal gerçeklik gözlüğüne gelen gerçek zamanlı veriler ile hemipleji hastalarının hareketleri algılanmıştır. Hemipleji hastalarına uzman fizyoterapistler tarafından verilen hareketlere uygun oyun modu tasarlanmıştır. Sanal gerçeklik gözlüğü takılı olan hasta, oyun moduna göre oyun oynayabilmektedir. Gözlükte gösterilen ve uygulanması istenilen oyun, fizyoterapistler tarafından belirlenmiş hareketlere bağlı bir oyundur. Çalışmanın hemipleji hastalarının iyileşme sürecine önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hemipleji, Rehabilitasyon, Sanal gerçeklik, Hareket yakalama, Oyun

Game Based Rehabilitation Using Motion Capture and Virtual Reality Technologies

ABSTRACT

Diseases that occur with the destruction of the muscle and nervous system of people have serious effects on the quality of life. One of the most important of these diseases is hemiplegia. Hemiplegia, also known as partial paralysis, is a nervous system disease that affects the left and right parts of the body. In the aforementioned disease, problems such as inability to move or having difficulty in moving occur due to damage to the brains of individuals. The treatment and rehabilitation phase of this disease is extremely important. By diagnosing the disease early, the rehabilitation process should be started immediately. The main aim of treatment is to achieve recovery without harming other body functions. In this study, a game-based virtual reality application was

developed by detecting the movements of the patients in the rehabilitation process. 10 flexibility sensors were placed on the fingers of the patients and 13 MPU9250 inertial measurement unit were placed on their joints. A total of 23 sensors were used. The data received from the sensors are first calibrated. The movements of hemiplegia patients were detected with real-time data coming from the calibrated sensors to the virtual reality glasses. A game mode has been designed in accordance with the movements given to hemiplegic patients by expert physiotherapists. The game shown on the glasses and requested to be applied is a game based on the movements determined by the physiotherapists. It is thought that the study will contribute significantly to the healing process of hemiplegia patients.

Keywords: Hemiplegia, Rehabilitation, Virtual reality, Motion capture, Gaming

¹ICAAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 11/12/2021, Kabul: 16/12/2021

I. GİRİŞ

Günümüzde vasküler bir nedenden kaynaklanan fokal nörolojik defisit ismiyle bilinen inme, hastanın uzun süreli sıkıntılı süreçlerden geçmesi ve sıkça yatırılarak tedavi edilmesine neden olmaktadır [1]. Dünya Sağlık Örgütüne (DSÖ) göre hemipleji yani inmenin orta ve yüksek gelirli ülkelerde uzun süreler boyunca hareket kaybının başlıca sebeplerinden biridir. Dünya da en çok karşılaşılan beyin ve sinir hastalığıdır. Hemiplejinin birden fazla nedeni olabilmektedir. En sık karşılaşılan nedeni beyin damarlarına bağlı olan hastalıklardır. İleri yaş, obezite, şeker hastalığı, kalp rahatsızlıkları, genetik faktörler, sedanter yaşam, şeker hastalığı, hipertansiyon, sigara ve alkol kullanımı gibi nedenler, bireyler için önemli risk faktörleri oluşturmaktadır [2]. Hemiplejinin birçok belirtisi vardır. Hasarın büyüklüğüne ve şiddetine göre belirtileri değişebilmektedir. Yürüme, denge, konuşma ve duyu bozuklukları, uyuşma hissi, zaman-yer kavramını algılama bozukluğu, hafıza kaybı, kısmi felç belirtileri ve hareket kaybı sıkça görülen belirtileridir. Bu belirtilerin temel sebebi hastalığın sinir sisteminde bıraktığı hasardan kaynaklanmaktadır [3].

Dijital elektroniğin gelişmesiyle tıp alanında birçok kullanım alanı oluşmaktadır. En küçük tıbbi aletlerden MR makinelerine kadar olan bu yelpazede elektronik devre kartları ve sensörler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bileşenler hassas ölçümler yaparak hastalık hakkında önemli sonuçları sağlık personeline sunmaktadır.

Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerin hayatımıza girmesine paralel olarak tıp sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Bu teknolojilerin rehabilitasyon aşamasındaki hastalar üzerinde kullanılması durumunda iyileşme sürecini hızlandırmaktadır. Sunulan çalışmadaki sanal gerçeklik ve oyun tabanlı rehabilitasyon ile hemipleji hastalarının iyileşme sürecine önemli katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Literatürde farklı sensörler veya kamera ile rehabilitasyon hareketlerinin izlenmesi ve analizi yapılmaktadır. Konuyla ilgili literatür araştırmaları incelendiğinde benzer çalışmaların olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar;

Fidan.U. ve arkadaşı tarafından yapılan çalışmada Parkinson, Serabral Palsi ve Hemipleji gibi nöral hastalıkların rehabilitasyonunda, sanal gerçeklik tabanlı hastalık takibini yapan bir sistem önerilmektedir. Çalışmada hastanın konumunu saptamak için kinect sensörü kullanılmıştır. Unity 3D oyun motorundan yararlanılarak yapılacak rehabilitasyon hareketleri ile ilgili gerekli bilgiyi fizik tedavi uzmanına internet yoluyla bilgilendirmektedir [3].

Mirzayev İ. tarafından yapılan çalışmada Başkent Üniversitesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniğine rehabilitasyon için gelen 42 hasta sanal gerçeklik ve kontrol grubu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Her gruba belirli aralıklar ile üst ekstremité rehabilite programı uygulanmıştır. Sanal gerçeklik grubuna ek olarak Dr Kawashima's vücut ve beyin egzersizleri yaptırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde Üst Ekstremité Motor Değerlendirme sonuçları sanal gerçeklik grubunda gelişim gösterdiği belirlenmiştir. Hemipleji hastalarına rehabilitasyon aşamasında sanal gerçeklik tabanlı egzersizler önerilmektedir [2].

Bayraktar E. çalışmasında sanal gerçekliğin uygulama alanlarıyla ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Sanal gerçekliğin, eğitim, e-ticaret, imalat, tıp ve eğlence dünyasında kullanıldığı belirlenmiştir. Bu teknolojinin eksiklikleri ve güçlü bulunduğu yönler incelenerek sektörlerde nasıl kullanıldığı belirlenmiştir [4].

Thewlis D. et al. tarafından yapılan çalışmada sanal gerçeklikte kullanılan kinect kameralar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Vicon MX-f20 system ile Natural Point OptiTrack system arasındaki farklar belirlenmiştir. Düşük bütçeli kameraların üst düzey sistemler ile benzer performansta olduğu gözlemlenmiştir. Sınırlı bütçeli laboratuvarlarda düşük bütçeli kinect kameralar kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar verdiği ve daha az maliyetli bir çözüm olarak önerilmektedir [5].

Chanpimol S. et al. tarafından yapılan çalışmada Traumatic Brain Injury (TBI) olan hastalara Xbox kinect hareket yakalama oyunları yardımıyla rehabilitasyon sonuçlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar hastalar üzerinde analiz edilmiş ve şiddetli TBI geçiren hastaların dinamik denge değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir [6].

Carlson N.J. et al. tarafından yapılan çalışmada Emergent Endotracheal Entubation (ETI) tekniğindeki laringoskop ve sol elin hareketlerini hareket yakalama teknolojisiyle uygulanabilirliği test edilmiştir. Kullanılan teknolojinin mevcut potansiyelinin olduğu anlaşılmaktadır [7].

Wierschem C. D. et al. tarafından yapılan çalışmada tekrarlayan insan hareketlerinden veri toplamak, depolamak ve analiz etmek için hareket yakalama teknolojisi kullanılmıştır. Önerilen yöntemle göre tekrarlayan hareket kalıplarını belirleyip istatistiksel olarak hareketteki sapmalar öngörülmüştür [8].

Jebeli M. et al. tarafından yapılan çalışmada sağlık alanında hareket yakalamak için kullanılacak olan kinect sensörünün yeterliliği incelenmiştir. Yürüyüş analiz laboratuvarında Vicon hareket yakalama sistemi ile kinect 3D verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kinect sensör endüstriyel ortamda yeterli olarak görülmüştür [9].

Park W. S. et al. tarafından yapılan çalışmada Motion Capture System (MCS), 1 boyutlu (1D) ve 2 boyutlu (2D) yer değiştirme sensörlerinden farklı olarak hareketlerin hassas bir şekilde ölçümü yapılmıştır. MCS, öncelikle kameralar ile 2D koordinatlarını ölçmektedir. Bu ölçümler 3D koordinatları hesaplamak için kullanılmaktadır. Çalışmada MCS ile üç boyutlu (3D) yer değişimi için farklı bir yöntem sunulmaktadır [10].

Fernandez-Baena A. et al. tarafından yapılan çalışmada kinect hareket yakalama sensörünün alt ve üst vücut eklemlerinin rehabilitasyonunda kullanılmasına değinilmektedir. Böylelikle hastanın ucuz bir yol ile rehabilitasyonunun kontrol süreci sağlanacağı öngörülmektedir [11].

Sakaguchi T. et al. tarafından yapılan çalışmada gerçek zamanlı olarak çalışan bir hareket yakalama sistemi yapılmıştır. İvmeölçer ve jiroskop sensörü yerleştirilerek kol hareketlerinin takibi ve analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma ışığında potansiyel hassasiyet, simulasyon ve deney ile doğrulaması yapılmıştır [12].

Pruna E. et al. tarafından yapılan çalışmada YEI 3-Space Mocap movement capture devices kullanarak alt ekstremité rehabilitasyonu için Unity 3D ortamında 2 adet oyun tasarlanmıştır. Fleksiyon, ekstansiyon ve güçlendirme hareketleri oyunlarda kullanılmıştır. Sistem 4 kişi tarafından kullanılıp test edilmiştir. Sistemin rehabilitasyon aşamasındaki hastalar için kabul edilebilir olduğu görülmektedir [13].

Fujimori Y. et al. tarafından yapılan çalışmada insan hareketlerini yakalamak ve verileri analiz edebilmek için bir yöntem önerilmektedir. STM32F103 CPU'su önerilen yöntemde ADXL330 (ivmeölçer), ADIS16255 (jiroskop) ve HMC6052 (manyetometre) gelen verileri işleyecektir. Dokunsal verilerden temas noktaları yardımıyla hareketlerini tahmin edilmiştir [14].

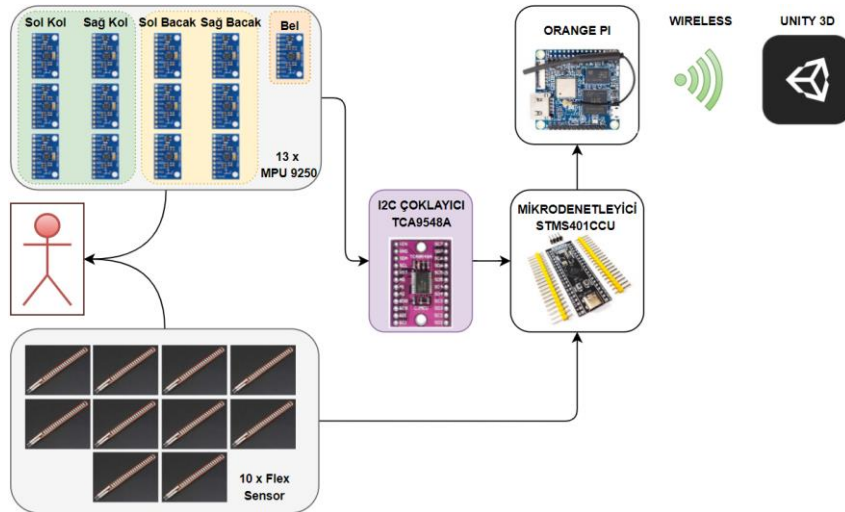
Gao L. et al. tarafından yapılan çalışmada kablosuz giyilebilir teknoloji yardımıyla hareket yakalama sensörleri ile toplanmış hareket verileri ve sinyaller incelenmektedir. Veri tabanındaki hareketlerle eşleştirmek için 3 kademeli tanıma algoritması kullanılmıştır. Böylelikle gerçek zamanlı olarak hareket tespiti yapılabilmektedir. Doktorlar, hastaları üzerinde fizyolojik parametrelerini sürekli olarak izleyebilmektedir [15].

Brigante C. et al. tarafından yapılan çalışmada giyilebilir bir sistem ile gerçek zamanlı olarak insan hareketlerini yakalamayı amaçlamaktadır. Önerilen sistem, insan vücuduna dağıtılan atalet ölçüm birimleri (IMUs) ağundan oluşmaktadır. Modüllerin her biri bir mikrodenetleyiciye ve sensörlere bağlıdır. Modüllerde, 3 eksenli ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre bulunmaktadır. Sistem hafifletilerek giyilebilir kıyafetlere yerleştirilmesi düşünülmektedir [16].

II. MATERYAL VE METOT

A. ÇALIŞMA MİMARİSİ VE TASARIMI

Çalışmamızda hemipleji hastalarının rehabilitasyon sürecine yönelik bir tasarım yapılmaktadır. Hastanın vücuduna 6 bacak, 6 kol ve 1 beline olmak üzere toplamda 13 adet MPU9250 sensörü yerleştirilmektedir. Ayrıca hastanın el parmaklarına 10 adet flex sensörü takılmaktadır. Toplamda vücuduna 23 sensör takılı olan hastanın 3 boyutlu görüntüsünü Unity 3D oyun motoruna aktarılması yapılmaktadır. Sensörler hastanın vücuduna takıldığında “ T ” sensör diziliminde kalibre edilmektedir. Hastada takılı olan 13 adet MPU9250 sensörlerindeki veriler hastanın belinde bulunan I2C bağlantı çoklayıcısında (TCA9548A) aktarılmaktadır. Çoklayıcıya gelen veriler STMS401CCU mikrodenetleyicisine gönderilmektedir. Ayrıca parmaklarda takılı olan 10 adet flex sensör verisi de mikrodenetleyiciye direkt olarak bağlanmaktadır. Kullanılan mikrodenetleyicide kablosuz ağa bağlanma özelliği bulunmadığından veriler Orange PI mini bilgisayarına gönderilmektedir. Orange PI'ye gelen veriler kablosuz ağ aracılığıyla Unity 3D oyun platformuna yüksek baund rate değeri ile aktarılmaktadır. Uzmandan alınan üst ve alt ekstremitate hareketlerine göre oyun tasarlanmaktadır. Rehabilitasyon programına göre tasarlanan oyun, hastadan alınan veriler ile gerçek zamanlı olarak Unity 3D oyun motoruna aktarılmaktadır. Sanal gerçeklik gözlüğü giymiş olan hasta kendi yaptığı hareketleri takılı olan sensörler yardımıyla görebilecektir. Oyunda bulunan hasta, karşısındaki figürün yapmasını istediği görevi yapmaya çalışacaktır. Böylelikle uzmanlar hastanın oyundaki rehabilitasyon hareketleri başarımlarını izleyebilmektedir. Sanal gerçeklik tabanlı oyunlar rehabilitasyon sürecindeki hastaların iyileşme aşamasını hızlandırdığı bilinmektedir [2]. Ayrıca hastaları bu sürece teşvik etmek ve daha eğlenceli hale getirmek amaçlanmıştır. Şekil 1’de çalışmanın temel mimarisi görülmektedir.



Şekil 1. Çalışmanın yapısı.

B. MİKRODENETLEYİCİ, SENSÖRLER VE KARTLAR

B. 1. Mpu9250

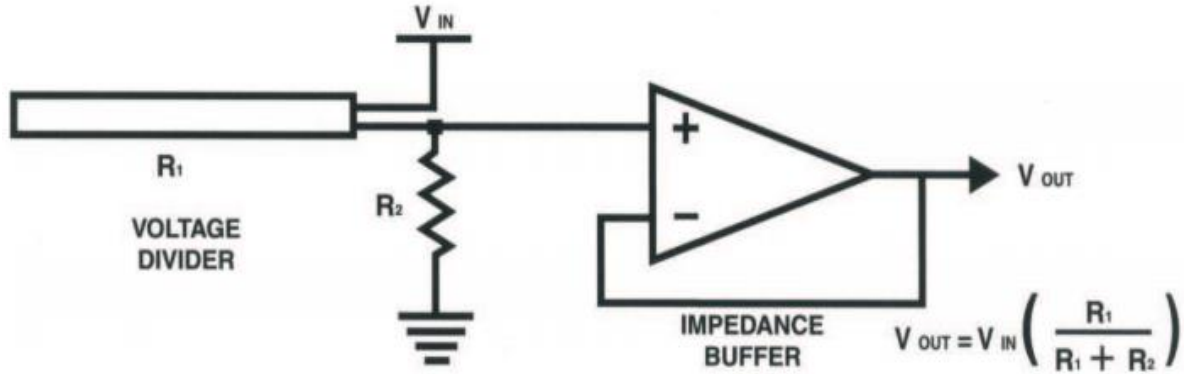
Jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre bulunan bir atalet ölçü birimi (IMU) tabanlı konum sistemi için çalışmada kullanılmıştır. MPU6050 ve 3 eksenli AK8963 manyetometresini beraber çalıştığı bir IMU'dur. Şekil 2' de bulunan MPU9250, 16 bitlik analogdan dijitale dönüştürücüler (ADC) kullanmaktadır [17].



Şekil 2. MPU9250.

B. 2. Flex Sensor

Sensör fiziksel olarak eğilebilen ve esneyebilen bir yapısı vardır. Yer değiştirmeden kaynaklı açı ölçümü yapabilmektedir [18]. Robotik, tıbbi cihazlar, oyun, müzik enstrümanlarında, fizik tedavi ve bilgisayar çevre birimlerinde kullanılabilir. Şekil 3'de sensörün tasarımı görünmektedir.



Şekil 3. Flex sensör devresi.

B. 3. Tca9548a

Şekil 4' te bulunan TCA9548A bir çoklayıcıdır. I2C veri yolu kullanır ve 8 çift yönlü anahtar içermektedir [19]. 8 adede kadar olan cihazları mikrodenetleyiciye bağlamamızı sağlar. Genişletme modülü olarak kullanılabilir [20].



Şekil 4. TCA9548A [18].

B. 4. Stms401ccu

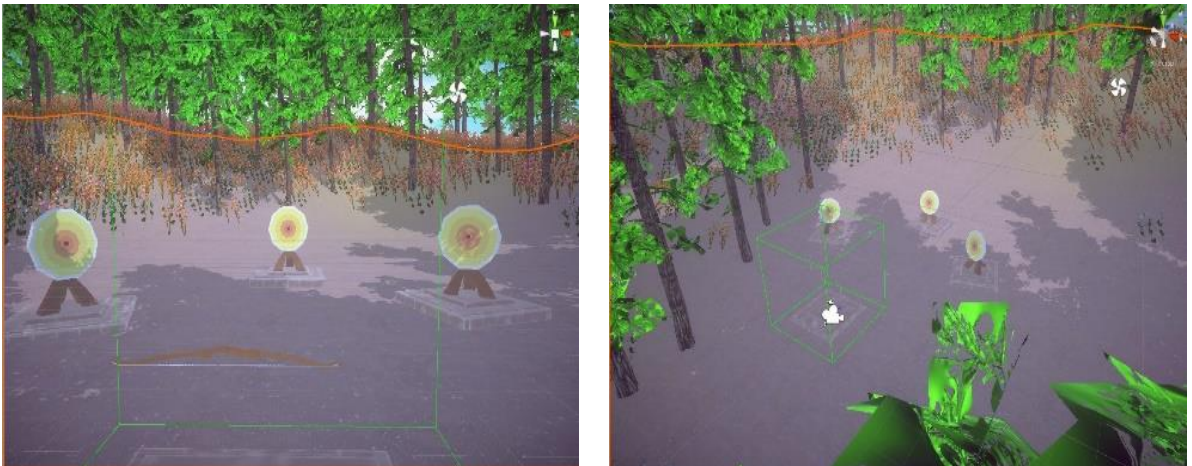
STM32 Dynamic Efficiency™ serisinin bir ürünüdür. İşleme performansı ve dinamik güç tüketimi ile en optimize dengeyi sağlamaktadır [20]. Cortex®-M4 çekirdeğini kullanmaktadır. Bu çekirdekte eski versiyonlarından farklı olarak dijital sinyal işleme (DSP) özelliği bulunmaktadır [21].

B. 5. Orange Pi

Ubuntu, Raspbian, Debian ve Android 4.4 işletim sistemlerine desteği bulunan mini bir bilgisayardır. Çalışmamızda PC Plus modeli kullanılmaktadır. 1 GB RAM'e sahiptir ve kablosuz ağlara bağlanabilmektedir.

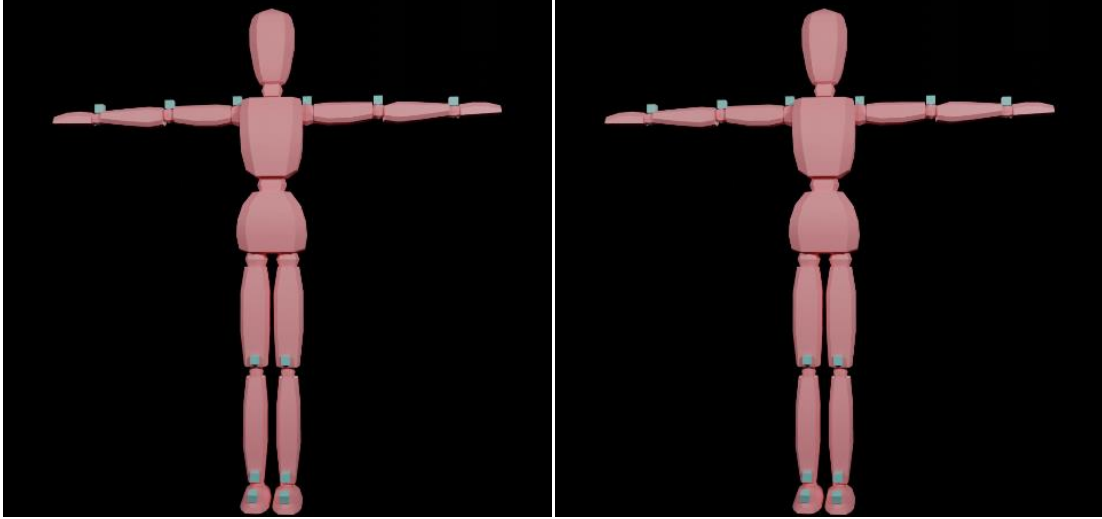
C. OYUN MOTORU

UNITY 3D : OpenGL ve DirectX için optimize edilmiş grafiklere sahiptir. Parçacık sistemleri, aydınlatmalar, gölgeler ve hareket halindeki ağlar çok hızlı çalışmaktadır. Ayrıca yağmur, şimşek, kıvılcım, rüzgar efektleri ve toz izleri gibi hayal gücüne dayalı bireysel işlemleri de desteklemektedir. [21]



Şekil 5. (a) Hasta bakış açısından oyun görünümü (b) Oyunun genel tasarımı.

Sanal gerçeklik gözlüğü takılı olan hastanın karşısına uzmanın yazdığı antrenman hareketlerine göre farklı oyunlar çıkmaktadır. Oyunda hasta kendini birinci bakış açısıyla görmektedir. Karşısındaki bulunan figüre veya istenilen talimatlara göre görev yapılması istenilmektedir. Hareketleri yapmaya çalışan hastadan, sensörler arasındaki açı değerleri alınarak hareket yapma yüzdeleri hesaplanmaktadır. Şekil 5’ te üst ekstremitate hareketlerine yönelik ok atma oyunu görülmektedir. Hasta oyun içindeyken yayı almalı ve ok yerleştirerek hedefleri vurmaya çalışmaktadır.

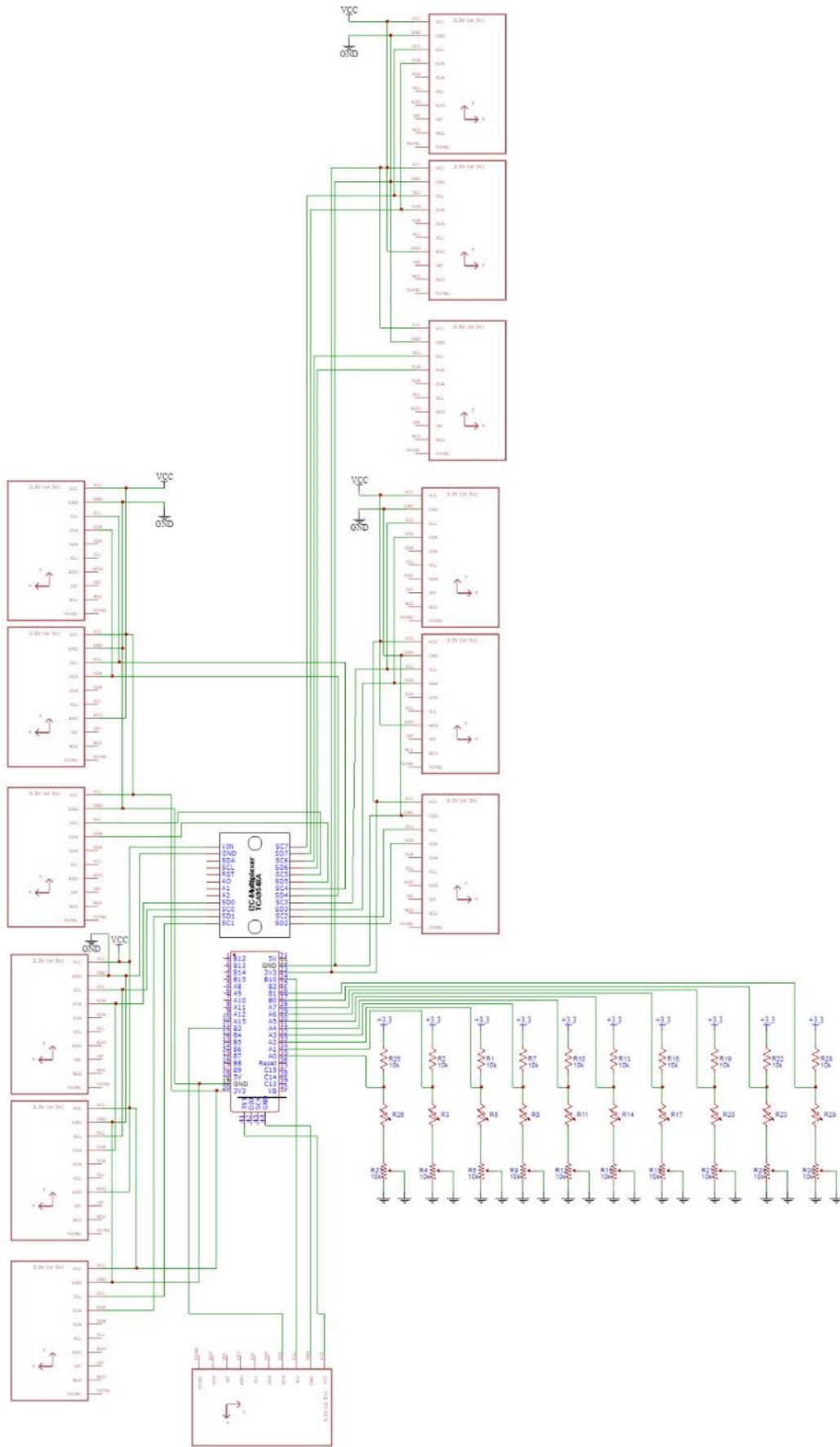


Şekil 6. (a) Vücutun ön yüzünün sensör dizilimi (b) Vücutun arka yüzünün sensör dizilimi.

Hastanın uyguladığı hareketlerin açılarını bulabilmek için Şekil 6’da bulunan konumlara IMU yerleştirilmektedir. Böylelikle hastanın yaptığı hareketler yüksek bir hassasiyetle oyun motorunda gösterilmektedir.

D. DEVRE TASARIMI

Çalışmada toplamda 13 adet kullanılan ivmeölçer, jiroskop ve manyetometreye sahip MPU9250 sensörleri kablolar ile hastanın bel bölümünde bulunan I2C bağlantı çoklayıcısına veri göndermektedir. Bu çoklayıcıdan ise STMS401CCU kartına ve daha sonra Orange PI ye veriler aktarılmaktadır. Unity 3D platformuna veriler Orange PI ile kablosuz olarak gönderilmektedir. Çalışmamızda Şekil 7’de bulunan elektronik devre tasarımı önerilmektedir.



Şekil 7. Elektronik devre tasarımı.

III. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, hemipleji tedavisinde bulunan rehabilitasyon hareketleri başarıyla oyun tabanlı sanal gerçeklik uygulamasında çalıştırılmaktadır. Hemipleji hastalarına oyun tabanlı egzersizler yapabilmeleri için oyun tasarımları yapılmıştır. Yapılan tasarım modüller ve geliştirmeye açıktır. Çalışmanın geliştirilmesi kapsamında karar mekanizmaları tam otonom olarak sağlanılabilir. Sensör sayısı ve lokasyonlar istenildiği şekilde değiştirilebilir. Ayrıca, Unity 3D oyun motorunda hazırlanan oyunların sayıları ve çeşitleri arttırılabilir. Hareketlerin açı değerlerinden ve hareket doğruluğunu baz alarak bir yapay zeka, uzmanın yerine karar verebilir. Herhangi bir veri seti kullanmadan yapay zekanın bir dalı olan takviyeli öğrenme yardımıyla istenilen karar verme mekanizması oluşturulabilir. Böylelikle hastaya yazılan programı yapay zeka hazırlayıp tahmini iyileşme periyodunu ve hastanın durumunu derin bir analiz ile uzman doktora paylaşabilir. Yapay zeka sistemi ile uzmanın iş yoğunluğunu büyük ölçüde hafifleyeceği ön görülebilir. Takviyeli öğrenme algoritmasından çıkan sonuçlar ile uzman gözetiminde bir veri seti oluşturabilir. Oluşturulan veri seti ile regresyon modellerini kullanarak tam rehabilitasyonun tahmini olarak hesabı yapılabilir. Hastalar için rehabilitasyon uzun ve zorlu bir süreçtir. Tahmini olarak tam rehabilitasyon ile ilgili bir tarih vermek, hastalar için bir umut kaynağı olarak nitelendirilebilir. Oluşturulan veri seti ile literatüre katkıda bulunacak akademik bir kaynak oluşturulabilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, Tübitak Teydeb 1501 proje kapsamında desteklenmektedir.
(Proje no: 3200662).

IV. KAYNAKLAR

- [1] B. Gündüz, “İnme ve prognozu etkileyen faktörler,” *Türk Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi*, ss. 52, 2006.
- [2] İ. Mirzayev, “İnme hastalarında sanal gerçeklik eğitiminin üst ekstremitate fonksiyonlarına etkisinin araştırılması,” Uzmanlık tezi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [3] U. Fidan ve Ö. Neşe, “Nörolojik rehabilitasyon için kinect sensörlü ölçüm ve egzersiz sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim. Dergisi*, c. 18, s. 2, ss. 727–733, 2018.
- [4] E. Bayraktar, “Sanal gerçeklik ve uygulama alanları,” *Akademik Bilişim*, Kütahya, Türkiye 2007, ss. 1–6.
- [5] D. Thewlis, C. Bishop, N. Daniell, and G. Paul, “Next-generation low-cost motion capture systems can provide comparable spatial accuracy to high-end systems dominic,” *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 29, no. 1, pp. 112–117, 2013.
- [6] S. Chanpimol, B. Seamon, H. Hernandez, M. Harris-Love, and M. R. Blackman, “Using Xbox kinect motion capture technology to improve clinical rehabilitation outcomes for balance and cardiovascular health in an individual with chronic TBI,” *Archives of Physiotherapy*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, May 2017.
- [7] J. N. Carlson, S. Das, F. D. la Torre, C. W. Callaway, P. E. Phrampus, and J. Hodgins, “Motion capture measures variability in laryngoscopic movement during endotracheal intubation: A preliminary report,” *Simulation in Healthcare*, vol. 7, no. 4, pp. 255, Aug. 2012.
- [8] D. C. Wierschem, J. A. Jimenez, and F. A. Méndez Mediavilla, “A motion capture system for the study of human manufacturing repetitive motions,” *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology., vol. 110, no. 3, pp. 813–827, Aug. 2020.

- [9] M. Jebeli, A. Bilesan, and A. Arshi, “A study on validating KinectV2 in comparison of Vicon system as a motion capture system for using in Health Engineering in industry,” *Nonlinear Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, Jun. 2017.
- [10] S. W. Park, H. S. Park, J. H. Kim, and H. Adeli, “3D displacement measurement model for health monitoring of structures using a motion capture system,” *Measurement*, vol. 59, pp. 352–362, Jan. 2015.
- [11] A. Fernández-Baena, A. Susín, and X. Lligadas, “Biomechanical validation of upper-body and lower-body joint movements of kinect motion capture data for rehabilitation treatments,” in *2012 fourth international conference on intelligent networking and collaborative systems*, Bucharest, Romania, 2012, pp. 656–661.
- [12] T. Sakaguchi, T. Kanamori, H. Katayose, K. Sato, and S. Inokuchi, “Human motion capture by integrating gyroscopes and accelerometers,” in *International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems Washington, DC, USA, 1996*, pp. 470–475.
- [13] E. Pruna *et al.*, “3D virtual system trough 3 space mocap sensors for lower limb rehabilitation,” in *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics.*, Ugento, Italy, 2017, vol. 10325 LNCS, pp. 119–128.
- [14] Y. Fujimori, Y. Ohmura, T. Harada, and Y. Kuniyoshi, “Wearable motion capture suit with full-body tactile sensors,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Kobe, Japan, 2009, pp. 3186–3193.
- [15] L. Gao, G. Zhang, B. Yu, Z. Qiao, and J. Wang, “Wearable human motion posture capture and medical health monitoring based on wireless sensor networks,” *Measurement*, vol. 166, pp. 108252, Dec. 2020.
- [16] C. M. N. Brigante, N. Abbate, A. Basile, A. C. Faulisi, and S. Sessa, “Towards miniaturization of a MEMS-based wearable motion capture system,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 8, pp. 3234–3241, Aug. 2011.
- [17] C. Treffers and L. van Wietmarschen, “Position and orientation determination of a probe with use of the IMU MPU9250 and a ATmega328 microcontroller,” Bachelor thesis, Electrical Engineering, Delft University of Technology, Netherlands, 2016.
- [18] “Sparkfun Kit. (2010, June 16). *Flex Sensor Data Sheet '10* [Online]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SpectraFlex2inch.pdf>.
- [19] M. Bálský, M. Kozlok, and R. Bayer, “Application of Arduino platform for light field analysis,” in *7th Lighting Conference of the Visegrad Countries, LUMEN V4*, Trebic, Czech, Nov. 2018, pp. 1–4.
- [20] A. Bujnowski *et al.*, “Smart weighing scale with feet-sampled ECG,” in *Proceedings: IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Washington DC, USA, Dec. 2018, pp. 3286–3291.
- [21] Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Mikroişlemciler Laboratuvarı. (2017, 6 Ekim). *Arm Mimarisi ve Uygulamaları* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/bilgisayar_a7670.pdf.

[22] S. Wang, Z. Mao, C. Zeng, H. Gong, S. Li, and B. Chen, "A new method of virtual reality based on Unity3D," in *18th international conference on Geoinformatics*, Beijing, China, 2010 pp. 1–5.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for Malware Detection by Using CICMalDroid2020 Dataset¹

 Yusuf SÖNMEZ^a,  Meltem SALMAN^{b,*},  Murat DENER^c

^a Department of Computer Technologies and Cyber Security, Faculty of Information and Telecommunication Technologies, Azerbaijan Technical University, Baku, AZERBAIJAN

^b Turkish Aerospace Industries, Ankara, TURKEY

^c Department of Information Security Engineering, Institute of Science, Gazi University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: meltem.salman@tai.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.1018223

ABSTRACT

In parallel with the developments in technology, access to information has become easier. Although this situation has a positive effect on our lives, it is an inevitable fact that information has become a target by malicious people. Theft of information and its use as a threat by these people have caused concerns about information security. Malware developed for these purposes poses a great danger to the security of information. In the face of this situation, which increases as access to information becomes easier, researchers have accelerated their work on detecting and preventing malware and ensuring information security. In the literature, it is seen that the detection of malicious software has been carried out with different studies. In this study, malware detection was carried out using the WEKA program. The effects of different machine learning classifiers, feature extraction and the parameters that affect the performance of the classification that gives the best result were examined in the analyzes made with the CICMalDroid2020 dataset. The results are presented in detail.

Keywords: Malware detection, CICMalDroid2020, WEKA, Machine learning

CICMalDroid2020 Veri Kümesi Kullanılarak Kötü Amaçlı Yazılım Tespiti için Makine Öğrenimi Algoritmalarının Performans Analizi

ÖZ

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak bilgiye erişim kolaylaşmıştır. Bu durumun hayatımıza pozitif etkisi olsa da bilginin hedef haline geldiği kaçınılmaz bir gerçektir. Kötü amaçlı kişiler tarafından bilgilerin çalınması, tehdit unsuru olarak kullanılması bilgi güvenliği konusunda endişelere sebep olmuştur. Bu amaçlarla geliştirilen kötücül yazılımlar, bilginin güvenliği açısından büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Bilgiye erişim kolaylaştıkça artan bu durum karşısında araştırmacılar, kötücül yazılımların tespiti, engellenmesi ve bilgi güvenliğinin sağlanması konusunda çalışmalarına hız kazandırmışlardır. Literatürde, farklı çalışmalar ile kötücül yazılımların tespiti gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada ise, kötücül yazılım tespiti WEKA programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CICMalDroid2020 veri seti ile yapılan analizlerde, farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcılarının, özellik çıkarımının ve en iyi sonucu veren sınıflandırmanın performansını etkileyen parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, detaylı bir şekilde aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kötücül yazılım tespiti, CICMaldroid2020, WEKA, Makine öğrenimi

¹ The part of this study was presented as an oral presentation in ICAIAME 2021.

I. INTRODUCTION

Information is a concept that is easier to access today and becomes a target, as it gets easier. This situation causes the threat of information and once again brought the importance of information security to the agenda. One of the remarkable issues of in the last decades is the malware detection for Android systems. It is seen that there are many studies in the literature to ensure the security of information and to detect malicious approaches. Some of these are studies using machine learning. Some studies in the literature are mentioned below.

Martin et al. [1] examined upwards of 80 000 applications for Android system that were tagged as malware with at least one antivirus (AV) engine, and about 260 000 malware signatures. In their study, 41 malware families were identified and relationships between these were examined. Based on these relationships, they have seen that some are marked as 'Unknown' while many of them are labeled as Adware truly hazardous malicious applications. It is stated that thanks to Graphics Community Algorithms and Machine Learning, such Unknown applications can further unify dissimilar AV detections to classify as Adware or Malicious risks with the use of Machine Learning and Graphics Community Algorithms.

Wu et al. [2] have proposed a system for Android to detect malwares that offers correct classification and sensitive data transfer analysis by using machine learning approach. A detailed analysis was carried out to extract API-level features related to the data flow and to improve the nearest neighbor classification model. Using a total of 2210 samples, 1160 of which were benevolent and 1050 were malicious, they concluded that their system had an accuracy of 97.66%.

Martinelli et al. [3], based on the malware HummingBad, performed malware detection analysis for Android with two different methods. The first method is machine learning. The other method is model control based approach. These two methods evaluated the results.

Surendran et al. [4] proposed a hybrid malware detection system which bases Tree Augmented Naive Bayes (TAN). They used conditional dependencies between related dynamic and static features (system and API calls, permissions) needed for an application's the functionality. Three ordered logistic regression classifiers are trained, corresponding to system and API calls, and permissions. Their output were modeled as TAN for determination if the application is malicious. They concluded that the suggested system could detect malwares with 0.97 accuracy.

Razgallah et al. [5] investigated malware detection for Android applications by using fundamental mechanisms and approaches. They identified the advantages and disadvantages of each approach and proposed research paths to advance knowledge on this topic.

Wang and Li [6] used weight-based detection (WBD) to categorize and understand the characteristics of Android malware and harmless applications. They examined 112 core attributes of executing task data structure in Android system and evaluated detection accuracy with a set of datasets of various sizes.

Milosevic et al. [7] presented two machine learning supported approaches to perform static analysis of Android malware. They based on permissions and source code analysis (by utilizing the word bag representation model). For both approaches, they reached 95.1% F-score and 89% F-measurement for two classification models, source code-based and permission-based, respectively.

Bai et al. [8] studied about which approach is better to classify for malware family. For three common Android malware datasets, five multiclassification methods were designed for prediction of the Android malware family. They have created 250 common features which shared by Android malware. Also, they investigated transfer learning effect for adapting the model to three malware datasets.

Rehman et al. [9] offered a hybrid method to detect malware in Android applications. It is stated that for Android Applications, the suggested method considers both heuristic and signature based analysis. Reverse engineering were used for extraction of binaries and manifest files. Machine learning algorithms such as classifiers such as as Decision Tree, SVM, KNN, and W-J48 were preferred for malware detection. SVM for binaries and KNN for manifest.xml files have been found to be the most suitable options. It was concluded that the proposed hybrid model reached improved accuracy to detect malware.

Chen et al. [10] machine learning methods and combined network traffic analysis to detect malware. They said that a small portion of the network traffic created by malicious applications is dangerous and most of it harmless. For this reason, they found that when the traffic model leans towards modeling innocuous traffic, it causes an unstable data problem and used unbalanced classification methods including SVM (support vector machine) and SMOTE (synthetic minority oversampling technique), SVMCS (SVM cost sensitive) and C4.5CS (C4.5 cost sensitive)to solve the problem. At the same time, they proposed to utilize the imbalanced data gravity-based classification (IDGC) algorithm for classification unbalanced data in order to avoid performance degradation.

In this paper, analyzes were carried out with machine learning using WEKA software for the detection of malware. In the second part, there is a literature review. The next one includes dataset, the mathematical expression of the evaluation criteria and the WEKA program are given. In the fourth part, the studies carried out and the findings obtained are discussed in detail. The comparison of machine learning classifiers, the effect of feature extraction, the effects of distance criterion and number of neighborhoods for KNN classifier are examined. In the last section, the studies are briefly evaluated.

II. MATERIAL AND METHOD

In this paper, the data set CICMalDroid2020 [11] (CIC: Canadian Institute for Cybersecurity) was used. Mahdavifar et al. [11] stated that they collected more than 17341 samples from different sources including Contagio security block, MalDozer, VirusTotal, AMD datasets during the dataset collection phase. Because of their analysis, they determined the number of properly working samples as 13077 out of 17341 samples. After the data collection process, which lasted from December 2017 to December 2018, they categorized the data according to whether it is malware or not, and if it is malicious, what type it is. As a result, they obtained a set containing 11598 data with a total of 5 categories. The dataset has 9803 malware, including Adware, Banking Malware, SMS Malware, and Mobile Riskware. Its benign number is 1795 and it is in the benign software category. In addition, they presented two different sets of 470 and 139 extracted features. In this study, the authors' datasets with 470 extracted features were used. Detailed information about the data set is given in Table 1.

Table 1. CICMalDroid2020 dataset categories.

Adware	Banking Malware	SMS Malware	Mobile Riskware	Benign	Total
1253	2100	3904	2546	1795	11598

The analysis of the dataset using machine-learning classifiers was carried out with the WEKA program which was developed at the University of Waikato. It is abbreviation for Waikato Environment for Knowledge Analysis. This code, which is a JAVA open source library, contains an algorithm that can be applied to devices with Android operating system [12]. In the classification results made with WEKA, False Positive Ratio (FPR), True Positive Ratio (TPR), Precision, Recall, F-Measure etc. values are given. These values are an important criterion in interpreting the results. TPR, correctly defined data; FPR, misidentified data; Precision is expressed as the ratio of the correct data of a category to the incorrect data of that category and is formulated as follows [11],[12].

$$TPR = \frac{TP}{FN+TP} \tag{1}$$

$$FPR = \frac{FP}{TN+FP} \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$F - Measure = \frac{2*TP}{2*TP+FP+FN} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{TP}{FN+TP} \quad (5)$$

$$Accuracy (\%) = \frac{TN+TP}{TP+FN+FP+TN} * 100 \quad (6)$$

The path followed in the study is given in Figure 1. Up to this point, the dataset and WEKA evaluation criteria are included. The next steps are covered in the 'Results and Discussion' section in detail.

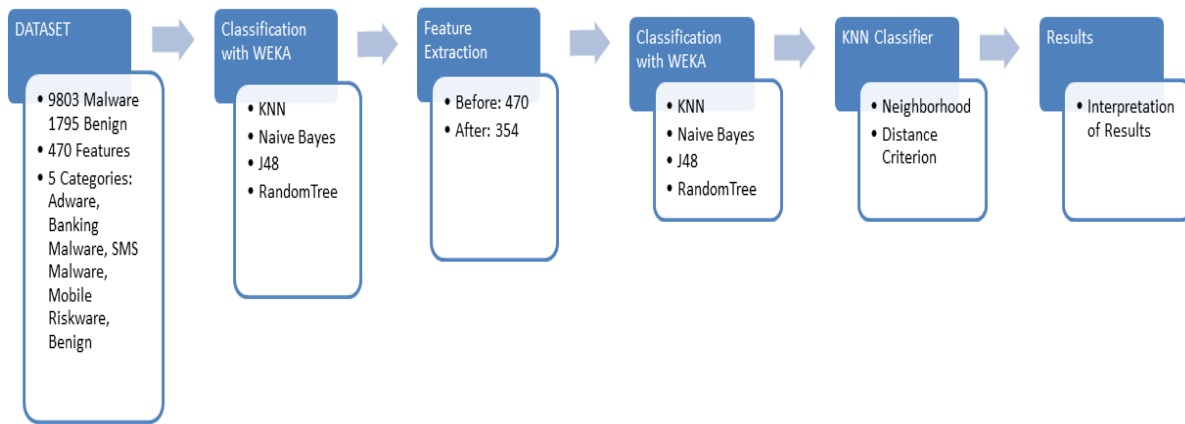


Figure 1. Flow chart of study.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, in which analyzes were carried out for the detection of malicious software, primarily the dataset was provided. Then, the CICMalDroid2020 dataset with 470 features was first analyzed using the machine learning (ML) classifiers as KNN, Naive Bayes (NB), J48 and RandomTree (RT) algorithms. After, feature extraction was performed and the results were compared with the same ML classifiers. The effect of different parameters was examined by using the algorithm that gave the best results.

A. EFFECTS OF ALGORITHMS

When the literature is examined, it is seen that ML algorithms are frequently used in malware detection. Within this scope, 4 different classifiers, namely KNN, NB, J48 and RT, are included in the study. Classification results using the WEKA program are given in Figure 2. In the evaluation of success made using the accuracy percentage, it is seen that the KNN classifier is the algorithm that gives the best result with a success rate of 91.5%. The lowest success is the RT algorithm with 71.1%. Results for J48 and NB are 87.5% and 80.5%, respectively. In Figure 3, TPR, FPR, etc. given in WEKA analysis outputs. The results of the criteria are given. All classifiers, Category 3, SMS Malware, appear to have high accuracy. This result is in line with the findings obtained from the study [11].

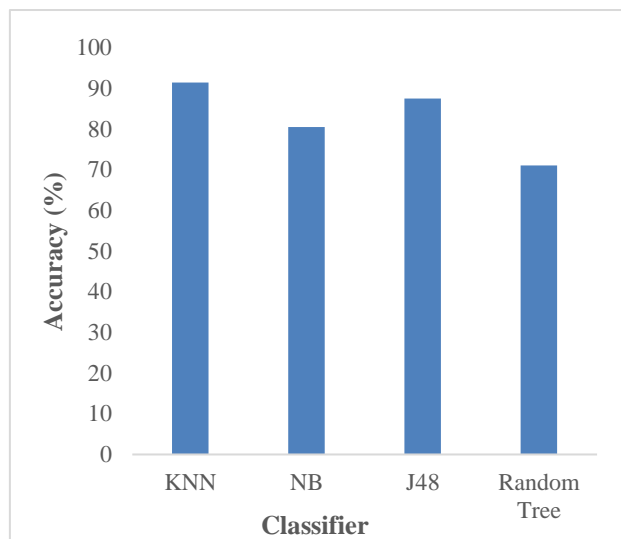


Figure 2. Classifier accuracy.

		TPR	FPR	PRECISION	RECALL	F-MEASURE	ACCURACY (%)
KNN	1	0.889	0.025	0.811	0.889	0.848	91.4554
	2	0.918	0.018	0.918	0.918	0.918	
	3	0.991	0.03	0.943	0.991	0.966	
	4	0.911	0.024	0.916	0.911	0.914	
	5	0.768	0.011	0.926	0.768	0.84	
NB	1	0.737	0.063	0.587	0.737	0.654	80.488
	2	0.841	0.077	0.708	0.841	0.769	
	3	0.96	0.07	0.875	0.96	0.915	
	4	0.617	0.004	0.978	0.617	0.757	
	5	0.739	0.032	0.809	0.739	0.773	
J48	1	0.735	0.036	0.71	0.735	0.722	87.4978
	2	0.852	0.019	0.91	0.852	0.88	
	3	0.983	0.044	0.919	0.983	0.95	
	4	0.841	0.027	0.898	0.841	0.869	
	5	0.813	0.033	0.82	0.813	0.816	
RANDOM TREE	1	0.429	0.046	0.533	0.429	0.476	71.0898
	2	0.747	0.062	0.727	0.747	0.737	
	3	0.941	0.135	0.78	0.941	0.853	
	4	0.688	0.076	0.719	0.688	0.703	
	5	0.397	0.058	0.555	0.397	0.463	

Figure 3. Criteria.

In Table 2, the numbers of data classified according to categories are given. Category 1 (Adware), Category 2 (Banking Malware), Category 3 (SMS Malware), Category 4 (Mobile Riskware) and Category 5 (Benign) are expressed as a, b, c, d and e, respectively. When the two highest results (KNN - 91.5% and J48 - 87.5%) are compared, it is seen that the number of benign software detected in J48 (1459) is higher than that detected in KNN (1379). The sum of the numbers in which each category is correctly classified is 10607 data for KNN. In J48, the correct classification result in all categories is 10181. In short, although the success of detecting benign software in J48 is 81.3% (76.8% for KNN), when the total accuracy percentage is considered, it is seen that KNN is a better classifier under these conditions.

Table 2. Distribution of categories.

	a	b	c	d	e	
KNN	1114	23	33	47	36	a
	48	1927	56	40	29	b
	6	20	3867	10	1	c
	89	55	37	2320	45	d
	117	75	108	116	1379	e
NB	924	151	77	9	92	a
	151	1767	90	10	82	b
	54	89	3746	7	8	c
	285	299	260	1571	131	d
	160	189	109	10	1327	e
J48	921	47	39	100	146	a
	99	1790	107	48	56	b
	11	20	3836	16	21	c
	149	73	85	2142	97	d
	117	36	105	78	1459	e
RANDOM TREE	538	140	188	195	192	a
	82	1569	236	115	98	b
	43	82	3674	56	49	c
	144	148	270	1751	233	d
	202	218	343	319	713	e

B. EFFECT OF FEATURE EXTRACTION

Feature reduction is one of the important studies in malware detection studies. In this study, analyzes were performed again by subtracting the 116 features that had the lowest effect on the ranking from the number of 470 features. The results obtained for the KNN, NB, J48 and RT classifiers were compared with the results before feature extraction (Figure 4).

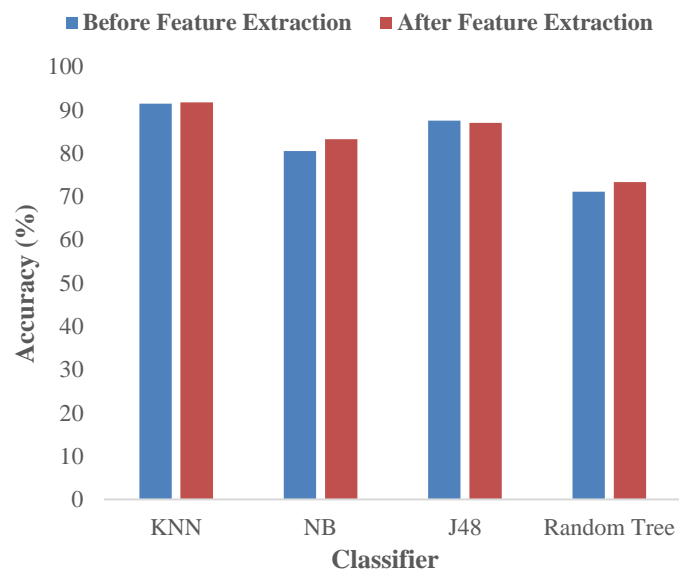


Figure 4. Accuracy comparison before and after feature extraction.

At Figure 4, the change in accuracy for the KNN classifier after feature extraction was minimal. The greatest increase in the accuracy of the results was observed for NB. Contrary to the others, there is a small decrease in J48.

In the analyzes made so far, the success of different classifiers and the effect of feature extraction in malware detection have been examined. In the comparison, as seen in Figure 4, the malware was tagged with the best KNN classifier. Based on this achievement, analyzes were made for the KNN classifier and 354 features in the next parts of the study.

C. EFFECT OF NEIGHBORHOOD AND DISTANCE CRITERION

According to the findings from the study, KNN is the best performing classifier in malware detection among other classifiers. Based on this information, new analyzes were made by changing the number of neighborhoods (k) and distance criteria parameters in the KNN algorithm. The aim is to observe the change of in accuracy by trying different parameters in the algorithm where the best classification is obtained.

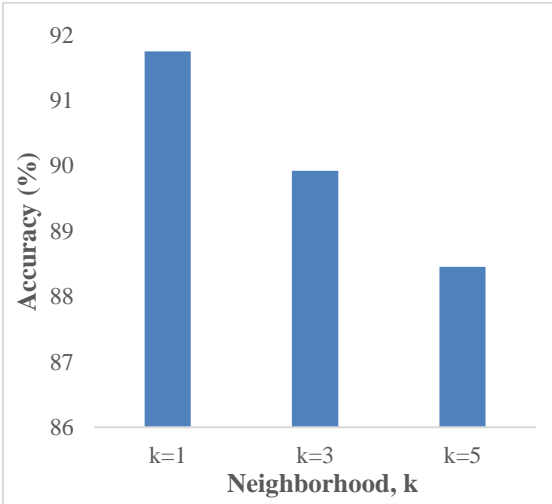


Figure 5. Neighborhood effect.

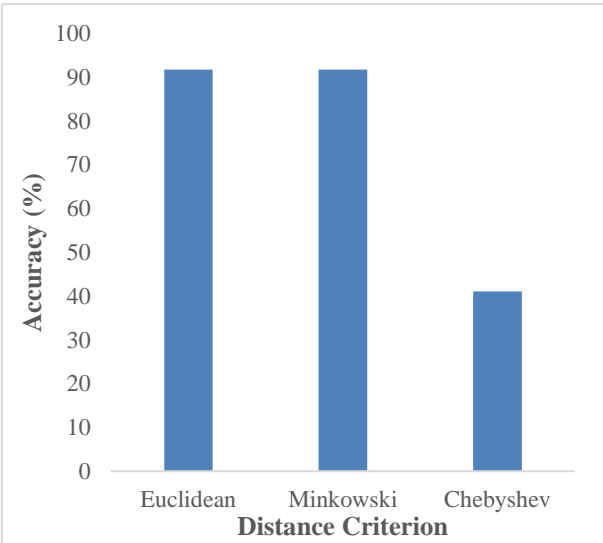


Figure 6. Distance criterion effect.

In Figure 5, the effect of the number of neighborhoods for the KNN classifier is examined. It is seen that the increase in k has a negative effect on performance in malware detection. Figure 6 shows the results of the distance criterion parameter in the KNN classifier for malware detection. Until this section, the Euclidean distance criterion has been used in all studies with the KNN classifier. When Minkowski and Chebyshev distance measures are used, it is observed that the results of the study with the Minkowski distance criterion and the study with the Euclidean are the same. When analyzed with Chebyshev, it was concluded that his performance was worse (about 50%) than Euclidean.

IV. CONCLUSION

The information age we live in has brought along some problems as well as providing great convenience for humanity. As the access to information, technology and internet became easier, malicious use also emerged. In parallel with the increase in these threats, which pose a great danger to information security, prevention and detection activities in these areas have also accelerated. In the field of information security, malware detection studies, which are also frequently encountered in the academic world, are conducted to identify threats developed with malicious intent. In this study, it has been tried to determine the malware, which is an important issue in terms of information security, by using the ML classifiers in the WEKA program.

In the analyzes performed using the CICMalDroid2020 dataset, the success rates of different classifiers were examined. The two best classification achievements are KNN and J48, respectively. Despite the higher detection of benign software in J48, KNN performed better overall. An increase in the percentage of success in malware detection studies is associated with accurate detection of malware. Labeling benign software as malicious software can lead to financial and time losses. However, since the labeling of malicious software as benign will cause greater damage, the most basic target is the studies for the correct labeling of malware. In this context, it is seen that malware tagging is more accurate with KNN than with J48. In addition, the effect of feature extraction in addition to classifier performance is also investigated. According to the findings obtained from these two studies, the best classification success (before and after feature extraction) belongs to the KNN algorithm. Therefore, in the next stages, the distance criterion and the change in the number of neighborhoods, which are the parameters that will affect the success performance, were examined in the KNN algorithm. It was found that the results of the Minkowski and Euclidean distance measures were the same, while the performance of the Chebyshev distance criteria was halved. Finally, it is seen that the increase in the number of neighbors does not provide the desired success in detecting malware.

Shortly, in this age where information is under threat, it is of great importance to identify and prevent these threats. The detection of software made with malicious intentions is one of the shining areas of recent years. With the study prepared within this scope, analyzes were made with the dataset containing malicious (4 different categories) and benign software, and the labeling of benign-malicious was made. There are many studies in the literature regarding the correct labeling of malware. This study, on the other hand, enriches the literature in terms of examining the effect of classifier, feature extraction in malware detection with the CICMalDroid2020 dataset and the effect of KNN parameters on performance based on the results obtained.

V. REFERENCES

- [1] Martín, J. A. Hernández and S. de los Santos, "Machine-Learning based analysis and classification of Android malware signatures," *Future Generation Computer Systems*, vol. 97, pp. 295–305, 2019.
- [2] S.Wu, P. Wang , X. Li and Y. Zhang, "Effective detection of android malware based on the

usage of data flow APIs and machine learning,” *Information and Software Technology*, vol. 75, pp. 17–25, 2016.

[3] F. Martinelli, F. Mercaldo, V. Nardone, A. Santone and G. Vaglini, “Model checking and machine learning techniques for HummingBad mobile malware detection and mitigation,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2020.

[4] R. Surendran, T. Thomas and S. Emmanuel, “A TAN based hybrid model for android malware detection,” *Journal of Information Security and Applications*, vol. 54, 2020.

[5] A. Razgallah, R. Khoury, S. Hallé and K. Khanmohammadi, “A survey of malware detection in Android apps: Recommendations and perspectives for future research,” *Computer Science Review*, vol. 39, 2021.

[6] X. Wang and C. Li, “Android malware detection through machine learning on kernel task structures,” *Neurocomputing*, vol. 435, pp. 126–50, 2021.

[7] N. Milosevic and A. Dehghantanha, “Choo KR. Machine learning aided Android malware classification R,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 61, pp. 266–74, 2017.

[8] Y. Bai, Z. Xing, D. Ma, X. Li and Z. Feng, “Comparative analysis of feature representations and machine learning methods in Android family classification,” *Computer Networks*, vol. 184, 2021.

[9] Z. U. Rehman, S. N. Khan, K. Muhammad, J. W. Lee, Z. Lv, S. W. Baik, et al. “Machine learning-assisted signature and heuristic-based detection of malwares in Android devices,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 69, pp. 828–41, 2018.

[10] Z. Chen, Q. Yan, H. Han, S. Wang, L. Peng, L. Wang, et al. “Machine learning based mobile malware detection using highly imbalanced network traffic,” *Information Sciences*, 2018.

[11] S. MahdaviFar, A. F. Abdul Kadir, R. Fatemi, D. Alhadidi and A. A. Ghorbani, “Dynamic Android Malware Category Classification using Semi-Supervised Deep Learning.” Proceedings - IEEE 18th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, IEEE 18th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, IEEE 6th International Conference on Cloud and Big Data Computing and IEEE 5th Cyber Science and Technology Congress, DASC/PiCom/CBDCCom/CyberSciTech 2020.

[12] D. Rathi and R. Jindal, “DroidMark: A Tool for Android Malware Detection using Taint Analysis and Bayesian Network,” *International Journal on Recent Trends in Computing and Communication*, vol. 6, pp. 71-76, 2018.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Android Malware Analysis and Benchmarking with Deep Learning¹

 Taylan Kural ^{a,*},  Yusuf SÖNMEZ ^b,  Murat DENER ^a

^a Information Security Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara, TURKEY

^b Faculty of Information and Telecommunication Technologies, Azerbaijan Technical University, Baku, AZERBAIJAN

* Corresponding author's e-mail address: taylan.kural@gazi.edu.tr

DOI: [10.29130/dubited.1015654](https://doi.org/10.29130/dubited.1015654)

ABSTRACT

Android operating system has been widely used in mobile phones, televisions, smart watches, cars and other Internet of Things applications with its open source structure and wide application market. This widespread use and open-source nature make this operating system and its devices easy and lucrative targets for cyber attackers. One of the most used methods often preferred by attackers is to install malware applications on user devices. As the number of malware programs is increasing, the traditional methods can be insufficient in detecting. Machine learning-based and deep learning-based methods have achieved promising results in malware detection and classification. Deep learning-based methods have an increasing use in malware detection, thanks to the low need for domain expertise and their feature extracting capabilities. Convolutional neural networks (CNN) are popular deep learning methods that are widely used in visual analysis of malware by transforming them to images. In this study, a batch fine-tune transfer learning method was proposed and used on popular CNN models, Xception, ResNet, VGG, Inception, MobileNet, DenseNet, NasNet, EfficientNet. According to the results, the models were analyzed and compared with metrics like accuracy, specificity, recall, precision, F1-score.

Keywords: Deep learning, Android malware analysis, Image analysis

Derin Öğrenmeyle Android Kötücül Yazılım Analizi ve Kıyaslanması

ÖZ

Android işletim sistemi, açık kaynak olan yapısı, geniş uygulama marketiyle telefonlarda, televizyonlarda, saatlerde, arabalarda ve diğer nesnelerin interneti uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanım ve açık kaynak yapısı, kötüçül niyet barındıran saldırganlar için bu işletim sistemini ve sahip olduğu cihazları kolay ve kazançlı hedefler haline getirmektedir. Saldırganlar tarafından sıklıkla tercih edilen bir yöntem de kötüçül yazılım uygulamalarının kullanıcı cihazlarına yüklenmesidir. Bu yazılımların sayıları gün geçtikçe artmakta, kötüçül yazılımları tespitinde geleneksel yöntemler yetersiz kalabilmektedir. Kötüçül yazılım tespitinde makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı yöntemler umut veren sonuçlar elde etmişlerdir. Özellikle derin öğrenme tabanlı yöntemler, alan uzmanlık bilgisi gereksiniminin azlığı ve kendi kendine özellik çıkarabilen yapıları sayesinde, kötüçül yazılım tespitinde artan bir kullanıma sahiptirler. Kötüçül yazılımların görsel imajlara dönüştürülerek bu imajlar üzerinde CNN tabanlı derin öğrenme modelleriyle görsel kötüçül yazılım analizleri gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, popüler CNN modelleri olan Xception, ResNet, VGG, Inception, MobileNet, DenseNet, NasNet, EfficientNet sunulan toplu ince ayar öğrenim aktarma yöntemiyle eğitilmiş ve elde edilen sonuçlara göre modeller doğruluk, kesinlik, geri çağırma, hassaslık, F1 skoru metriklerine göre kıyaslanmıştır.

¹ The part of this study was presented as an oral presentation in ICAIAME 2021.
Received: 27/10/2021, Revised: 13/12/2021, Accepted: 18/12/2021

I. INTRODUCTION

Android mobile operating system since 2008 its debut with the HTC Dream, has been in development and change. This change has been also changing the World with the advent of smartphones. The fact that smartphones can be more useful by installing applications, the emergence of new applications targeting mobile phones, especially communication (like chatting, social media etc.). The creation of billion-dollar economies by these applications makes smartphones an integral part of daily life, both at the level of personal and corporate users. As the devices become more connected to the network, the users become more connected to their devices. All these developments have caused newly established enterprises and old companies to want to take part in the mobile application markets, thus wanting to be in constant contact with their users, and for this reason, they have changed their digital representations, which will serve their customers, from a web-first approach to a mobile-first approach. These may be indicators of a paradigm shift to a mobile-centric life. The Android operating system, which started its journey with smartphones, continues with cars, televisions, watches, tablet computers and other Internet of Things applications, and today it is called the Android ecosystem.

This change should also be followed and evaluated in terms of cybersecurity and information security. While the increasing use of mobile services in private and public institutions makes user lives easier, a large amount of personal and sensitive data is generated during the process. While banking applications were very few in the first years of smartphones, the term “mobile banking” is being highly used today. Banks are shifting their services to mobile. Especially with the ongoing Covid-19 pandemic that started in 2019, it becomes less preferable to receive and provide services from physical branches. As the emergence of new technologies brings new concepts such as blockchain and cryptocurrency into our lives, mobile wallets are the places where these new commodities are stored. Similarly, concepts such as in-app purchases, mobile payments, and near-field contactless payments have taken a place in our lives. These developments lead mobile devices to become the center of economic activities, and along with the communication capabilities of the devices, they can also become the center of our lives depending on the situation. This situation makes mobile environments a lucrative and attractive target for cyber attackers.

Although it took 2 years for the first known malware, FakePlayer [3], to appear in the Android operating system, after made its debut in 2008, today it takes its place in hundreds of new malware systems every year. In a recent report published by Malwarebytes in 2021 [4], stated that over the years, the detection of malware is become more difficult and silent, and trickier. In the same report, the amount of detection of the adware named “HiddenAds” in 2019 is increased nearly 2.5 times, from 288,704 to 704,418. The report shows that adware programs are still quite easy and lucrative “business” areas for cyber attackers. Another point that draws attention in the report is the huge increase in fake banking applications. While the amount of BankBot malware detected is 5,025 in 2019, it has increased to 198,031 in 2020. In Covid19 pandemic, it’s clear that new business opportunities are emerging for cyber attackers. It would not be wrong to think that with the banking services changing to mobile, more people will be affected by these attacks. The threat of Risk software, a new category that has emerged in recent years, is getting worse and worse, as stated in the same report. Threats that remain on the device despite the factory reset are indicated in the report. Also, it is stated that there is cooperation among the malware programs. If a malware has infected a device, it installs other malware programs to the device over time. The report states that the panic and fear caused by the Covid-19 pandemic is used by attackers for social engineering attacks. This shows that attackers develop new methods and techniques according to new events and

trends and strengthens the claim that the mobile ecosystem is attractive to attackers and worth investing in.

Android is unrivaled on its own. It's an open-source operating system which is used by many manufacturers all around the world. There are more than 3 billion Android devices worldwide by 2021[5]. But this freedom creates another security problem, because the devices in the ecosystem cannot get security updates from the manufacturer. The Android operating system is being updated frequently, announcing a new version almost every year. As of the date of this article, the latest version is Android 11 operating system, Android 12 will be released soon, but only a small of number of devices are lucky enough to get this new update. With the Google support policy to suspend "old" versions of Android operating systems for nearly three years periods, billions of devices will be insecure and easy targets for attackers. The Google Transparency Report [6] confirms this. According to this report published by Google, which reports the status of current roaming devices, the rate of devices that came out and received updates in the last 90 days in the last two years was announced as 62% in January 2019, and 90% in June 2021 [Figure 1]. Although there has been an increase in the rates, it should be noted that these rates only cover the devices released in the last two years.

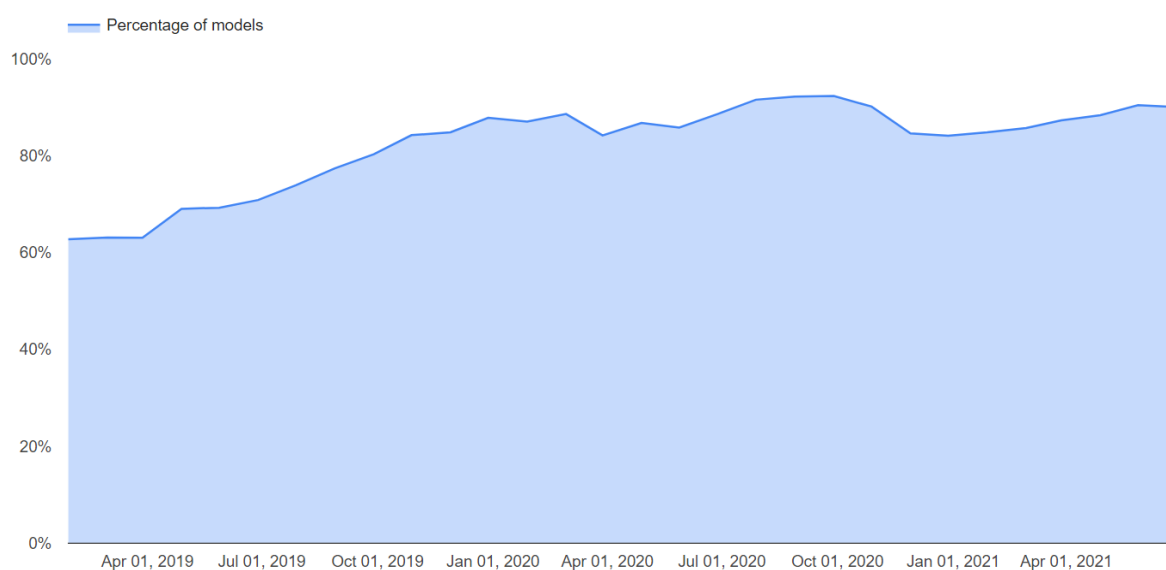


Figure 1. Percentage of models with 90-day security updates [6].

According to the data obtained from Statista [7], the operating system distributions of the current devices are Android 11 17.73%, Android 10 36.47%. Considering that the oldest version released in the last two years is Android 10, almost half of the 3 billion devices will not get security updates from Google in the future. Even if supported versions get security updates, it's up to the manufacturers to deliver updates to devices. As the number of unsupported devices increase, these insecure devices will continue to exist in the Android ecosystem and remain as potential danger in the cyber world with their security vulnerabilities. When all these issues are evaluated, mobile devices that do not receive updates threaten cyberspace, just as garbage thrown into space or old satellites threaten real space.

With the increase in threats, many solutions have been proposed to solve these problems, but the most promising are machine learning and deep learning applications. Especially, deep learning models as most of them have self-feature-extracting capabilities. Convolutional neural networks (CNN) are popular deep learning methods that have been widely used in visual analysis. By transforming malware to images, it's possible to use CNNs for detection and classification of malware applications.

The main purpose of this paper is comparing the performance of the CNN models in Android malware analysis. For this reason, a new method is proposed. As researchers present new CNN models, the number of publicly available pre-trained models are increasing. While using a fine-tune transfer learning approach manually on a small number of CNN models may not be challenging, as the number of the models increase, using the manual approach could be a challenge. The proposed method offers a

solution to this problem by training models in a batch instead of manual approach. The method also gives insight into models' fine-tune transfer learning performance in the problem domain, which could be useful for researchers and developers for selecting the right CNN pre-trained model for the problem. We couldn't find any batch fine-tune transfer learning approach in the literature. To the best of our knowledge, the proposed method is one of the first, if not the first. In this paper, the proposed method is used for benchmarking popular CNN models' fine-tune transfer learning performance of Android malware detection and classification. The results show the best possible models for different problem settings, which could be useful for domain researchers and developers.

The contributions of this study are as follows:

- DroidMalImg visual dataset was created from the CICMalDroid2020 [1] dataset and made available for open access. [2]
- Popular convolutional neural network models were trained with our proposed batch fine-tune transfer learning method and their performances were compared.

II. RELATED WORKS

Malware analysis is the study of detecting and classifying malware. Detection studies include a binary classification as malicious, benign, while classification studies are studies of various classes, such as categorical, familial. Malware analysis is performed manually or with the help of various tools by people with domain knowledge and expertise. This slows down the analysis work considerably and delays the rapid and on-site response to increasing threats. In recent years, with technological developments, especially with the increasing processing capacity of computers and the development of calculation methods based on graphics processing units, machine learning and deep learning studies have gained momentum and become popular in many fields. With AlexNet[8] a convolutional neural network which surpassed its machine learning rivals in the ImageNet[9] a competition on image classification, deep learning applications have gained more popularity in many fields and applications. These new methods and approaches also find their place in Android malware analysis studies.

Convolutional neural networks (CNN), which is a deep learning approach also used in static analysis malware analysis studies, started with LeNeT[10], which was first developed by Yann LeCun et al. In a simple ESA architecture, the image to be introduced is transformed into a matrix, which passes through the convolution layers where the convolution operation is applied. In convolution layers, the features of the image are extracted automatically. The extracted features pass through a s down sampling or up sampling layers. These processes are continued throughout the convolutional layers and differ from architecture to architecture. The resulting feature maps are vectorized in the flatten layer and generate the input values of the fully connected layer. The output layer is a neuron layer with proper activation function to the problem. The visual classification success of CNN algorithms has enabled them to be used not only in visual classification, but also in malware analysis.

In Deep4MalDroid[11], authors extracted smali formatted files from the application files and applied the CNN model on the opcode sequences. In the study, 3 different data sets, 1,260 malicious, 863 benign and 2,475 malicious, 3,627 benign and 9,902 malicious, 9,268 benign were used, and the model obtained 98%, 80%, 87% accuracy, respectively. In MalDozer[12], API call sequences obtained from the ".dex" file were used. Word2vec algorithm was used in the creation of the sequences, and the CNN model was trained with the obtained vector. The model achieved an F1 score of 96.29% on a dataset which contains 37,066 malicious, 37,627 benign samples.

People, who are visual creatures, have transformed the signals they obtained from nature into visual stimuli with various tools. When we think of sound waves, we often think of visual waves that appear on the screen of a music player. Similarly, in oscilloscopes, it provides visualization of electrical signals. Visualization of signals and data in a way that the human eye can perceive with various ways and methods and applying analysis processes on these called visual analysis. Visual analysis studies

are carried out on Android applications by creating images from the whole or part of the application file. CNN models are preferred mostly in the analyzes made on these images because of their proven performance on the image classification and detection. In the study named R2-D2[13] carried out in 2018, classes.dex files extracted from applications which were collected between January 2017 and August 2017. Approximately, 2 million malicious and benign samples were converted into RGB channeled, color images. For coloring the images, the authors used a mapping method that assigns color based on pixel value. In the study, the authors tried the popular CNN models at that time, AlexNet, VGG, GoogleNet, Inception-V3, and achieved the best result with Inception-V3, with 93% accuracy.

Transfer learning approach, which is based on the use of success in one field in another related field, shortens the time spent in the development of new methods and models, and increases the success achieved. In transfer learning, it is aimed to transfer the experience and learning (model weights) gained by the model in a similar problem to a new problem with a little adaptation. With the increase in the number of pre-trained models and the ease of access, transfer learning methods are becoming more preferred in today's studies. In the study conducted in 2020[14], the authors applied the transfer learning method with DenseNet121, DenseNet169, EfficientNetB7, InceptionV3, MobileNet, MobileNetV2, ResNet50, VGG16, VGG19, Xception and their proposed CNN model by converting all application files to grayscale images. The authors, who prepared two types of datasets, used the CICMalDroid2020 dataset to create the dataset. In the data set, which they called balanced which consisted of 10,878 benign and 10,878 malware samples, the CNN model they proposed obtained the highest accuracy with 74%. Although the study used the most CNN models, it was not specified whether models were fine-tuned or not. Model performances can be further increased by fine tuning.

Fine-tuning is a method that is applied at the point where the learning performance of the model does not increase any more. After the model has trained with transfer learning, fine-tuning can help the model to get even better results. In a study called IMCFN[15] conducted in 2020, the authors trained proposed CNN on the ImageNet dataset and then applied transfer learning with fine-tuning method on the datasets consisting of malware images. Both the MalImg dataset, which consists of images of Windows malware, and the Android-IOT dataset, which consists of Android malware, were used for training and testing and samples were classified with 98.82% and 97.35% accuracy, respectively.

III. MATERIALS AND PROPOSED METHOD

A. LAB ENVIRONMENT

All experiments were performed in the Google Colab environment. Google Colab is a Google service that allows interactive software development with a tool like Jupyter Notebooks. Although Colab distributes hardware resources according to availability, experiments were mostly carried out in an environment which has an Nvidia V100-SXM2 graphics processing unit with 16GB VRAM, 51GB system memory and 8 core virtual processor. Models were created with the Tensorflow/Keras v2.6.0 framework. On Tensorflow version 2 and above, the Keras library is now default for creating models. AndroGuard v3.5.5 was used for reverse engineering of Android applications. While preparing the dataset, NumPy v1.19.5 was used for data processing, and Python Image Library (PIL) was used for creating and sizing the images. Seaborn and Matplotlib were used to visualize the test results and draw plots. In order to compare the test outputs and epoch times, the benchmarking software called AI-Benchmark[16] was run in the experimental environment, and a total score of 34,196 was obtained, this value is 35,086 for the same graphics processing unit in the tool's own rankings. For this reason, we estimate that the epoch times will be close to the physical environment.

B. DATASET

In this study, we used the CICMalDroid2020 dataset to create our own image dataset. The dataset is one of the most up to date datasets in the time of this study. In the dataset's paper, authors claimed that all the applications have been collected between 2017 to 2018. It has raw application files open to the public which make it better for preprocessing. In the dataset, there are a total of 17,247 applications, including 1,515 Adware, 2,506 Banking, 4,362 Riskware, 4,822 SMS, 4,042 Benign. CICMalDroid2020 dataset is a categorical dataset and categorizes can be summarized as following:

- **Riskware** programs are malicious applications and will not show their malicious intentions when they are first installed. Through remote commands from their developers, they can install Trojan, ransomware, or use social engineering to force device users to behave as expected. This unknown and dangerous nature makes them difficult to detect.
- **Banking** programs are fake versions of real banking applications which try to empty out users' accounts. By imitating banking applications, they try to gain access to victims' bank accounts. As stated in the dataset paper, most of them are based on Trojan horses that can steal sensitive information and send it to the attacker's command and control server.
- **SMS** malware uses mobile phone SMS services to read, write, or intercept SMS traffic. They can send messages from the victims' device, so can subscribe to premium services without victims' knowledge or consent. Since two-factor authentication or online payment methods mostly use SMS as the second factor of verification, these malwares are one of the most troublesome ones.
- **Adware** programs are malicious software that forces user devices to display unwanted advertisements around the interface. Adware can also be part of a legitimate freemium application. At first, they may seem less malicious when compared to other malware programs, but as recent security reports show that they can download and install other types of malware to users' mobile phones.
- **Benign** applications are the legitimate applications that can be downloaded from the official Android market or third-party stores. As stated in the dataset paper, all benign applications were scanned with VirusTotal by authors.

To use in CNN models, the selected dataset must be transformed to image based one. The steps for transforming dataset to image based one can be summarized as following:

1. First, classes.dex files of applications were extracted from raw APK files with Androguard reverse engineering tool. Dex files are dalvik executable files that have the main logic and codes of the applications.
2. With Numpy, classes.dex files were read byte by byte, as each byte becomes a pixel. Square root of the size of the .dex file was used for the one dimension of the square shaped image matrices. If the square root of file size is smaller than 224, then the minimum dimension is set to 224. Empty cells in the matrices filled by zeros.
3. By using the Python Image Library tool, raw byte matrices were saved as three-channels (RGB) .jpeg files. In this step, all the applications in the dataset were transformed to grayscale jpeg images. The main reason for images to be grayscale is that this method copies one channel (for example red) to others (green, blue).
4. Lastly, because dex files sizes differ from each other, images are in different sizes too. To be used in CNN models, Lanczos algorithm was used to down sample images to 224x224 image sizes.

Examples of final images of the dataset have shown in Figure 2. It's hard for the human eye to recognize the patterns. But benign application patterns seem to be clearer to others. There were 464 corrupted application files in the CICMalDroid2020 dataset which cannot be extracted with the Androguard tool. After preprocessing, 16,783 grayscale images have been created. We named this image dataset as DroidMallmg and made it public[2]. Dataset has been divided into three parts: train, validation, and test. We have randomly sampled 80% of the images for each category and created a

train set, 20% for the validation set and 20% of the validation set sampled for the test set. The distribution of the data set is summarized in Table 1.

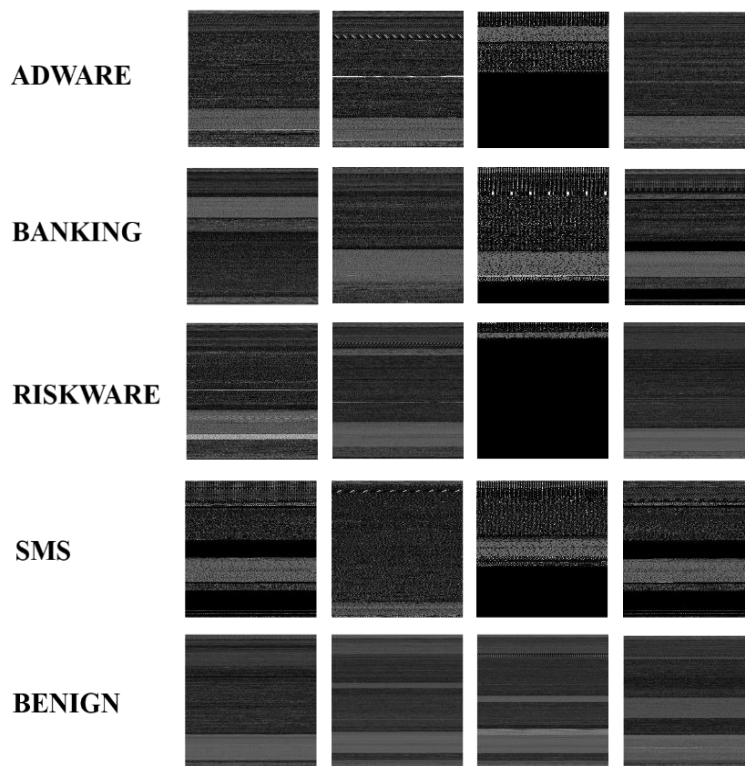


Figure 2. Example images of dataset.

Table 1. DroidMailImg dataset distribution.

Category	Train Set	Validation Set	Test Set	Total
Adware	1,211	242	61	1,514
Banking	2,003	400	101	2,504
Riskware	3,124	624	157	3,905
SMS	3,856	772	193	4,821
Benign	3,231	646	162	4,039
Total	13,425	2,684	674	16,783

C. PROPOSED METHOD: BATCH FINE-TUNE TRANSFER LEARNING

CNN models are one of the popular research areas in deep learning applications. Many of them are publicly available, pre-trained and their numbers are increasing as new models have been proposed. At the time of this writing, there are 25 models publicly available in Tensorflow/Keras library. As the numbers increase it could be useful in some situations to apply the same fine-tune transfer learning method on them, instead of one model. One example for this is comparison, benchmarking of fine-tune transfer learning capabilities of models in the research area. As the number of models increases, it will be better to see which model can do better before investing more time. Another usage could be

ensemble of models, fine-tuned models can be fused together to get even better performance. For these reasons, a method for applying fine-tune transfer learning on more than one model was proposed. The method has two stages, transfer learning and fine-tuning.

C.1. Transfer Learning

Transfer learning is widely used in deep learning applications today. It depends on transferring one domain knowledge to other similar domains. Also transforming one domain to another is a useful method which we use in this paper. By transforming applications to images, malware classification problem turns into an image classification problem.

To use our proposed method, first, we randomly selected a model from the model list which is Xception. We do basic hyper-parameter tuning and customization in this model. Important thing is that tuning and customization should not overfit the model randomly selected. We loaded weights which were pre-trained in ImageNet to the model. Pre-trained base model’s weights were frozen which means training can’t change them. We remove the top layer (output) of the model then replace it with our customized layers (Global average layer, dense layers and dropouts) as shown in Figure 3. ReLU activation function used for fully connected layer neurons and softmax activation function used for output layer. Nadam, which is Adam with Nesterov momentum, was used as model optimizer. Learning rate was set to 0.001. Between neuron layers, a dropout layer was used to avoid overfitting. All image inputs have been preprocessed according to the model needs using Tensorflow. This basic customization and hyper-parameter values applied to all the models in the list. In this stage, only custom added layers are trainable. All the models in the list were trained for 999 epoch with a batch size of 32. Validation accuracy was monitored for early stopping and if not increased in 20 epochs, training was stopped.

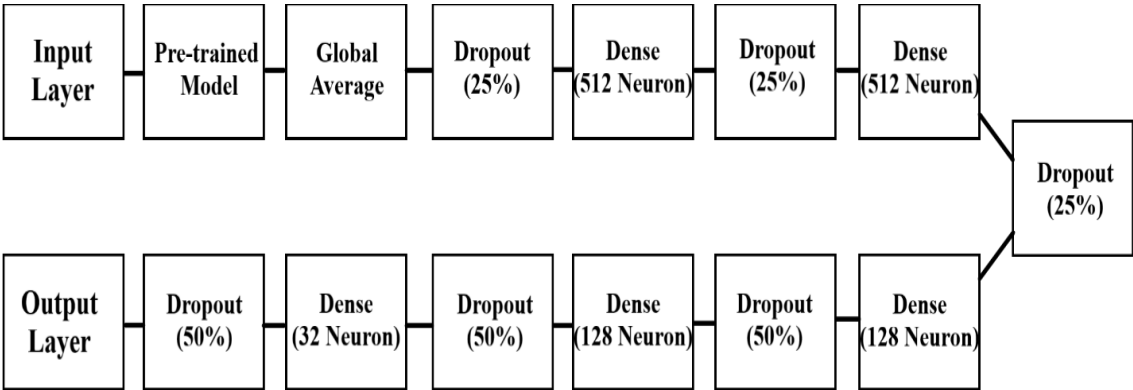


Figure 3. Customized model architecture.

C.2. Fine-Tuning

In the fine-tuning stage, some of the frozen layers of pre-trained models unfreeze. This makes layers trainable again. Main problem in batch fine-tuning is how to unfreeze layers in all models without doing it by hand. If we set a rule to unfreeze the last 5 layers of a pre-trained base model, small models may have a big impact, but other large models may not. To overcome this issue, we proposed a new hyper-parameter value specific to this method which is unfreeze rate. The layers to be unfreeze are determined by multiplying the number of layers of the model by the unfreeze rate. In this paper, the unfreeze rate was set to 15% which means If a model has 100 layers, the last 15 layers will be unfreeze. If the number isn’t an integer, we ceil it to an integer. After unfreezing layers of the models, we trained all the models with the same settings as stage one, 999 epoch, 20 epoch early stopping and batch size is 32. Same optimizer (Nadam) in stage one was used but the learning rate was lowered 0.0001. The number of layers and parameters that are trained in this stage is shown in Table 2.

Table 2. Base models and fine tune information.

Base Model	Total Layers of Base Model	Trainable Layers of Base Model	Total Parameters of Base Model	Total Parameters (with custom layers)	Fine-tuned total parameters (with custom layers)
Xception[17]	132	20	20,861,480	22,259,693	8,724,589
VGG16[18]	19	3	14,714,688	15,326,469	5,331,397
VGG19	22	4	20,024,384	20,636,165	7,691,205
ResNet50V2[19]	190	29	23,564,800	24,963,013	13,482,437
InceptionV3[20]	311	47	21,802,784	23,200,997	7,719,557
InceptionResNetV2[21]	780	117	54,336,736	55,472,805	19,508,325
MobileNet[22]	86	13	3,228,864	4,102,789	2,467,781
DenseNet121[23]	427	65	7,037,504	7,911,429	2,220,933
NASNetMobile[24]	769	116	4,269,716	5,160,025	2,486,453
EfficientNetB1[25]	339	51	6,575,239	7,580,236	4,507,509

IV. MATERIALS AND PROPOSED METHOD

In this section, models have been evaluated by two different approaches. The first approach is to evaluate the categorical classification performance of the models. Since the basis of the study was categorical classification, the sparse categorical accuracy metric was used as the evaluation parameter. The difference from the categorical accuracy metric is that its calculations are not one-hot encoded but use integer output values. The second approach we follow is the adaptation of categorical classification to binary classification which is malware detection. For malware detection, the main issue is whether the analyzed application software is malicious or benign. Riskware, banking, SMS, Adware applications are collected in one class as malware and benign ones in another class. In this way, detection performances of categorical classification models can also be understood. It should be considered that these detection performances are transformations and different results can be obtained if the model is trained for detection from the beginning. Also models fine-tune performance with the proposed method has been evaluated in this section.

A. FINE-TUNE PERFORMANCE OF MODELS

On Figure 4, the point where the fine-tuning training starts is shown with a green line. As seen, the effect of this method on each model is different from each other. The two most positively affected models were InceptionResNetV2 and DenseNet121, with increases of 5.9% and 5% on validation dataset accuracy. On the other hand, the result of the method on MobileNet, VGG16 models was destructive and negatively affected the performance of the models. To avoid this situation, the best model values obtained so far were saved as model weights, and these saved weights were not changed

unless the model reached a better point. In this way, the models were not affected by the destructive effect of the method, so they can only benefit from the positive effect in the fine-tune stage. Another way could be tuning the unfreeze rate of the method. As a result of the training, the models are shown in Table 3 in order, according to the categorical classification accuracy on the validation data set. In the same table, test dataset accuracies are also shown. If the test set wasn't used the best model seems to be Xception with the validation accuracy of 93.62%, but the best model on the test dataset is DenseNet121 with 94.51% accuracy. For better decision, malware detection performance of the models could be checked. The detection performances of the models are shown in Table 4,5. In malware detection, DenseNet121 has clearly shown better performance on both test and validation datasets. As the problem changes, the best model for the problem seems to be changed.

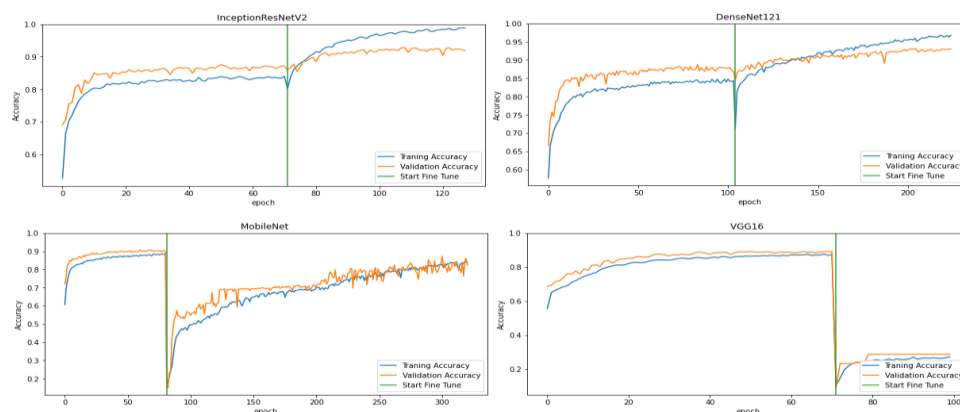


Figure 4. Fine-tune effect on performance of models.

Table 3. Categorical classification performance of models on validation and test dataset.

Model	Transfer Learning Validation Accuracy (%)	Fine-Tune Validation Accuracy (%)	Fine-Tune Test Accuracy (%)	Transfer Learning Total Epochs	Transfer Learning Epoch Time (sec)	Fine Tune Epochs	Fine Tune Epoch Time (sec)
Xception	92.06	93.62	93.91	120	25	81	30
EfficientNetB1	89.41	93.36	93.91	127	19	91	24
VGG19	89.49	93.25	93.17	89	25	162	28
DenseNet121	88.74	93.18	94.51	104	21	121	27
ResNet50V2	91.35	93.10	93.91	94	19	94	24
InceptionResNetV2	87.59	92.80	92.13	71	39	57	48
InceptionV3	88.52	92.43	91.24	94	18	62	21
NASNetMobile	90.64	92.25	92.58	129	20	62	29
MobileNet	90.64	90.64	90.94	81	10	240	11
VGG16	89.23	89.23	90.65	71	21	29	23

Table 4. Malware detection performance on validation dataset.

Model	F1 score (%)	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	True Negative Rate (%)	False Negative Rate (%)	False Positive Rate (%)
Xception	98.50	97.72	98.47	98.52	95.20	1.47	4.79
EfficientNetB1	98.45	97.65	98.38	98.52	94.89	1.47	5.10
VGG19	98.52	97.76	98.76	98.28	96.13	1.71	3.86
DenseNet121	98.57	97.83	98.86	98.28	96.43	1.71	3.56
ResNet50V2	98.30	97.42	98.28	98.33	94.58	1.66	5.41
InceptionResNetV2	98.38	97.54	98.38	98.38	94.89	1.61	5.10
InceptionV3	98.41	97.57	98.09	98.72	93.96	1.27	6.03
NASNetMobile	98.00	96.98	98.32	97.69	94.73	2.30	5.26
MobileNet	97.94	96.90	98.65	97.25	95.82	2.74	4.17
VGG16	97.81	96.68	97.69	97.93	92.72	2.06	7.27

Table 5. Malware detection performance on test dataset.

Model	F1 score (%)	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	True Negative Rate (%)	False Negative Rate (%)	False Positive Rate (%)
Xception	97.85	96.73	97.66	98.04	92.59	1.95	7.40
EfficientNetB1	97.76	96.58	97.10	98.43	90.74	1.56	9.25
VGG19	98.05	97.03	97.49	98.63	91.97	1.36	8.02
DenseNet121	98.05	97.03	97.85	98.24	93.20	1.75	6.79
ResNet50V2	97.57	96.29	97.09	98.04	90.74	1.95	9.25
InceptionResNetV2	97.46	96.14	97.27	97.65	91.35	2.34	8.64
InceptionV3	97.66	96.43	97.28	98.04	91.35	1.95	8.64
NASNetMobile	97.56	96.29	97.46	97.65	91.97	2.34	8.02
MobileNet	96.65	94.95	97.42	95.89	91.97	4.10	8.02
VGG16	97.17	95.69	96.89	97.46	90.12	2.53	9.87

V. CONCLUSION

The number of devices using the Android operating system is increasing day by day, the security update support of the devices lasts for about 3 years for each Android version, but even if the relevant version receives a security update, these updates are not offered by the device manufacturers or are offered late. All these devices are seen as profitable targets for attackers. As stated in the study, these vulnerable devices pose a potential threat in cyberspace, just as old satellites threaten space. Against these threats, studies using machine learning and deep learning are becoming widespread. Deep learning applications, with their ability to extract features, may be more suitable solutions.

As public and pre-trained deep learning models increase, selecting a model for a problem becomes harder. To overcome this issue, we proposed a batch fine-tune transfer learning method which can be used to compare models for their fine-tune transfer learning capabilities in that domain. This method can give researchers, developers insight about overall performance of the models in the problem domain. Before investing more time to model, seeing overall performance could be a good start. In our domain as Android malware analysis, with the proposed method, we trained and compared popular pre-trained CNN models. Both Xception and DenseNet121 got high accuracy results in categorical classification and detection on validation and test datasets.

VI. REFERENCES

- [1] S. MahdaviFar, A. F. Abdul Kadir, R. Fatemi, D. Alhadidi and A. A. Ghorbani, "Dynamic Android Malware Category Classification using Semi-Supervised Deep Learning," *2020 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech)*, 2020, pp. 515-522.
- [2] T. Kural, Y. Sönmez and M. Dener. (2021, September 5). *DroidMalImg Dataset* [Online]. Available:https://drive.google.com/drive/folders/1b70zhVMEnlfv2UC_56Q9PzwXUhSXw58u?usp=sharing
- [3] Kaspersky. (2010, August 9). *First SMS trojan detected for smartphones running Android* [Online]. Available: https://www.kaspersky.com/about/press-releases/2010_first-sms-trojan-detected-for-smartphones-running-android.
- [4] Malwarebytes. (2021). *State of Malware* [Online]. Available: https://go.malwarebytes.com/rs/805-USG-300/images/MWB_StateOfMalwareReport2021.pdf.
- [5] A. Cranz. (2021, May 18). *There are over 3 billion active Android devices* [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2021/5/18/22440813/android-devices-active-number-smartphones-google-2021>.
- [6] Google. (2021). *Google transparency report* [Online]. Available: <https://transparencyreport.google.com/>.
- [7] S. O'Dea. (2021, Jun 30). *Mobile Android version share Worldwide 2018-2021* [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/921152/mobile-android-version-share-worldwide/>.
- [8] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Lake Tahoe, NV, United States, 2012, pp. 1097-1105.

- [9] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. Li, Kai Li and Li Fei-Fei, "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Miami, FL, United States, 2009, pp. 248-255.
- [10] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, 1998.
- [11] S. Hou, A. Saas, L. Chen and Y. Ye, "Deep4MalDroid: A Deep Learning Framework for Android Malware Detection Based on Linux Kernel System Call Graphs," *2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence Workshops (WIW)*, Omaha, NE, United States, 2016, pp. 104-111.
- [12] E. M. B. Karbab, M. Debbabi, A. Derhab, and D. Mouheb, "MalDozer: Automatic framework for Android malware detection using deep learning," *Digital Investigation*, vol. 24, pp. S48-59, 2018.
- [13] T. H. Huang and H. Kao, "R2-D2: ColoR-inspired Convolutional NeuRal Network (CNN)-based Android Malware Detections," *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Seattle, WA, United States, 2018, pp. 2633-2642.
- [14] M. Al-Fawa'reh, A. Saif, M. T. Jafar and A. Elhassan, "Malware Detection by Eating a Whole APK," *2020 15th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, London, United Kingdom, 2020, pp. 1-7.
- [15] D. Vasan, M. Alazab, S. Wassan, H. Naeem, B. Safaei, and Q. Zheng, "IMCFN: Image-based Malware classification using fine-tuned convolutional neural network architecture," *Computer Networks*, vol. 171, p. 107138, 2020.
- [16] A. Ignatov, R. Timofte, A. Kulik, S. Yang, K. Wang, F. Baum, M. Wu, L. Xu, and L. Van Gool, "AI Benchmark: All About Deep Learning on Smartphones in 2019," *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, Seoul, Korea, 2019, pp. 3617-3635.
- [17] F. Chollet, "Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions," *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, United States, 2017, pp. 1800-1807.
- [18] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," *The 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR2015)*, San Diego, CA, United States, 2015, pp. 1-14.
- [19] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Identity mappings in deep residual networks," *European conference on computer vision (ECCV)*, Amsterdam, The Netherlands, 2016, pp. 630-645.
- [20] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, "Rethinking the Inception architecture for computer vision," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, United States, 2016, pp. 2818-2826.
- [21] C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke, and A. A. Alemi, "Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning," *In Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence*, San Francisco, CA, United States, 2017, pp. 4278-4284.
- [22] A. G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, and H. Adam, "Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications," arXiv preprint arXiv:1704.04861, 2017.

- [23] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, United States, 2017, pp. 4700-4708.
- [24] B. Zoph, V. Vasudevan, J. Shlens, and Q. V. Le, "Learning transferable architectures for scalable image recognition," *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Salt Lake City, UT, United States, 2018, pp. 8697-8710.
- [25] M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," *International Conference on Machine Learning (PMLR)*, Long Beach, CA, United States, 2019, pp. 6105-6144.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Patlayıcı Etki Analizi Simülasyon Yazılımının Geliştirilmesi ve Basınç Dalgası Parametrelerinin Derin Öğrenme ile Tahmin Edilmesi¹

 Resul SİLAY^{a,*},  Abdulkadir KARACI^a

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: resulsilay@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1014063

ÖZ

Bu çalışmadaki amaç patlama sonucunda meydana gelen yüksek basınç dalgasını modelleyen bir simülasyon yazılımı geliştirmek ve bu simülasyon yazılımından elde edilen veri setini kullanarak derin sinir ağı ile basınç dalgası parametrelerini tahmin etmektir. Geliştirilen simülasyon yazılımı ile askeri alanda gerçekleştirilecek ana unsuru patlayıcı olan faaliyetlerin insan ve yapılar üzerindeki çevresel etkileri ortaya konulmaktadır. Kullanıcı tarafından belirlenen patlayıcı tipi, patlayıcı ağırlığı ve mesafe parametreleri girilerek basınç dalgası parametreleri hesaplanmaktadır. Basınç dalgası parametreleri hesaplanırken yazılım üzerinde matematiksel model veya derin sinir ağı modeli seçimi yapılabilmektedir. Üç boyutlu gösterim alanı veya harita üzerinde seçilen konum üzerinde basınç etkileri, basınç etki alanları, insan ve yapılar üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Ayrıca geliştirilen yazılım birçok amaç için kullanılabilir niteliktedir. Bunlardan bazıları; (i) askeri alanda stratejik bilginin hızlı ve kolay bir şekilde sağlanması, (ii) ideal patlayıcı yükünün bulunması, (iii) terör faaliyetlerinde kullanılan patlayıcı yüklerinin çevresel etkilerinin analiz edilmesi ve önlemlerin alınması, (iv) askeri operasyonlarda kullanılan patlayıcıların insan ve yapılar üzerindeki etkilerin tahmin edilmesi, (v) askeri alanda gerçekleştirilecek operasyonlarda belirlenen hedefe atılacak patlayıcı yükünün optimum seviyede belirlenmesi. Geliştirilen 3 boyutlu simülasyon ortamının patlama sonrası meydana gelen aşırı basınç dalgası parametrelerini doğru bir şekilde tahmin ederek, insan ve yapılar üzerindeki etkilerini etkili bir şekilde simüle ettiği gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, çalışmada basınç verisi Derin Sinir Ağı ile de tahmin edilmiştir. Yazılım tarafından oluşturulan sentetik veri setleri ile derin sinir ağı modelinin eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen patlayıcı tipine göre oluşturulan derin sinir ağı modeli ile yarı küresel patlamalar sonucu ortaya çıkan blast dalgası (aşırı basınç dalgası) parametreleri başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç dalgası, Basınç dalgası parametreleri, Derin sinir ağı, TNT Eş değeri, Simülasyon

Development of Explosive Impact Analysis Simulation Software and Prediction of Pressure Wave Parameters with Deep Learning

ABSTRACT

The aim of this study is to develop a simulation software for modeling the high-pressure wave that occurs as a result of the explosion and to estimate the pressure wave parameters with a deep neural network using the data set obtained from this simulation software. With the developed simulation software, the environmental effects of activities on people and structures are revealed, the main element of which is explosives, which will be carried out in the military field. The pressure wave parameters are calculated by input the explosive type, explosive weight and distance parameters determined by the user. When calculating the pressure wave parameters, a formula or a deep neural network model can be selected via the software. Pressure effects on the selected

location on the three-dimensional display area or on the map, pressure impact areas, effects on people and structures are shown. In addition, the developed software can be used for many purposes. Some of them are; (i) to provide strategic information quickly and easily in the military field, (ii) to find the ideal explosive load, (iii) to analyze the environmental effects of explosive loads used in terrorist activities and to take precautions, (iv) to predict the effects of explosives on people and structures that are used in military operations, (v) determination of the explosive load to be thrown at the determined target in the operations to be carried out in the military field at the optimum level. As a result of the experiments, it was observed that the software developed in the 3D simulation environment accurately predicts the extreme pressure wave parameters that occur after the explosion and effectively simulates its effects on people and structures. Besides, the pressure data were also predicted using Deep Neural Network. Training and testing of the deep neural network model was carried out with the synthetic datasets created by the software for explosives. With the deep neural network model created according to the selected explosive type, the blast wave (extreme pressure wave) parameters resulting from hemispherical explosions were successfully predicted.

Keywords: Pressure wave, Pressure wave parameters, Deep neural network, TNT equivalent, Simulation

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.
Geliş: 24/10/2021, Düzeltme: 05/12/2021, Kabul: 10/12/2021

I. GİRİŞ

Savaş, politikaları, amaçları ve çıkarları doğrultusunda karşı karşıya gelmiş taraflar arasındaki barışçıl olmayan yöntemlere dayanan üstünlük arayışını ifade etmektedir. Savaşların toplum ve çevre üzerindeki yıpratıcı ve yok edici etkileri tartışılmaz bir gerçektir [1]. Gelişen teknoloji ile birlikte askeri alanda geliştirilen silahların toplum ve çevre üzerindeki etkileri toplumlara, şehirleri yok etme noktasına gelmiştir. Savaşlarda orduların vazgeçilmez unsurları olan patlayıcılar, savaşın seyrini değiştiren en önemli askeri unsur olarak öne çıkmaktadır.

Patlayıcılar, yüksek basınç dalgaları oluşturma özelliklerinden dolayı askeri ve endüstride birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Patlama esnasında ortaya çıkan yüksek basınç ve ısı, patlayıcıların askeri alanda yaygın olarak kullanılmasında önemli bir etken olmuştur. Yer altı sığınakları, mağaralar, yüksek korunaklı yapılar ve zırhlı araçların etkisiz hale getirilmesi ve canlılar üzerinde yüksek tahribatı ile askeri alanda kullanılan en önemli argümanlardan biridir [2]. Patlama dalgası, patlama merkezinden dışarıya doğru yayılan basınç darbesinin etrafındaki havayı itmesiyle oluşan dalgadır [3]. Birincil patlama yaralanmalarının temel sebebi olan aşırı basınç dalgaları (blast dalgası), canlılar ve yapılar üzerinde ciddi hasarlar meydana getirmektedir. Tablo 1'de, basınç dalgasının insanlar ve yapılar üzerindeki etkileri verilmiştir.

Tablo 1. Patlama basınçlarının ve patlama maksimum rüzgarının, insanlar ve yapılar üzerindeki etkileri [4, 5].

En Yüksek Basınç (kPa)	Mak. Rüzgâr Hızı (mph)	Yapılar Üzerindeki Etki	İnsanlar Üzerindeki Etki
0-6,9	38	Pencere camlarının kırılması.	Şarapneller tarafından meydana gelen hafif yaralanmalar.
6,9-13,8	70	Evlerde orta dereceli hasarlar.	Cam ve enkaz yaralanmaları.
13,8-20,1	102	Konut yapılarının çökmesi.	Ciddi yaralanmalar. Sık görülen ölümler.
20,1-34,5	163	Binaların çoğunun çökmesi.	Evrensel yaralanmalar ve yaygın ölümler.
34,5-69	294	Betonarme yapılar üzerinde ciddi hasarlar.	İnsanların çoğunun ölmesi.
69-137,1	502	Ağır inşaat yapılarının ciddi hasar görmesi veya yıkılması.	100% ölümler.

Bu çalışmanın amacı, patlayıcıların çevreye olan etkilerinin analiz edilmesine olanak sağlayan bir simülasyon yazılımı geliştirmek ve bu yazılımdan elde edilen blast dalgası verileri ile patlama sonrası ortaya çıkan aşırı basınç dalgası (blast dalgası) parametrelerini, derin sinir ağı ile tahmin etmektir. Bu amaçla, bir simülasyon yazılımı geliştirilmiş ve patlayıcıların çevreye olan etkilerini analiz etmek için bu yazılımdan basınç dalgası verileri elde edilmiştir. Bu veriler vasıtasıyla derin sinir ağı eğitilerek tahmin işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

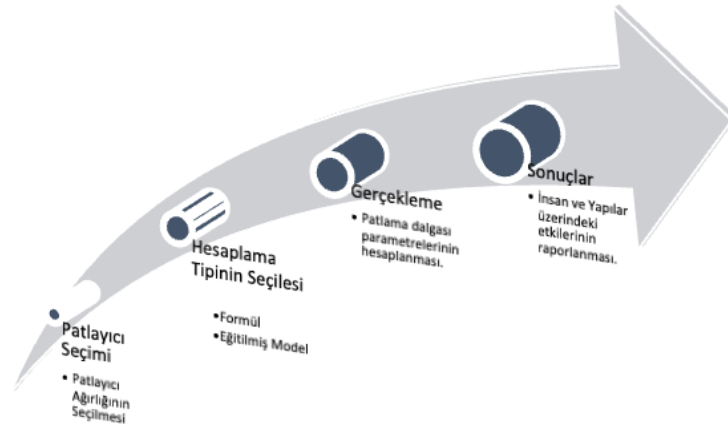
Geliştirilen simülasyon yazılımı ile askeri alanda gerçekleştirilecek ana unsuru patlayıcı olan faaliyetlerin çevresel etkileri ortaya konulmaktadır. Patlayıcıların insan ve çevresel yapılar üzerindeki etkileri tartışılmaz bir gerçektir. Patlayıcı kullanımında; güvenli alanının belirlenmesi ve patlayıcı imha işlemlerinde etki alanının doğru bir şekilde tahmin edilmesi askeri alanda aşağıdaki ana katkıları sağlayacaktır.

- Askeri alanda stratejik bilginin hızlı ve kolay bir şekilde sağlanması.
- İdeal patlayıcı yükünün belirlenmesi.
- Terör faaliyetlerinde kullanılan patlayıcı yüklerinin çevresel etkilerinin analiz edilmesi
- Askeri operasyonlarda kullanılan patlayıcıların insan ve yapılar üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesinde.
- Askeri alanda gerçekleştirilecek operasyonlarda belirlenen hedefe atılacak patlayıcı yükünün optimum seviyede belirlenmesinde.

II. PATLAYICI ETKİ ANALİZİ SİMÜLASYON YAZILIMI VE DERİN SİNİR AĞI MODELİ

A. GELİŞTİRİLEN SİMÜLASYON YAZILIMI VE GELİŞTİRME ORTAMLARI

Geliştirilen simülasyon yazılımı C#.NET programlama dili ve WPF (Windows Presentation Foundation) teknolojisi kullanılarak geliştirilmiştir. WPF yüksek kalitede grafik çizimleri için kullanılmıştır. Geliştirilen yazılımın çalışma prensibi Şekil 1’de gösterilmiştir. Yazılım üzerinden patlayıcı türü, patlayıcı ağırlığı, hesaplama tipi seçilerek patlama dalgası parametreleri elde edilmektedir. Elde edilen parametreler değerlendirilerek insan ve yapılar üzerindeki etkileri geliştirilen simülasyon yazılımı üzerinde hem görsel hem de yazılı bilgi olarak raporlanmaktadır. Bunun yanı sıra, yazılım içerisinde bulunan harita ve 3B modülü ile insan ve yapılar üzerindeki etkiler simüle edilebilmektedir.



Şekil 1. Simülasyon yazılımı çalışma prensibi.

A. 1. HARİTA MODÜLÜ

Harita modülünde, patlamanın gerçekleştirileceği konum bilgisi işaretlenir, patlayıcılar listesinden patlayıcı seçimi yapılır ve patlayıcı ağırlık bilgisi girilerek patlayıcı etki alanı simüle edilir. Şekil 2, harita modülü üzerinde GBU-12 ve H6 patlayıcıları seçilerek oluşturulan senaryo için patlayıcı etkilerini göstermektedir. Bu analiz için seçilen parametreler aşağıda açıklanmaktadır.

Distance/Scale: Fare imlecinin işaret ettiği konumu hesaplayarak merkeze olan uzaklık ve harita ölçeğini göstermektedir.

Pressure (kPa): İmleç ile işaretlenen konuma etki eden basınç bilgisini ifade etmektedir.

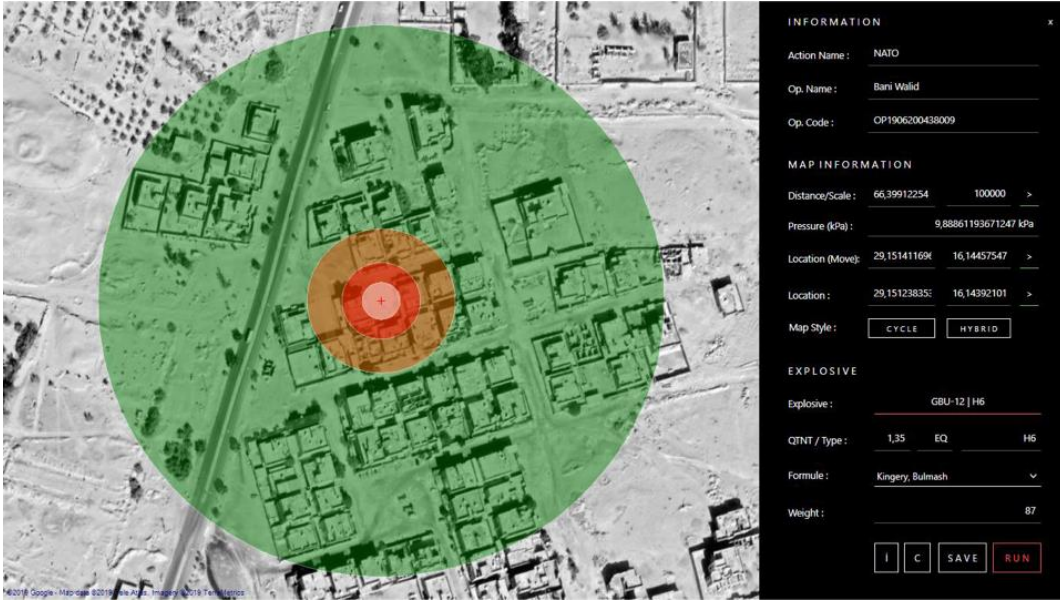
Lokasyon: Hesaplanan lokasyon bilgisini göstermektedir.

mapStyle: Bu parametre ile harita görünümü değiştirilebilmektedir.

Explosive: Patlayıcı türü seçimi yapılmaktadır.

QTNT/Type: Seçilen patlayıcının TNT eşdeğerini ve patlayıcı tipini göstermektedir.

Formül: Basınç dalgası hesaplamaları matematiksel model veya DSA modeli ile belirlenebilmektedir. Seçilen matematiksel model ve girilen ağırlık verisi ile harita üzerinde belirlenen alan için basınç dalgası hesaplamaları gerçekleştirilmektedir.

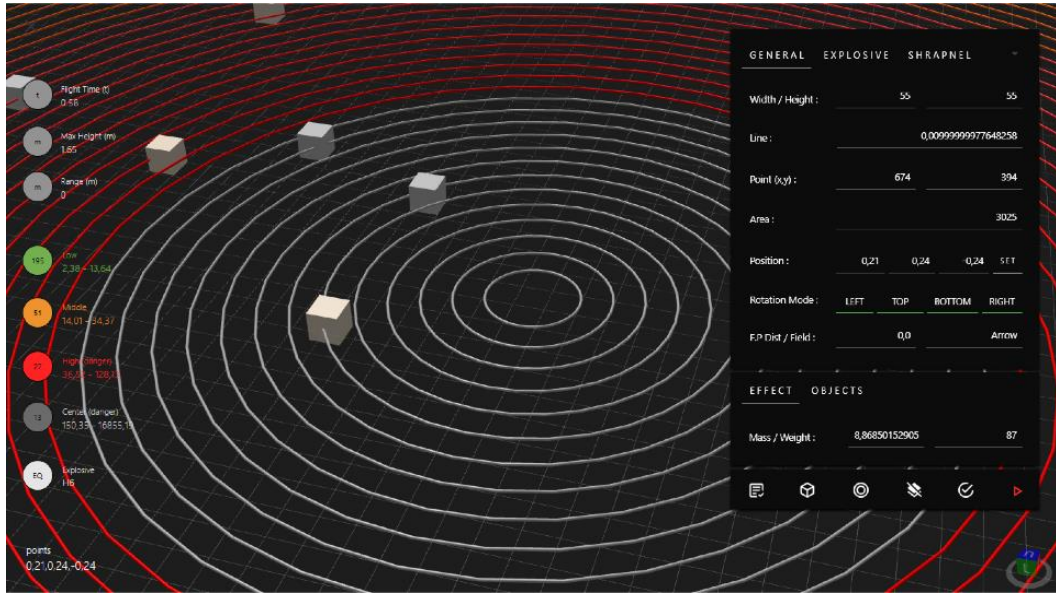


Şekil 2. Harita modülü.

A. 2. ÜÇ BOYUTLU GÖSTERİM MODÜLÜ

Üç boyutlu (3B) gösterim modülü, konum ve haritadan bağımsız olarak patlama dalgalarının simüle edilmesi için tasarlanmıştır. Modül üzerinden patlayıcı tipi ve ağırlığı girilerek blast dalgaları oluşturulmaktadır. Modül üzerine eklenmiş insan ve yapı objeleri ile ilgili mesafe için patlama senaryoları gerçekleştirilerek insan ve yapılar üzerindeki etkileri simüle edilebilmektedir. Şekil 3'de, 3B modülüne ait ekran görüntüsü gösterilmektedir. Bu modülün sağ tarafında bulunan panel üzerinden patlayıcı bilgileri seçimi yapılmaktadır. Simülasyon alanını şekillendirmek için genişlik, yükseklik ve alan parametreleri girilmektedir. Bunun yanı sıra, Explosive sekmesinden patlayıcı parametreleri

seçilirken, Effect parametresi ile patlayıcı ağırlığı belirlenerek simülasyon çalıştırılmaktadır. Patlayıcı etkileri, sol tarafta bulunan gösterge üzerinde dört farklı kategoride (merkez, yüksek, orta ve düşük) listelenmektedir.



Şekil 3. 3B Gösterim modülü üzerinde yapılan simülasyon.

B. İNSAN VE YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Patlama sonrası meydana gelen basınç dalgasının insan ve yapılar üzerindeki etkileri 3B Modülü üzerinde izlenebilmektedir. Bu etkileri simüle edebilmek için Tablo 1’de verilen parametreler kullanılmıştır. Basınç dalgasının insanlar üzerindeki etkilerinin raporlandığı ekran Şekil 4’de gösterilmektedir. Bu ekranda, modül üzerinde istenilen mesafeye yerleştirilen insan objesine etki eden basınç dalgası ve basıncın insan vücudu üzerindeki etkileri simüle edilmektedir. Index numarası ile etiketlenen insan objesi için ayrı ayrı basınç dalgası parametreleri hesaplanmaktadır. Etki eden basınç dalgası, yansıyan basınç, şok süresi ve objenin merkeze olan uzaklığı gibi bilgiler metre cinsinden hesaplanarak rapor şeklinde kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca obje için tehlike düzeyleri normal, orta ve tehlikeli şeklinde hesaplanarak kullanıcıya raporlanmaktadır.

Index	Object	Incident	Reflected	Time	Meter	Effect	component
6066333	Human	121,736776956708	352,832839430261	41,3880453157834	35,6857268853109	Danger	HelixToolkit.Wpf.Cul
21610982	Human	39,469473641365	90,9062453722369	108,77129845539	64,1841645150322	Danger	HelixToolkit.Wpf.Cul
60281111	Human	27,0103135640243	59,7723537927191	152,557081003903	80,8987906908219	Danger	HelixToolkit.Wpf.Cul

Component	Effect	Threshold
General	Effects of Blast Overpressure on Human Body	Most people are killed
Ear Damage	Human Ear Damage Due to Blast Pressure.	Threshold of eardrum rupture 50 percent ruptured eardrums
Lung Damage	Human Lung Damage due to Blast Pressure.	50 percent damaged lungs Threshold of lethality 50 percent lethality Near 100 percent lethality

Şekil 4. 3B modülü ile patlayıcıların insanlar üzerindeki etkilerinin raporlandığı ekran.

Basınç dalgasının yapılar üzerindeki etkilerinin simüle edildiği ekran ise Şekil 5’de gösterilmektedir. Bu şekilde de görüleceği üzere yapı objesi için, insan objesinde olduğu gibi etki eden, yansıyan basınç dalgası bilgileri ve tehlike seviyeleri hesaplanmaktadır.

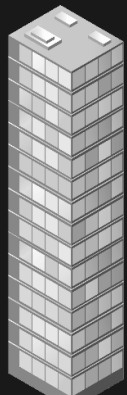
Index	Object	Incident	Reflected	Time	Meter	Effect	component
6066333	Human	121,736776956708	352,832839430261	41,3880453157834	35,6857268853109	Danger	HelixToolkit.Wpf.Cu
21610982	Human	39,469473641365	90,9062453722369	108,77129845539	64,1841645150322	Danger	HelixToolkit.Wpf.Cu
60281111	Human	27,0103135640243	59,7723537927191	152,557081003903	80,8987906908219	Danger	HelixToolkit.Wpf.Cu

Struct Damage
Blast wave pressure effect struct.

Window glass shatters

Moderate damage to houses (windows and doors blown out ar

Residential structures collapse



Most buildings collapse

Reinforced concrete buildings are severely damaged or demolit

Heavily built concrete buildings are severely damaged or demo

Şekil 5. 3B modülü ile patlayıcıların yapılar üzerindeki etkilerinin raporlandığı ekran.

3B modülü genel olarak değerlendirildiğinde, patlayıcıların insan ve yapılar üzerindeki etkilerini aşağıdaki amaçlar için başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

- Askeri operasyonlar
- Güvenli alan çemberinin oluşturulması
- Patlama etkilerinin hesaplanması

III. PATLAMA DALGASI HESAPLAMA

Yarı küresel patlamalar, zemin yüzeyinde gerçekleşen patlamalardır. Çalışma kapsamında yarı küresel patlamalar için blast parametrelerinin hesaplanmasında Kingery-Bulmash formülü kullanılmıştır [6]. Bu formül Eşitlik 1’deki gibi ifade edilmektedir.

$$Y = C_0 + C_1U + C_2U \dots \dots \dots + C_nU \quad (1)$$

Burada, Y = Blast parametresinin logaritması, $C_{0,1,2,3}$ = sabit,

$U = K_0 + K_1 * \text{Log}(Z)$, patlama ölçeğidir, K = sabit

Kingery-Bulmash [7] formülünün temeli, 1966 yılında 5-500 ton TNT ile dört yüzeyde gerçekleştirilen patlamadan alınan verilere dayanmaktadır. İlgili yüzey patlamaları ile ilgili bilgiler Tablo 2’de gösterilmektedir. Bu tabloda da görüleceği üzere Kingery tarafından farklı yıllarda yarı küresel TNT patlama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda Kingery tarafından Blast Dalgası formülü ortaya konmuştur. Tablo 3’de patlama sonrası ortaya çıkan blast dalgasına ait parametreler verilmiştir. Patlama sonrası ortaya çıkan aşırı basınç dalgası, dalganın varış zamanı, yansıyan basınç, şok hızı gibi parametreler elde edilmektedir.

Tablo 2. TNT ile gerçekleştirilen küresel ve yarı küresel patlama deneyleri [8].

Patlama Numarası	TNT (ton)	YIL
1	5	1959
2	20	1960
3	100	1961
4	500	1964

Tablo 3. Blast dalgası sonucu ortaya çıkan parametreler.

Parametre Numarası	Parametre
1	Tepe Aşırı Basıncı (Peak Overpressure)
2	Ölçekli Varış Zamanı (Scaled Time Of Arrival)
3	Ölçekli Pozitif Faz Süresi (Scaled Positive Phase Duration)
4	Ölçekli Pozitif Faz Darbe (Scaled Positive Phase Impulse)
5	Yansıyan basınç (Reflected Pressure)
6	Yansıyan Darbe (Reflected Impulse)
7	Şok Ön Hız (Shock Front Velocity)

Çalışma kapsamında, patlayıcıların TNT eşdeğeri hesaplanarak aşırı basınç parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan formülün, diğer patlayıcı çeşitleri için de kullanılması sağlanmıştır. Patlama ölçeklendirmesi için Hopkinson [9], Cranz [10] ve Sachs [11] tarafından geliştirilen ölçeklendirme yasaları kullanılmıştır. Hopkinson [9], Cranz [10] ve Sachs [11] tarafından ortaya konulan patlama ölçeklendirme formülü Eşitlik 2’de verilmiştir.

$$Z = \frac{R}{\sqrt[2]{W}} \quad (2)$$

Burada R patlama kaynağından belirtilen noktaya kadar olan mesafedir ve birimi metredir (m), W patlayıcının kütesidir birimi kg’dır.

Patlama sonucu çevreye salınan enerji miktarının ölçülmesinde kullanılan birime TNT eşdeğeri denir. Patlayıcıların enerji salınımları TNT eşdeğeri ile ifade edilmektedir. TNT eşdeğeri Eşitlik 3’deki gibi hesaplanmaktadır. 1 kg TNT patlayıcısının çevreye salmış olduğu enerji miktarı 4.19 MJ/kg olarak hesaplanmıştır [12].

$$\text{TNT EŞDEĞERİ} = \frac{\text{patlayıcı enerjisi}_{\text{MJ/kg}}}{4.19 \text{ MJ/kg}} \quad (3)$$

Hopkinson [9], Cranz [10] ve Sachs [11] tarafından ortaya konulan patlama ölçeklendirme formülündeki W parametresi Eşitlik 4’deki gibi hesaplanmaktadır. Bu parametre, TNT eşdeğerinin patlayıcı kütlesi ile çarpımı olarak ifade edilir.

$$W = \text{TNT Eşdeğeri} * \text{Patlayıcı Kütlesi (kg)} \quad (4)$$

A. PATLAMA PARAMETRELERİNİN VE TNT EŞDEĞERİNİN HESAPLANMASI

Patlayıcıların canlılar ve yapılar üzerindeki etkilerinin hesaplanmasında kullanılan birden fazla formül vardır. Bu çalışmada daha öncede belirtildiği üzere patlama sonrası oluşan aşırı basınç parametrelerinin hesaplanmasında Kingery ve Bulsman tarafından ortaya konulan formül kullanılmıştır. Aşırı basınç parametrelerinin tüm patlayıcılar için hesaplanabilmesi için patlayıcı etkileri, TNT eşdeğeri kullanılarak patlama ölçeklendirmesi ile ortaya konulmaktadır. TNT eşdeğeri

patlamada salınan enerji miktarının ölçülmesinde kullanılan bir birimdir. Yapılan ölçümlerde standart haline getirilmiştir. TNT patlayıcısının birim temelli enerji katsayıları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. TNT patlayıcısının patlama sonrası ortaya çıkan enerji salınımı.

Birim (gram)	Sembol	Birim (ton)	Simge	Enerji	Enerji (Wh)
TNT gram	G	TNTN Mikroton	µt	4.184×10 ³	1.162 Wh
TNT kilogram	Kg	TNT Militon	Mt	4.184×10 ⁶	1.162 kWh
TNT megagram	Mg	TNT Tonu	T	4.184×10 ⁹	1.162 MWh

TNT eşdeğeri, patlayıcılar tarafından patlama esnasında salınan enerji miktarının, sabit olarak belirlenen TNT patlayıcısının infilak etmesi sonucu ortaya çıkan enerji miktarına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

Enerji Formülü

$$\text{TNT EŞDEĞERİ} = \frac{\text{patlayıcı enerjisi}}{\text{tnt enerjisi}} \quad (5)$$

$$\text{TNT EŞDEĞERİ} = \frac{\text{patlayıcı enerjisi}_{\text{Mj/kg}}}{4.19 \text{ MJ/kg}} \quad (6)$$

Tablo 5, TNT eşdeğerleri hesaplanan bazı patlayıcı türleri için TNT, yoğunluk, ısı ve basınç değerlerini göstermektedir.

Tablo 5. Bazı patlayıcı maddeler için hesaplanmış tnt eşdeğerleri.

Patlayıcı Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Mol (n)	Isı (kJ/kg)	P (kBar)	D (m/s)	TNT (q)	TNT (p)	TNT (ortalama)	Ortalama Sapma
TNT	1,64	25,9	5569	190	6950	1,00	1,00	1,00	0,00
Pentrite	1,77	32	6400	335	8300	1,15	1,76	1,34	16,04
Tetryl	1,68	27,5	5920	245	7560	1,06	1,29	1,13	7,52
C-4	1,66	33,8	6650	257	8370	1,19	1,35	1,26	1,24
COMP. B	1,72	30,6	6000	281	8052	1,08	1,48	1,22	10,41
Octogen	1,9	33,8	6538	393	9100	1,17	2,07	1,46	20,55
COMP. A-3	1,67	33,4	6780	286	8470	1,22	1,51	1,31	7,63

A.1. Derin Sinir Ağı ile Aşırı Basınç Değerinin Tahmin Edilmesi

Bu kısımda, DSA modelinin patlama basıncı tahmini üzerindeki başarısı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ağırlık ve belirtilen mesafelerdeki basınç verileri, DSA modeline giriş olarak verilerek basınç verisi tahmini çıkış olarak alınmıştır. İlgili mesafelerde tahmin edilen basınç değerleri ağırlık bilgilerine göre üstel bir fonksiyon olarak ifade edilmiştir. Üstel fonksiyon ile basınç dalga grafiği elde edilerek mesafe parametresine göre basınç tahmini yapılmıştır. Model, Python dilinde yazılmıştır ve açık kaynaktır. Bu nedenle model üzerinde geliştirmeler yapılabilir. Geliştirilen DSA modeline ait parametreler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. DSA modelinin parametreleri.

Parametreler	Değerler
Giriş katmanı nöron sayısı	2
Gizli katman sayısı	5
Gizli katman-1'deki nöron sayısı	75
Gizli katman-2'deki nöron sayısı	24
Gizli katman-3'deki nöron sayısı	55
Gizli katman-4'deki nöron sayısı	45
Gizli katman-5'deki nöron sayısı	35
Çıkış katmanındaki nöron sayısı	1
Gizli katman Aktivasyon fonksiyonu	relu
Çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu	relu
Öğrenme Döngüsü	5000 Epochs
Kayıp Fonksiyonları	Mean square error
Optimizasyon (Öğrenme Algoritması)	Adam

DSA modelinin eğitim ve test işlemleri, çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon yazılımı aracılığı ile üretilen sentetik veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 6, sentetik veri seti oluşturma modülünü göstermektedir. Bu modül ile 1-30 kg ağırlık ve 1-25 metre mesafe aralığı için veri seti üretilmiştir. Bu veri seti %70 eğitim ve %30 test olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Model, eğitim veri seti ile eğitilmiş ve test veri seti ile test edilmiştir. DSA modelinin eğitiminde patlayıcı ağırlığı ve mesafe giriş olarak verilerle basınç değeri çıkış olarak alınmıştır. Derin Sinir ağı modelinin mimarisi Şekil 7'de gösterilmektedir.

The screenshot shows a web-based interface for generating a dataset. At the top, there is a header with a back arrow, the word 'GENERATOR', and buttons for 'SAVE' and 'START'. Below the header is a table with columns: Equations, Weight Start, Weight End, Weight Increase, Distance (start), Distance (end), Distance (Increase), and TNT Equ :. The first row has values: Kingery-Bulsman, 1, 30, 1, 1, 25, 1, 1,0. Below this table is a 'Dataset Directory' section with a text input field containing 'dataset.csv' and two buttons: 'SELECT' and 'EXPORT'. There is a checkbox labeled 'Distance Vertical Table' which is currently unchecked. Below this is a 'Dataset' section with a 'Total Count' of 750. A table below shows the dataset content with columns: weight, pressure, distance, and time. The rows are: (1, 1356,739, 1, 0,468), (1, 283,758, 2, 1,696), (1, 115,667, 3, 3,544), (1, 64,907, 4, 5,783), (1, 43,184, 5, 8,245), (1, 31,749, 6, 10,83).

Equations	Weight Start	Weight End	Weight Increase	Distance (start)	Distance (end)	Distance (Increase)	TNT Equ :
Kingery-Bulsman	1	30	1	1	25	1	1,0

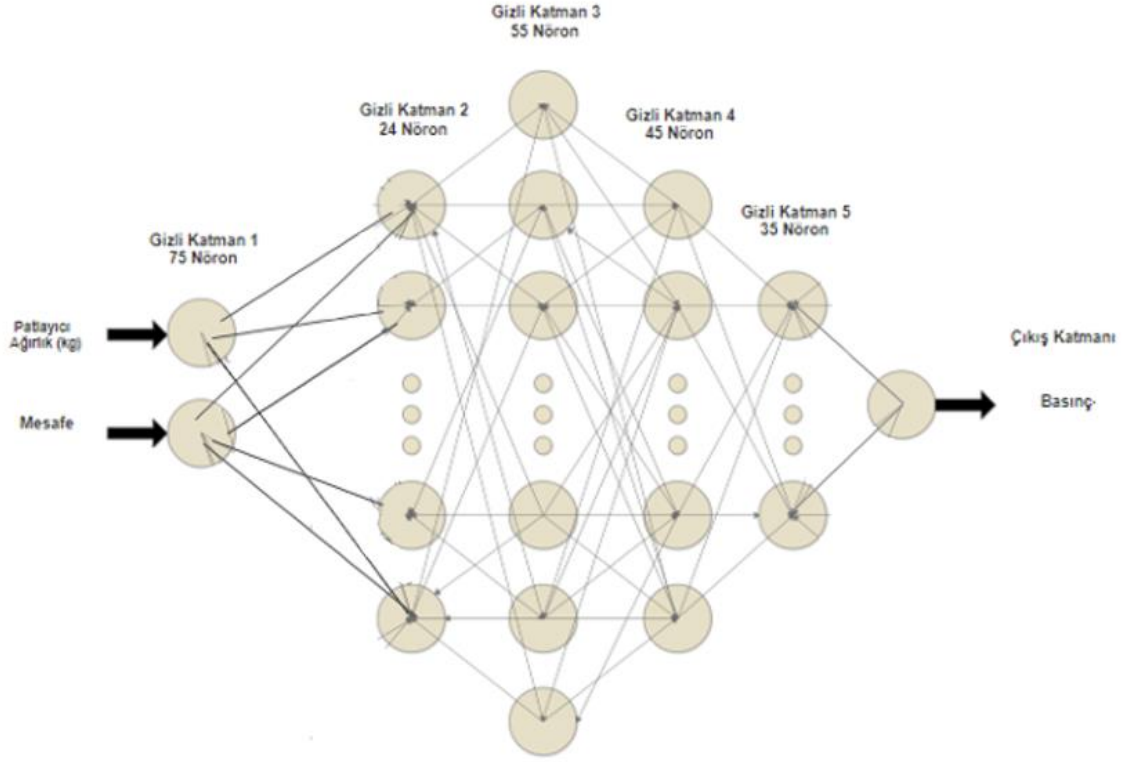
Dataset Directory:

Distance Vertical Table

Dataset Total Count: 750

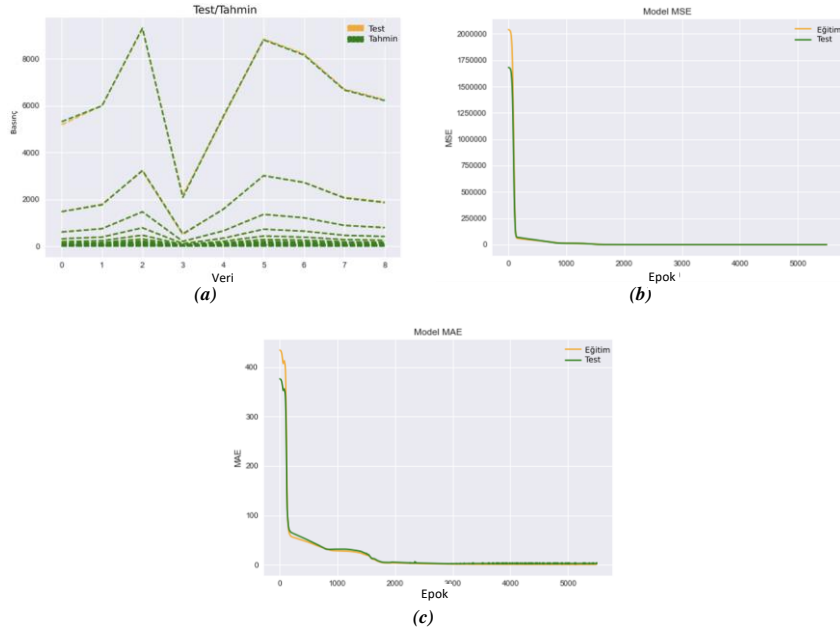
weight	pressure	distance	time
1	1356,739	1	0,468
1	283,758	2	1,696
1	115,667	3	3,544
1	64,907	4	5,783
1	43,184	5	8,245
1	31,749	6	10,83

Şekil 6. Derin Sinir Ağı (DSA) modeli üzerinde eğitim için kullanılan örnek sentetik veri seti için, LAB modülü içerisinde bulunan sentetik veri set oluşturma eklentisi.



Şekil 7. Derin sinir ağı modelinin mimarisi.

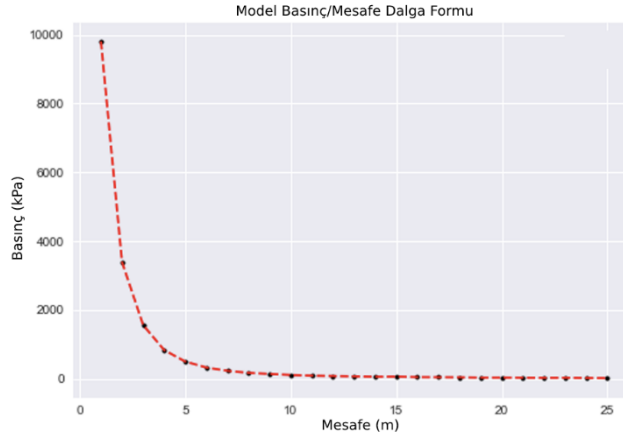
Şekil 8’de eğitim ve test verileri için DSA modelinin performans metrik eğrileri verilmiştir. Şekil 8.a DSA modelinin eğitim ve test datası üzerindeki basınç tahmin grafiğini göstermektedir. Şekil 8.b ve 8.c ise, MSE ve MAE değerlerinin değişimini göstermektedir.



Şekil 8. (a) DSA Modeli Test/Tahmin eğrisi, (b) DSA Modeli MSE/Epok eğrisi, (c) DSA modeli MAE/Epok eğrisi.

Ayrıca, eğitilmiş DSA modeli üzerinde 33 kg TNT patlayıcısının 1-25 metre arası basınç değerleri tahmin edilmiş ve Eşitlik 8’de ifade edilen üstel fonksiyon kullanılarak basınç dalga eğrisi hesaplanmıştır. Böylece 33 kg TNT patlayıcısı için DSA modeli tarafından tahmin edilen basınç/mesafe grafiği elde edilmiştir. Hesaplanan basınç dalgası eğrisi Şekil 9’da sunulmuştur.

$$y = c * r^b \quad (8)$$



Şekil 9. 33kg TNT patlayıcısının DSA modeli ile tahmin edilen basınç dalgası.

Bunun yanı sıra, Tablo 9’da da görüleceği üzere Kingery-Bulmash formülü ile basınç dalgası kPA değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile DSA modeli tarafından tahmin edilen basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9. 33 kg TNT patlayıcısının 1-5 metre arasındaki formül ile hesaplanan basınç değerleri ile DSA modeli ile tahmin edilen basınç değerlerinin karşılaştırılması.

Basınç	Tahmin	Basınç	Tahmin	Basınç	Tahmin	Basınç	Tahmin	Basınç	Tahmin
9668	9810	3375	3390	1557	1557	836	829	503	496
1m		2m		3m		4m		5m	

Tablo 10’da DSA modeli için performans metrikleri sunulmuştur. R², MSE ve RMSE metriklerinin değerleri sırasıyla 0.93, 20.84 ve 4.56 şeklindedir.

Tablo 10. Eğitimi tamamlanan DSA modelinin test edilmesi sonucu hesaplanan metrik değerler.

R ²	MSE	RMSE
0.93	20.84	4.56

IV. SONUC

Bu çalışmada hem DSA modeli hem de Kingery-Bulmash formülü ile basınç dalgası parametrelerinin tahmin edilmesi için bir çerçeve sunulmuştur. Ayrıca, TNT haricindeki diğer patlayıcıların etkilerinin de hesaplanabilmesi için Hopkinson-Cranz [7][8] ve Sachs [9] tarafından ortaya konulan patlayıcı ölçekleme formülü kullanılmıştır. Bunun yanı sıra patlayıcıların insan ve yapılar üzerindeki etkisini simüle edebilmek ve zararlarını ortaya koyabilmek için çok amaçlı bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon yazılımı ile ana unsuru patlayıcı madde olan operasyonlarda yazılım üzerinde gerekli simülasyonlar yapılarak operasyonların etkin ve başarılı sonuçlanmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra terör saldırılarında patlayıcı etkilerinin simüle edilmesi, şüpheli

durumlarda güvenlik çemberinin belirlenmesinde de aktif olarak kullanılması çalışmanın en önemli hedeflerindedir. Bu hedefler doğrultusunda geliştirilen simülasyon yazılımı ile ana unsuru patlayıcı olan eylemlerde meydana gelen aşırı basınç dalgasının çevreye olan etkilerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca patlamamış bomba, mühimmat gibi patlayıcı maddelerin imha edilmesinde tetikleyici olarak kullanılan patlayıcı yükleri için basınç dalgası parametrelerinin hesaplanması sağlanmıştır. Bu sayede patlayıcı imha edilmeden önce gerekli olan patlayıcı yükü tahmin edilerek güvenlik çemberinin belirlenmesi ve analiz edilmesi sağlanmaktadır.

DSA modelinin eğitiminde simülasyon yazılımından elde edilen sentetik veriler kullanılmış ve yeterli düzeyde bir tahmin performansı elde edilmiştir. Ayrıca, gerçek zamanlı patlama sonrası ortaya çıkan aşırı basınç dalgası parametreleri kayıt altına alınarak, DSA modelinin bu verilerle eğitilmesiyle model başarı oranının, tahmine dayalı formüllerin başarı oranının üzerine çıkması sağlanabilir. Bu sayede blast dalgası parametrelerinin tahmin oranı artış göstererek optimum düzeye çıkmasının önü açılacaktır. Ancak gerçek zamanlı veri elde etmek bir hayli zor ve tehlikeli bir süreçtir. Askeri alanda patlayıcı unsuru bulunan operasyonların etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi, bomba imha emniyet mesafesinin belirlenmesi, bomba imha için kullanılan patlayıcıların etki ettiği toplam basınç dalgası alanının hesaplanması gibi birçok alanda sabit formüller yerine patlama verileri ile tahmin yeteneğinin optimum düzeye çıkarılması amaçlanan DSA modellerinin kullanılması hedeflenmelidir.

Blast dalgası parametrelerinin yüksek oranda doğru tahmin edilebilmesi için gerekli olan veri setlerinin geliştirilmesinde, devletler tarafından gerçekleştirilen askeri ve test amaçlı eylemlerde elde edilen verilerin kayıt altına alınması önemli bir kriterdir. DSA modelleri sayesinde, askeri operasyonlarda, operasyon için optimum patlayıcı etkisinin hesaplanması, bomba, füze gibi askeri unsurların modüler sisteme geçirilmesi (operasyon öncesi analizler ile patlayıcı yükünün belirlenmesi) operasyonların başarısını artıracaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. Çıtak, “Silahsız savaş sahası: yeni savaş anlayışında istihbaratın yeri,” *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 191-213, 2019.
- [2] Icrc (2015, June 15). *Explosive weapons in populated areas humanitarian* [Online]. Available: <https://www.icrc.org/en/document/explosive-weapons-populated-areas-humanitarian-legal-technical-and-military-aspects>.
- [3] S. Saatçı (2010, 15 Nisan). *Darbe ve patlama yüklerine karşı yapı tasarımı* [Çevrimiçi]. Erişim:https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/4b43c082500a6fb_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16
- [4] S. Glasstone and P.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, 3rd ed., USA: U.S. Department of Defense and the Energy Research and Development Administration, 1977, pp. 1-644.
- [5] L. Sartori, “The effects of nuclear weapons,” *Physics Today*, vol. 36, no. 3, pp. 32-41, 1983.
- [6] Iatg (2016, March 11). *Formulae for Ammunition Management*. [Online]. Available: <https://s3.amazonaws.com/unoda-web/wp-content/uploads/2019/05/IATG-01.80-Formulae-for-Ammunition-Management-V.2.01.pdf>
- [7] C. Kingery and G. Bulmash, “Air blast parameters from tnt spherical air burst and hemispherical surface burst,” Aberdeen Proving Ground, Army, USA, Rep. 02555, 1984.
- [8] C. N. Kingery, “Air Blast Parameters versus distance for hemispherical tnt surface bursts,” Army Ballistic Research Lab Aberdeen Proving Ground, Maryland, USA, Rep. 1344, 1966.



- [9] B. Hopkinson, "British ordnance board minutes," British Ordnance Office, London, UK, Rep. 13565, 1915.
- [10] C. Cranz, *Lehrbuch der Ballistik*, 2 rd ed., Berlin, Germany: Verlag von Julius Springer, 1926, pp. 1-292.
- [11] R. G. Sachs, "The dependence of blast on ambient pressure and temperature," Ballistics Research Laboratory, USA, Rep. AT1039393, 1944.
- [12] R. Panowicz, M. Konarzewski, M. Trypolin, "Analysis of criteria for determining a tnt equivalent," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 61, no. 11, pp. 666-672, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ark Kaynağı Elektrotlarındaki Kaynak Parametrelerinin Yapay Zekâ Yöntemleri ile İncelenmesi¹

 Handan TOPRAK ŞENOL^a,  Osman ÖZKARACA^{b,*}

^a Zaimoğlu Holding, Manisa, TÜRKİYE

^b Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: osmanozkaraca@mu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1014926

ÖZ

Son yıllarda oldukça gözde bir alan olan yapay zekânın alt yöntemlerinden biri olan Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) Klonal Seçim Algoritması (KSA) ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, endüstride geniş bir kullanım alanına sahip kaynak makinası elektrotlarının en uygun değerlerinin bulunabilmesi için Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) algoritması ile, Bulanık Mantık yönteminin bir arada kullanıldığı hibrit bir model önerilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada kaynak sarf malzemesinin daha kaliteli bir ürün olması için gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetlerini hızlandırmak ve maliyetlerini düşürmek amacıyla kaynak parametrelerini optimize ederek kombinasyonlarını veren bir yazılım geliştirilmiştir. Visual Studio ortamında gerçekleştirilen bu çalışma ile farklı kaynak girdi parametreleri kullanılarak kaynak sarf malzemelerinin akma mukavemeti (N/mm²) optimize edilmiştir. Bu çalışmada kaynak üretim Ar-Ge faaliyetlerini hızlandırmak ve maliyetlerini düşürmek amacıyla YBS Klonal Seçim Algoritması (KSA) ile Bulanık Mantık hibrit algoritma yöntemi ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay bağışıklık sistemi, Bulanık mantık, Ark kaynak elektrotu, Hibrit sistemler, Klonal seçim algoritması

Investigation of Welding Parameters of Arc Welding Electrodes by Artificial Intelligence Methods

ABSTRACT

In recent years, studies have been carried out on Artificial Immune System (AIS) Clonal Selection Algorithm (CSA), which is one of the sub-methods of artificial intelligence, which is a very popular field. In this study, a hybrid model is proposed in which the AIS algorithm and fuzzy logic method are used together in order to find the most suitable values for welding machine electrodes, which have a wide usage area in the industry. In the study, a software has been developed that optimizes the welding parameters and gives their combinations in order to speed up the R&D activities carried out in order to make the welding consumable a better-quality product and to reduce the costs. With this study carried out in the Visual Studio environment, the yield strength (N/mm²) of welding consumables was optimized by using different welding input parameters. In this study, AIS clonal selection algorithm (CSA) and fuzzy logic hybrid algorithm method are discussed in order to speed up resource production R&D activities and reduce costs.

Keywords: Artificial immune system, Fuzzy logic, Arc welding electrode, Hybrid systems, Clonal selection algorithm

¹ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 15/12/2021, Kabul: 20/12/2021

I. GİRİŞ

İmalat sektöründe yeni ürün ihtiyaçları ya da mevcut ürünler üzerinde düşük maliyetler amaçlanarak üretim geliştirme çalışmaları devam etmektedir [1-2]. Bu yüzden yeni nesil kaynak tüketim malzemelerinde kalite ve karakteristik özellikleri yakalayabilmek adına birçok deneyler geliştirilmektedir. Her kaynak ürününe özgü deneyler ve geliştirmeler Ar-Ge maliyetlerini yükseltmektedir. Birçok alanda Ar-Ge ihtiyaçlarına yönelik faaliyetleri hızlandırmak ve maliyetleri azaltmak için kullanılan zeki sistemlerin, kaynak alanında da kullanılması iyi bir çözüm yolu olacağı düşünülmüştür [2].

Günümüzde kaynaklı imalatlarda düşük maliyetler ile yüksek kalite amaçlayan kaynak sektörü üretim süreçlerinde yenilikçi teknik çözümler, hibrit teknolojik yaklaşımlar ve optimizasyon çalışmaları birçok araştırmacılar tarafından uygulanmıştır [1,3]. Ar-Ge faaliyetlerinde kaliteli ürün geliştirmek, testleri çoğaltmak, ürün test ve ürün prototip maliyetlerinden kurtulmak amacıyla özellikle veri madenciliği ve veri analizi konularında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada kaynak metallerinin istenilen kalite gereksinimine göre ve standart uygunluğunu test etmek için optimize edilmiş kaynak parametre kombinasyonlarını [4] veren bir yazılım geliştirilmesi planlanmıştır.

Birçok araştırmacı tarafından ark kaynağı işlemi sırasında kaynak parametrelerinin etkileri üzerinde çeşitli yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Çünkü kaynağın kalitesi; malzeme türü, kaynak yuvası formları, elektrot çapının seçimi, yay uzunluğu, elektrot ilerleme açısı, elektrot salınım açısı ve hareketi, kaynak hacminin hesaplanması, operatör manipülasyonu, akım, gerilim, ilerleme hızı gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Bu nedenle, araştırmacılar deneysel verilere dayalı optimizasyon algoritmaları modelleri uyguladılar [1,5-7].

Bazı araştırmacılar, kaynak kimyasal bileşim elementlerinin bileşim oranlarının yanı sıra kaynak akım, gerilim ve penetrasyon gibi kaynağın hem mekanik hem de fiziksel olan başlıca parametrelerinin kaynak işlemine önemli etkileri olduğu sonucuna varmışlardır. Bu nedenle bu çalışmada malzemenin kaynak özelliklerini incelemek ve kaynak parametrelerini optimize etmek için hibrit uygulama üzerinde Yapay Bağışıklık Sistemi Klonal Seçim Algoritması ile Bulanık Mantık Mamdani tekniğine dayalı bir deney planı kullanılmıştır.

Çalışmada tercih edilen yöntemlerden olan YBS, doğal bağışıklık sisteminden esinlenerek ortaya çıkan bir hesaplama yöntemidir. Yapay zekâda, yapay bağışıklık sistemleri (YBS), omurgalılarıdaki bağışıklık sisteminin ilkeleri ve süreçlerinden esinlenerek geliştirilmiş hesaplama açısından akıllı ve kural tabanlı makine öğrenme sistemlerinin bir sınıfındandır. Bağışıklık sistemine olan ilgi de son yıllarda artarak devam etmiş; mühendisler, bilgisayar bilimcileri, filozoflar, matematikçiler ve diğer araştırmacılar, karmaşık yapısı ile beyin sistemine benzeyen yetenekleri üzerinde ilgi duymuştur. Bunun sonucunda bağışıklık sistemi karmaşık problem çözme alanlarına uygulanan modellerde esinlenerek aritmetiksel sistemler olarak yapay bağışıklık sistemleri önerilmiştir. YBS'ler, mobil yazılımlar, virüs yazılımları, siber güvenlik, robotik, sahtekarlık tespiti ve anomali tespiti gibi birçok alanlarında gerçek dünyadaki karmaşık problemleri çözmek için çokça kullanılmıştır [8-11]. Ayrıca bazı sistemlerde modelleme doğru bir şekilde yapıldığı halde denetleyici tasarımlarının karmaşık sorunlara ve yüksek maliyetlerle zarara yol açmaktadır. Bu yüzden bazı sistemlerin matematiksel modellenmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle hibrit sistemler ile birden çok algoritma yeteneklerini birleştirerek çözüm ve süreçler tamamlamaktadır. Bu nedenle de bu çalışmada Bulanık Mantık algoritması denetim mekanizması ile sözel ifadeler ve mantıksal değişkenler arasındaki ilişkiyi uzman görüşü, deneyimi ve bilgisi yararlanılarak çözüme gidilmektedir.

Önerilen YBS'nin sunduğu optimizasyon süreçleri ile bulanık mantık kural tabanlı; üyelik fonksiyonlarının parametreleri maksimum değerde çıkış parametresine göre performans edilerek hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan kaynak kimyasal bileşim elementlerinden olan %Karbon,

%Silisyum ve %Manganez giriş kaynak parametreleri, çıkış kaynak parametresi olan Akma Mukavemetine göre YBS ve BM hibrit kullanılarak optimum aralığa yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Ar-Ge faaliyetleri sırasında yapılan testleri hem çoğaltmak hem de hızlandırmaktır. Buradan optimize edilmiş en iyi aralıktaki parametre değerlerine ulaşmaktır. Böylelikle klonlanan ve en iyi optimal değerlere sahip testlerle ürün test ve ürün prototip testleri ile Ar-Ge maliyetlerini düşürmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada amaca uygun yapay bağışıklık algoritması ile bulanık mantık algoritması (YBA-BM) birlikte kullanılarak hibrit bir model geliştirilmiştir. E7018-1 tipi örtülü elektrotta maksimum akma mukavemeti için optimum kaynak parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada öncelikle kullanılan algoritmaların içerikleri ve çalışma mantıklarının kısa bir özeti verilmiştir. Ardından gerçekleştirilen uygulama detaylı bir şekilde verilmektedir. Son bölümde ise uygulama ile elde edilen bulgular ve hesaplamalar incelenmiştir. En son bölümde ise gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları ve gelecek çalışmalar ile ilgili önerilerine yer verilmektedir.

II. HİBRİT SİSTEMLER

Yapay Zekâ yaklaşımı makinelerde insan zekasını uygulamayı esas almaktadır. Bilimsel, endüstriyel ve ticari gibi alanlara bakıldığında belirsiz, kesin olmayan ve eksik bilgi analizlerinin gerekli olduğu durumlarda zeki sistemler kullanımına yönelim olmuştur. Böylelikle akıllı hibrit sistemlerin kullanımı, proses kontrolü, mühendislik tasarımı, finansal ticaret, kredi değerlendirmesi, tıbbi teşhis ve bilişsel simülasyon gibi birçok alanda başarılı uygulamalarla hızla büyümektedir [12]. Son uygulamalara bakıldığında iki veya daha fazla akıllı teknoloji içeren hibrit entegrasyona yönelim göstermektedir [13].

Bu çalışmada Yapay Bağışıklık Sistemleri ve Bulanık Mantık algoritmalarının birleşiminden oluşan bir hibrit sistemin kaynak teknolojisi alanındaki kullanımı ve başarımı incelenmiştir.

Yapay Bağışıklık Sistemleri, doğal bağışıklık sistemlerinden esinlenilmiştir. İnsan bağışıklık sistemi, vücudumuzu virüs ve bakteri gibi yabancı maddelerin saldırılarından korumaktadır. Bu yabancı organizmalara antijen denilmektedir. Antijenlerin varlığını hisseden bağışıklığı sağlayan antikörlerin sayısı klonlama yoluyla hızlıca artırılır. Bu işleme “klonal seçim prensibi” denmektedir. Bir antijen hücre karşılık olarak antikör hücresi eşleştğinde oluşacak bağışıklık etkileşimini ortaya koyan klonal seçim mekanizmasıdır. De Castro ve Von Zuben ise doğal seçim mekanizmasına göre CLONALG algoritmasını ortaya koymuşlardır. Şekil 1’ de klonal seçim algoritmasının akış diyagramı görülmektedir. Aşağıda ifade edilen “*f*” amaç fonksiyonunu (Uygunluk Fonksiyonu) temsil etmektedir. “*Ab*” Antijen dizisini (Başlangıç popülasyonu), “*n*” seçimi, “*C*” klonlanan popülasyonu, “*d*” popülasyon sayısını ifade etmektedir. Bu algoritmanın adım adım çalışma prensibi aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Amaç fonksiyonu $g(.)$ optimize edilmek için kullanılır. Her *Ab* antikoru aslında başlangıç popülasyonun da elemanıdır yani gelen antikörün benzerlik değeri hesaplandığı amaç fonksiyonun karşılığına dek gelir.

Adım 2: Her *Ab* için f amaç fonksiyon değeri yani afinite değeri hesaplanır.

Adım 3: En fazla benzerlik gösteren n tane antikör *Ab* kümesinden seçilir. Ardından yeni bir $\{n\}$ *Ab* kümesi oluşturulur.

Adım 4: n tane antikör seçilir ve antijenik benzerliklerine göre klonlama başlatılır. Klonlananlar *C* repertuarıdır. Seçilen her bir n antikörün klon sayısı f benzerlik değeri ile orantılı olduğu için daha yüksek benzerlik oranı olanlar daha fazla sayıda klonlanmış demektir. Klonlama ifadesi Denklem 1’de verilmiştir.

$$C = \text{Round}\left(\frac{\beta \times s(Ab)}{i}\right) \quad (1)$$

Formülü her bir antikör için hesaplanmıştır. Böylece her bir antikörden kaç adet klonlanacağı belirlenir. Burada;

β : dışarıdan girilen bir değişken,

$s(Ab)$: Ab giriş kümesinin eleman sayısı,
 i : Klonlanacak antikörün Ab kümesi içindeki sıra numarasıdır.

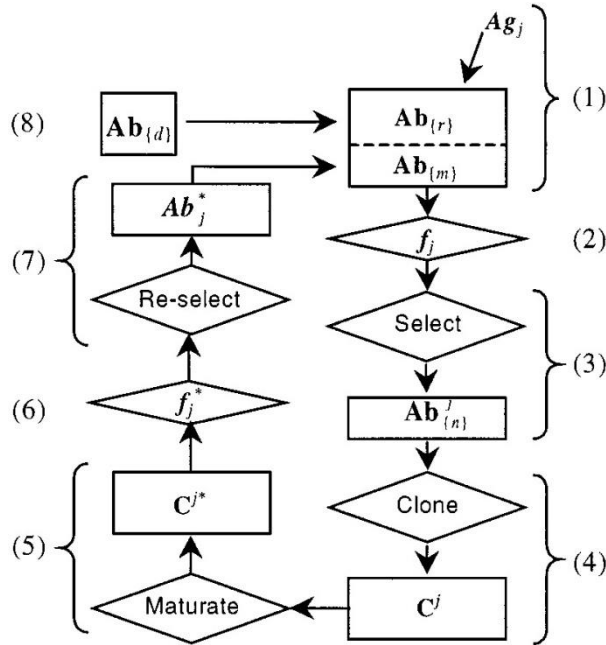
Adım 5: Olgunlaştırma süreci yani hipermutasyon, C repertuarının antijenik benzerlik oranı ile ters orantılı sürecidir. Hipermutasyona uğrayan kopyaların kümesi C^* popülasyonunu oluşturur. Klonlanan elemanların mutasyona uğrama oranı ile benzerlik oranı ters orantılıdır. Daha az mutasyon oranı demek daha yüksek benzerlik veya daha yüksek uygunluk değeri demektir. Mutasyon Denklem 2’de verilmiştir.

$$\text{Round} \left[\left(e^{\frac{-10 \cdot (Ab(i))}{\max(f)}} \right) \times 2 \right] \quad (2)$$

Adım 6: Mutasyona uğratılan C^* klonların benzerlik değerleri (afinite) hesaplanır.

Adım 7: Ab kümesine eklenmek için en yüksek uygunluk değerine sahip n tane antikör yeniden seçilir. Benzerlik oranı yüksek olan orijinal antikörlerinden daha büyük olduğu için bir sonraki popülasyon jenerasyonunu oluşturmak üzere seçilir.

Adım 8: Oluşan Ab kümesinden en düşük benzerlik oranına sahip d tane antikör ile yeni oluşmuş antikörler ile değiştirilir [14]. En kötü antikörler popülasyondan çıkartılarak yerini yeni rasgele oluşturulmuş antikörler alır. Bu işlem bir durdurma durumuna (nesil sayısı) ulaşılan kadar tekrarlanır.



Şekil 1. Klonal seçim algoritması [14].

İnsan bağışıklık sistemi, virüsler ve bakteriler gibi neredeyse sınırsız sayıda yabancı işgalcilere cevap verebilen karmaşık bir ağ yapısı olduğundan paralel ve dağıtılmış uyarlanabilir sistem, pek çok akıllı hesaplama işleminde muazzam bir potansiyel oluşturmaktadır. Bağışıklık temelli tekniklerden bazıları, görünmeyen verilerle ilgili tahminlerde bulunmak için gözlenen verilerdeki kalıpları belirleyebilen algoritmaların geliştirilmesi ve analizini içermektedir [15]. Sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanan Bulanık sistemde, bu verilerdeki aralıkları belirlerken veri kümesine uyum sağlamaktadır. Bu verilerin belirli fonksiyonlara göre matematiksel aşaması bir AIS algoritması

kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Böylelikle bulanık mantık denetleyiciler, sözel ifadeler ile mantıksal değişkenler arasındaki ilişkiyi oluşturmaktadır.

III. UYGULAMA

YBA ve BM hibrit tabanlı bir dinamik girişli kaynak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Hibrit algoritmasında etkili olan kaynak parametrelerine ilişkin üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

YBA algoritması ile %Karbon, % Mangan, %Silikon değerlerine karşılık akma mukavemeti değerleri üretilerek, bu değerlerin aralıkları BM yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen hibrit algoritmalarda; YBA yöntemi KSA ile tasarlanırken BM sisteminde Mamdani çıkarımları kullanılmıştır.

1. YBA Popülasyonun Oluşturulması
2. Klonal Seçim Algoritması Aşaması
3. Bulanık Mantık Aşaması

Metodoloji bölümü, önerilen YBA-BM hibrit algoritmasını oluşturarak bu adımların her birinin süreci nasıl geliştirildiğini detaylandıracaktır.

A. YBA POPÜLASYONUN OLUŞTURULMASI

Başlangıç popülasyonunu oluşturmak için gerekli olan amaç fonksiyonunu, Tablo 1.'de olan Ar-Ge bazı test verileri üzerinden bir regresyon denklemi belirlenmiştir.

Tablo 1. YBA başlangıç popülasyonu.

İterasyon	% Karbon	% Mangan	% Silikon	Akma Mukavemeti
1	0,0544	1,3982	0,3412	468,748
2	0,0768	0,7028	0,479	401,667
3	0,064	1,001	0,3156	448,218
4	0,0631	1,0796	0,4554	426,235
5	0,0731	1,421	0,4992	458,187

Kaynak uzmanları E7018-1 standardına ait test verilerini Minitab istatistiksel programında akma mukavemeti maksimize sağlayan ifade Denklem 3.1.'i elde etmişlerdir. Ardından geliştirilen bu uygulamaya giriş olarak %Karbon, %Mangan ve %Silisyum aralık değerleri ile Denklem 3.1. için esnek veri giriş ekranı hazırlanmıştır. Aşağıdaki Denklem 3'de X1: Karbon, X2: Mangan, X3: Silisyum olarak tanımlanmıştır.

$$(357 + (1015 * X_1) + (90 * X_2) - (202 * X_3)) \quad (3)$$

Bu denklem uygulamanın yapay bağıklık uygunluk fonksiyonunu ifade etmektedir. E7018-1 standarda ilişkin elektrotlar için maksimum ve minimum kimyasal bileşim sınırları belirlidir. Kaynak uzmanları tarafından bu aralıklar içerisinde belirlenen maksimum ve minimum kimyasal bileşimlerin ağırlıkça miktar aralıkları aşağıdaki Tablo 2.'de yer almaktadır.

Tablo 2. Kimyasal bileşim değer aralıkları.

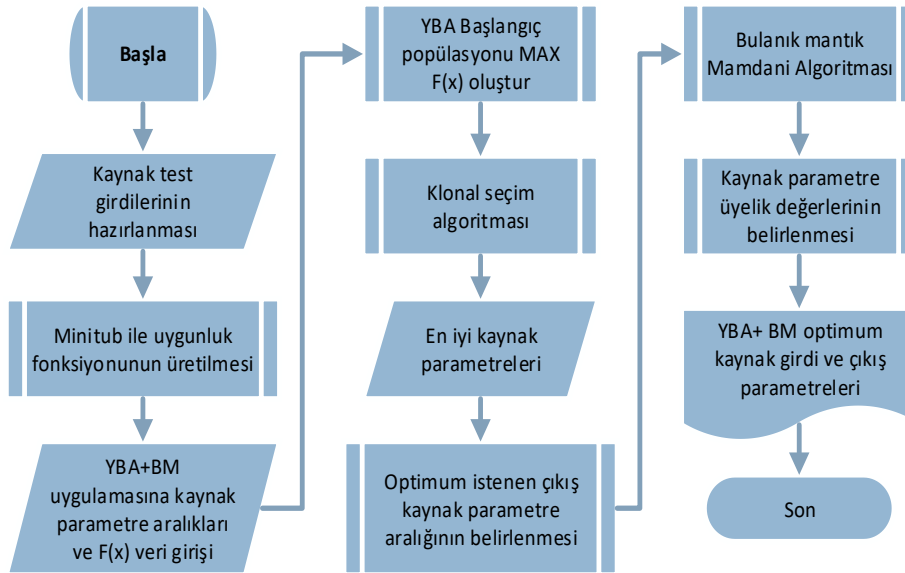
Kimyasal Bileşen	Minimum Ağırlıkça Miktar (%)	Maksimum Ağırlıkça Miktar (%)
%Karbon	0,045	0,085
%Mangan	0,60	1,60
% Silisyum	0,30	0,50

Kaynak metalinin standarda uygun minimum ve maksimum akma mukavemeti de bu sınır değerlerle belirli orantılıdır. Uzmanlara göre bu giriş parametrelerine göre akma mukavemeti minimum ve maksimum sınırları Tablo 3.'de belirtilmiştir. Akma mukavemetinin iyi üyelik derecesine ait YBA'ya giriş maksimum değeri, başlangıç popülasyonunun (Ab) amaç fonksiyonuna göre ürettiği maksimum akma mukavemeti değeri olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Akma mukavemeti değer aralıkları.

	Kötü		Orta		İyi	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.
Akma Mukavemeti (N/mm²)	420	450	450	480	480	AAb (Mak.)

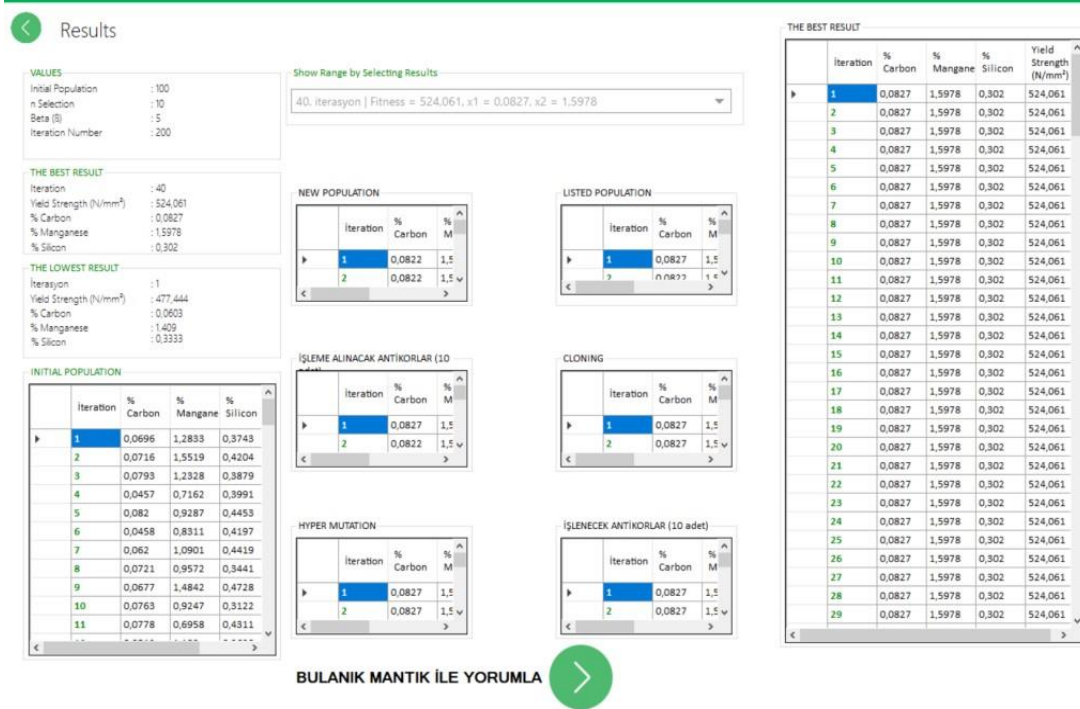
Kaynak kimyasal parametrelerinden Karbon, Manganez, Silisyum ve Akma Mukavemeti, Yapay Bağışıklık Sistemlerinden Klonal seçim algoritması ile uygulamada akma mukavemetini yüksek değer vermesini amaçlayan parametrelerin optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Gerçekleştirilen uygulamada YB algoritmasının çalışma prensibi ve örnek akış diyagramı Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. YBA-BM hibrit yaklaşımının akış şeması.

Kaynak giriş parametrelerinin aralıklarının maksimizasyonu alınır ve en iyi fitness yani akma mukavemeti elde edilir. İterasyon sayısı programda opsiyoneldir. Uygulamada her iterasyon sonunda elde edilen en iyi çözümler gride yer almaktadır. Ayrıca program boyunca elde edilen en iyi çözüm ve hangi iterasyonda bulunduğu bilgisi ile bu çözümü oluşturan değişkenleri de gösterilmektedir. Ardından Bulanık Mantık Kontrol adımlarına aralıkların üyelik değerleri oluşturulması sağlanmaktadır. Bulanık Çıkarım Mekanizması olarak Mamdani fonksiyonu ve Üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Uygulamada her iterasyon sonunda elde edilen en iyi çözümler program ekranında (Şekil 3) yer almaktadır. Ayrıca program boyunca elde edilen en iyi çözüm ve hangi iterasyonda bulunduğu bilgisi ile bu çözümü oluşturan değişkenleri de gösterilmektedir.



Şekil 3. Uygulamadaki YBA algoritma iterasyon adımları.

B. BULANIK MANTIK ALGORİTMASI AŞAMASI

Bulanık Mantık Kontrol adımlarına aralıkların üyelik değerleri oluşturulması için kullanılmaktadır. Bulanık Çıkarım Mekanizması olarak Mamdani fonksiyonu ve Üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Kaynak mühendisleri ile bulanık mantık kural tabanı oluşturulmuştur. Böylelikle modelleme için yapay bağımsızlıktan beslenen değerler yeni bulanık aralıkları ile sentezlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, kaynağın direncine etkili olan kimyasal bileşenlerinden %Karbon, %Manganez ve %Silisyum parametrelerine ilişkin üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Giriş parametreleri olan “%Karbon, %Manganez ve %Silisyum ve çıkış parametresi olan Akma Mukavemeti için üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Bu parametreler, standartlara uygun başlangıç değer aralıkları ve YBA-BM sonrası giriş ve çıkıştaki her bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonları için klonal seçim algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. YBA-BM hibrit uygulamadan örnek yapılan bir deneyden kaynak parametrelerinin üçgen üyelik aralıklarının grafikleri Şekil 4’te gösterimi sağlanmıştır.

Bulanık mantık kural tabanı oluşturulduktan sonra sonuç örnekleri aşağıdaki gibidir:

“Eğer Karbon 0,079 Yüksek ve Mangan 0,918 Düşük ve Silisyum 0,48 Düşük ise Akma Mukavemeti 422,845 Kötü)”

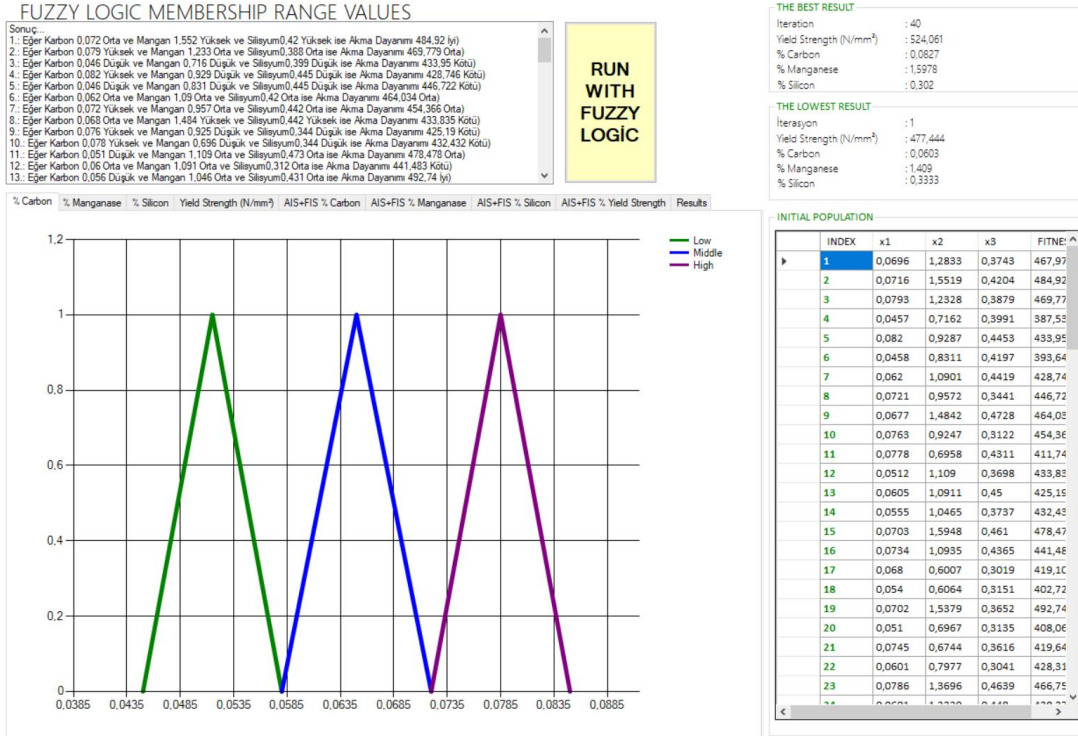
“Eğer Karbon 0,061 Düşük ve Mangan 1,366 Yüksek ve Silisyum 0,48 Yüksek ise Akma Mukavemeti 460,247 Orta)”

“Eğer Karbon 0,062 Düşük ve Mangan 1,126 Yüksek ve Silisyum 0,404 Yüksek ise Akma Mukavemeti 430,774 Kötü)”

“Eğer Karbon 0,069 Yüksek ve Mangan 1,403 Yüksek ve Silisyum 0,326 Yüksek ise Akma Mukavemeti 488,83 İyi)”

“Eğer Karbon 0,066 Yüksek ve Mangan 1,36 Yüksek ve Silisyum 0,317 Yüksek ise Akma Mukavemeti 458,182 Orta)”

“Eğer Karbon 0,072 Yüksek ve Mangan 1,286 Yüksek ve Silisyum 0,449 Yüksek ise Akma Mukavemeti 492,998 İyi)”



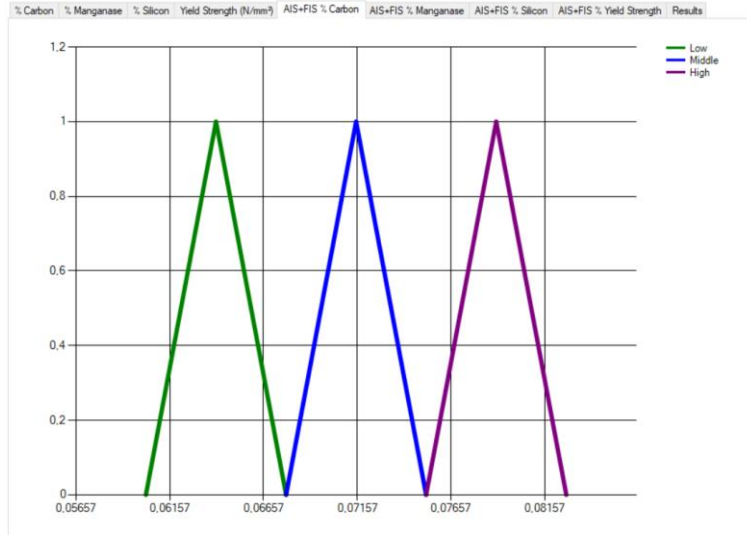
Şekil 4. Uygulamadaki bulanık mantık grafiksel sonuçları.

III. HESAPLAMA

YBA-BM algoritmasıyla amaçlanan maksimizasyon akma mukavemetinin kaynak parametreleri üzerindeki etki sonuçları aşağıdaki grafiklerle verilmiştir. Karbon, Manganez ve Silisyum kaynak giriş parametrelerinin algoritmaya tabi tutuldukça aralığın daraldığı, maksimum akma mukavemeti için ise düşük, orta, yüksek için yeni üyelik optimum aralıkları oluşturduğu gözlemlenmiştir.

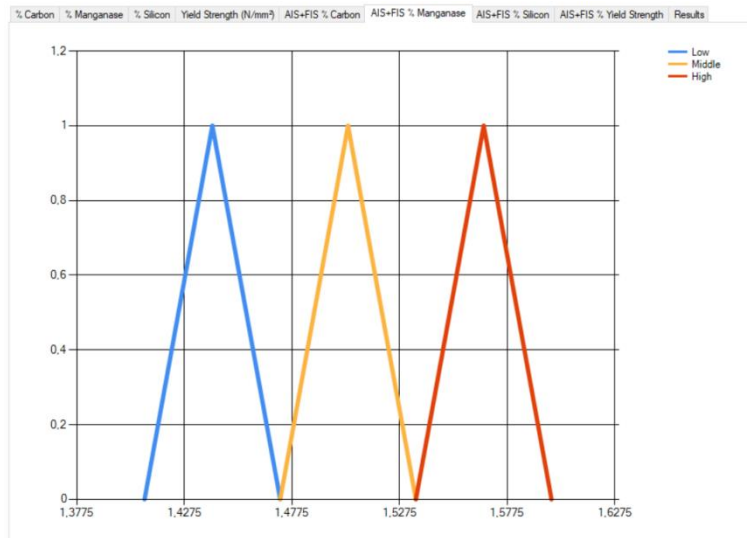
Karbonun uzmanlar tarafından belirlenen giriş değer aralıkları: minimum 0.045 maksimum 0.085 olarak uygulamaya girilmiştir. YBA başlangıç popülasyonu ile bu aralıkta değerler üretilmiştir. YBA-BM hibrit algoritmalarından sonra elde edilen optimum değer aralıkları minimum 0.06 maksimum ise 0.083 bulunmuştur. Böylelikle Şekil 5’de gösterildiği gibi “düşük”, “orta” ve “yüksek” olarak oluşturulmuş olan aralıkların daraldığı gözlemlenmiştir. %Karbon için çıkış üyelik aralıkları Düşük için 0.06 ile 0.068, Orta için 0.068 ile 0.075, Yüksek için 0.075 ile 0.083 değerleri arasındadır. Bu değerlere göre üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak çizdirilen grafik Şekil 5’de görülmektedir.

Akma mukavemeti değerlerinin yüksek olması istenildiği durumlarda elektrot içeriğinde karbon miktarının da yüksek olması sağlanmaktadır. Bu yüzden kaynak uzmanları tarafından oluşturulan formüle göre yüksek akma mukavemeti amaçlanarak karbon yüzdeliği yüksek olması beklenmiştir. Sonuçlara göre %Karbon elementi için en düşük 0.045 değerinden 0.06 değerine algoritma ile çıkması sonucu yüksek akma mukavemeti için yüksek karbon değerleri kullanılabilirliği gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Uygulamadaki % Karbon elementi çıkış aralıkları.

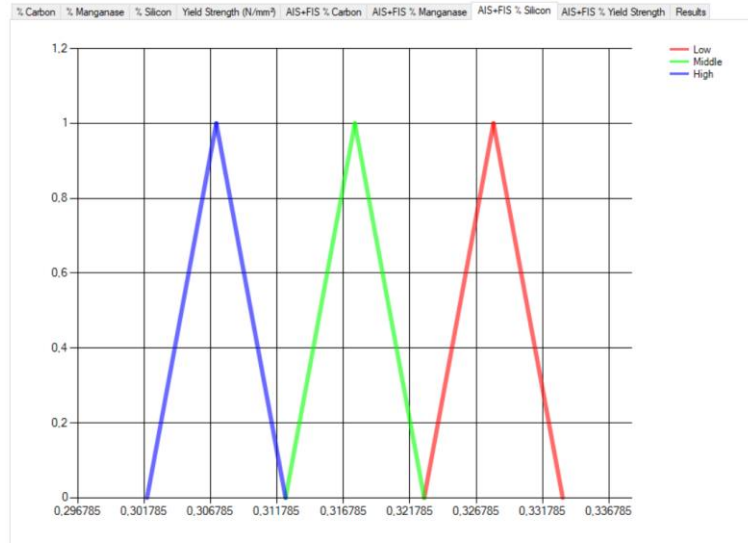
Manganez parametresi için belirlenen giriş değer aralıkları minimum 0.60 maksimum 1.60 olarak girilmiş ve YBA başlangıç popülasyonu ile bu aralıkta değerler üretilmiştir. YBA-BM hibrit algoritmalarından sonra elde edilen optimum değer aralıkları minimum 1.409 maksimum ise 1.598 olarak bulunmuştur. Böylelikle Şekil 6’te gösterildiği gibi “düşük”, “orta”, ve “yüksek” oluşturulmuş olan aralıklar daraldığı gözlemlenmiştir. %Manganez için çıkış üyelik aralıklarına baktığımızda ağırlıkça miktarları (%); Düşük 1.409 ile 1.472, Orta 1.472 ile 1.535, Yüksek 1.535 ile 1.598 değerleri arasındadır. Bu değerlere göre üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak çizdirilen % Manganez için çıkış üçgen üyelik fonksiyonlarının grafikleri Şekil 6’te görülmektedir. Karbon elementi gibi Mangan elementi de akma mukavemetini arttıran özelliğe sahiptir. Bu bakımdan fitness fonksiyonumuzda karbon ve manganezin yükselimi akma mukavemeti değerini de arttıran doğru orantıya sahiptir.



Şekil 6. Uygulamadaki % Manganez elementi çıkış aralıkları.

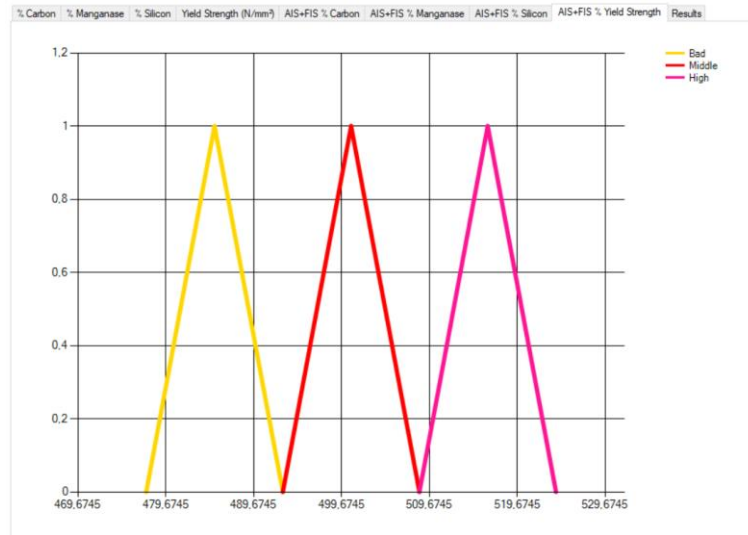
% Silisyum parametresi için belirlenen giriş değer aralıkları: minimum 0,30 maksimum 0,50 olarak girilmiş ve YBA başlangıç popülasyonu ile bu aralıkta değerler üretilmiştir. % Silisyum için çıkış üçgen üyelik fonksiyonlarının grafikleri Şekil 7 ’de görülmektedir. YBA-BM hibrit sistem ile minimum 0,333 maksimum ise 0,302 olarak bulunmuştur. Silisyum parametresinin giriş ve çıkış üçgen üyeliklerine bakarsak; fitness fonksiyonundaki negatiflik durumu ile Akma Mukavemetine etkisi ters orantıya sahiptir. Böylelikle girişe göre düşük değerler arasında daralmasına sebep olmuştur.

Ne kadar akma mukavemeti artırımına etkisi olsa da Karbon ve Manganez elementlerine göre etkisi daha az olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7. Uygulamadaki % Silisyum elementi çıkış aralıkları.

Akma Mukavemeti için uzmanlar tarafından minimum 420 N/mm² maksimum fitness maksimum değeri belirlenmiştir. YBA başlangıç popülasyonun üyelik aralıkları minimum 422,127 N/mm² maksimum 510,336 N/mm² üretilmiştir. YBA başlangıç popülasyonu ile bu aralıkta değerler üretilmiştir. YBA-BM hibrit sisteme tabi tutulduktan sonra istenilen maksimum Akma Mukavemeti aralıkları; minimum 477,444 maksimum ise 524,061 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak çizdirilen akma mukavemeti için çıkış üçgen üyelik fonksiyonlarının grafikleri Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Uygulamadaki akma mukavemeti elementi çıkış aralıkları.

Giriş parametreleri olan “%Karbon, %Manganez ve %Silisyum ve çıkış parametresi olan Akma Mukavemeti parametresinin başlangıç popülasyonu ile YBA-BM hibrit algoritması sonuçları Şekil 9’da yer almaktadır. Buradan görüleceği üzere her bir elementin uygulamaya girmeden önceki minimum ve maksimum aralıkları ile sisteme girdikten sonraki minimum ve maksimum aralıkları tablo halinde resmedilmiştir. Buradaki amaç uygulama mühendisi için her bir giriş parametresinin değişimine karşılık akma mukavemetinin nasıl değiştiği görülmektedir. Çalışmada klonal seçim

algoritması kullanılarak gerçekleştirilen maksimizasyon istenilen akma mukavemeti parametresi için giriş parametre aralıkları daraltılmıştır. Böylelikle uygulama ile daha az sayıda deney ve prototiplerle Ar-Ge çalışmalarında kaynak elektrod üretimini hızlandıracaktır. Ayrıca daha yüksek dirençli ve kaliteli elektrodlar üretimi için esnek veri girişli uygulama diğer kaynak parametrelerine uygunluk göstermektedir.

% Carbon	% Manganese	% Silicon	Yield Strength (N/mm ²)	AIS+FIS % Carbon	AIS+FIS % Manganese	AIS+FIS % Silicon	AIS+FIS % Yield Strength	Results	
BEFORE AIS + FIS : CARBON				BEFORE AIS + FIS : MANGANESE				BEFORE AIS + FIS : SİLİCON	
Carbon Min Low:	0,045			Manganese Min Low:	0,601			Silicon Min Low:	0,302
Carbon Max Low:	0,058			Manganese Max Low:	0,929			Silicon Max Low:	0,365
Carbon Min Middle:	0,058			Manganese Min Middle:	0,929			Silicon Min Middle:	0,365
Carbon Max Middle:	0,072			Manganese Max Middle:	1,283			Silicon Max Middle:	0,436
Carbon Min High:	0,072			Manganese Min High:	1,283			Silicon Min High:	0,436
Carbon Max High:	0,085			Manganese Max High:	1,599			Silicon Max High:	0,499
AFTER AIS + FIS : Carbon				AFTER AIS + FIS : MANGANESE				AFTER AIS + FIS : SİLİCON	
Carbon Min Low:	0,06			Manganese Min Low:	1,409			Silicon Min Low:	0,333
Carbon Max Low:	0,068			Manganese Max Low:	1,472			Silicon Max Low:	0,323
Carbon Min Middle:	0,068			Manganese Min Middle:	1,472			Silicon Min Middle:	0,323
Carbon Max Middle:	0,075			Manganese Max Middle:	1,535			Silicon Max Middle:	0,312
Carbon Min High:	0,075			Manganese Min High:	1,535			Silicon Min High:	0,312
Carbon Max High:	0,083			Manganese Max High:	1,598			Silicon Max High:	0,302
BEFORE AIS + FIS : YIELD STRENGTH				AFTER AIS + FIS : YIELD STRENGTH					
Yield Strenght Min Bad:	422,127			Yield Strenght Min Bad:	477,444				
Yield Strenght Max Bad:	449,055			Yield Strenght Max Bad:	492,983				
Yield Strenght Min Middle:	449,055			Yield Strenght Min Middle:	492,983				
Yield Strenght Max Middle:	481,63			Yield Strenght Max Middle:	508,522				
Yield Strenght Min High:	481,63			Yield Strenght Min High:	508,522				
Yield Strenght Max High:	510,336			Yield Strenght Max High:	524,061				

Şekil 9. Uygulamadaki parametrelerin giriş ve çıkış aralık sonuçları.

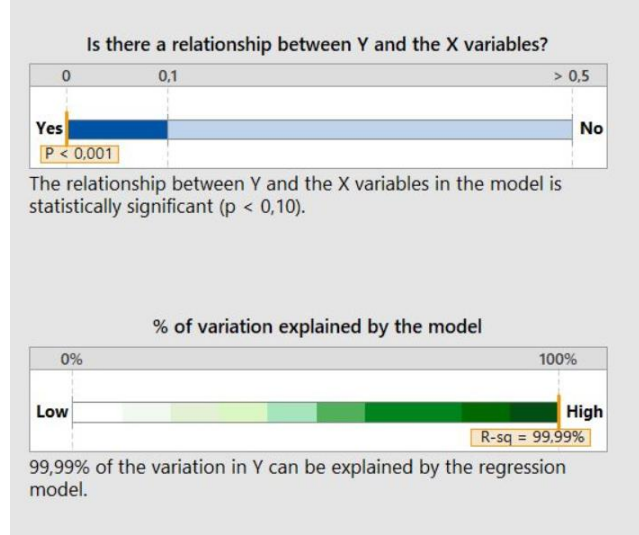
IV. SONUÇ

Bu çalışmada, önerilen metodolojiyi doğrulamak ve performansı test etmek adına sektöriyel olarak fabrikada yapılan MINITAB-17 uygulaması ile çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Denklem 4, E7018-1 tipi örtülü elektrotta maksimum akma mukavemeti için optimum kaynak parametrelerinin elde edilmesi için kullanılan denklemdir. Bu denklem birçok deneme sonucunda elde edilmiştir. Denklem 5’de elde edilen %Karbon, %Silisyum ve %Manganez katsayıları ise uygulama tarafından elde edilen değerlerdir. Test sonuçlarına bakıldığında paket programa verilen Denklem 4’deki değerler, geliştirilen uygulama ile elde edilen Denklem 5’deki parametreler karşılaştırıldığında %99.9 oranında tutarlılık görülmektedir.

$$(357 + (1015 * \text{Karbon}) + (90 * \text{Manganez}) - (202 * \text{Silisyum})) \quad (4)$$

$$(356,862 + (1015,69 * \text{Karbon}) + (89,942 * \text{Manganez}) - (201,761 * \text{Silisyum})) \quad (5)$$

Modeldeki giriş değişkenleri (Karbon, Silisyum, Manganez) X, çıkış değişkeni (Akma mukavemeti) Y olarak tanımlandığına göre, X ve Y değişkenleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu regresyon modeli Y’deki değişimin %99,99 oranıyla açıklanabilirliğini Şekil 10’de göstermektedir.



Şekil 10. Minitab Programı giriş ve çıktıların optimal sonuçları.

Çalışmalarımızda, kaynak üretim Ar-Ge faaliyetlerini hızlandırmak ve maliyetlerini düşürmek amacıyla YBS Klonal Seçim Algoritması (KSA) ile Bulanık Mantık hibrit algoritma yöntemi ele alınmıştır. Deneysel çalışmalar bahsedilen parametreler göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. E7018-1 tipi kaynak sarf malzemesi üzerine yapılan çalışmada, elle ark kaynak parametrelerinin kaynak dayanımına etkileri incelenmiş ve yüksek mukavemetli ürünler üretmek için kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Deney sonuçları ile maksimum akma mukavemeti amaçlanarak, %Karbon, %Silisyum, %Manganez giriş kaynak parametre aralıkları daraltılmıştır. YBA-BM hibrit algoritma yöntemi ile Maksimum akma mukavemeti için optimum değerlerin başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın başarısını belirlemek amacıyla uzman kararları ile karşılaştırma yapılmış ve sistemin sonuçlarının en iyi optimum değerleri; düşük hata oranları Minitab istatistiksel uygulama ile başarılı bir şekilde tespit ettiği gözlenmiştir. Bulanık girişim sistemi, nihai çekme dayanımını bulmak için kullanılmıştır. YBA-BM uygulaması ile her parametrenin anlamlılık seviyesinin bulunmasına yardımcı olmaktadır. MINITAB-17 yazılımı kullanılarak optimum değer öngörülmüştür.

Ar-Ge faaliyetleri esnasında, alaşımlama yani örtüden kaynak metaline element geçişini sağlamak amacıyla, çeşitli yüzdelerde karbon, silisyum ve manganez içeren ferro alyaj hammaddeler kullanılmaktadır. En sık kullanılan ferro alyajlar; ferro-silisyum, ferro manganez afine, elektrolitik manganez, ferro manganez karbüre ve siliko-manganezdır. Bu hammaddeler uygun mekanik özellikleri sağlamak amacıyla uzmanlar tarafından çeşitli yüzdelerle sarf malzeme formüllerine ilave edilir. İlave edilecek ideal hammadde miktarının belirlenmesi adına çok sayıda denemeler gerçekleştirilmektedir. Bu denemeler hem malzeme hem de zaman açısından kayıplara sebep olmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen “elementlerin daraltılmış aralıkları” sayesinde, Ar-Ge faaliyetinin henüz başında, ilave edilecek hammaddelerin miktarıyla ilgili kısıtlamalar belirlenerek, çok daha az sayıda deneme gerçekleştirilmesi sağlanmış olacaktır. Bilinen bir ürün için yapılan bu çalışmanın sonuçlarından yola çıkılarak zeki yöntemler kullanarak Ar-Ge faaliyetlerinde hammadde miktarları, daha doğru aralıklar ve daha doğru yüzdelerle saf malzeme formüllerinin sağlanabileceği görülmektedir. Böylelikle ideal hammadde miktarları daha az ve daha doğru deneylerle gerçekleştirilecektir.

V. KAYNAKLAR

[1] G. Casalino, F. Facchini, M. Mortello & G. Mummolo, “ANN modelling to optimize manufacturing processes: the case of laser welding” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 12, pp. 378-383, 2016.

- [2] S. Huff, "TIG Welding Skill Extraction using a Machine Learning Algorithm," Texas State University, San Marcos, Texas, 2017.
- [3] S. Wu, T. Polte and D. Rehfeldt, "A fuzzy logic system for process monitoring and quality evaluation in GMAW," *Welding Journal*, vol. 80, no. 2, pp.33-38, 2001.
- [4] S. Mahesh and V. Appalaraju, "Optimization of MIG Welding Parameters for Improving Strength of Welded Joints," *International Journal of Innovative Technology and Research*, vol. 5, no. 3, pp. 6453-6458, 2017.
- [5] K. R. Naik and A. K. Khandelwal, "Effects of the Bead Geometry of MIG Arc Welding Analysis by Fuzzy Logic Method," *International Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 6, pp.166-171, 2017.
- [6] A. Al-Faruk, A. Hasib, N. Ahmed and U. K. Das, "Prediction of Weld Bead Geometry and Penetration in Electric Arc Welding using Artificial Neural Networks," *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, vol.10, no. 4, pp.19-24, 2010.
- [7] B. Sunil, B. B. Naik, K. Sammaiah, K. Murti and N. Ananth, "Discretization and artificial neural network approach in resistance spot welding of aluminium alloy AA6063 T6 sheets used in automotive applications," *International Journal of Advanced Research and Development*, vol. 2, no.6, pp.371-377, 2017.
- [8] J. Timmis, T. Knight, L. N. Castro and E. Hart, "An Overview of Artificial Immune Systems", in, *Computation in Cells and Tissues*, R. Paton, H. Bolouri, M. Holcombe, J. Parish, & R. Tateson Natural Computing Series, Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 51-91, 2004.
- [9] S. Forrest, A. P. "Self-nonsel self discrimination in a computer," *IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy*, Oakland, 1994.
- [10] J. Brown, M. Anwar and G. Dozier, "Detection of Mobile Malware: An Artificial Immunity Approach," *IEEE Security and Privacy Workshops*, San Jose, CA, 2016, pp. 74-80.
- [11] B. Alatas, I. Aydin and E. Akin, "Asenkron Motorların Hata Teşhisinde Yapay Bağışıklık Sistemi Yaklaşımı," *2. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2005, ss. 76-85.
- [12] R. Singh and T. Prasad, "Exploration of Hybrid Neuro Fuzzy Systems," *National Conference on Advances in Knowledge Management*, Faridabad, Haryana, India, 2010, pp.1-7.
- [13] I. Hatzilygeroudis and J. Prentzas, "Integrating (rules, neural networks) and cases for knowledge representation and reasoning in expert systems," *Expert Systems with Applications*, vol. 27, no. 1, pp.63-75, 2004.
- [14] O. Engin and A. Döyen, "Artificial Immune Systems and Applications in Industrial Problems," *Gazi University Journal of Science*, vol. 17, no.1, pp.71-84, 2004.
- [15] O. Nasaroui, F. Gonzalez, and D. Dasgupta, "The fuzzy artificial immune system: motivations, basic concepts, and application to clustering and Web profiling," *IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Honolulu, HI, USA, 2002.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yapay Sinir Ağları ve K-Ortalamlar Tabanlı Büyük Veri Azaltma Algoritmasının Tasarımı ve Uygulaması¹

 Seyithan TEMEL ^{a,*},  Hamdi Tolga KAHRAMAN ^b

^a Yazılım Mühendisliği Bölümü, Of Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Yazılım Mühendisliği Bölümü, Of Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: seyithantemel@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1014161

ÖZ

Büyük veri azaltma sürecinde karşılaşılan başlıca zorluk, veri setinin homojenliğinin ve problem uzayını temsil yeteneğinin korunmasıdır. Bu durum, büyük veri setleri üzerinde yapılan modelleme çalışmalarında hesaplama karmaşıklığının yeterince azaltılmamasına, geliştirilen modelin orijinal veri setine dayalı olarak geliştirilen modele kıyasla kararlılık ve doğruluk performansının önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu makale çalışmasının amacı, büyük veri setleri için kararlı ve etkili bir şekilde çalışan veri azaltma algoritması geliştirmektir. Bu amaçla, yapay sinir ağları (YSA) tabanlı problem modelleme modülü ve K-ortalamlar tabanlı veri azaltma modülünden oluşan melez bir algoritma geliştirilmiştir. Problem modelleme modülü, büyük veri seti için performans eşik değerlerini tanımlamayı sağlamaktadır. Bu sayede, orijinal veri setinin ve veri azaltma işlemi uygulanmış veri setlerinin problem uzayını temsil yetenekleri ve kararlılıkları analiz edilmektedir. K-ortalamlar modülünün görevi ise, veri uzayını K-adet kümede gruplamayı ve bu grupların her biri için küme merkezini referans olarak kademeli olarak veri (gözlem) azaltma işlemi gerçekleştirmektir. Böylelikle, K-ortalamlar modülü ile veri azaltma işlemi uygulanırken, azaltılmış veri setlerinin performansı ise YSA modülü ile test edilmekte ve performans eşik değerlerini karşılama durumu analiz edilmektedir. Geliştirilen melez veri azaltma algoritmasının performansını test etmek ve doğrulamak amacıyla UCI Machine Learning uluslararası veri havuzunda yer alan üç farklı veri seti kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre büyük veri setlerinde kararlılık ve performans kaybı yaşanmadan %30-%40 oranları arasında veri azaltma işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Büyük veri, Veri azaltma, K-ortalamlar, Yapay sinir ağları, UCI Machine learning

Design and Implementation of Artificial Neural Networks and K-Means Based Big Data Reduction Algorithm

ABSTRACT

The main challenge in the big data reduction process is maintaining the homogeneity of the data set and its ability to represent the problem domain. This situation causes the computational complexity to not be sufficiently reduced in modeling studies on large data sets, and the stability and accuracy performance of the developed model decreases significantly compared to the model developed based on the original data set. The purpose of this article study is to develop a stable and effective data reduction algorithm for big data sets. For

this purpose, a hybrid algorithm consisting of artificial neural networks (ANN) based problem modeling module and K-means based data reduction module has been developed. The problem modeling module provides a way to define performance thresholds for a large data set. In this way, the problem space representation capabilities and stability of the original data set and data reduction applied data sets are analyzed. The task of the K-means module is to group the data space into K-numbers clusters and to perform a gradual reduction of data (observation) by referencing the cluster center for each of these groups. Thus, while the data reduction process is applied with the K-means module, the performance of the reduced data sets is tested with the ANN module and the situation of meeting the performance threshold values is analyzed. In order to test and verify the performance of the developed hybrid data reduction algorithm, three different datasets in the UCI Machine Learning international data repository were used. Experimental study results were analyzed statistically. According to the results of the analysis, data reduction between 30% and 40% was successfully performed without any loss of stability and performance in large data sets.

Keywords: Big data, Data reduction, K-Means, Artificial neural network, UCI Machine learning

¹ICAAME 2021 konferansında sunulmuş olup, tam metin olarak basılmıştır.
Geliş: 13/11/2021, Düzeltme: 11/12/2021, Kabul: 16/12/2021

I. GİRİŞ

Günümüzde büyük verinin hızlı ve etkili bir şekilde işlenmesi önemli bir problemdir [1]. Teknolojinin gelişimine bağlı olarak veriye bağlı olarak işleyen uygulamaların ve sistemlerin sayısı da artmıştır. Veri üreten cihaz sayısı ve üretilen verinin parabolik artışı ile büyük veri kavramı hiç olmadığı kadar önemli hale gelmiştir. Büyük veri üzerinde yapılan işlemler büyük veri madenciliği kapsamındadır. Büyük veri madenciliğinde amaç büyük veriyi işleyip değerli veriyi elde etmektir. Bu büyük veriler için önemli bir noktadır çünkü veri büyüdükçe işlenmesi için gereken maliyette parabolik olarak büyür. Veri boyutu azaltma konusunda oldukça güçlü ve güncel melez bir algoritma olarak [2] numaralı çalışma incelenebilir. Benzer şekilde veri madenciliğinde gürültülü verilerin tespit edilmesinde kullanılan melez ve etkili bir algoritma olarak [3] numaralı çalışma incelenebilir.

Literatürde Değerli veriyi elde etmek için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok bilinen algoritmalar Temel Bileşen Analizi (PCA, Principal Component Analysis) ve Negatif Matris Çarpanlarına Ayırma (NNMF-Non Negative Matrix Factorization) algoritmalarıdır. Bu algoritmalar boyut indirgeme tabanlı algoritmalarıdır.

Bu makale çalışmasında amaç, büyük veri içerisindeki değerli veriye ulaşmak ve en az sayıda veriyle büyük veri setlerinin problemi temsil etme yeteneğini sağlayabilmektir. Böylelikle problem uzayını homojen bir şekilde özetleyen bir veri setinin oluşturulması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen yöntem büyük veri içerisindeki her bir veri noktasını işleyip değerli veriyi arayacaktır. Literatürde büyük veride değerli veriye ulaşma konusunda verinin kendisini azaltarak azaltma işlemi yapan herhangi bir yonteme rastlanmamıştır. Geliştirilen yöntem yapay sinir ağları kullanılarak tahmin problemlerinde tahmin performansına göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre yapay sinir ağlarının tahmin performans hatası değerli veri setinde daha düşük, orijinal veri setinden daha yüksek olmalıdır. Bu amaçla boyut sayısı ve veri sayısı bakımından çeşitli veri setleri ile yapay sinir ağı eğitilip tahmin performans hatası ölçülmüştür. Birden çok tekrar sonucu elde edilen sonuçlar ikili karşılaştırma yöntemi ile karşılaştırılmış olup geliştirilen yöntemin tahmin performansının daha iyi olduğu görülmüştür.

Makalede sırasıyla yöntem, deneysel çalışma ve sonuçlar kısımlarından bahsedilecektir. Yöntem kısmında geliştirilen yöntemin öğeleri olan K-Ortalamlar algoritması ve Yapay Sinir Ağları'ndan bahsedilecek ve daha sonra geliştirilen yöntemin işleyişi ve çalışması ele alınacaktır. Bir sonraki kısım

olan Deneysel Çalışma kısmında kullanılan veri setleri hakkında bilgi verilip, orijinal veri setinin tahmin performansı ve geliştirilen yöntemin tahmin performansı sunulacaktır. Son kısım olan Sonuçlar kısmında deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar ele alınacaktır.

II. YÖNTEM

Bu bölümde veri azaltma algoritmasının öğeleri olan K-Ortalamlar ve Yapay Sınır Ağlarını ve işleyişi açıklanmaktadır. Bir sonraki kısımda Küme Merkezine Uzaklık Tabanlı Orantılı Veri Azaltma (KMUTOVA) yönteminin detaylarından bahsedilecektir.

A. K-ORTALAMALAR

K-Ortalamlar (KO) yöntemi uzun yıllardan beri en çok kullanılan bölümlenici yöntemlerden biridir. Nesne sınıflandırma, görüntü bölümlenme, veri madenciliği, makine öğrenmesi gibi bilişim uygulamaları yanında iktisat, müşteri yönetimi, pazarlama, biyoinformatik ve mühendislik araştırmaları gibi hemen her alanda en çok kullanılan yöntemler arasında en çok karşılaşılan yöntemler arasındadır. K-Ortalamlar yönteminin en önemli avantajı uygulanmasının basit olmasıdır [4, 5-10].

K-Ortalamlar yöntemi verilerin benzer özelliklerine göre ayrılması için verilerin küme merkezlerine olan uzaklığını kullanmaktadır. K-Ortalamlar yöntemi Denklem (1)' de yer alan J amaç fonksiyonunu minimize etmeyi hedefler.

$$j = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (1)$$

Denklem (1)'de yer alan J amaç fonksiyonunda k küme sayısını, n nesne(veri) sayısını belirtir. Denklemde yer alan $x_i^{(j)}$ j . kümeye ait i . nesne(veri) ve c_j j kümesinin küme merkezidir.

$$d_{ij} = \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (2)$$

Denklem (2)'de yer alan d_{ij} i . nesne'nin j . küme merkezine uzaklığı belirten denklemdir.

$$c_j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{x_{ij}}{n_j}; \quad 1 \leq j \leq k \quad (3)$$

K-Ortalamlar yöntemi aşağıdaki adımları takip etmektedir [11]:

- 1) Veri setinden rastgele k adet küme merkezi seçilir.
- 2) Veri noktaları ile küme merkezleri arasındaki uzaklık değerleri hesaplanır.
- 3) Veri noktaları kendilerine en küçük uzaklığa sahip olan merkezlerin ait olduğu kümelere atanır.
- 4) Küme merkezleri Denklem (3)'e göre güncellenir.
- 5) Küme değiştiren veri noktaları yoksa ya da birbirini izleyen iki adımda hata karelerindeki artış tanımlanmış bir yaklaşma değerine eşit veya küçükse kümeleme sona erdirilir, değilse 2. adıma geçilerek işlemler tekrarlanır.

Algoritma 1. K-Ortalamlar Algoritması [12]

Girişler :

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ // D veri setinden n veri.

k // Belirlenen küme sayısı
Çıktılar : k kümeye ayrılmış veri seti
Adımlar : <ol style="list-style-type: none"> 1. Başlangıç merkezleri random olarak k tane seçilir. 2. Tekrar et: <p style="text-align: center;">Her veriyi(di) en yakın ağırlık merkezine sahip kümeye atayın; Her küme için yeni ortalama hesaplayın;</p> <p style="text-align: center;">Yakınsama kriterleri sağlanınca bitir.</p>

B. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beyninin öğrenme yapısını modellemek için geliştirilmiştir. İnsanlarda olduğu gibi makinelere de olaylardan öğrenme, sonuç çıkarma ve karar verme yetenekleri kazandırılmak istenmiştir.

YSA'nın temel olarak 2 bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler Öğrenme Algoritması ve Aktivasyon Fonksiyonudur. YSA'da girdiler ağırlıklar ile çarpılarak net girdi elde edilir. Elde edilen net girdi YSA'nın temel bileşenlerden olan Öğrenme Algoritması'na girdi olarak sağlanır. Ağdaki veri biyolojik ağlarda sinaps olarak bilinen, YSA'da ise ağırlık diye adlandırdığımız uçlar da tutulur. Öğrenme Algoritması en uygun ağırlık değerlerini bulmayı hedefler. En uygun ağırlık değerlerini girdi değerlerini ve mevcut ağırlık değerlerini çeşitli işlemlerden geçirerek bulmayı amaçlar.

YSA'nın diğer bir temel ögesi olan Aktivasyon Fonksiyonu bir değişkeni farklı bir boyuta taşıyan doğrusal veya doğrusal olmayan bir fonksiyondur. YSA'da Aktivasyon Fonksiyonu yapay sinir hücreleri girdi verileri üzerinde işlem yaparak buna karşılık gelen net çıktı sonuçları elde eder [13-20].

Algoritma 2. YSA Temel Adımları [21]	
i.	Algoritmayı başlatmak için tüm nöronlar arasındaki bağlantılara rastgele ağırlık atanır.
ii.	Girişler ve bağlantılar kullanarak Gizli Döğümlerin aktivasyon oranı bulunur.
iii.	Gizli döğümlerin ve Çıkış bağlantılarının aktivasyon oranını kullanarak, Çıkış Döğümlerinin aktivasyon oranı bulunur.
iv.	Çıkış döğümündeki hata oranı bulunur ve Gizli Döğümler ile çıkış Döğümleri arasındaki tüm bağlantılar yeniden kalibre edilir.
v.	Çıktı döğümünde bulunan Ağırlıkları ve hatayı kullanarak, Gizli Döğümlerdeki hata indirilir.
vi.	Gizli döğüm ve giriş döğümleri arasındaki ağırlıkları yeniden ayarlanır.
vii.	Bitirme kriteri sağlanana kadar süreç tekrarlanır.
viii.	Son bağlantı ağırlıklarının kullanılması, çıktı döğümlerinin etkinleştirme oranını belirler.

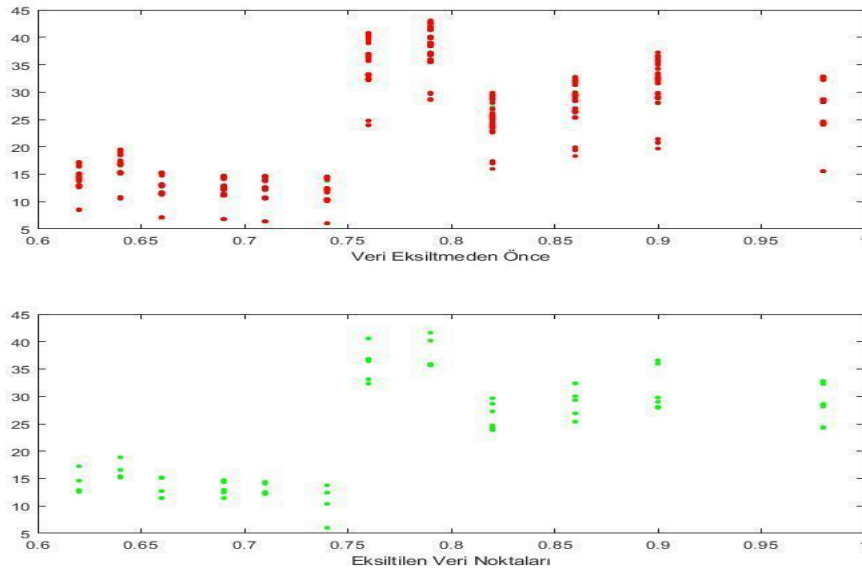
C. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM: K-ORTALAMALAR TABANLI BÜYÜK VERİ AZALTMA ARACI

Geliştirilen yöntem olan Küme Merkezine Uzaklık Tabanlı Orantılı Veri Azaltma (KMUTOVA) algoritması girdi setini kümeler ayırarak kümeler üzerinden işlem yapan bir algoritmadır. Algoritma adımlarına göre veri n adet kümeye ayrılır. Bu işlemin amacı girdi setini bir bütün olarak değil birer parça olarak ele almak ve ele alınan kümeler (parçalar) içindeki baskın özellikleri öne çıkarmaktır. Girdi setinin kümeler (parçalara) ayrıştırılmaması durumunda tüm girdi seti içerisindeki baskın özellikler ortaya çıkacaktır [24-28]. Girdi setinin kümeler ayrıldıktan itibaren ele alınacak küme içerisinde azaltılacak veri belirleme işlemlerine geçilebilir. Bu işlem küme içerisindeki verilerin küme merkezlerine olan uzaklığı hesaplanarak belirlenir. Küme merkezine uzaklık hesaplamasında Denklem (4)'te verilen Öklid uzaklık bağıntısı kullanılmıştır.

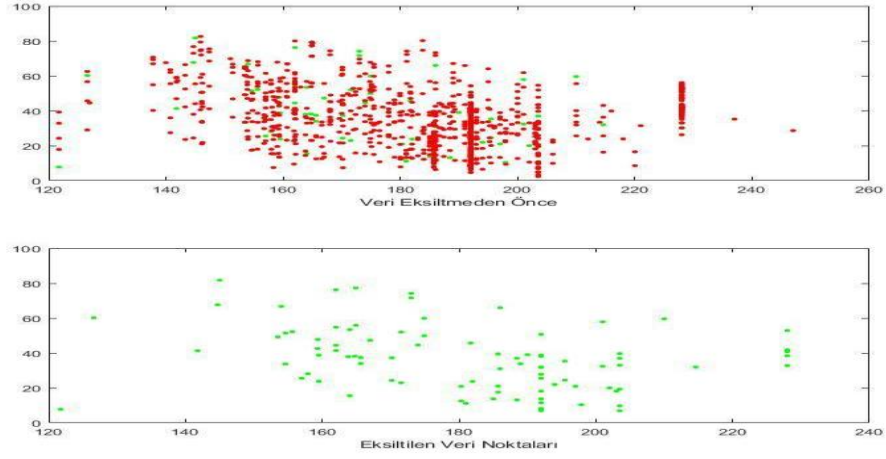
$$S_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij}^k - v_j^k)^2} \quad (4)$$

Denklem (4)'te verilen j verilerin boyutunu temsil etmektedir. v_{ij}^k k kümesinin i . elemanını ve v_j^k k . kümenin küme merkezini temsil etmektedir. Küme içerisindeki tüm verilerin küme merkezlerine uzaklıkları hesaplandıktan sonra veri noktalarının küme merkezine en uzak olandan küme merkezine en yakın olan doğru sıralanması gerçekleştirir.

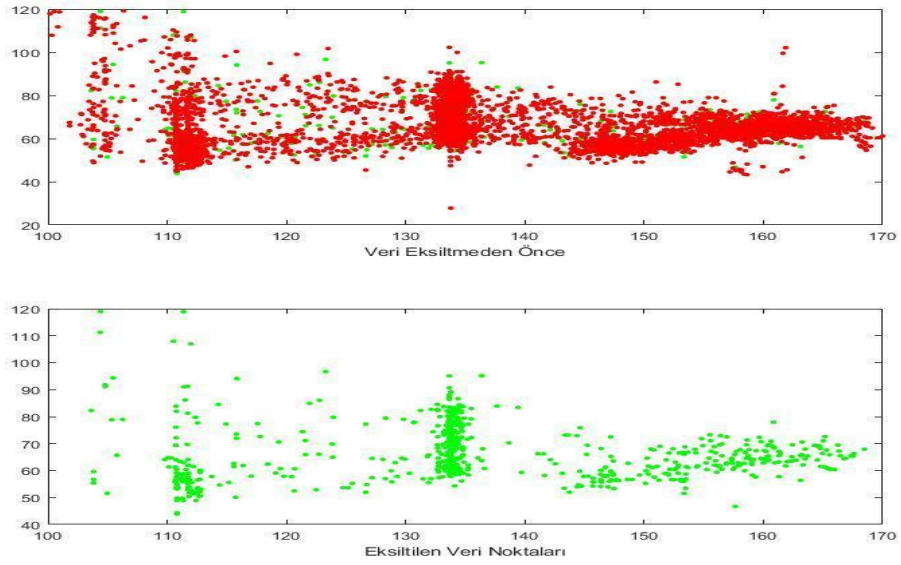
Bu işlemden sonra çıkartılacak (eksiltilecek, azaltılacak) veri noktaları seçilir. Bu seçim rastgele bir şekilde veya küme merkezine en uzak olan veriler olacak şekilde veya küme merkezine en yakın veriler olacak şekilde yapılmak yerine küme merkezine uzaklıklarına göre sıralanmış veriler üzerinden bir atlama (belirli sayıda veri geçilerek sonraki verilere ulaşma) işlemi gerçekleştirilerek yapılır. Bu işlemin amacı küme merkezine en uzak veya küme merkezine en yakın verileri eksiltmeyerek veri düzleminin demografik yapısını (kümenin temsil yeteneği) bozmamaktır. Bu açıklama her bir veri setinde eksiltmeden önceki düzlemdeki verilerin gösterimi ve eksiltilecek verilerin düzlemdeki durumu grafikler ile gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilmiştir.



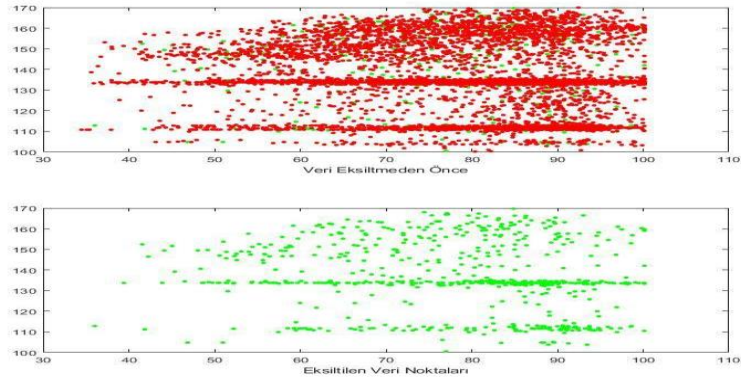
Şekil 1. Enerji verimliliği veri seti veri eksiltmeden önceki ve sonraki dağılım grafiği.



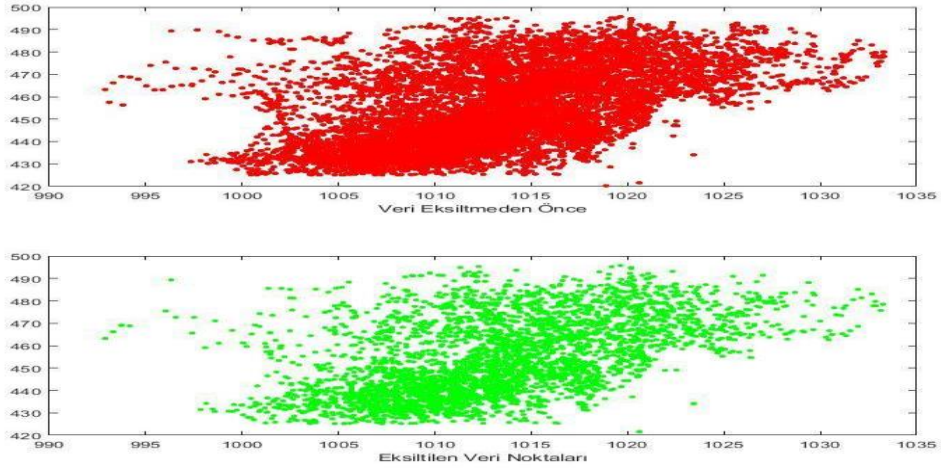
Şekil 2. Beton başınc dayanımı veri seti veri eksiltmeden önceki ve sonraki dağılım grafiği.



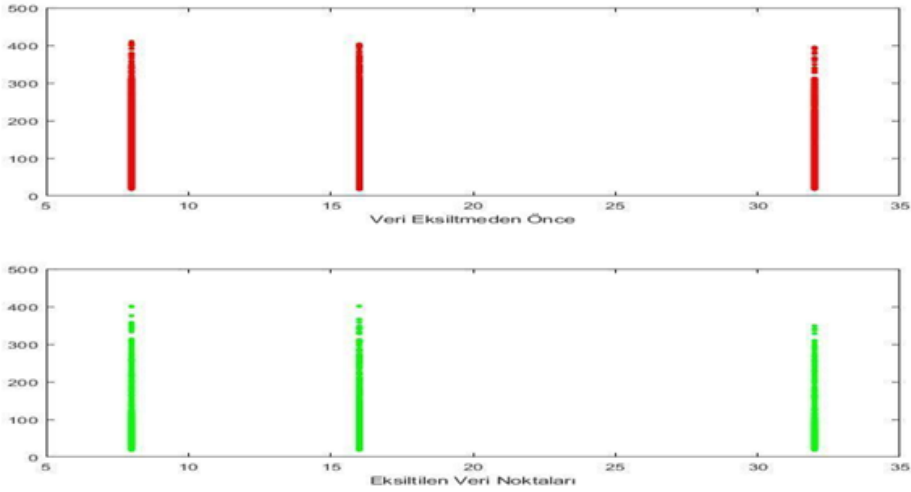
Şekil 3. Parkinson hastalığı veri seti veri eksiltmeden önceki ve sonraki dağılım grafiği.



Şekil 4. Gaz tribünü emisyonu veri seti veri eksiltmeden önceki ve sonraki dağılım grafiği.

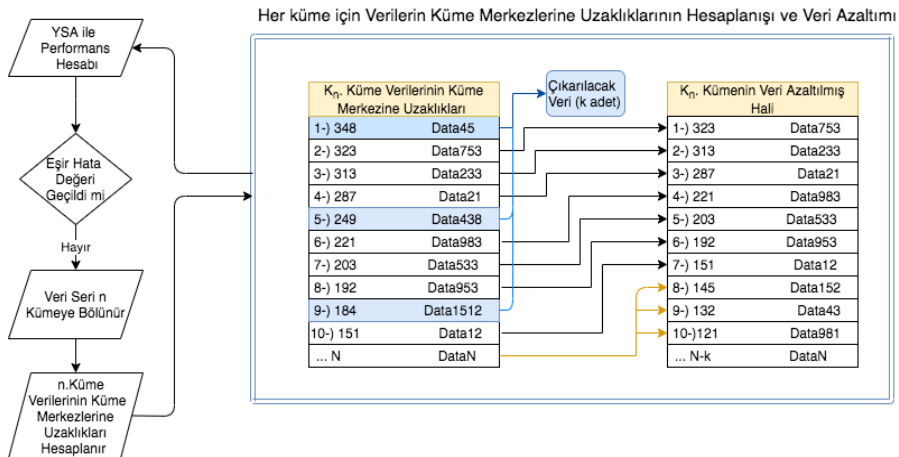


Şekil 5. Kombine çevrim santrali veri seti veri eksiltmeden önceki ve sonraki dağılım grafiği.



Şekil 6. CPU çekirdek performansı veri seti veri eksiltmeden önceki ve sonraki dağılım grafiği.

Şekil [1-6]'da gösterildiği gibi eksiltilecek(veri setinden çıkarılacak) veriler küme içerisinde belirli bir bölgeden seçilmeyip küme genelinden eksiltmeler yapılmıştır ve böylece küme demografisi bozulmadan korunmuştur.



Şekil 7. Veri eksiltme döngüsü.

Şekil 7’de KMUTOVA yönteminin veri eksiltme döngüsü görselleştirilmiştir. Yöntem içerisinde kümelere ayrılan veri seti üzerinden işlem yapılmaktadır. Ele alınan kümede veri azaltılması gerçekleştirilmiştir.

Algoritma 3. Küme Merkezine Uzaklık Tabanlı Orantılı Veri Azaltma Yöntemi Sözde Kodu	
1.	Girişler: Veri Seti
2.	Çıktılar: Azaltılmış Veri Seti D veri seti tanımlanır
	Adımlar: <ol style="list-style-type: none"> 1. Veri seti n kümeye bölünür. 2. Seçilen küme verilerinin küme merkezine uzaklığı hesaplanır. 3. Küme verileri küme merkezlerine olan uzaklığa göre en uzak olandan en yakın olana doğru sıralanır. 4. Sıralamada bulunan noktada veri eksiltilir. 5. Küme içerisindeki veri sayısının eksiltme sayısına oranı kadar veri atlanır. 6. Eksiltme oranı tamamlanmışsa eksiltilmiş veri seti döndürülür, tamamlanmamışsa 4. Adımdan işlemlere devam edilir.

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde uygulamada kullanılan veri setleri, geliştirilen yöntem kullanılarak veri setlerinde veri azaltma ve veri azaltıldıktan sonra altı farklı veri setinin tahmin başarısına bakılmaktadır.

A. AYARLAR

Algoritma ayarları için Tablo 1’de gösterilen değerler aynı şekilde kullanılmıştır.

Tablo 1. Algoritmaların parametre değerleri.

Algoritma	Parametre Değerleri
KMUTOVA	Atlama Oranı=(Küme Veri Sayısı) * %10
K-Ortalamalar	$K(\text{Küme Sayısı})=10$
YSA	Gizli Katman Sayısı=1; Gizli Katman Hücre Sayısı=10, Hata Metriği= Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE),

B. VERİ SETLERİ

Çalışmada geliştirilen algoritma UCI Machine Learning [28] veri havuzundan temin edilen altı farklı veri seti üzerinde tatbik edilmiştir. Veri seti seçilirken tahmin problemine uygun bir veri seti olmasına, veri setlerinin farklı boyutlarda olmasına ve eksik/hatalı veri olmamasına dikkat edilmiştir.

Enerji Verimliliği veri setinde [29] taklit edilen 12 farklı bina şeklini kullanarak enerji analizi yapılmaktadır. Binalar, diğer parametrelerin yanı sıra cam alanı, cam alanı dağılımı ve yönelim

açısından farklılık gösterir. Veri seti, iki bağımlı nitelik değerli yanıtı tahmin etmeyi amaçlayan 768 örnek ve 8 bağımsız nitelik içerir. Bu çalışmada bağımlı niteliklerden sadece biri tahmin edilecek veri olarak kullanılacaktır.

Beton Basınç Dayanımı veri seti [30]: İnşaat mühendisliğinde en önemli malzeme betondur. Beton basınç dayanımı, beton yaşı ve bileşenlerin oldukça doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Beton Basınç Dayanımı veri seti 8 bağımsız nitelik ve 1 bağımlı nitelikten oluşur. Bağımsız nitelikler; çimento miktarı, yüksek fırın cürufu miktarı, uçan kül miktarı, su miktarı, süperakınlaştırıcı miktarı, kaba agrega miktarı, ince agrega miktarı ve yaşıdır. Yaş değişkeni gün ile ifade edilir, miktar bildiren nitelikler ise kilogram ile ifade edilir. Tahmin edilecek bağımlı nitelik ise beton basınç dayanımıdır.

Parkinson hastalığı veri seti [31] uzaktan semptom ilerleme izlemesi için bir tele-izleme cihazının altı aylık denemesine alınan erken evre Parkinson hastalığı olan 42 kişiden alınan çeşitli biyomedikal ses ölçümlerinden oluşur. Kayıtlar otomatik olarak hastanın evinde çekilmiştir. Veri setinin nitelikleri denek numarası, denek yaşı, denek cinsiyeti motor UPDRS, toplam UPDRS ve 16 biyomedikal ses ölçümü içerir. Verilerin temel amacı, 16 ses ölçüsünden motor ve toplam UPDRS puanlarını ('motor_UPDRS' ve 'toplam_UPDRS') tahmin etmektir. Bu çalışmada motor UPDRS tahmin edilecektir.

Gaz Tribünü Emisyonu veri seti [32] baca gazı emisyonlarını, yani CO ve NOx'i (NO NO2) incelemek amacıyla Türkiye'nin kuzey batı bölgesinde bulunan bir gaz türbininden bir saat boyunca (ortalama veya toplam yoluyla) toplanan 36733 adet sensör ölçümü örneğini içermektedir. Ortam değişkenlerine ek olarak gaz türbini parametrelerini (Türbin Giriş Sıcaklığı ve Kompresör Çıkış basıncı gibi) içerir. Veri seti, özellikle ortam değişkenlerini kullanarak türbin enerji verimini (TEY) tahmin etmek için iyi kullanılır.

Kombine Çevrim Santrali veri seti [33] santral tam yükte çalışmaya ayarlandığında 6 yıl boyunca (2006-2011) bir Kombine Çevrim Santralinden toplanan verilerden oluşan veri setidir. 4 bağımsız parametre saatlik ortalama, Sıcaklık (T), Ortam Basıncı (AP), Bağıl Nem (RH) ve Egzoz Vakumundan (V) oluşan ortam değişkenleridir. 1 bağımlı parametre ise tesisin net saatlik elektrik enerjisi (EP) çıkışıdır.

GPU çekirdeği performansı veri seti [34] bir SGEMM GPU çekirdeği kullanarak, $A*B = C$ 'nin çalışma süresini ölçer. Tüm zamanlar milisaniye cinsinden ölçülür. 14 bağımsız parametre (bağımsız nitelik) 1 bağımlı parametre (bağımlı nitelik) vardır. Bağımlı nitelik (Run) parametre $A*B=C$ işleminin bağımsız parametreler doğrultusunda ölçüm süresidir.

Tablo 2. Veri setleri özellikleri.

Veri Seti	Boyut	Eğitim Örnek	Test Örnek	Toplam Örnek
Enerji Verimliliği Veri Seti	9	691	77	768
Beton Basınç Dayanımı Veri Seti	9	927	103	1030
Parkinson Hastalığı Veri Seti	22	5299	576	5875
Gaz Tribünü Emisyonu Veri Seti	11	6670	741	7411
Kombine Çevrim Santrali Veri Seti	5	43056	4784	47840
GPU Çekirdek Performansı Veri Seti	15	58982	6553	65535

Tablo 2'de bu makalede geliştirilen yöntem dahilinde kullanılan veri setleri ile ilgili verinin boyutu, YSA eğitim aşamasında veri setinin kullanılan Eğitim Örnek Sayısı ve Test Örnek Sayısı, ayrıca verinin Toplam Örnek Sayısı bilgileri sunulmuştur.

A. ANALİZ SONUÇLARI

Deneysel sonuçlar geliştirilen yöntem ile belirtilen yüzdelerle veri azaltması yapıldıktan sonra 25 performans hesaplama tekrarı işleminin ardından ortaya çıkan sonuçlar arasında en iyi, en kötü ve ortalama değerleri, ayrıca sonuçların standart sapma değerlerini içermektedir. Karşılaştırma yapmak amacıyla Orijinal Veri (Eksiltme Yapılmadan Önceki Veri Seti) setinin performans değerleri 25 tekrar sonucunda ortaya çıkan en iyi, en kötü ve ortalama değerleri olarak Tablo 3'te sunulmuştur. Orijinal veriye %5 hata miktarı eklenerek algoritmanın orijinal veri setinin performans değerine göre %5 daha kötü tahminler üretmesi tolere edilebilir olarak sunulmuştur. Karşılaştırma hata oranı eklenmiş performans değeri ve eksiltme sonrası 25 tekrar sonucunda çıkan ortalama değer arasında yapılmıştır. Buna göre veri setinin orijinal performans değerine eklenen %5 hata oranı ekledikten sonra çıkan değer eksiltme sonucu 25 performans hesaplama tekrarının ortalamasından yüksek ise (daha iyi tahminler üretmişse) algoritma eksiltme oranında başarılı sayılarak koyu renkte işaretlenmiştir. Eksiltme işlemi orijinal veri seti üzerinden %10 eksiltme sonrası değerler hesaplanıp, %10 eksiltmiş veri seti üzerinden %10 daha eksiltme yapılarak %20 eksiltme sağlanmış olur. Bu işlem sonucunda Orijinal veri setinin yaklaşık olarak %19'u eksiltmiş olur. Bu işlem bir sonraki %10 eksiltme için de aynı şekilde işlemektedir. Deneysel sonuçlarda belirtilen yüzdeler %10 + %10 şeklinde oluşan yüzdelerdir.

Performans metriği olarak veri setinin yapay sinir ağlarının tahmin başarısını ölçmek amacıyla Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Tablo 3'te verildiği gibidir.

Tablo 3. Eksiltilmemiş orijinal verinin performans değerleri.

Orijinal Veri Seti	En İyi	En Kötü	Ortalama	Standart Sapma	Ortlama Değere %5 Hata Değeri Eklendikten Sonra Ort Değer
Enerji Verimliliği Veri Seti	2.258	5.398	3.232	0.822	<u>3.393</u>
Beton Basınç Dayanımı Veri Seti	15.547	23.220	18.639	2.331	<u>19.570</u>
Parkinson Hastalığı Veri Seti	7.598	39.463	16.689	8.385	<u>17.523</u>
Gaz Tribünü Emisyonu Veri Seti	0.344	0.401	0.379	0.014	<u>0.397</u>
Kombine Çevrim Santrali Veri Seti	0.670	0.702	0.683	0.007	<u>0.717</u>
GPU Çekirdek Performansı Veri Seti	11.193	16.486	13.713	0.822	<u>14.398</u>

Tablo 3'te verilen değerler orijinal(eksiltilmemiş-azaltılmamış) veri setinin 25 tekrar sonucu ortaya çıkan Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değerlerinin En İyisi, En Kötüsü, 25 MAPE değerinin Ortalaması ve 25 MAPE değerinin Standart Sapmaları verilmiştir. Ayrıca 25 tekrar sonucu elde edilen MAPE değerlerinin ortalamasına %5 Hata toleransı eklenerek kıyaslama yapılacak olan değeri(Hata toleransı eklenmiş Ortalama MAPE) sunulmuştur.

Tablo 4. Deneysel çalışma sonuçları.

Veri Seti		Eksiltme Oranı->	%10	%20	%30	%40	%50	%60
Enerji Verimliliği Veri Seti	KMU	En İyi	2.282	2.331	2.319	2.302	2.291	2.593
	TOV	En Kötü	15.651	11.993	8.558	4.422	9.821	6.677
	A	Ortalama	4.294	3.344	3.670	3.246	3.809	3.255
		Std.Sapm	3.481	2.021	1.442	1.132	1.902	0.952
Beton Basınç Dayanımı Veri Seti	KMU	En İyi	14.327	15.540	16.201	14.863	13.894	14.982
	TOV	En Kötü	27.983	23.747	24.998	21.849	26.816	24.729
	A	Ortalama	19.377	19.061	20.300	19.271	20.117	19.492
		Std.Sapm	3.961	1.915	2.507	1.586	2.946	2.618
Parkinson Hastalığı Veri Seti	KMU	En İyi	9.115	9.316	7.929	8.998	7.843	6.156
	TOV	En Kötü	39.813	39.095	28.717	30.164	37.275	59.388
	A	Ortalama	20.829	20.175	16.124	17.863	18.736	20.449
		Std.Sapm	8.133	8.779	6.057	5.778	8.640	12.022
Gaz Tribünü Emisyonu Veri Seti	KMU	En İyi	0.347	0.360	0.341	0.341	0.367	0.354
	TOV	En Kötü	0.445	0.428	0.421	0.428	0.613	0.466
	A	Ortalama	0.385	0.386	0.384	0.387	0.404	0.394
		Std.Sapm	0.022	0.017	0.019	0.020	0.052	0.030
Kombine Çevrim Santrali Veri Seti	KMU	En İyi	0.669	0.671	0.669	0.665	0.665	0.671
	TOV	En Kötü	0.695	0.693	0.693	0.691	0.694	0.700
	A	Ortalama	0.681	0.681	0.680	0.681	0.682	0.684
		Std.Sapm	0.007	0.005	0.004	0.006	0.006	0.008
GPU Çekirdek Performansı Veri Seti	KMU	En İyi	12.033	11.066	11.937	11.745	11.387	11.946
	TOV	En Kötü	17.744	22.316	16.361	38.766	17.810	19.761
	A	Ortalama	13.951	14.028	13.624	14.862	13.766	14.235
		Std.Sapm	1.499	2.367	1.084	5.706	1.572	1.800

Deneysel çalışma sonuçlarında koyu ile ifade edilen değerler KMUTOVA yöntemi uygulanması sonucu azaltılmış verinin ortalama MAPE değeri orijinal(azaltılmamış) veri setinin ortalama MAPE değerinden daha iyi sonuçları ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre KMUTOVA yöntemi ile azaltılmış veri setleri farklı oranlardaki veri azaltma yüzdelerinde orijinal veri setinin hata toleransı eklenmiş MAPE değerine göre daha düşük bir hata değeri sunmaktadır. Bu sonuçlar KMUTOVA yönteminin veri setlerini azaltırken orijinal veri setine göre değerli veriyi elde tuttuğunun önemli bir göstergesidir.

VI. SONUÇ

Bu makale çalışmasında veri azaltma amaçlı melez bir algoritma başarılı bir şekilde geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma büyük veri setlerinde veri sayısını azaltmak için yapay sinir ağlarından ve k-ortalamar yönteminden faydalanmaktadır. Yapay sinir ağları veri setlerinin modellenmesinde performans değerlendirmesi için kullanılırken, k-ortalamar algoritması ise veri setini benzerliklerine göre ayrılmış gözlemlerden oluşturma ve küme içindeki dağılımı homojen bir şekilde azaltma işlemlerinde kullanılmıştır. Geliştirilen Küme Merkezine Uzaklık Tabanlı Orantılı Veri Azaltma algoritmasının tahmin problemlerinde tahmin performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Performans hata sınırları içerisinde veri azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik veri azaltılması için Küme Merkezine Uzaklık Tabanlı Orantılı Veri Azaltma algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak, altı farklı özellikteki veri seti üzerinde yürütülen deneysel çalışmalarda %10 - %50 arasında veri çıkarıldıktan sonra veri setlerinin temsil yeteneklerinde bir bozulma olmadığı, hatta gürültülü verilerin tespit edilmesi ve çıkarılması sayesinde az veriden oluşan veri setlerinin problem uzayını daha da başarılı bir şekilde temsil ettikleri görülmüştür. Bu durum, önerilen algoritmanın gürbüz bir veri azaltma yöntemi olduğunun açık bir işaretidir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından 2021 yılında desteklenmiştir. (Proje No:1919B012004718)

V. KAYNAKLAR

- [1] HT. Kahraman, "A novel and powerful hybrid classifier method: Development and testing of heuristic k-nn algorithm with fuzzy distance metric," *Data & Knowledge Engineering*, c. 103, ss. 44-59, 2016.
- [2] HT. Kahraman, B. Aras, & O. Yıldız. "Sınıflandırma Problemleri İçin Ağde-Tabanlı Meta-Sezgisel Boyut İndirgeme Algoritmasının Geliştirilmesi," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 5, ss. 206-217, 2020.
- [3] F. Arslan, & HT. Kahraman. "Yapay zekâ tabanlı büyük veri yönetim aracı," *Journal of Investigations on Engineering and Technology*, c. 2, s. 1, ss. 8-21, 2019.
- [4] Ö. Köroğlu, & HT. Kahraman. "K-Ortalamar Tabanlı En Etkili Meta-Sezgisel Kümeleme Algoritmasının Araştırılması," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 5, ss. 173-184, 2020.
- [5] N. Gokilavani and B. Bharathi, "Test case prioritization to examine software for fault detection using PCA extraction and K-means clustering with ranking," *Soft Computing*, vol. 25, no. 7, pp. 5163-5172, 2021.
- [6] M. Sivaguru and M. Punniyamoorthy, "Performance-enhanced rough k k-means clustering algorithm," *Soft Computing*, vol. 25, no. 2, pp. 1595-1616, 2021.
- [7] Z. Wang, Y. Zhou, and G. Li, "Anomaly Detection by Using Streaming K-Means and Batch K-Means," *2020 5th IEEE International Conference on Big Data Analytics (ICBDA)*. IEEE, vol. 5, pp. 11-17, 2020.

- [8] Y. Li, and H. Wu, "A clustering method based on K-means algorithm," *Physics Procedia* vol. 25, pp. 1104-1109, 2012.
- [9] CU. Kumari, SJ. Prasad, and G. Mounika, "Leaf disease detection: feature extraction with K-means clustering and classification with ANN," *2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*. IEEE, pp. 1095-1098, 2019.
- [10] VP. Murugesan, and P. Murugesan, "A new initialization and performance measure for the rough k-means clustering," *Soft Computing*, vol. 24, no. 15, pp. 11605-11619, 2020.
- [11] OJ. Oyelade, OO. Oladipupo, and IC. Obagbuwa, "Application of k Means Clustering algorithm for prediction of Students Academic Performanc,," *International Journal of Computer Science and Information Security, IJCSIS*, Vol. 7, No. 1, pp. 292-295, 2010.
- [12] M. Yedla, SR. Pathakota, and TM. Srinivasa, "Enhancing K-means clustering algorithm with improved initial center," *International Journal of computer science and information technologies* vol. 1, no. 2, pp. 121-125, 2010.
- [13] BP. Koustubh, VV. Nair, and S. Kumaravel, "Anomaly Detection in Hybrid Electric Vehicles Using ANN Based Support Vector Data Description," *2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*. IEEE, pp. 14-24, 2018.
- [14] A. Pannu, "Artificial intelligence and its application in different areas," *Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 10, pp. 79-84, 2015.
- [15] N. Kayarvizhy, S. Kanmani, and RV. Uthariaraj, "ANN models optimized using swarm intelligence algorithms," *WSEAS Transactions on Computers* vol. 13, no. 45, pp. 501-519, 2014.
- [16] L. Cavallaro, "Artificial neural networks training acceleration through network science strategies," *Soft Computing* vol. 24, no. 23, pp. 17787-17795, 2020.
- [17] H. Yaşar, "A novel approach for estimation of coronary artery calcium score class using ANN and body mass index, age and gender data," *2018 4th International Conference on Computer and Technology Applications (ICCTA)*. IEEE, pp. 184-187, 2018.
- [18] J. Xu, "ANN based on IncCond algorithm for MPP tracker," *2011 Sixth International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications*. IEEE, pp. 129-134, 2011.
- [19] S. Akhmedova, and E. Semenkin, "Co-operation of biology related algorithms meta-heuristic in ANN-based classifiers design," *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. IEEE, pp. 2207-2214, 2014.
- [20] S. Anitha, and M. Vanitha, "Optimal Artificial Neural Network based Data Mining Technique for Stress Prediction in Working Employees." *Soft Computing*, vol. 25, no. 17, pp. 11421-11428, 2021.
- [21] T. Srivastaya, (October 20, 2014).How does Artificial Neural Network (ANN) algorithm work? [Online]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2014/10/ann-work-simplified/>
- [22] C. Yilmaz, HT. Kahraman and S. Söyler, "Passive mine detection and classification method based on hybrid model," *IEEE Access*, c. 6, ss. 47870-47888, 2018.
- [23] R. Bayindir, I. Colak, S. Sagiroglu and HT. Kahraman, "Application of adaptive artificial neural network method to model the excitation currents of synchronous motors," *IEEE*, vol. 2, pp. 498-502, 2012.

- [24] A. Radhika, and MS. Masood, "Effective dimensionality reduction by using soft computing method in data mining techniques," *Soft Computing* vol. 25, no. 6, pp. 4643-4651, 2021.
- [25] T. Karin and D. Mondial, "Data Reduction and Deep-Learning Based Recovery for Geospatial Visualization and Satellite Imagery," *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, vol.16, no. 3, pp. 439-454, 2020.
- [26] SL. Wong, BY. Ooi and SY Liew, "Data Reduction with Real-Time Critical Data Forwarding for Internet-of-Things," *2019 International Conference on Green and Human Information Technology (ICGHIT)*. IEEE, pp. 1-6, 2019.
- [27] A. Moitra, NO. Malott and PA. Wilsey, "Cluster-based data reduction for persistent homology," *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, pp. 327-334, 2018.
- [28] D. Dua and C. Graff , (2019) UCI Machine Learning Repository [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml>
- [29] T. Athanasios and A. Xifara, "Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools," *Energy and Buildings* vol. 49, pp. 560-567, 2012.
- [30] IC. Yeh, "Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural Networks," *Cement and Concrete research*. pp. 1797-1808, 1998.
- [31] T. Athanasios."Accurate telemonitoring of Parkinson's disease progression by non-invasive speech tests," *Nature Precedings*. pp. 1-1, 2009.
- [32] H. Kaya, P. Tüfekcin and E. Uzun, "Predicting co and no x emissions from gas turbines: novel data and a benchmark pems," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* vol. 27, no. 6, pp. 4783-4796, 2019.
- [33] P. Tüfekci, "Prediction of full load electrical power output of a base load operated combined cycle power plant using machine learning methods," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* vol. 60, pp. 126-140, 2014.
- [34] B. Rafael, EG. Paredes and R. Pajarola, "Sobol tensor trains for global sensitivity analysis," *Reliability Engineering & System Safety* vol. 183, pp. 311-322, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Makine Öğrenmesi Modelleri ile Ön lisans Öğrencilerinin Hangi Lise Türünden Mezun Olduklarının Tahmin Edilmesi¹

 Hüseyin KÜÇÜKERDEM^{a,*},  Yusuf SÖNMEZ^b,  Cemal YILMAZ^c,  Hasan Hüseyin SAYAN^a

^a *Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE*

^b *Bilgisayar Teknolojileri ve Siber Güvenlik Bölümü, Bilgi ve Haberleşme Teknolojileri Fakültesi, Azerbaycan Teknik Üniversitesi, Bakü, AZERBAJYAN*

^c *Mingeçevir Devlet Üniversitesi, Mingeçevir, AZERBAJYAN*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hkucukerdem@ankara.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1011190

ÖZ

Çalışmanın kapsamını, makine öğrenmesinde sık kullanılan algoritmalar olan; tree, random forest, logistic regression ve linear regression teknikleri ile iki ayrı sınıftan oluşan öğrenci grubunun hangi lise türünden mezun olduklarına yönelik tahminde bulunma örneği oluşturmaktadır. Ön lisans elektronik ve otomasyon bölümünde okuyan bu öğrenci sınıflarından ilki elektronik haberleşme teknolojisi diğeri ise elektronik teknolojisi programı sınıfıdır. Sınıflandırmada belirleyici rol üstlenen beş ders seçilmiştir. Bu derslerden bazıları lise eğitiminde ortak görülen dersler olurken bazıları ise meslek lisesinin elektrik elektronik programlarında okutulan meslek derslerinden oluşmaktadır. Örnek uygulamada öncelikle algoritma davranış farklılıklarının gözlemlenmesi hedeflenmiştir ve buna ek olarak da öğrencilerin farklı liselerden gelmiş olmaları bir kısım derste kendini başarı/başarısızlık olarak ortaya çıkarıyor mu? Sorusuna cevap bulmaktır.

Anahtar Kelimeler: *Makine Öğrenmesi, Random Forest Algoritması, Lojistik Regresyon Algoritması, Tree Algoritma.*

With Machine Learning Models Estimating Which High School Types Associate Degree Students Have Graduated

ABSTRACT

In this study, by using three of the machine learning algorithms, a group of students studying in the associate degree electronic communication technology program, is it a vocational high school of the type of high school they graduated? or is it a high school other than vocational high school? Has been estimated. Considering the grade point end of term averages from the five courses determined during the associate degree process, the type of high school they came from was estimated. Two of these determined courses are courses close to the courses taught in vocational high schools and three are general courses taught in all high schools. Aim; It is to reveal how accurately three different machine learning algorithms make predictions on the same sample. In addition, it is foreseen that the pre-professional knowledge of normal high school students who are placed in vocational high school-based associate degree programs will be determined, and necessary precautions will be taken.

Keywords: *Machine Learning, Random Forest Algorithm, Logistic Regression Algorithm, Tree Algorithm.*

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 18/10/2021, Düzeltme: 03/12/2021, Kabul: 11/12/2021

I. GİRİŞ

Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından 2016 yılında son kez uygulanarak yürürlükten kaldırılan, "Meslek Lisesi Mezunu Öğrencilerinin Önlisans Programlarına Sınavsız Geçiş Uygulaması" sonrasında özellikle meslek lisesi haricindeki liselerden mezun olan öğrencilerinde önlisans mesleki programlara başvuruları artmaya başlamıştır. Son yıllarda önlisans programlarında açılan genel kontenjanlara başvuru ve yerleştirme sayıları baz alındığında, meslek lisesi mezunu öğrencilerinin oranlarında hızlı düşüşler gözlemlenmektedir. Önlisans mesleki programlara yerleşen adaylar örgün eğitim sürecine geçip derslere başladıklarında bazı derslerde ayrışmalar yaşandığı gözlemlenmektedir. Örnek verilecek olursa; Meslek lisesinden mezun olmuş öğrencilerin önlisans derslerine ait sınav sonuçları incelendiğinde, genel ortak derslerde normal liselerden (Anadolu Lisesi, Fen Lisesi vb.) mezun olmuş önlisans öğrencilerine göre daha başarısız oldukları gözlemlenmiştir. Benzer şekilde normal Anadolu veya fen liselerinden mezun olmuş önlisans öğrencilerinin önlisans derslerine ait sınav sonuçları incelendiğinde, programa ait meslek derslerinde meslek lisesi mezunu önlisans öğrencilerine göre daha başarısız oldukları gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu durumlar ise her iki öğrenci grubunda da bazı derslerde ön hazırlık gerekliliğini doğurmaktadır. Bu sebepten dolayı bu örnek çalışma yapılmış ve gözlem sonuçları değerlendirilmiştir.

Literatürde alanla ilgili çalışmalar incelendiğinde; [2]'de, üniversite öğrencilerinin genel başarı ortalamalarının tahmini için Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılmıştır. [3]'de ise Türkiye'de yükseköğretimde ilk yıl öğrencilerinin akademik performansına etki eden faktörlerin araştırılması ve bu faktörlere bağlı olarak başarılarının tahminine yönelik Random Forest yöntemi temelli bir karar destek sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. [4]'de, lise öğrencilerinin ders başarımları Tree Algoritma yöntemi ile tahmin edilmiştir. [5]'de, çevrimiçi özel ders sisteminden ABD'nin 8. sınıf matematik testlerine ait bilgiler toplanmış ve bireysel becerilere bağlı test puanları Naive Bayes ağları kullanılarak tahmin edilmiştir. [6]'da, Portekiz'de iki ortaokulda yapılan anket çalışmaları sonucunda elde edilen veriler üzerinde Naive Bayes algoritması kullanılarak öğrencilerin ders notları tahmin edilmiştir. Tüm bu çalışmalarda kullanılan öznelitliklerin farklılıkları yanı sıra çalışmaların uygulandıkları ülkenin sosyokültürel ve sosyoekonomik ölçütleri de öğrenci akademik başarımında rol oynamaktadır. [1]

Elektronik Haberleşme Teknolojisi Önlisans Programı birinci sınıf öğrencilerinin ilk dönemlerine ait beş ayrı dersin vize ve final not ortalamaları baz alınarak uygulama örneği gerçekleştirilmiştir. Baz alınan beş Genel Ortak Dersler şunlardır; Genel Matematik, Türk Dili 1 ve Temel Yabancı Dil 1 (İngilizce), Önlisans Programına ait Alan Dersleri; Elektronik 1 ve Doğru Akım (DC) Devre Analizi şeklindedir. Bu derslerin seçilmesindeki amaç program alan derslerinde normal liseden gelen öğrencilerin eksiklerinin, genel ortak derslerde ise meslek lisesinden gelen öğrencilerin eksiklerinin ortaya çıkarılarak bu durumların olumsuz yönlerini tespit ederek ortadan kaldırmaya yönelik çalışmaların yapılmasıdır. İlk dönem (güz) elde edilen sınav sonuçları kullanılarak makine öğrenmesi uygulaması gerçekleştirilmiş ve aynı yıl benzer önlisans programına (Elektronik Teknolojisi) yerleşen öğrencilerin yine ilk dönem sınav sonuçlarına göre hangi lise türünden geldikleri makine öğrenmesi ile tespit edilmiştir. Bu uygulama örneğinde Tree, Logistic Regression ve Random Forest algoritmaları kullanılmış ve uygulama sonuçlarına göre kıyaslamaları yapılmıştır.

II. YÖNTEMLER

A. VERİ SETİ

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Ankara Üniversitesi Elmadağ Meslek Yüksekokulu Elektronik Haberleşme Teknolojisi Önlisans Programı 1. Sınıf öğrencilerine ait 2020 güz dönemi vize ve final not ortalamalarından elde edilmiştir. Veri seti 20 öğrencinin 5 ayrı dersten aldıkları vize ve final notlarının ortalamaları kullanılarak oluşturulmuştur.

B. VERİ ÖZELLİKLERİ

İki adet veri seti kullanılmıştır. Bunlardan birinci veri seti Elektronik Haberleşme Programı 1. Sınıf öğrencilerinden 20 tanesinin 5 ayrı dersin vize ve final notlarının toplamının yarısı alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca öğrenciler 2 ana kategoride gruplandırılmıştır. Bunlar "Meslek Lisesi" ve meslek lisesi dışı yani "Normal Lise" şeklindedir. Birinci veri setine ait öznelikler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı 1. Sınıf öğrencilerinin (1. veri seti) güz döneminde 5 ayrı dersten aldıkları vize ve final notlarının ortalaması.

Ad Soyad	Lise Türü	Matematik	İngilizce	DC Devre	Elektronik	Türk Dili
Yasin Gü*	Meslek	45	64	75	78	72
Salih Do*	Normal	87	85	70	73	98
Efe E. Er*	Meslek	50	45	85	80	76
Samet Y1*	Meslek	60	71	90	88	71
Gaye Ak*	Meslek	55	65	75	85	65
Yunus Ul*	Meslek	40	55	77	75	74
Hazar Ak*	Meslek	70	45	83	85	76
Mert Du*	Normal	81	95	80	40	85
Mutlu Y1*	Normal	92	90	55	70	88
Ahmet Or*	Meslek	45	55	95	90	76
Mücahit Do*	Normal	95	95	45	55	95
Yusuf Ül*	Normal	85	100	60	35	90
Baran Du*	Meslek	40	65	95	85	45
Selin Y1*	Meslek	55	70	78	80	55
Bilal At*	Normal	78	86	50	15	90
Kaan Ay*	Normal	85	85	35	75	83
Ahmet E. Gü*	Meslek	45	50	75	85	79
Utku Gü*	Normal	80	100	45	60	95
Furkan Er*	Meslek	45	60	79	77	72
Emre Y1*	Meslek	30	35	76	80	68

Kullanılan iki adet veri setinden ikinci veri seti ise aynı bölümün diğer programı olan Elektronik Teknolojisi 1. Sınıf öğrencilerinden 20 tanesinin 5 ayrı dersin vize ve final notlarının toplamının yarısı alınarak oluşturulmuştur. Bu veri setinde ise okul türleri tahmin edildiği için veri setinde yer verilmemiştir. İkinci veri setine ait öznelikler Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Elektronik Teknolojisi Programı 1. Sınıf öğrencilerinin (2. veri seti) güz döneminde 5 ayrı dersten aldıkları vize ve final notlarının ortalaması.

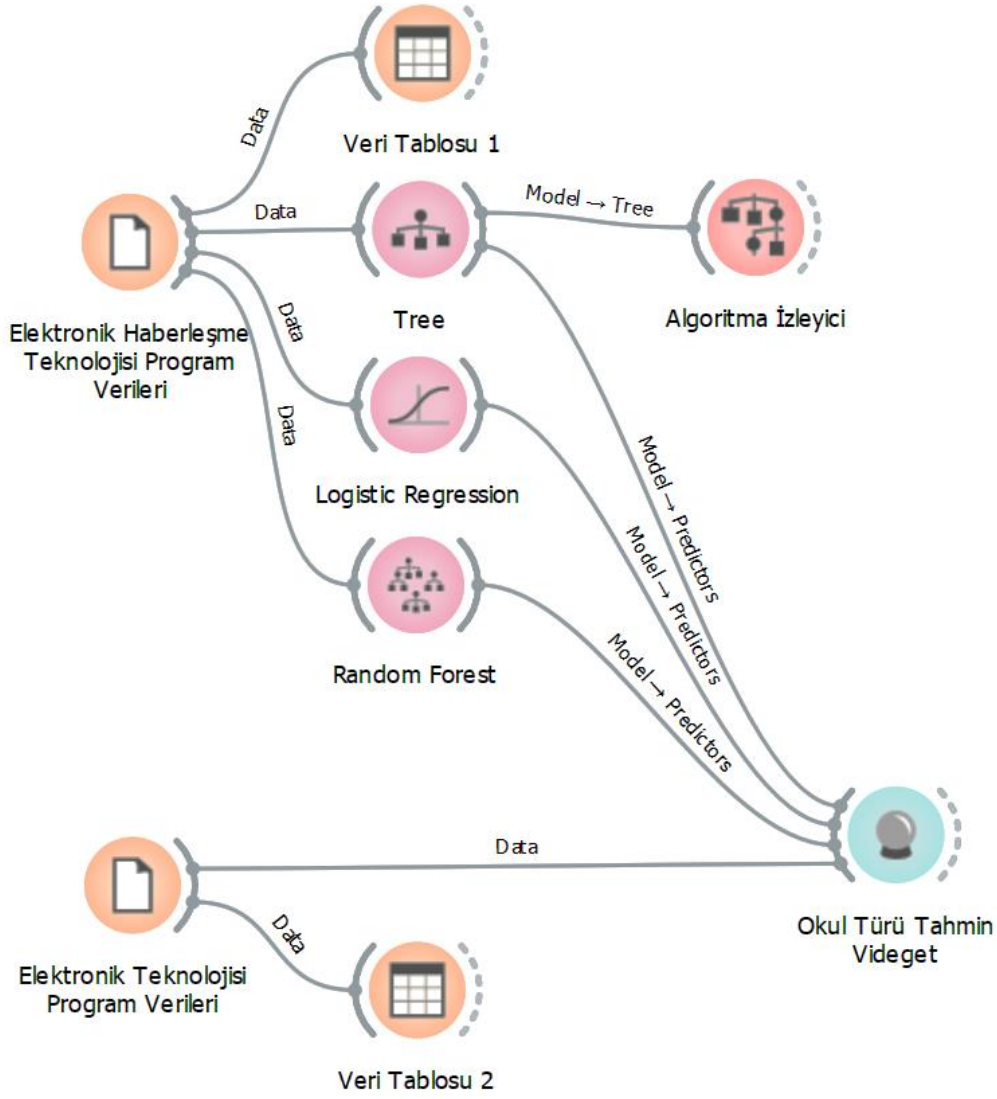
Ad Soyad	Lise Türü	Matematik	İngilizce	DC Devre	Elektronik	Türk Dili
Burak Hö*	?	45	75	75	78	70
Yunus E. Ko*	?	80	85	45	65	90
Naci Ar*	?	72	45	85	80	65
Samet Ca*	?	60	40	90	95	75
Eren Çe*	?	55	65	75	85	70
Emre Du*	?	18	22	65	63	58
Musa Er*	?	71	45	65	75	51
İlhami Ko*	?	83	95	35	79	67
Görkem Ko*	?	92	95	55	77	83
Kamile Ac*	?	15	25	86	91	60
Dilşad Be*	?	98	75	75	62	70
Nusret Çı*	?	40	42	53	87	95
Atifet Do*	?	71	63	58	89	70
İkbal Gö*	?	85	82	78	92	65
Büşra N. Ka*	?	45	48	62	50	78
Tuncay Ke*	?	20	25	45	67	50
Onur Mü*	?	80	85	78	92	100
Hamdi Sa*	?	50	64	71	45	60
Kadir So*	?	20	32	45	50	50
Görkem Ön*	?	45	48	63	89	60

C. DENEYLERDE KULLANILAN ALGORİTMALAR

Bütün deneylerde Orange Data Mining 3.28.0 programı kullanılmıştır. Veri setleri üzerinde Tree, Logistic Regression, Random Forest ve Karar Ağacı (Tree) algoritmaları uygulanmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan örnek uygulama deneyinde iki ayrı programın birer sınıflarına ait beş ayrı dersin sınav sonuçları kullanılarak oluşturulan eğitim veri seti, Şekil 1’de görülen program giriş vidjet’larına uygulanmıştır. Bunlardan birinci veri seti olan Elektronik Haberleşme Programı grubundaki öğrencilerin mezun oldukları lise türleri bilgileri yine birinci veri setinde algoritma akışına uygulanmıştır. Birinci veri seti; Tree, Logistic Regression ve Random Forest algoritmalarında kullanılarak öğrenme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Makine öğretimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı ve tahmin için kullanılan Elektronik Teknolojisi Programı veri setlerinin uygulandığı program arayüzü.

Birinci veri setine ait bilgilerin programa tanıtıldıktan sonraki Data Tablo görüntüsü Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te Matematik dersine ait verilerin yer aldığı sütun incelendiğinde 20. Sırada yer alan öğrencinin notu derecelendirmeye program tarafından dahil edilmemiştir. Bunun nedeni Matematik dersine ait sınıf ortalaması Şekil 7'de görüldüğü üzere 48,33'tür ve ortalamanın ölçek aralığı ± 10 'dur. Yani 38,33'ün altında kalan öğrenciler program tarafından derecelendirmeye dahil edilmemiştir.

Benzer şekilde Doğru Akım Devre Analizi not ortalaması Şekil 6'da görüldüğü üzere 55'tir ve ölçek aralığı $\pm 13,7$ 'dir. Yani 41,3'ün altında kalan notlar derecelendirmeye dahil edilmemiştir. Benzer durumlar diğer dersler içinde geçerlidir. Bir sınıfın tamamının ortalaması hesaplandığı için Meslek Lisesi veya Normal Lise ayrılmadan en düşük ortalamaya göre değerlendirme yapılmaktadır.

Tablo 3. Makine öğretimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi Program verilerinin (referans eğitim seti) veri tablosu izlencesi.

	Mes-Nor	İsim	Matematik	Yabancı Dil 1	Doğru Akım Devre Analizi	Elektronik 1	Türk Dili 1
1	Meslek	Yasin Gü*	45	64	75	78	72
2	Normal	Salih Do*	87	85	70	73	98
3	Meslek	Efe E. Er*	50	45	85	80	76
4	Meslek	Samet Yı*	60	71	90	88	71
5	Meslek	Gaye Ak*	55	65	75	85	65
6	Meslek	Yunus Ul*	40	55	77	75	74
7	Meslek	Hazar Ak*	70	45	83	85	76
8	Normal	Mert Du*	81	95	80	40	85
9	Normal	Mutlu Yı*	92	90	55	70	88
10	Meslek	Ahmet Or*	45	55	95	90	76
11	Normal	Mücahit Do*	95	95	45	55	95
12	Normal	Yusuf Ül*	85	100	60	35	90
13	Meslek	Baran Du*	40	65	95	85	45
14	Meslek	Selin Yı*	55	70	78	80	55
15	Normal	Bilal At*	78	86	50	15	90
16	Normal	Kaan Ay*	85	85	35	75	83
17	Meslek	Ahmet E. Gü*	45	50	75	85	79
18	Normal	Utku Gü*	80	100	45	60	95
19	Meslek	Furkan Er*	45	60	79	77	72
20	Meslek	Emre Yı*	30	35	76	80	68

Tablo 4. Makine öğretimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı ve tahmin için kullanılan Elektronik Teknolojisi Programı veri setlerinin algoritmalara uygulandıktan sonra, her üç algoritma için Meslek Lisesi tahmin dereceleri.

	Tree	Logistic Regression	Random Forest	Ad Soyad	Matematik	Yabancı Dil 1	DC Devre Analizi	Elektronik 1	Türk Dili 1
1	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	Burak Hö*	45	75	75	78	70
2	0.00 → Normal	0.01 → Normal	0.00 → Normal	Yunus E. Ko*	80	85	45	65	90
3	0.00 → Normal	1.00 → Meslek	0.91 → Meslek	Naci Ar*	72	45	85	80	65
4	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	Samet Ca*	60	40	90	95	75
5	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	Eren Çe*	55	65	75	85	70
6	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	0.91 → Meslek	Emre Du*	18	22	65	63	58
7	0.00 → Normal	1.00 → Meslek	0.82 → Meslek	Musa Er*	71	45	65	75	51
8	0.00 → Normal	0.09 → Normal	0.18 → Normal	İlhami Ko*	83	95	35	79	67
9	0.00 → Normal	0.00 → Normal	0.09 → Normal	Görkem Ko*	92	95	55	77	83
10	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	Kamil Ac*	15	25	86	91	60
11	0.00 → Normal	0.02 → Normal	0.64 → Meslek	Dilşad Be*	98	75	75	62	70
12	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	0.91 → Meslek	Nusret Çı*	40	42	53	87	95
13	0.00 → Normal	0.99 → Meslek	0.91 → Meslek	Atifet Do*	71	63	58	89	70
14	0.00 → Normal	0.62 → Meslek	0.18 → Normal	İkbal Gö*	85	82	78	92	65
15	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	0.91 → Meslek	Büşra N. Ka*	45	48	62	50	78
16	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	0.91 → Meslek	Tuncay Ke*	20	25	45	67	50
17	0.00 → Normal	0.04 → Normal	0.09 → Normal	Onur Mü*	80	85	78	92	100
18	1.00 → Meslek	0.99 → Meslek	0.91 → Meslek	Hamdi Sa*	50	64	71	45	60
19	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	0.91 → Meslek	Kadir So*	20	32	45	50	50
20	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	1.00 → Meslek	Görkem Ön*	45	48	63	89	60

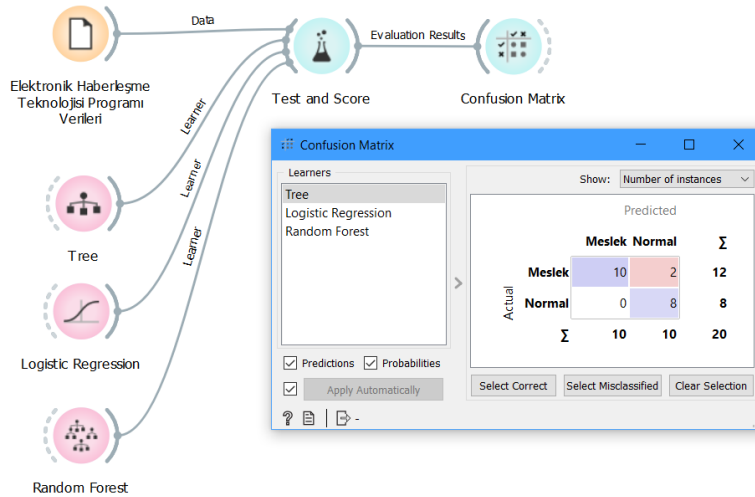
Elektronik Teknolojisi Programına ait grubun beş dersten aldıkları sınav sonuçlarına ait veri seti Şekil 1'de görülen arayüze ait programa tanıtılmıştır. Tanıtım sonrası gerçekleşen öğrenme sonucuna göre algoritmaların Meslek Lisesi tahminlerine ait derecelendirmeler Tablo 4'te, Normal Liseleri tahminlerine ait derecelendirmelerde Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Makine öğrenimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı ve tahmin için kullanılan Elektronik Teknolojisi Programı veri setlerinin algoritmalara uygulandıktan sonra, her üç algoritma için Normal Lise tahmin dereceleri.

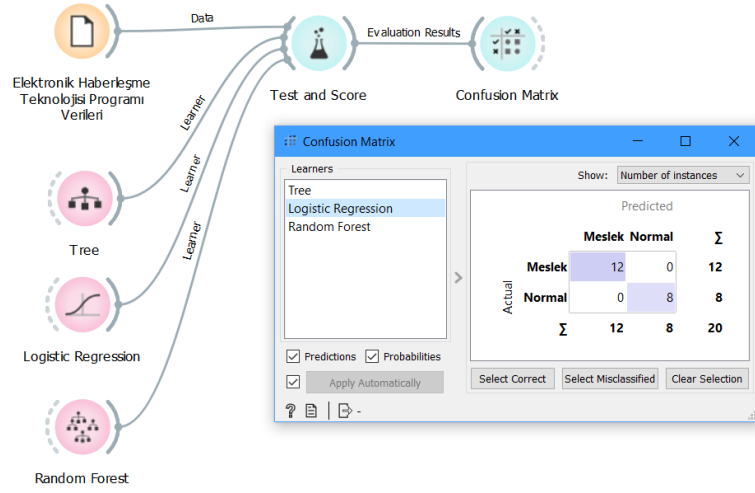
	Tree	Logistic Regression	Random Forest	Ad Soyad	Matematik	Yabancı Dil 1	DC Devre Analizi	Elektronik 1	Türk Dili 1
1	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	Burak Hö*	45	75	75	78	70
2	1.00 → Normal	0.99 → Normal	1.00 → Normal	Yunus E. Ko*	80	85	45	65	90
3	1.00 → Normal	0.00 → Meslek	0.09 → Meslek	Naci Ar*	72	45	85	80	65
4	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	Samet Ca*	60	40	90	95	75
5	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	Eren Çe*	55	65	75	85	70
6	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.09 → Meslek	Emre Du*	18	22	65	63	58
7	1.00 → Normal	0.00 → Meslek	0.18 → Meslek	Musa Er*	71	45	65	75	51
8	1.00 → Normal	0.91 → Normal	0.82 → Normal	İlhami Ko*	83	95	35	79	67
9	1.00 → Normal	1.00 → Normal	0.91 → Normal	Görkem Ko*	92	95	55	77	83
10	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	Kamil Ac*	15	25	86	91	60
11	1.00 → Normal	0.98 → Normal	0.36 → Meslek	Dilşad Be*	98	75	75	62	70
12	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.09 → Meslek	Nusret Çi*	40	42	53	87	95
13	1.00 → Normal	0.01 → Meslek	0.09 → Meslek	Atifet Do*	71	63	58	89	70
14	1.00 → Normal	0.38 → Meslek	0.82 → Normal	İkbal Gö*	85	82	78	92	65
15	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.09 → Meslek	Büşra N. Ka*	45	48	62	50	78
16	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.09 → Meslek	Tuncay Ke*	20	25	45	67	50
17	1.00 → Normal	0.96 → Normal	0.91 → Normal	Onur Mü*	80	85	78	92	100
18	0.00 → Meslek	0.01 → Meslek	0.09 → Meslek	Hamdi Sa*	50	64	71	45	60
19	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.09 → Meslek	Kadir So*	20	32	45	50	50
20	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	0.00 → Meslek	Görkem Ön*	45	48	63	89	60

Tablo 5 incelendiğinde 7. ve 13. Sıradaki öğrencilerin lise türleri Tree algoritma tarafından diğer algoritmalarından farklı olarak değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeleri hatalı olarak şekil 2 (a)'da ayrıca görülmektedir. Bu durumun nedeni 3. Satır için Matematik dersine ait not ve 7. Satır için Doğru Akım Devre Analizi dersine ait nottur.

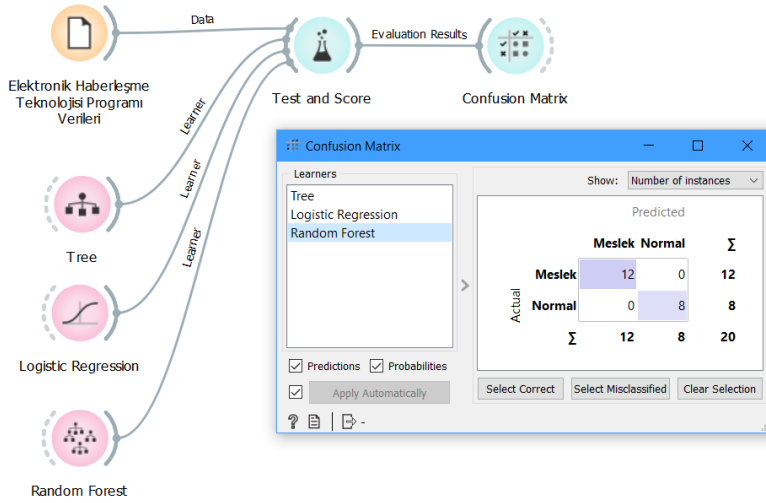
Normal Lise 1, Meslek Lisesi 0 değeriyle derecelendirilmiştir. Yani Meslek lisesi için derecesi 0 olan satırların kesinliği çok yüksektir, benzer şekilde Normal Liseler için derecesi 1 olan satırların kesinliği çok yüksektir.



(a)

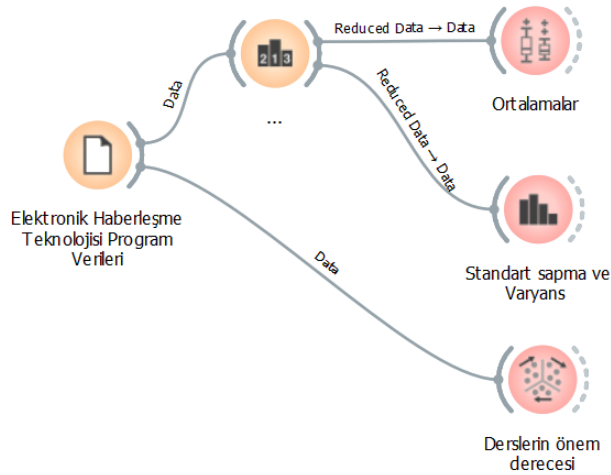


(b)



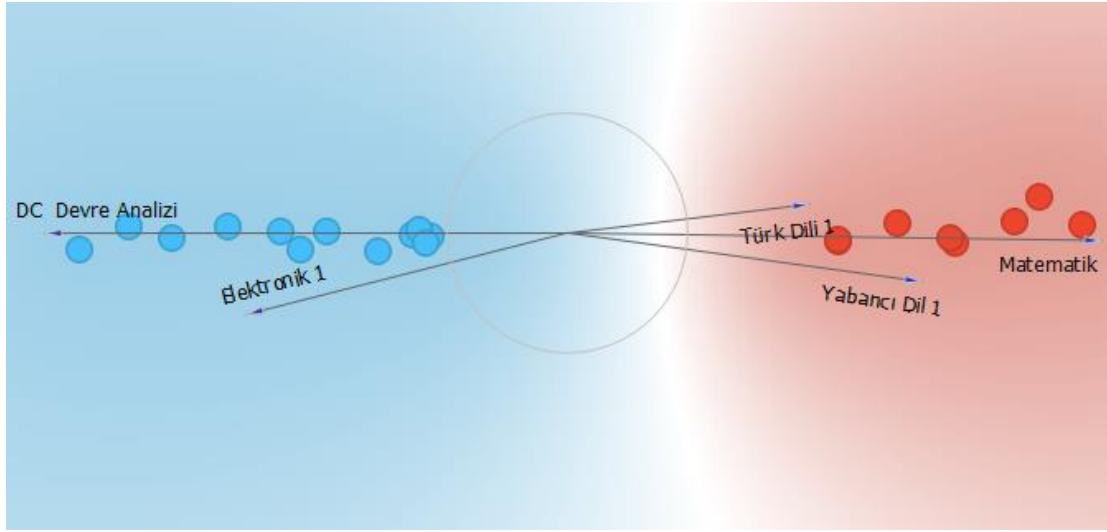
(c)

Şekil 2. Makine öğretimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi veri setinin uygulandığı algoritmaların kıyaslanması. (a) Tree, (b) Logistic Regression, (c) Random Forest.



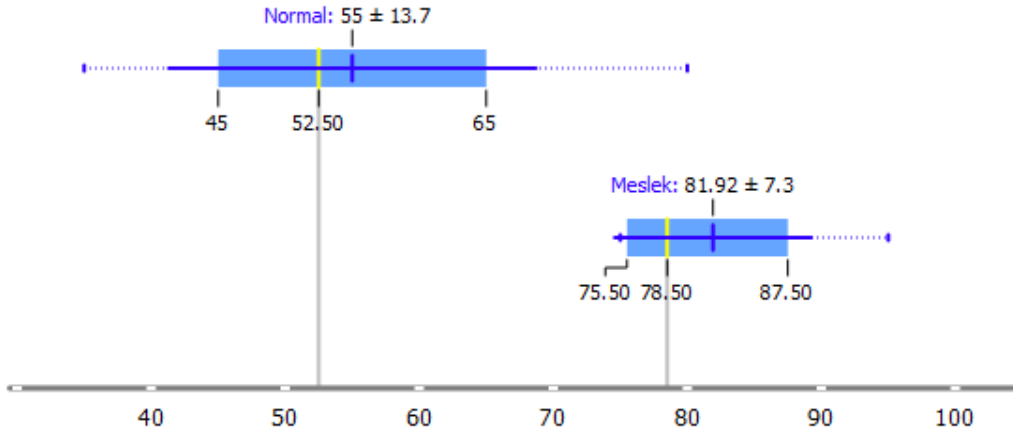
Şekil 4. Makine öğretimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi veri setindeki derslerin ortalama, standart sapma, varyans ve önem derecelerinin incelendiği program arayüzü.

Derslerin önem dereceleri ve belirleyicilik özellikleri konusunda Şekil 4'te arayüzü görülen program oluşturulmuştur. Burada derslere ait Meslek Lisesi ve Normal Liselerden mezun öğrencilerin buldukları sınıfların ayrı ayrı not ortalamaları çıkarılmış ve Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir. Daha sonra sınıf notlarının standart sapmaları ve varyansları çıkarılmıştır ve Şekil 8.a ve 8.b'de verilmiştir. Son olarak da derslerin önem ve belirleyicilik dereceleri ortaya çıkarılarak buna ait açılmalı etkisi grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



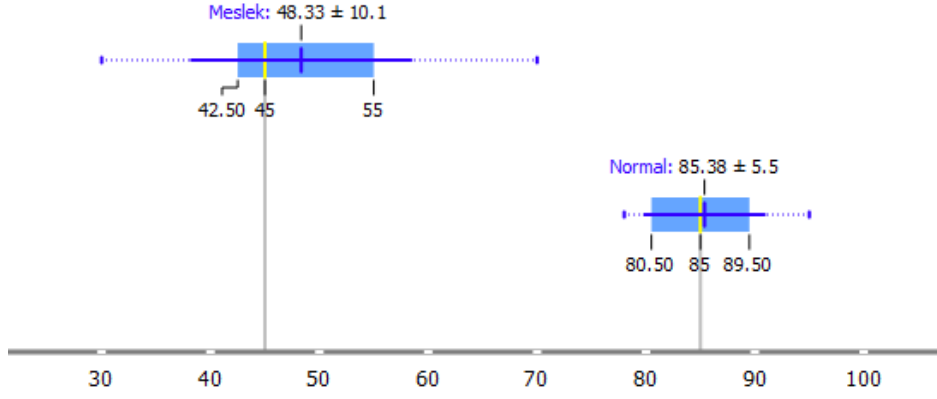
Şekil 5. Makine öğretimi için kullanılan Elektronik Haberleşme Teknolojisi Program veri setindeki derslerin önem dereceleri.

Şekil 5'te görüldüğü üzere Meslek Lisesinden mezun olmuş öğrencilerin veri setlerine göre en önemli belirleyici ders DC (Doğru Akım) Devre Analizi iken Normal Liseler için ise bu ders Matematiktir. Diğer derslerin belirleyici etkileri ise bu iki derse göre daha düşüktür.

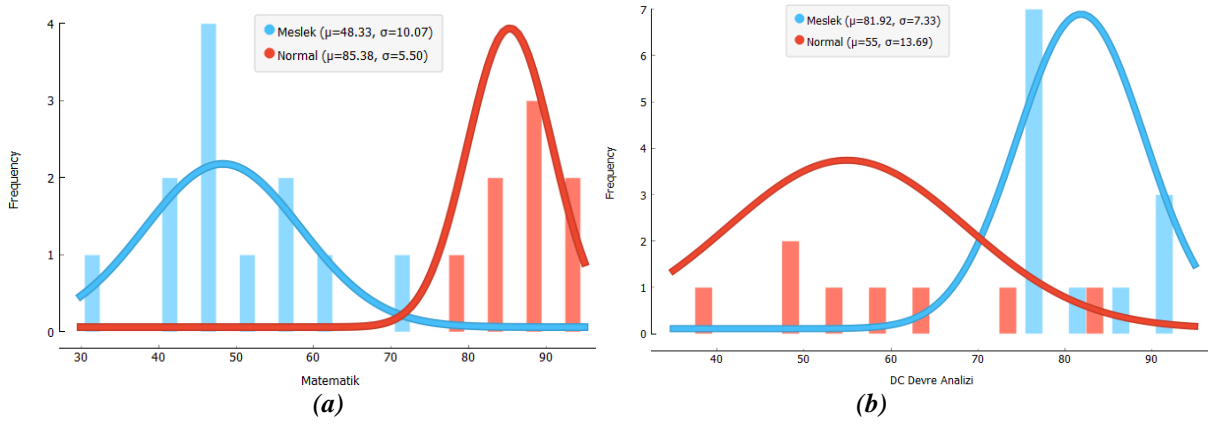


Şekil 6. Doğru Akım (DC) Devre Analizi dersine ait Meslek Lisesi ve Normal Lise grubunun ortalamaları.

Meslek Lisesi için en önemli belirleyici ders DC (Doğru Akım) Devre Analizi olduğu için sadece bu derse ait analiz grafiklerine yer verilmiştir. Benzer şekilde Normal Liseler için en önemli belirleyici ders Matematik olduğu için sadece bu derse ait analiz grafiklerine yer verilmiştir.



Şekil 7. Matematik dersine ait Meslek Lisesi ve Normal Lise grubunun ortalamaları.



Şekil 8. (a) Matematik dersine ait Meslek Lisesi ve Normal Lise grubunun Standart Sapma (μ) ve Varyansını (σ) gösteren frekans grafiği, (b) Doğru Akım Devre Analizi dersine ait Meslek Lisesi ve Normal Lise grubunun Standart Sapma (μ) ve Varyansını (σ) gösteren frekans grafiği.

IV. SONUÇ

Eğitim, toplumların geleceğini şekillendiren en önemli standartlardan biridir. Teknik Eğitim ve Teknik eleman ihtiyacını karşılayan önlisans programları ise bu yolda önemli istasyonlardandır. Önlisans programlarına meslek lisesinden mezun olarak gelmiş öğrencilerin Anadolu Lisesi, Fen Lisesi gibi okullardan gelen öğrencilere göre kısmen temel derslerde daha yetersiz olduğu gerçeği bilinmektedir. Bu probleme dikkat çekme adına oluşturulmuş bu örnek uygulama deneyinde elde edilen sonuçlar bu çalışmada verilmiştir. Algoritmalara uygulanan ve bilinen birinci eğitim veri setinde 12 Meslek Lisesi öğrencisi varken 8 tanede Normal Lise mezunu öğrenci bulunmaktadır. 20 öğrenci üzerinden tanıtılan bu veri setine göre sadece Tree Algoritma 2 veriyi hatalı olarak öğrenmiş ve değerlendirmiştir. Meslek Lisesinden mezun olmuş öğrencilerin en az zorlandıkları ders Doğru Akım Devre Analizi olurken Normal Liselerden gelen öğrencilerin en az zorlandıkları ders Matematik olmuştur. Türk dili 1 dersi bütün mezunlar içerisinde en az zorlanılan ders olmasından dolayı belirleyiciliği en düşük ders olmuştur.

Sonraki süreçlerde gerçekleştirilecek çalışmalarda diğer algoritma yöntemleri denenebilir. Ayrıca deneylerde öğrenci sayısı artırılabilir. Aynı deney önlisans programlarına yeni yerleşmiş öğrencilerin birinci sınıfa başladıkları ilk dönemin hemen başında yapılacak bir ön seviye belirleme sınavı ile yapılarak öğrencilerin yetersizlik durumlarına göre kısa süreli hızlandırılmış destek eğitimi verilerek eğitim sorunu azaltılabilir. Ya da ayrı gruplara bölünerek eksik olunan kısımlara göre ek derslerle iki ayrı grup aynı seviyeye getirilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Gök, “Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Akademik Başarının Tahmin Edilmesi,” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 5, s. 3, ss. 139-148, 2017.
- [2] D. Şengür, “Öğrencilerin Akademik Başarılarının Veri Madenciliği Metotları ile Tahmini,” Doktora Tezi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Anabilim Dalı, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2013.
- [3] T.C. Hakyemez, “İlk Yıl Öğrencilerinin Akademik Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması ve Bu Faktörlere Bağlı Olarak Başarılarının Tahminine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Tasarım,” Yüksek Lisans Tezi, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2015.
- [4] Ş. Özdemir, “Eğitimde Veri Madenciliği ve Öğrenci Akademik Başarı Öngörüsüne İlişkin Bir Uygulama,” Yüksek Lisans Tezi, Enformatik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [5] Z. A. Pardos, N. T. Heffernan, & B. Anderson, C. L. Heffernan, “Using Fine-Grained Skill Models to Fit Student Performance with Bayesian Networks”, *Proceedings of the Workshop in Educational Data Mining held at the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, Taiwan, 2006.
- [6] P. Cortez & A. Silva, “Using Data Mining To Predict Secondary School Student Performance”, *Proceedings of 5th Annual Future Business Technology Conference*, Porto, Portugal, 2008, pp. 5-12.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Derin Öğrenme Teknikleri Kullanılarak Sahte Yüz Fotoğrafı ve Videosu Sentezi¹

 Mustafa Salih BAHAR^{a,*},  Ercan BULUŞ^b

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafasalihbhr@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.1017584

ÖZ

Çalışmadaki amaçla; bir kişinin gerçekte var olan kısa bir videosundan veya birkaç fotoğrafından bile, o kişinin yüz fotoğrafını içeren sahte videolar oluşturulabileceği kanıtlanmaktadır. Bu birkaç fotoğraf veya kısa bir video alınıp derin öğrenme teknikleriyle eğitilerek sahte fotoğraflar ve videolar oluşturulabilir. Sahte videolarda kişinin yüzüyle başka bir kişinin yüz değişimi uygulanabilir veya kişinin yüzüne yeniden canlandırma (hareketlendirme) yapılabilir. Yeniden canlandırmada ise kaynak bir kişinin yüzüne başka bir kişinin videosundaki yüz hareketleri uygulanabilir. Hatta StyleGAN gibi teknikler ile gerçek insan yüz fotoğraflarından oluşan bir fotoğraf kümesi kullanılarak var olmayan insan fotoğrafları bile üretilebilir. Yaygın olarak Derin sahtelik (Deepfake) teknolojisi olarak bilinen bu teknikler, bu çalışmada yüzde kullanılan çeşitleri ve yapıları ile birlikte ele alınmıştır. Bu teknikler, eski dönemlerde yaşamış bilim adamlarının, ünlülerin var olan fotoğraflarına yeniden canlandırma yapıp konuşturularak çocuklar için eğitim amaçlı kullanılabilir. Kuklacılıkta bu yöntem kullanılabilir. Oyuncuların (Aktörlerin-Aktrislerin) yerine sahnelerde, onların fotoğraflarıyla bilgisayarda yeniden canlandırma yapılabilir. Portreler canlandırılabilir (hareketlendirilebilir). Bu çalışmanın benzer araştırmalardan ayrıldığı nokta ise eğitim için kullanılacak olan verinin diğer çalışmalardaki verilerden daha az olması ve sahte video oluşturma çeşitlerinin, yapılarının birlikte ele alınmasıdır. Veri eğitimi için kullanılan materyal GPU ve veri seti olarak ise VoxCeleb veri seti, birkaç kısa video ve birkaç fotoğraftan oluşmaktadır. Kullanılan yöntem ise Çekişmeli üretici ağlar ve Otomatik kodlayıcılar gibi üretken ağlardır. Yapılan çalışma kullanılan video ve fotoğraflarda yüzün karşıya (öne) dönük veya hafif sağa ya da hafif sola dönük iken, yüz hareketinin belirli bir alanda sınırlı olduğunda ve yüzün yavaş hareket ettiğinde yapay zekayı daha iyi eğittiği ve bu eğitim verileri kullanılarak oluşturulan sahte videoların daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüz değiştirme, Yüz canlandırma, Derinsahte video, Derin öğrenme.

Fake face photo and video synthesis using deep learning techniques

ABSTRACT

For the purpose of the study; It is proven that even from a short video or a few photos of a person that actually exists, fake videos can be created containing a photo of that person's face. Fake photos and videos can be created by taking these few photos or a short video and training them with deep learning techniques. In fake videos, face swapping of another person can be applied with the face of the person or face reenactment can be applied to the person's face. In re-enactment, facial movements of another person's video can be applied to the face of a source person. Even non-existent human photographs can be produced using techniques such as StyleGAN using a set of photographs of real human faces. These techniques, commonly known as deepfakes technology, are discussed in this study together with the types and structures used on the face. These techniques can be used for educational purposes for children by animating existing photographs of scientists and celebrities who lived in ancient times. This method can be used in puppetry. Instead of actors (Actors-Actresses), scenes can be animated with their photos on the computer. Portraits can be animated. The difference of this study from similar studies is that the data used for training is less than the data in other studies, and the types and structures of fake video creation are considered together. The material used for data training is the GPU and the dataset consists of VoxCeleb dataset,

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, tam metin olarak yayınlanmıştır.

Geliş: 01/11/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 19/12/2021

several short videos and several photos. The method used is generative networks such as Generative adversarial networks (GAN) and Auto-encoders. The study has shown that in the videos and photos used, when the face is turned forward or slightly to the right or slightly to the left, when the facial movement is limited in a certain area and the face moves slowly, it trains the artificial intelligence better. It has shown that the fake videos created using this training data are more successful.

Keywords: Face swapping, Face reenactment, Deepfake video, Deep learning.

I. GİRİŞ

Görüntü işleme bir şekilde elde edilmiş, ölçülmüş olan görüntü verilerinden yararlı bilgiler çıkarmak için kullanılan yöntemdir. Derin öğrenme ise bilgisayarın bir yapay sinir ağı ve birçok algoritma ile var olan verilerden yeni veriler elde etmesidir. Sahte fotoğraf ve video sentezi, derin öğrenme ve görüntü işleme alanlarının kesişiminde bulunan bir konudur. Yüz fotoğrafları içeren sahte fotoğraf ve video sentezi bir kişinin yüz özelliklerini kullanarak, o kişiye ait olmayan fotoğraf ve video oluşturmakla ilgilidir. Aynı zamanda hiç var olmayan bir kişi yüz özellikleri de oluşturularak fotoğraf ve video sentezlenebilir. Kaynak veriden alınan bu yüz özellikleriyle çeşitli işlemler yapılarak sahte fotoğraflar ve videolar oluşturulabilir.

Derin öğrenme, son yıllarda bilgisayar görüşü alanını güçlendirdiğinden, dijital görüntünün manipülasyonu, özellikle de insan portreleri görüntüsünün manipülasyonu, hızla gelişti ve çoğu durumda fotogerçekçi sonuç elde etti. Yüz değiştirme, kaynağın yüz hareketlerini ve ifade deformasyonlarını korurken hedefe bir kaynak yüzü aktararak sahte içerik oluşturmada göze çarpan bir görevdir. Yüz manipülasyon tekniklerinin arkasındaki temel motivasyon Çekişmeli Üretici Ağlar' dır [1]. GAN tabanlı yüz değiştirme yöntemleriyle sentezlenen çok sayıda sahte video Youtube ve diğer video web sitelerinde yayınlanmaktadır. Genel olarak sahte video oluşturma Deepfake (Derin sahtelik) olarak adlandırılrsa da birçok yöntem ve bu yöntemlerde kullanılan birçok yapı vardır.

Kullanılan yöntemler Çekişmeli Üretici Ağlar (Generative Adversarial Networks, GAN) ve Otomatik kodlayıcılar (Auto-encoders)' dır. Çekişmeli üretici ağlar iki ana birimden oluşur: Generator (Üretici) ve Discriminator (Ayırt Edici). Generator aldığı bir işaretten (gürültüden) sanal resimler oluşturmaktadır. Discriminator' a ise gerçek resimler ve sanal resimler bir arada verilip ayırt etmesi istenir. Discriminator, bu resimlere belirli değerler verir. Verdiği bu değerlere göre doğru ya da yanlış ayırt ettikleri bildirilir ve bu şekilde eğitilir. Generator ise oluşturduğu sanal resimlerle, tekrar bu yapıdan geçirilerek eğitilir. Bu iki yapı birbiri ile yarışarak, eğitilerek daha başarılı bir model ortaya çıkar. Otomatik kodlayıcı ise aldığı görüntü verilerinden gizli bir uzay vektörü oluşturur. Bu vektörü kullanarak daha sonra görüntünün temsili oluşturur. Otomatik kodlayıcı, Çekişmeli üretici ağdaki Generator' a benzetilebilir. Burada gerçek veri kullanılarak bir çıktı oluşturulduğu için Discriminator' a ihtiyaç yoktur. Çekişmeli Üretici Ağlar(ÇÜA)' da ise Generator alınan bir gürültüden (ses, video vb.) çıktı oluşturduğu için bunun doğruluğunu-yanlışlığını kontrol eden Discriminator' a ihtiyaç vardır.

Genel olarak üç çeşit sahte fotoğraf ve video sentezi vardır. Bunlar: Yüz Değiştirme (Face Swapping), Yüz Hareketlendirme, Canlandırma (Face Re-enactment), Yüz Oluşturma (Face Generation). Bu tekniklerde de kullanılan genel olarak iki çeşit yapı vardır. Bunlar: Otomatik Kodlayıcı (Auto- Encoder), Çekişmeli Üretici Ağ (GAN)' dır.

A. KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞLARI

Konvolüsyonel Sinir Ağları [2](CNN) bir çeşit çok katmanlı algılayıcıdır (MLP). Görme merkezi hücreleri görselin tümünü içerecek biçimde alt alanlara bölünmüştür. Basit hücreler, kenara benzeyen özelliklerde odaklanırken, karmaşık hücreler geniş alıcılar yardımıyla, görselin bütününe odaklanır. Konvolüsyonel sinir ağları, bilgisayarlı görü alanında başarısı ispatlanmış binlerce değişik problem için tasarlanan yüzlerce modeline rastlanabilecek, derin öğrenmenin bir konusudur. Örneğin, robot ya da otonom araçların görü sistemlerinde; trafik işaretleri, nesne ve yüz tanıma vb. alanlarda faydalanılır. Bir

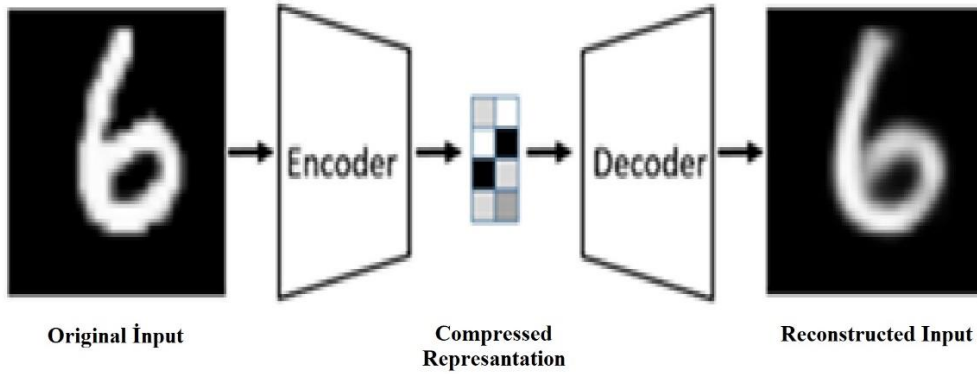
ileri beslemeli sinir ağı olan CNN, hayvanların görme merkezi ilham alınarak ortaya çıkmıştır. Burada yapılan matematiksel konvolüsyonel işlem, nöronun uyarı bölgesinden uyarılara verdiği cevaptır. CNN görüntüleri farklı katmanlarla işler. Evrişim katmanı (Convolutional layer): Özelliklerin saptanmasında yararlanır. Doğrusal olmayan katman (Non-linearity layer): Doğrusal olmayanlığın sisteme verilmesi amacıyla kullanılır. Ortaklama katmanı (Pooling layer): Ağırlıkların sayılarını düşürür ve uygunluk kontrolü yapar. Düzleştirme katmanı (Flattening layer): Temel sinir ağına veri hazırlar. Tam bağlı katman (Fully-connected layer): Sınıflama amacıyla yararlanan sinir ağıdır.

B. KULLANILAN YAPILAR

B. 1. Otomatik Kodlayıcı

Otomatik kodlayıcı [3], Encoder ve Decoder olmak üzere 2 yapıdan oluşur. Encoder yapısında veri alınır ve bu veriden gizli bir uzay vektörü oluşturulur. Decoder kısmında da bu gizli uzay vektörü kullanılarak giriş verisi yeniden yapılandırılarak bir çıkış verisi oluşturulur. Otomatik kodlayıcı, verilerin verimli bir şekilde nasıl sıkıştırılacağını ve kodlanacağını öğrenen, ardından veriyi indirgenmiş kodlanmış gösterimden orijinal girdiye mümkün olduğunca yakın bir temsile nasıl yeniden yapılandırılacağını öğrenen, denetimsiz bir yapay sinir ağıdır. Amacı giriş verisinden özellikleri çıkarıp bu özellikleri kullanarak yeniden inşa edilmiş çıkış verisi oluşturmaktır. Boyut azaltma, görüntü ve ses gürültü giderme, anormallik – aykırı değer algılama, resim boyama ve bilgi alma gibi konularda kullanılabilir. ÇÜA' ya göre oldukça küçük bir uzay vektörü oluşur ve eğitimi daha kolaydır. ÇÜA' lar gibi üretken modellerdir. Yapısında Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) bulunabilir.

Şekil 1' deki gibi bir otomatik kodlayıcıda girdi görüntüsü sıkıştırılmış bir gösterime kodlanır ve sonra kodu çözülür.



Şekil 1. Bir otomatik kodlayıcı örneği [3].

Bir otomatik kodlayıcı, girdinin sıkıştırılmış bir temsilini geliştirmek için veri içindeki yapıyı keşfedebilen bir sinir ağı mimarisidir. Denetimsiz bir öğrenme tekniğidir. Genel otomatik kodlayıcı mimarisinin birçok farklı varyantı, sıkıştırılmış gösterimin orijinal veri girişinin anlamlı özelliklerini temsil etmesini sağlamak amacıyla mevcuttur; otomatik kodlayıcılarla çalışırken tipik olarak en büyük zorluk, modelinizin anlamlı ve genelleştirilebilir bir gizli alan temsilini gerçekten öğrenmesini sağlamaktır. Otomatik kodlayıcılar, eğitim sırasında verilerden keşfedilen özniteliklere (yani, giriş özelliği vektörü arasındaki korelasyonlara) dayalı olarak verileri nasıl sıkıştıracağını öğrendikleri için, bu modeller tipik olarak yalnızca modelin eğitim sırasında gözlemlediği gözlem sınıfına benzer verileri yeniden yapılandırabilir.

Otomatik kodlayıcıda ağırlıkları güncellemek için kullanılan loss fonksiyonu Denklem 1'deki gibi encoder ve decoder kısmı için tanımlanan ve parametrelerine bağlıdır. Encoder ile temsil edilirken, decoder ile temsil edilir ve bunlar yalnızca sinir ağının ağırlıklarını ve bias değerlerini ifade eder.

$$L(\theta, \varphi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x^i - f_{\theta}(g_{\varphi}(x^i)))^2 \quad (1)$$

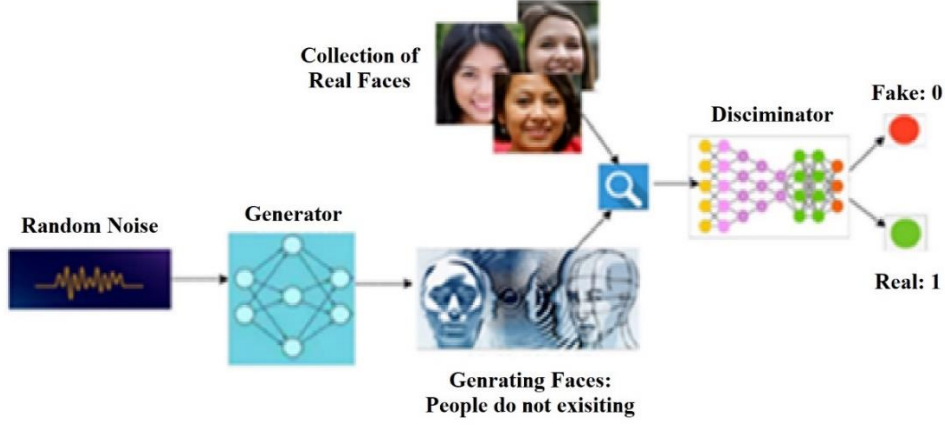
B. 2. Çekişmeli Üretici Ağ

ÇÜA (GAN) [1], Üretici (Generator) ve Ayırt edici (Discriminator) olmak üzere iki yapıdan oluşur. Üretici ağ bir gürültüden (random sayılar) sahte imajlar üreten ağıdır. Ayırt edici ağ ise gerçek ve sahte imajları alarak bunları ayırt eden ağıdır. Üretici ağ hiçbir şekilde gerçek verileri göremez. Üretici ağ sürekli yeni veriler üretmeyi öğrenirken, ayırt edici ağ ise girdi olarak kabul edilen veri seti ile üretilen verileri ayırt etmeyi öğrenir, bu süreçte her iki ağ da ne üretip ne ayırt edeceğini kuralsız olarak kendi kendine keşfettiğinden dolayı bu bir gözetimsiz öğrenme tipidir. Her imaja 0 ile 1 arasında değer verilir. Bu değerlere göre Geri Yayılım (Backpropagation) ile her tekrar (epoch)' da ağlar, ağırlık (weight) ve kayıp (loss) değerlerini günceller ve birbiriyle yarışarak gelişir. Ağların eğitimi oto-kodlayıcılara göre daha karmaşıktır. Görüntü işlemenin birçok alanında, ses üretiminde vb. birçok konuda kullanılabilir. Yapısında Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) bulunur. Hem Generator hem Discriminator birer sinir ağından oluşur. Sinir ağları aldığı veriyi öğrenebilen yapılardır.

Generator'ın gerçekçi resimler üretmesi, Discriminator'ın gerçek ve gerçek olmayan resimleri ayırt etmesi istenir. Bu ancak sinir ağları ile oluşturulabilir.

Normal yapay sinir ağları bir şeyleri tahmin etmede, bir şeyleri sınıflandırmada, problem çözmede oldukça iyidir. Ancak kendi başına yeni bir veri yaratmakta pek iyi değildir. Yapay zeka araştırmacıları uzun zamandır kendi kendine yeni ve anlamlı veriler üreten bir yapay zeka üretmeyi hayal etmiştir. Gans ise tam olarak bunu sağlıyor. Gans resimleri öğrenip neredeyse gerçekle bir farkı olmayan yeni resimler oluşturabilir. Gan'ler kullanılan nesnelere, doğadaki hayvanları, insan yüzlerini tanıyarak aslında gerçek olmayan ama ilk bakışta gerçek olmadığı fark edilemeyecek yeni resimler üretebiliyor.

Gans eğitilirken iki Network de sıfırdan eğitime başlanıyor. Yani önceden eğitilmiş gerçek ve sahte resim ayırt edebilecek bir Discriminator yoktur. Hem Generator hem Discriminator sıfırdan beraber eğitilecektir. Eğitim esnasında bu ikisi birbirleriyle bağlantılı olacaktır. Mesela gemi resimleri üretmek isteniyor olsun. Eğitim yapılırken Generator resim üretecektir. Daha sonra üretilen resim Discriminator'a verilir. Aynı zamanda Discriminator'a gerçek gemi resimleri de verilmesi gerekir. Discriminator üretilen resim gerçek resme ne kadar benziyor buna karar verecektir. Daha sonra Discriminator, Generator'a neden ürettiği resmin gemi olmadığını söyleyecektir. Bu şekilde döngü devam edecek ve zaman içerisinde Generator oldukça gerçekçi resimler üretebilecektir. Kısacası beraber öğrenip geliştireceklerdir. Gans mantıksal olarak kabaca bu şekildedir.



Şekil 2. Bir çekişmeli üretici ağ örneği [1].

Şekil 2’deki gibi üretici ağ sürekli yeni veriler üretmeyi öğrenirken, ayırt edici ağ ise girdi olarak kabul edilen veri seti ile üretilen verileri ayırt etmeyi öğrenir, bu süreçte her iki ağ da ne üretip ne ayırt edeceğini kurnalsız olarak kendi kendine keşfettiğinden dolayı bu bir gözetimsiz öğrenme tipidir.

C. KULLANILAN ÇEŞİTLER

C. 1. Yüz Değiştirme

Bir bilgisayar görüşü konusu olan yüz değiştirme genel olarak imaj ya da videodaki yüzleri tanıma, hizalama, maskeleme, yüz segmentasyonu ve başka bir kişinin yüzü ile değiştirme gibi alt işlemlerin bütünüdür. Mevcut medyadaki kişinin yüzünün kaynak medyadaki kişinin yüzü üzerinde birleştirilmesi ve üst üste konması ile sahte medya üreten bir metottur. Yapay sinir ağlarını kullanır. Kullanılacak model- mimariye göre OK veya ÇÜA kullanılabilir.

C. 2. Yüz Hareketlendirme, Canlandırma

Bir bilgisayar görüşü konusu olan yüz canlandırma genel olarak kaynak yüzün şeklini hedef yüze aktarırken hedef yüzün görünümünün ve kimliğinin de korunmasını sağlar. Yani kısaca hareketin aktarılması da denebilir. Örneğin kaynak videodaki yüzde göz kırplıyorsa hedef yüzdeki imaja da göz kırpmaya uygulanır. Genellikle kaynak yüz için bir video, hedef yüz için bir veya birkaç imaj kullanılır. Genellikle ÇÜA kullanılır. Portre ve tabloların canlandırılmasında kullanılabilir. Yüz şeklini tahmin etmek için çeşitli yüz işaret algılayıcıları kullanılabilir.

C. 3. Yüz Oluşturma

Görüntü oluşturmanın bir alt alanı olan yüz oluşturma, var olan bir veri kümesinden eğitilerek yeni yüzler oluşturma ile ilgilidir. ÇÜA’ ları kullanır. Bu sayede gerçekte hiç var olmayan gerçekçi insan yüz resimleri üretilebilir. Yüz oluşturma en bilinen örneği Nvidia araştırmacılarının tanıttığı StyleGAN[4]’ dir. StyleGAN[4] Nvidia’ nın CUDA [5] yazılımını, GPU donanımlarını ve Tensorflow [6] kütüphanesini kullanır.

D. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

“FSGAN: Subject Agnostic Face Swapping and Reenactment” adlı çalışma Nirkin, Keller ve Hassner (2019) [7] tarafından yüz değiştirme ve yüz canlandırma için oluşturulmuş modeldir. ÇÜA yapısını ve tekrarlayan sinir ağını kullanır. Yüzler üzerinde eğitim gerektirmeden yüz çiftlerine uygulanabilir.

Model; Face reenactment and segmentation, Face inpainting, Face blending olmak üzere üç kısımdan oluşur. Face reenactment and segmentation kısmında kaynak ve hedef yüzleri yeniden hareketlendirerek yüz segmentlerini alır. Hedef görüntünün yüz ve saç segmentasyon maskesini tahmin eder. Face inpainting kısmında kaynak yüzün eksik kısımlarını boyar. Face blending kısmında segmentasyon maskesini kullanarak iki yüzü harmanlanma yapar.

“Few-Shot Adversarial Learning of Realistic Neural Talking Head Models” adlı çalışma Zakharov, Shysheya, Burkov ve Lempitsky (2019) [8] tarafından Samsung Yapay Zeka Laboratuvarlarında yapılmış bir çalışmadır. ÇÜA yapısını kullanır. Yüz üretimi konusunun bir alt dalı olan Talking Head Generation modelidir. Bir kişinin Talking Head modelinin; birkaç görüntüsünden, hatta tek bir görüntüsünden öğrenilmesi için geniş bir video veri kümesi üzerinde uzun süre meta- öğrenme gerçekleştirir. VoxCeleb (Nagrani, Chung ve Zisserman, 2017) veri setini kullanır. Few-shot learning (R. Zhang, Che, Ghahramani, Bengio ve Song, 2018) ve one-shot learning öğrenme metotlarını kullanır. Tabloların, resimlerin canlandırılmasında kullanılabilir. Modelde bir Embedder yardımıyla gerçek resimlerde renk ve yüz şekillerini, çok katmanlı algılayıcılarla Adain parametreleri olarak Generator’a verir. Generator da gürültü olarak alacağı yüz şekli input’ undan sahte resimler üretir. Sahte resim, yüz şekli ve gerçek resim Discriminator’ a verilerek loss değerleri hesaplanarak ağırlıklar güncellenir.

“One-shot Face Reenactment” adlı çalışma Y. Zhang vd. (2019) [9] tarafından yüz canlandırma modeli oluşturmak için yapılan çalışmadır. OK yapısını kullanır. One-shot learning öğrenme metodunu kullanır. “ReenactGAN: Learning to Reenact Faces via Boundary Transfer” adlı çalışma Wu, Y. Zhang, Li, Qian ve Loy (2018) [10] tarafından yüz canlandırma modeli oluşturmak için yapılan çalışmadır. OK ve ÇÜA yapılarını kullanır.

D. KULLANILAN VERİSETİ

Çalışmada veriseti olarak VoxCeleb [11] veriseti ve ayrıca çeşitli kısa video ve fotoğraflar kullanılmıştır. Donald Trump’ ın Amerikan Başkanı iken bir konuşmasından kısa bir video alınmıştır. Oyuncu Taner Ölmez’ in Covid-19 hakkındaki kısa bir kamu spotundan video alınmıştır. Ayrıca yine bu iki video gibi ünlülerin röportaj videolarından oluşan VoxCeleb veriseti kullanılmıştır. VoxCeleb [11], YouTube'a yüklenen röportaj videolarından alınan, ünlülerin kısa videolarından oluşan görsel-işitsel bir veri setidir. Ayrıca Vangogh ve Monalisa portreleri fotoğraf olarak alınmış Joe Biden vb. kişilerin konuşmalarından alınan videolar ile bu fotoğraflar canlandırılmıştır.

II. MATERYAL VE METHODLAR

Materyal olarak iki çeşit GPU kullanılmıştır. Bunlar: Tesla P40 ve Nvidia Geforce GTX 1050’ dir. Veri seti olarak çeşitli videolar kullanılmıştır. VoxCeleb[11] ve CelebA-HQ[12] veri setlerinin eğitilmiş modeller üzerindeki ağırlıkları kullanılmıştır. Yöntem olarak yüz değiştirme, yüz canlandırma ve yüz üretimi modelleri kullanılmıştır. Yüz değiştirme modeli olarak Deepfakes [13], yüz canlandırma modeli olarak First order motion model[14], yüz üretimi modeli olarak StyleGAN[4] kullanılmıştır. Deepfakes modelinde çeşitli videolar kullanılmıştır. First Order Motion Model [14]’ de Voxceleb [11] veri setinin eğitilmiş modeldeki ağırlıkları kullanılmıştır. StyleGAN [4] modelinde de CelebA-HQ [12] veri setinin eğitilmiş modeldeki ağırlıkları kullanılmıştır. Genel olarak üç uygulama gerçekleştirildi. İlk olarak Otomatik Kodlayıcı kullanılarak bir yüz değiştirme işlemi gerçekleştirildi. İkinci olarak ÇÜA kullanılarak bir yüz canlandırma işlemi gerçekleştirildi. Son olarak yine ÇÜA kullanılarak bir yüz üretimi işlemi gerçekleştirildi.

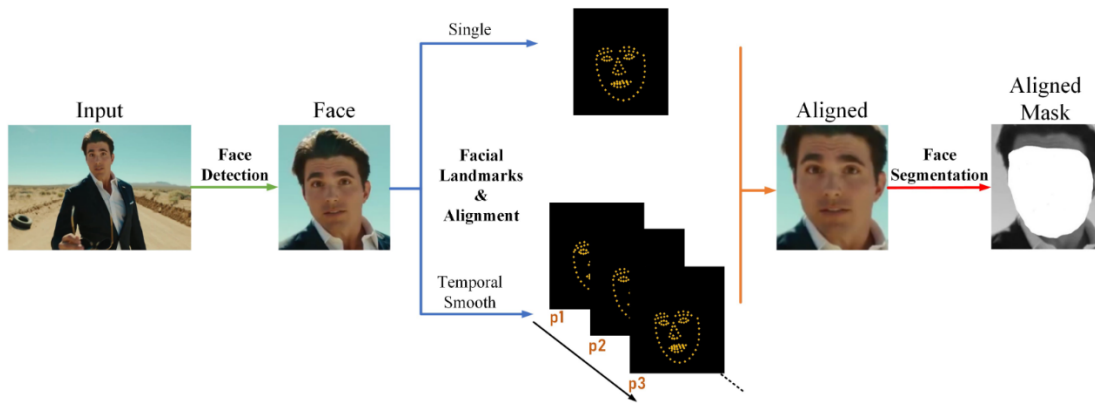
A. OTOMATİK KODLAYICI KULLANILAN YÜZ DEĞİŞTİRME

Bu metotta kullanılan DeepFaceLab [16], Ivan Perov ve arkadaşları tarafından oluşturulan açık kaynaklı bir deepfake sistemidir. Deepfakes [13] modeli genel hatlarıyla yüz hizalama modülü, yüz ayrıştırma

modülü, yüz harmanlama modülünden oluşur. Bu şekilde fotogerçekçi yüz değiştirme sonuçları elde etmeyi sağlar.

Deepfakes [13] modeli üç ana aşamadan oluşur: Yüzleri bularak çıkarma ve biriktirme aşaması, yüz çiftlerinin birbiriyle karşılıklı değiştirilecek şekilde eğitilmesi aşaması ve yüzleri eğitim sonuçlarını kullanarak dönüştürme aşaması. Yüzleri çıkarma aşaması da yüz algılama, yüz hizalama ve yüz bölümlenmeyi içerir. Bu modelde ilk olarak yüz çıkarma işlemi gerçekleştirilir. Bilindiği gibi video, görüntülerden (frame) oluşur. Bilgisayar oyunlarında da bilindiği gibi daha gerçekçi görüntü için saniyedeki görüntü sayısı (fps: frame per second) fazla olmalıdır. Modelin yüz çıkarma işleminde saniyede çıkarılması istenen sayıda görüntü çıkarılır ve görüntüdeki yüzler algılanır.

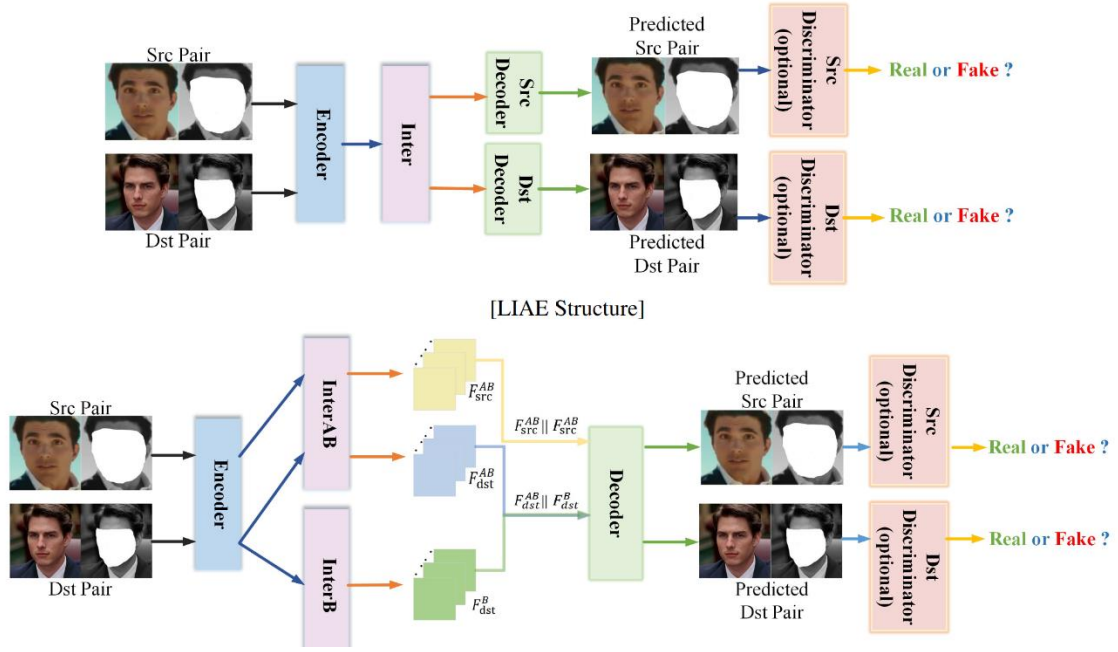
Yüz çıkarma işleminin ilk adımı yüz algılamanın amacı, verilen klasörlerde hedef yüzü bulmaktır. Belirtilen hedef için S3FD [17], RetinaFace [18], MTCNN [19] yüz algılama algoritmalarından herhangi birisi kullanılabilir. Yüz çıkarma işlemi Şekil 3 ile gösterilmektedir.



Şekil 3. Deepfakes modelinde yüz çıkarmaya genel bakış [16].

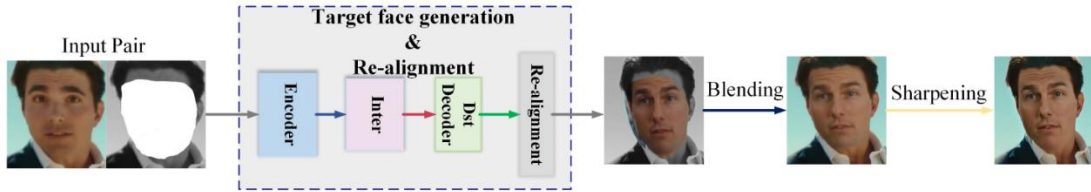
İkinci adım olarak yüz hizalama, yüz yer işaretleri algoritması ile yüzlerin hizalamasıdır. Bunu çözmek için çıkarma algoritması: (a) ısı haritası tabanlı yüz çevreleme algoritması 2DFAN [20] (normal duruşa sahip yüzler için) ve (b) PRNet [21] 3D yüz öncül bilgileri (geniş Euler açılı yüz için) kullanılabilir.

Yüz segmentasyonunda yüz hizalamadan sonra elde edilen, standart ön / yandan görünüm hizalı kesite sahip veri klasörü kullanılır. Hizalanmış klasörün üstünde bir Yüz Segmentasyon ağı (TernausNet [22]) kullanılır; bu ağ üzerinden saç, parmak veya gözlük içeren bir yüz tam olarak bölümlere ayrılabilir. Eğitim sürecinde ağı ellere, gözlüklere ve yüzleri bir şekilde kaplayabilecek diğer nesnelere karşı sağlam tutmak için düzensiz tıkanıklıkları gidermek için tasarlanmış, isteğe bağlı olarak ancak yararlıdır.



Şekil 4. Deepfakes modelinde eğitim aşamasına genel bakış [16].

Şekil 4’ te gösterildiği gibi eğitim aşamasında otomatik kodlayıcıdaki gizli uzay vektörleri birleştirilmektedir. İstenirse otomatik kodlayıcı ağ mimarisine ayırt edici ağ eklenerek Deepfakes [13] modeli için ÇÜA kullanılabilir.



Şekil 5. Deepfakes modelinde yüz dönüştürme aşamasına genel bakış [16]

Son olarak yüz dönüştürme aşamasında Şekil 5’ te görüldüğü gibi eğitim sonuçları kullanılarak çeşitli işlemlerle (harmanlama, bileme vb.) yüz diğer bir yüze dönüştürülmektedir. Burada eğitim sonuçları karşılıklı kullanılarak Umeyama’ nın [23] tersine çevrilebilirliği kullanılarak ters dönüştürme de gerçekleştirilebilir. Örneğin; A yüzü B yüzüne dönüştürülebileceği gibi, B yüzü de A yüzüne dönüştürülebilir.

Çeşitli kısa videolar alınarak Deepfakes modelinde GTX 1050 GPU ile Windows ortamında model eğitilerek yüzler birbiriyle değiştirilmiştir. Örneğin, Şekil 6’ daki çıktılar için 79 ve 195 saniyelik iki video kullanılmıştır.

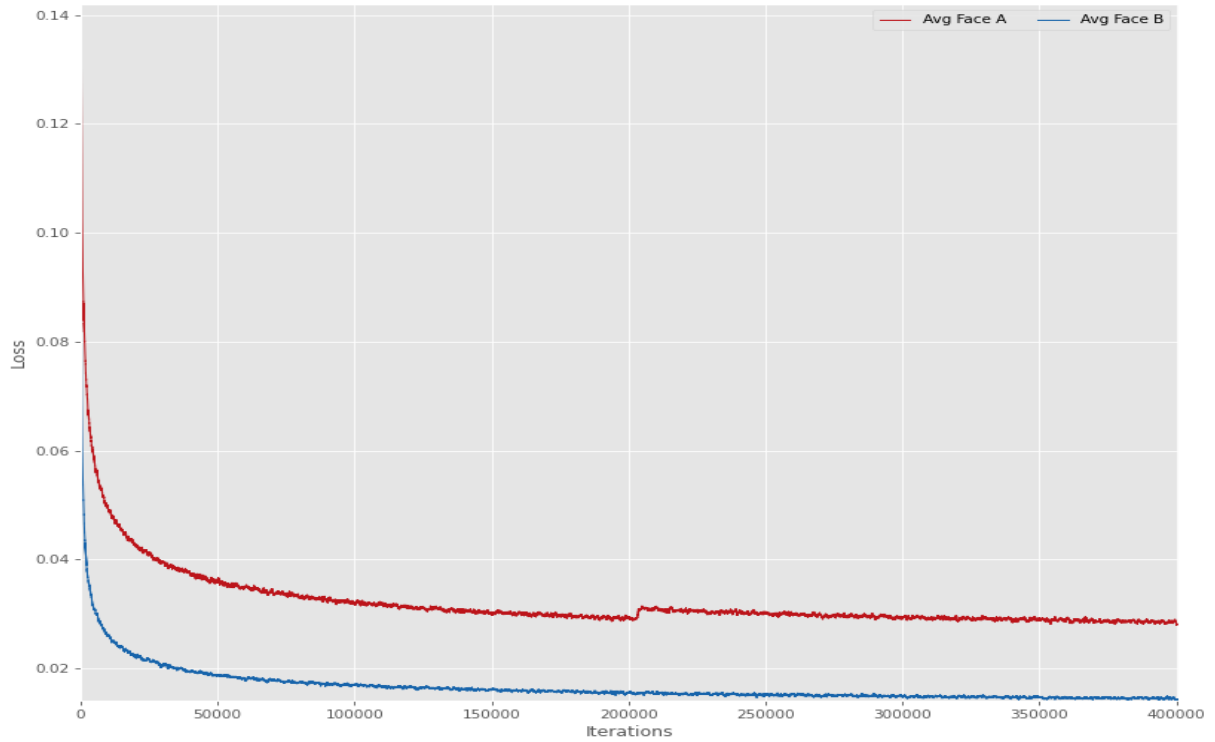
Videolardan frame’ ler çıkarılarak Yüz tanıma kısmında bu frame’ lerde yüzler S3FD [17] yüz tanıma kütüphanesi kullanılarak bulunmuştur. Bulunan yüzler 2DFAN [20] yüz çıkarma kütüphanesi kullanılarak hizalanmış ve yüz segmentasyonu çıkarılmıştır. Deepfakes modeli kullanılarak elde edilen verilerle iki yüz birbiriyle değişecek şekilde 12 batch (yığın) olarak yaklaşık 54 saat 400.000 iterasyon eğitilmiştir. Eğitilen modellerle videolar yüzler değiştirilerek yeniden oluşturulmuştur. Oluşturulan videodaki örnek frame’ ler Şekil 6’ da sağda gösterilmiştir.

Bu görüntülerde yüzün hangi kısımlardan itibaren değiştirildiğini daha net görebilmek için yüzü ve kafası birbirine benzemeyen iki kişi tercih edilmiştir. Örneğin birinin saçları siyah iken diğerinin sarı, ten renkleri farklı ve yüz özellikleri farklıdır. Normalde birini kandırmak amaçla veya kötü bir niyetle yapılan yüz değiştirmede yüz ve kafa özellikleri benzeyen kişiler tercih edilebilir.

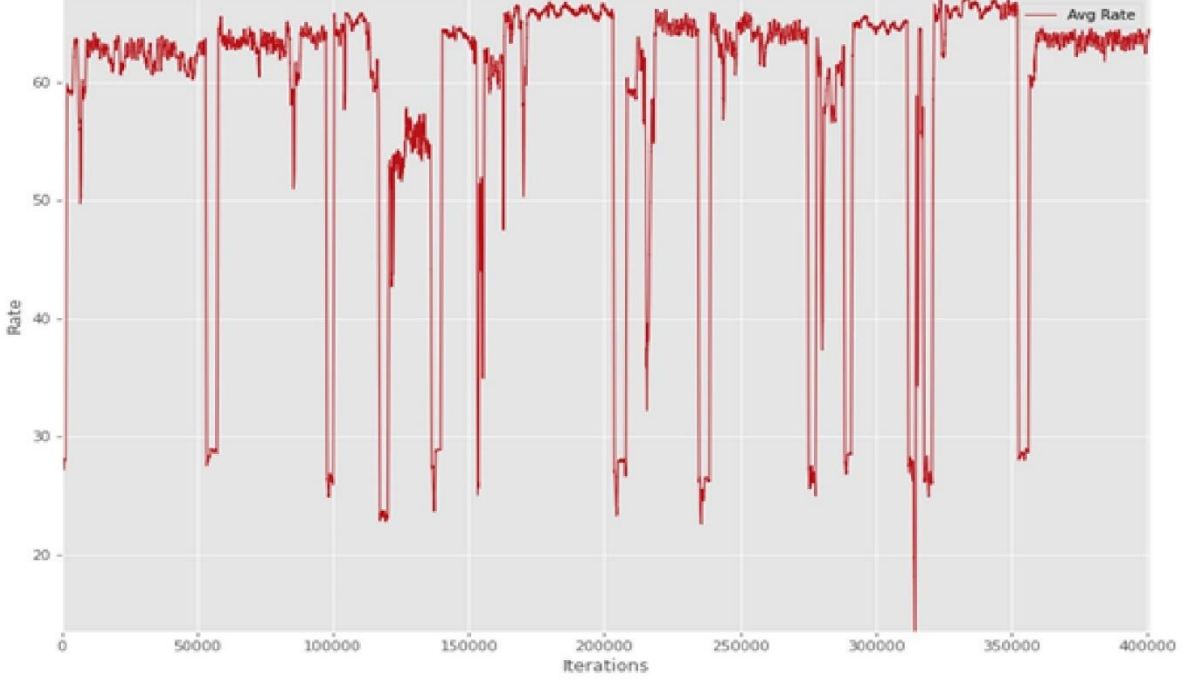


Şekil 6. Deepfakes [13] modeli kullanarak yüzlerin eğitilerek birbirine değiştirilmesi.

Learning rate ve loss değerleri grafikleri oluşturulmuştur. Burada 200.000 iterasyondan sonra bazı görüntülerin yapay zekayı iyi eğitmediği gözlemlendiğinden bu veriler çıkarılmıştır ve Şekil 7'deki gibi loss değerinde anlık bir artış olmuştur ve sonra loss değeri azalmaya devam etmiştir. Learning rate grafiği Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Loss grafiği.



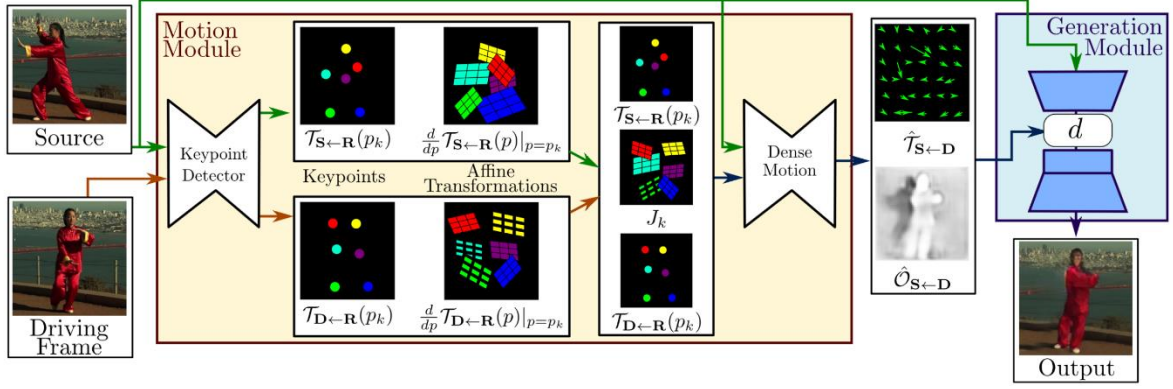
Şekil 8. Learning rate grafiği.

B. ÇEKİŞMELİ ÜRETİCİ AĞ KULLANARAK YÜZ CANLANDIRMA

Bu metotta kullanılan First Order Motion Model [14] ile görüntü canlandırma, bir kaynak görüntüdeki bir nesnenin sürüş videosunun hareketine göre canlandırılması için bir video sekansı oluşturmayı içerir. Bu modelde, canlandırılacak belirli nesne ön bilgi kullanmadan bu sorunu ele alır. Aynı kategorideki nesnelere (ör. Yüzler, insan vücutları) gösteren bir dizi video üzerinde eğitildikten sonra, yöntem bu sınıftaki herhangi bir nesneye uygulanabilir. Bunu başarmak için, kendi kendini denetleyen bir formülasyon kullanarak görünüm ve hareket bilgileri ayrılmaktadır. Karmaşık hareketleri desteklemek için, yerel afin dönüşümleriyle birlikte bir dizi öğrenilmiş anahtar noktadan oluşan bir temsil kullanılmaktadır. Bir üretici ağı, hedef hareketleri sırasında ortaya çıkan tıkanıklıkları modeller ve kaynak görüntüden çıkarılan görünümü ve sürüş videosundan türetilen hareketi birleştirir.

Şekil 9' da görüldüğü gibi çerçeve iki ana modülden oluşmaktadır: hareket tahmin modülü ve görüntü oluşturma modülü. Hareket tahmin modülünün amacı, yoğun bir hareket alanını tahmin etmektir. Soyut bir referans çerçevesi olduğunu varsayılmaktadır ve bağımsız olarak iki dönüşüm tahmin edilmektedir: referanstan kaynağa ve referanstan sürüşe. Bu seçim, kaynağı ve sürüş çerçevelerini bağımsız olarak işlemeye olanak tanır. Bu, test zamanında model, görsel olarak çok farklı olabilen farklı bir videodan örneklenmiş kaynak görüntü ve sürüş çerçevelerinin çiftlerini aldığından istenir.

İlk adımda, kendi kendini denetleyen bir şekilde öğrenilen anahtar noktaları kullanarak elde edilen seyrek yörünge setlerinden her iki dönüşümü de tahmin edilmektedir. Yerel afin dönüşümleri kullanarak her bir kilit noktanın komşuluğundaki hareketi modellenir. Yalnızca ana nokta yer değiştirmelerini kullanmakla karşılaştırıldığında, yerel afin dönüşümler, daha büyük bir dönüşüm ailesini modellemeye izin verir. İkinci adım sırasında, yoğun hareket ağı, ortaya çıkan yoğun hareket alanını elde etmek için yerel yaklaşımları birleştirir. Ayrıca, yoğun hareket alanına ek olarak, bu ağ, kaynak görüntünün eğilmesi ile hangi görüntü parçalarının yeniden yapılandırılabilirliğini ve hangi parçaların boyanması gerektiğini (bağlamdan çıkarılır) gösteren bir kapatma maskesi çıkarır. Son olarak, oluşturma modülü, sürücü videoda sağlandığı gibi hareket eden kaynak nesnenin bir görüntüsünü işler. Burada, kaynak görüntüyü yoğun harekete göre bükme ve kaynak görüntüde tıkanan görüntü parçalarını boyayan bir generator ağı kullanılır.



Şekil 9. First order motion model ' in çekişmeli üretici ağ yapısı [14].

Geometride Afin dönüşüm [24], afin uzayların aralarındaki noktalar, düz çizgiler ve düzlemler için oranların korumasını sağlayan eşlemedir. Ayrıca, paralel olan çizgi kümeleri afin dönüşümün sonrasında paralel olarak kalır. Afin dönüşümde aynı doğru üzerindeki noktaların aralarındaki mesafelerin oranları sabit kalmasına rağmen, çizgilerin aralarındaki açı ile noktaların arasında bulunan mesafeler sabit kalmayabilir.

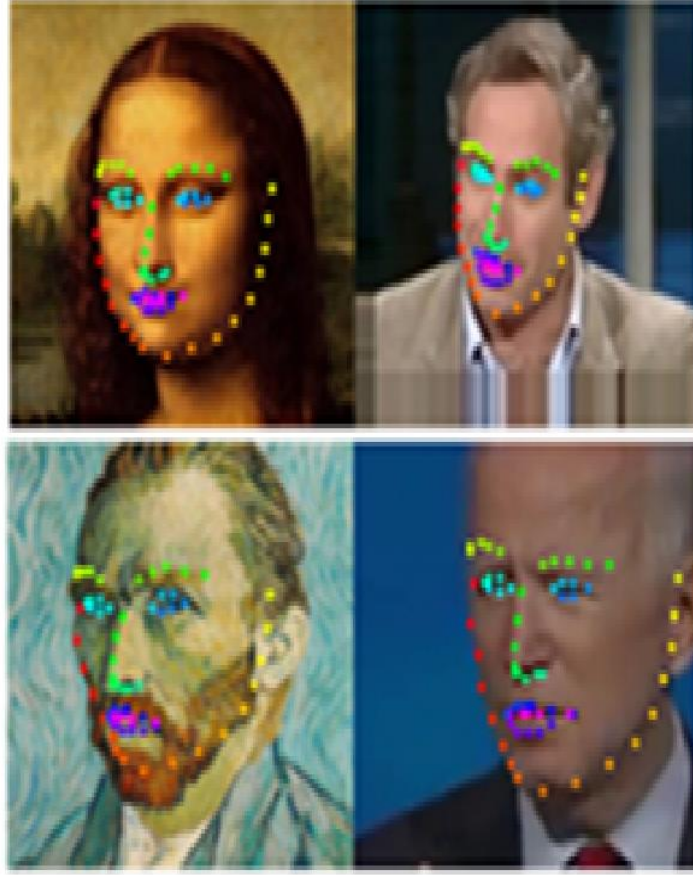
Bu modelde kilit noktalara ve yerel afin dönüşümlere dayalı yeni bir görüntü animasyonu yaklaşımı kullanılır. Yeni matematiksel formülasyon, iki çerçeve arasındaki hareket alanını tanımlar ve birinci dereceden bir Taylor genişleme yaklaşımı türetilerek verimli bir şekilde hesaplanır. Bu şekilde hareket, bir dizi anahtar nokta yer değiştirmeleri ve yerel afin dönüşümler olarak tanımlanır.

VoxCeleb [11] veri setinin First Order Motion Model [14] üzerinde eğitilmiş ağırlıkları kullanılarak çeşitli tablolar, portreler, resimler (elimizde bir pozunu bulunan resimler); alınan başka videolardaki yüz hareketleri kullanılarak Google Colab ortamında Tesla P4 GPU ile ve Windows ortamında GTX 1050 GPU ile canlandırılmıştır. Bu işlemler alınan görüntüler ve webcam üzerinde denenmiştir. Bu modelde kullanılan kaynak görüntüler yüz eşleşmelerinde solda ve driving video (hareketleri kaynak görüntüye aktarılacak videolar) sağda gösterilmiştir. Şekil 10' da gösterildiği gibi sol taraflarda bulunan Mona Lisa ve Van Gogh tabloları, hemen sağlarında bulunan kişilerin yüz hareketleri transfer edilerek canlandırılmıştır. Burada yüz çiftlerinin en uygun yüz hizası eşleşmeleri gösterilmektedir.

Buradaki eşleşen noktalarının hareketine göre tablolar üretken modellerle yeniden oluşturularak hareketlendirilmektedir. Aynı zamanda burada wav2lip modeli [15] ile arka plandaki konuşmaya göre (söylenen sözcüklere göre) dudak hareketleri de verilmiştir. Şekil 10' daki görseldeki çıktılar Tesla P4 GPU kullanılarak elde edilmiştir.

**Source
image**

**Driving
video**



Şekil 10. Tabloların canlandırılması.

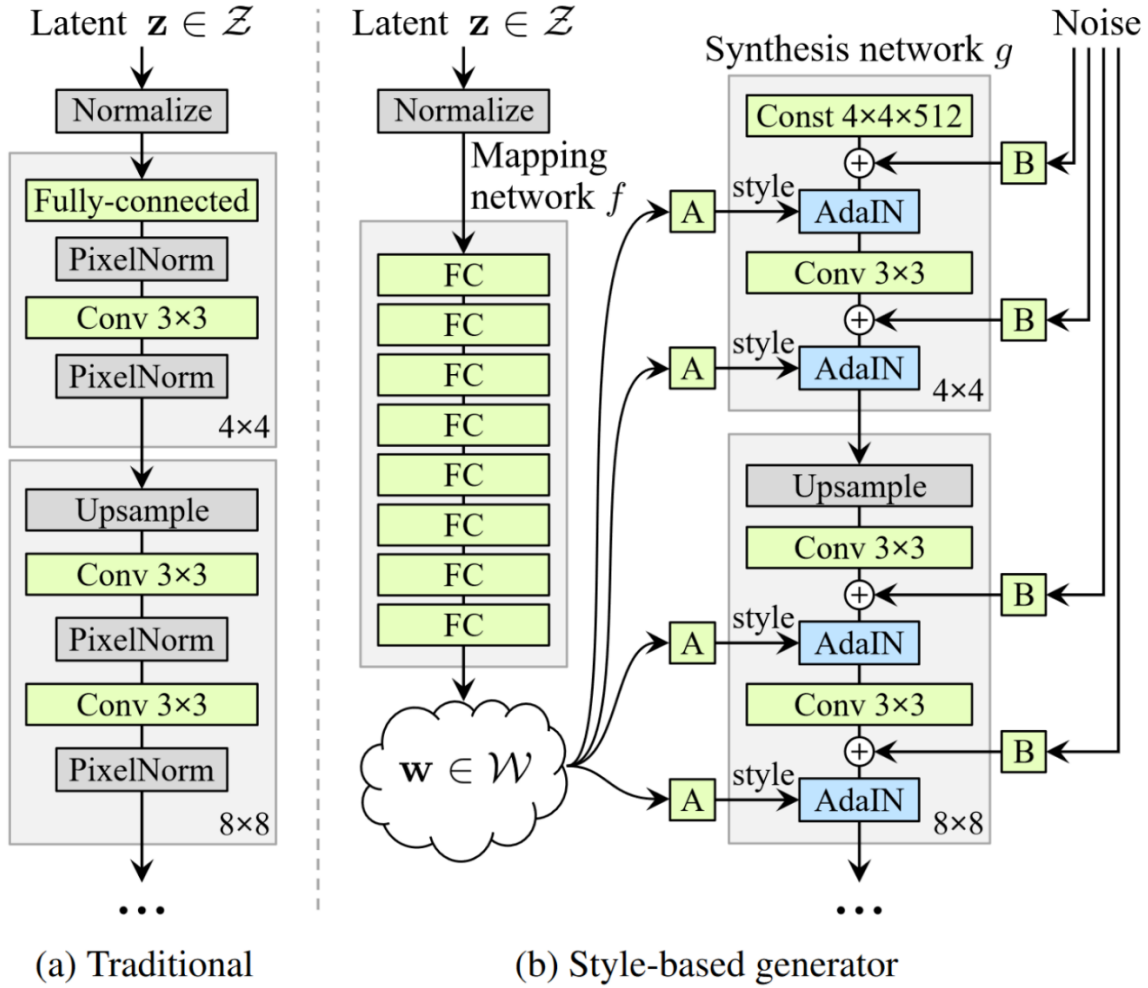
C. ÇEKİŞMELİ ÜRETİCİ AĞ KULLANARAK YÜZ OLUŞTURMA

Bu metotta kullanılan StyleGAN [4], bir tür çekişmeli üretici ağıdır. Stil transferi [25] literatüründen alıntı yaparak, özellikle, uyarlanabilir örnek normalizasyonunun kullanımı ile ÇÜA için Şekil 11' deki gibi alternatif bir üreteç mimarisi kullanır.

Stil tabanlı generator, geleneksel generator' den farklı olarak öğrenilmiş bir sabitten işleme başlar. Her bir evrişim katmanında uyarlanabilir örnek normalizasyonu (AdaIN) aracılığıyla generator kontrol edilir. Doğrusal olmama durumu değerlendirilmeden önce, her evrişimden sonra Gauss gürültüsü eklenir. Burada "A", öğrenilmiş afin dönüşümü ifade eder ve "B", gürültü girişine kanal başına öğrenilen ölçeklendirme faktörlerini uygular. Afin dönüşümleri öğrenilen w , sentez ağının her bir evrişim katmanından sonra uyarlanabilir örnek normalizasyonu (Adaptive Instance Normalization) (AdaIN) [26,27,28,29] işlemlerini kontrol eden $y = (y_s, y_b)$ stillerine özelleşir AdaIN işlemi Denklem 2' deki gibi tanımlanır.

$$\text{AdaIN}(x_i, y) = y_{s,i} \frac{x_i - \mu(x_i)}{\sigma(x_i)} + y_{b,i} \quad (2)$$

Burada her özellik haritası x_i ayrı normalleştirilir ve ardından y stilindeki karşılık gelen skaler bileşenler kullanılarak ölçeklenir.



Şekil 11. Geleneksel üretici ağ (a) ve stil tabanlı üretici ağ (b)' in karşılaştırılması [4].

StyleGan [4] üzerinde CelebA-HQ [12] veri seti ağırlıkları kullanılarak önceden eğitilmiş modelinde Google Colab ortamında Tesla P4 GPU ile birkaç yüz görüntüsü oluşturma işlemi denenmiştir. Bu model ile üretilen birkaç görüntü aşağıda Şekil 12' de gösterilmiştir.



Şekil 12. Gerçekte var olmayan insan yüz resimleri üretimi.

III. BULGULAR, TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma; kullanılan video ve fotoğraflarda yüzün karşıya (öne) dönük veya hafif sağa ya da hafif sola dönük iken, yüz hareketinin belirli bir alanda sınırlı olduğunda ve yüzün yavaş hareket ettiğinde yapay zekayı daha iyi eğittiği ve bu eğitim verileri kullanılarak oluşturulan sahte videoların daha başarılı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda çalışma, amaca uygun olarak çeşitli yöntem ve modellerle bir resim, birkaç resim ya da kısa bir videodan o kişiye ait sahte videolar oluşturulabileceğini göstermektedir. Deepfakes[13] modeli için videolardan çıkarılan bazı görüntülerin yapay zekayı iyi eğitemediği, bulanık bir yüzün çıkmasına neden olduğu görülmüştür. Bu görüntüler çıkarılarak aynı süre ile eğitim devam ettirildiğinde daha başarılı çıktılar elde edilmiştir. Kalan görüntülerin yapay zekayı daha iyi eğittiği görülmüştür.

Tablo 1. Deepfakes modeli için hesaplanan loss değerleri [13].

Deepfakes modeli	100.000 iterasyon loss değeri	200.000 iterasyon loss değeri	300.000 iterasyon loss değeri	400.000 iterasyon loss değeri
Avg Face A	0.0312953	0.0301418	0.0298924	0.0288525
Avg Face B	0.0164015	0.0160740	0.0153192	0.0146704

Tablo 1’ de Deepfakes [13] modelinin A kişisi ve B kişisi için hesaplanan ortalama loss değerleri gösterilmiştir. Bu tabloda görülüyor ki model zamanla daha iyi öğrenmeye başlamıştır.

Tablo 2. First Order Motion Modeli için hesaplanan loss değeri [14].

First Order Motion Modeli	VoxCeleb veri seti için
Hesaplanan loss değeri	0,0431123

Tablo 2’ de First Order Motion Modeli [14] için hesaplanan loss değeri gösterilmiştir.

Diğer çalışmalarda çok büyük veriseti ve daha yüksek hesaplama kapasiteli GPU’ lar kullanılmasına karşın biz burada mümkün olduğu kadar az resim, video ile ve daha düşük hesaplama kapasiteli GPU’ lar ile benzer çalışmalara yakın sonuçlar aldık. Bu çalışmalar laboratuvarlarda yapılmasına karşın bu çalışmada kişisel ve kısıtlı imkanlar ile yapılabilecek iyi çalışmalardan birini yapmaya çalıştık. Sonuçlar gösteriyor ki eğitim aşaması arasında kötü eğiten verilere müdahalemiz bizi daha başarılı sonuçlara götürmüştür.

Sahte videoların kötü niyetin haricinde çok çeşitli amaçlarla kullanabileceği görülmüştür. Bu durumda sahte video oluşturma teknolojisinin daha başlangıç aşamasında bu kadar geliştiği bir dönemde güvenilmeyen insanların görebileceği, bulabileceği bir şekilde video ve resim paylaşmaktan kaçınılmalıdır.

Deepfake videoları henüz ipuçlarıyla kendi başına keşfedilebilecek bir aşamadadır. Deepfake videolarda aşağıdaki özellikler ile videonun sahteliği anlaşılabilir: Titreşim hareketleri, kareler arası akışta ışıklı farklılıklar, cilt rengi değişimleri, göz hareketlerinde gariplik veya gözün kırılmaması, dudakların konuşma ile uyumsuz olması, görüntüdeki yapay dijital unsurlar.

Fakat Deepfake teknolojisi geliştikçe videolardaki sahteliğin insan gözü ile ayırt edilmesinde zorluklar olacağından gelişmiş siber güvenlik programlarından yardım alınmaya ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca Deepfake videolar Deepfake tespit algoritmaları kullanılarak da belirlenebilir. Videolarının gerçekliğini doğrulayabilmek için şifreleme algoritmaları, videoya belirli aralıklarla hash değeri eklemekte

faaydalanılabılır. Video değiştirilince hash değeri de farklılaşacaktır. Yapay zeka ile blokzincir, videoya değiştirilmesi imkansız sayısal bir iz ekleyebilir.

Deepfake girişimlerini engellemek için çözüm olarak, yüz tespit yazılımlarının yararlandığı piksel düzenlerinin gizlenmesi amacıyla videoya özel dijital "yapay unsurlar" ekleyebilecek bir program kullanılabilir. Bu unsurlar, algoritmaların hızını azaltabilir ve kalitesi düşük sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu sayede Deepfake girişimlerinin başarılı olma olasılığı düşürölür. Başka bir çözüm olarak da Deepfake tespit algoritmaları kullanılabilir. Örneğin yüzün değiştirildiği bazı modellerde sobel filtresi yardımıyla maske bölgesel konvolüsyonel sinir ağı (Mask R-CNN) ile fotomontaj tespit algoritması kullanılabilir [30]. Ayrıca kaliteli haber kaynaklarını kullanmalı ve emin olmadan hiçbir içeriğe güvenmemeliyiz.

Daha sonraki çalışmalarda yüz tanımanın alt alanları olan bu teknolojiler (yüz değiştirme, yüz hareketlendirme) kullanılarak iki özelliği de uygulayabilen, otomatik kodlayıcı veya ekiişmeli üretici ağ tabanlı bir üretici ağin geliştirilmesi tasarlanmaktadır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] I. J. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. C. Courville ve Y. Bengio, "Generative Adversarial Nets," *NIPS*, vol. 27, pp. 2672-2680, 2014.
- [2] Y. LeCun, Y. Bengio ve G. Hinton, "Deep Learning," *Nature*, vol. 521, pp. 436-444, 2015.
- [3] D. Bank, N. Koenigstein ve R. Giryes, "Autoencoders," *CoRR*, vol. abs/2003.05991, 2020.
- [4] T. Karras, S. Laine ve T. Aila, "A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks," *CVPR*, pp. 4401-4410, 2019.
- [5] NVIDIA, Vingelmann, P., & Fitzek, F. H. P.. CUDA, release: 10.2.89. Retrieved from <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>, 2020.
- [6] M. Abadi, P. Barham, J. Chen., Z. Chen, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, G. Irving, M. Isard ve diğerleri, "TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning," *OSDI*, pp. 265-283, 2016.
- [7] Y. Nirkin, Y. Keller ve T. Hassner, "FSGAN: Subject Agnostic Face Swapping and Reenactment", *ICCV*, pp. 7183-7192, 2019.
- [8] E. Zakharov, A. Shysheya, E. Burkov ve V. S. Lempitsky, "Few-Shot Adversarial Learning of Realistic Neural Talking Head Models," *ICCV*, 2019, pp. 9458-9467.
- [9] Y. Zhang, S. Zhang, Y. He, C. Li, C. C. Loy ve Z. Liu, "One-shot Face Reenactment", *CoRR*, vol. abs/1908.03251, 2019.
- [10] W. Wu, Y. Zhang, C. Li, C. Qian ve C. C. Loy, "ReenactGAN: Learning to Reenact Faces via Boundary Transfer," *ECCV*, pp. 622-638, 2018.
- [11] A. Nagrani, J. S. Chung ve A. Zisserman, "VoxCeleb: A Large-Scale Speaker Identification Dataset", *INTERSPEECH*, pp. 2616-2620, 2017.
- [12] T. Karras, T. Aila, S. Laine ve J. Lehtinen, "Progressive Growing of GANs for Improved Quality, Stability, and Variation," 2017.

- [13] Deepfakes (n.d.). Deepfakes/faceswap. Retrieved March 10, 2021, from <https://github.com/deepfakes/faceswap>, 2021.
- [14] A. Siarohin, S. Lathuilière, S. Tulyakov, E. Ricci ve N. Sebe, “First Order Motion Model for Image Animation”. CoRR, vol. abs/2003.00196, 2020.
- [15] K. R. Prajwal, R. Mukhopadhyay, V. P. Namboodiri ve C. V. Jawahar, “A Lip Sync Expert Is All You Need for Speech to Lip Generation In the Wild”, *ACM Multimedia*, pp. 484-492, 2020.
- [16] I. Perov, D. Gao, N. Chervoniy, K. Liu, S. Marangonda, C. Umé, M. Dpfks., C. S. Facenheim, L. RP, J. Jiang, S. Zhang, P. Wu, B. Zhou ve W. Zhang, “DeepFaceLab: A simple, flexible and extensible face swapping framework,” CoRR, vol. abs/2005.05535, 2020.
- [17] S. Zhang, X. Zhu, Z. Lei, H. Shi, X. Wang ve S. Z. Li, “S3FD: Single Shot Scale-invariant Face Detector,” CoRR, vol. abs/1708.05237, 2017.
- [18] J. Deng, J. Guo, Y. Zhou, J. Yu, I. Kotsia ve S. Zafeiriou, “Retinaface:Single-stage dense face localisation in the wild”, arXiv preprint, arXiv:1905.00641, 2019.
- [19] K. Zhang, Z. Zhang, Z. Li ve Y. Qiao, “Joint Face Detection and Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks,” *IEEE Signal Process*, vol. 23, pp. 1499-1503, 2016.
- [20] A. Bulat ve G. Tzimiropoulos, “How Far are We from Solving the 2D & 3D Face Alignment Problem? (and a Dataset of 230, 000 3D Facial Landmarks),” *ICCV* , pp. 1021-1030, 2017.
- [21] Y. Feng, F. Wu, X. Shao, Y. Wang ve X. Zhou, “Joint 3D Face Reconstruction and Dense Alignment with Position Map Regression Network,” arXiv preprint, arXiv:1803.07835, 2018.
- [22] V. Iglovikov ve A. Shvets, “TernausNet: U-Net with VGG11 Encoder Pre-Trained on ImageNet for Image Segmentation,” CoRR, vol. abs/1801.05746, 2018.
- [23] S. Umeyama, “Least-Squares Estimation of Transformation Parameters Between Two Point Patterns”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach*, vol. 13, pp. 376-380, 1991.
- [24] M. Berger, *Geometry I*, Berlin, Springer, 1987, ISBN 3-540-11658-3.
- [25] L. A. Gatys, A. S. Ecker ve M. Bethge, “A Neural Algorithm of Artistic Style”, arXiv preprint, arXiv: 1508.06576, 2015.
- [26] X. Huang ve S. J. Belongie, “Arbitrary Style Transfer in Real-time with Adaptive Instance Normalization”, CoRR, vol. abs/1703.06868, 2017.
- [27] V. Dumoulin, J. Shlens ve M. Kudlur, “A Learned Representation For Artistic Style”, CoRR, vol. abs/1610.07629, 2016.
- [28] G. Ghiasi, H. Lee, M. Kudlur, V. Dumoulin ve J. Shlens, “Exploring the structure of a real-time, arbitrary neural artistic stylization network,” CoRR, vol. abs/1705.06830, 2017.
- [29] V. Dumoulin, E. Perez, N. Schucher, F. Strub, H. Vries, A. Courville ve Y. Bengio, “Feature-wise transformations. Distill”, Retrieved March 10, 2021, from <https://distill.pub/2018/feature-wise-transformations>. 2, 2018.
- [30] N. E. Özmen ve E. Buluş, “Derin Sinir Ağları Yardımıyla Fotomontaj Tespiti,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 8 s. 5, ss. 236-240, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme

Hayvancılıkta Robotik Sistemler ve Yapay Zekâ Uygulamaları¹

 Ali Hakan IŞIK^{a,*},  Ferdi ALAKUŞ^b,  Ömer Can ESKİCİOĞLU^c

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Itech Robotik Otomasyon Yenilenebilir Enerji Eğitim Medikal Taahhüt Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Isparta, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahakan@mehmetakif.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1015406

ÖZ

Hayvancılık, nesillerdir devam eden ve insanoğlunun temel gıda ihtiyacını karşılamasını sağlayan tarımın bir alt koludur. Ekonomik değer taşıyan hayvanların beslenmesi, bakımı ve üretimi yapılmaktadır. Büyükbaş, küçükbaş, tavukçuluk ve arıcılıkta hayvancılık kapsamında yer almaktadır. Temelinde hayvanların bakımı ve beslenmesi gibi gereksinimlerini karşılayarak insanların gıda ihtiyaçlarının sağlanması amaçlanmıştır. Bu ihtiyaçları karşılamak için hayvan çiftlikleri kurulmaktadır. Çiftliklerde hayvanların gereksinimlerinin sağlanması insan gücüne dayalı olarak sürdürülmektedir. Ancak günümüzde teknolojinin gelişmesiyle insan gücünün yerine makineler geçmektedir. Gömülü sistemler, robotik ve yapay zeka gibi konu alanlarının hayatımıza girmesiyle beraber karşılaşılan sorunlara daha kapsamlı çözümler bulunmaktadır. İnsan hatasından kaynaklanan ve kullanılan iş gücünü azaltarak en doğru bir şekilde mevcut teknolojiye faydalanılarak hayvancılık yapılması önerilmiştir. Çalışmamızda, literatürde bulunan hayvancılık kapsamında yapay zeka uygulamaları, görüntü işleme tabanlı sistemler, otonom çiftlik sistemleri incelenmiştir. İncelemelerden yola çıkarak insan hatasını minimize ederek yapay zeka tabanlı bir çiftliğin üretim kalitesi ve hızı yüksek oranda arttığı sonucuna varılmıştır. Mevcut çiftliklerde kendi kararını verebilen yapay zekaya sahip sistemlerin kullanılması üretim ve beslemenin yanı sıra hastalık tespiti de yapabilmektedir. Tamamen sayısal verilerden yola çıkarak maksimum verim elde etmek hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hayvancılık, Çiftlik Sistemleri, Yapay Zeka Uygulamaları, Otonom Teknolojiler, Görüntü İşleme, Robotik Sistemler

Robotic Systems and Artificial Intelligence Applications in Livestock

ABSTRACT

Livestock farming is a sub-branch of agriculture that has been going on for generations and enables human beings to meet their basic food needs. Animals with economic value are fed, cared for and produced. Cattle, ovine, poultry and beekeeping are included in animal husbandry. It is aimed to meet the food needs of people by meeting the needs of animals such as care and feeding. Animal farms are established to meet these needs. Providing the needs of animals in farms is based on human power. However, today, with the development of technology, machines are replacing human power. With the introduction of subject areas such as embedded systems, robotics and artificial intelligence into our lives, there are more comprehensive solutions to the problems encountered. It has been suggested that animal husbandry should be done by making use of the existing technology in the most accurate way by reducing the labor force caused by human error. In this study, artificial intelligence applications, image processing based systems, autonomous farm systems were examined within the scope of animal husbandry in the literature. Based on the investigations, it was concluded that the production quality and speed of an artificial intelligence-based farm increased at a high rate by minimizing human error. The use of systems with artificial intelligence, which can make its own decision in existing farms, can detect diseases as well as production and feeding. It is aimed to achieve maximum efficiency based on purely numerical data.

Keywords: Livestock, Farm Systems, Artificial Intelligence Applications, Autonomous Technologies, Image Processing, Robotic Systems.

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 19/12/2021

I. GİRİŞ

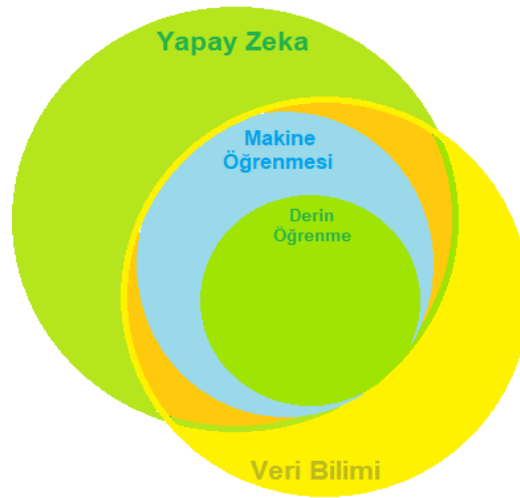
Yapay zeka hayatımızın birçok alanında bulunmaktadır. İnsan müdahalesiyle yapılacak olan işlemleri, hesaplamaları ve tespitleri gözlemleyerek yapabilmektedir. Tarımda, hayvancılıkta, tıp sektöründe, imalat sektöründe, lojistik alanında, havacılık sanayisinde, mekan dizaynı ve tasarım gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır. Yapay zekanın temelinde felsefe bilimi vardır. Daha sonra matematiksel olarak modellenmiştir. Tarihte, Aristoteles (M.Ö. 385 – 323) yazdığı Politika adlı kitabında ilk kez otomatlardan bahsetmiştir [1]. Sonraki yıllarda El – Cezeri, Leonardo da Vinci gibi ünlü bilim felsefesi ile uğraşan insanların çalışmalarıyla devam etmiştir. 1943 yılında 2. Dünya Savaşı sırasında “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu ortaya atarak tartışmaya açan Alan Mathison Turing yapay zekanın fikir babası olarak kabul edilmektedir [2]. Yapay zeka sonraki yıllarda bir fikir veya bir sorunsal olmaktan daha çok matematiksel modeller ile alternatif çözümler üretmeye başlamıştır. Yapay zeka makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, örüntü tanıma, genetik algoritmalar, uzman sistemler konuşma anlama, robotik, bilgisayar görüşü ve optimizasyon gibi kendi içinde alt dallara ayrılmaktadır. Her bir alt dal farklı problemler için çözümler üretmeye odaklanmaktadır.

İnsanlar yıllar boyunca temel gıda ihtiyaçlarını tarım ve hayvancılıktan sağlamaktadır. Nesiller boyu sürdürülebilir olarak yeme-içme ihtiyaçlarını, ektiği ürünler ve hayvancılıktan elde etmektedir. Yapay zeka her alana olduğu gibi hayvancılık sektörüne de girmiştir. İnsan hatasından olabilecek sorunları minimize etmeyi bu sektörde de amaçlamaktadır. Yapay zekadan en iyi zamanlarda ve en optimum koşullarda olabildiğince az maliyet ile yapılacak işlerin yerine getirilmesi beklenmektedir. Hayvanların hastalık teşhisinde, günlük rutin bakımında, elde edilecek ürünlerin toplanmasında, refah seviyesinin yükseltilmesinde ve üreme ihtiyaçlarının denetlenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmamızda yapay zeka ve robotik teknolojilerini inceleyerek hayvancılık üzerine kullanımlarına yönelik uygulamalardan bahsedilecektir. İleride olacak tamamı insansız hayvan çiftliklerine değinilecek ve yapay zeka teknolojilerinden olan makine öğrenmesi, derin öğrenme ve bulanık mantık araştırılarak çalışmada yer verilecektir.

II. YAPAY ZEKA

İşlemlerin gerçekleşebilmesi için girdilere ve çıktılara ihtiyaç vardır. Girdiler algoritmalar yardımıyla işlenerek çıktılar elde edilmektedir [3]. Yapay zeka bu girdi verilerinin yorumlanması, çıkarımlar yaparak öğrenilmesi ve belirli hedeflere adaptasyon sağlayarak istenilen görevleri yerine getirme becerisine sahip olmalıdır [4]. Yapay zeka kendi içinde birçok kategoriye ayrılmaktadır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve bulanık mantık bunlardan bazılarıdır.



Şekil 1. Yapay zekanın makine öğrenmesi, derin öğrenme ve veri bilimi arasındaki ilişkisi.

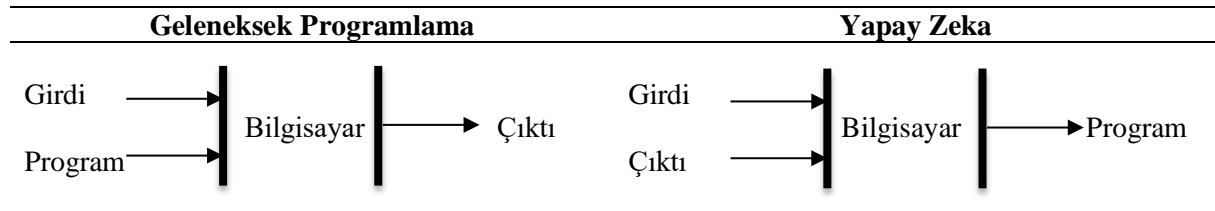
Yapay zeka veri girdilerini analiz ederek hedeflerin maksimum başarısını sağlayan fonksiyonları optimize etmektedir. Yapay zeka verilerden anlamlı sonuçların çıkarabilmesi için verilerin temiz, düzenli ve tutarlı olması gerekmektedir [5]. Bu temel nedenden dolayı veri bilimi ile beraber çalışmaktadır [6]. Şekil 1.'de verilen görüntüde beraber çalıştığı gösterilmektedir. Yapay zekanın birçok alt dalı bulunmaktadır. Çoğu alt dalları kendi alanında özgün problem çözme yöntemlerine sahiptir. Ancak ortak bir amaç vardır. Bu amaç ise eldeki veriler ile problemi maksimum başarı ile çözmektir.

Tarih boyunca yüzlerce bilim insanı bu konu üzerine çalışmıştır. Yeni metot ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile sorun çözme havuzu genişlemektedir. Çalışmamızda literatürde kullanılan yöntemleri inceleyeceğiz. Çiftliklerde yapay zekanın başka teknolojiler ile kullanılıp temel ihtiyaçlarımızın karşılanmasını sağlayan hayvancılık üzerindeki çalışmalara bakacağız.

A. MAKİNE ÖĞRENMESİ VE DERİN ÖĞRENME UYGULAMALARI

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yapay zekanın alt dalı olarak nitelendirilebilir. Makine öğrenmesi; algoritmaları girdilerden çıktılar elde etmek için, girdileri ve çıktıyı modeli belirleyebilmesinde eğitim verileri olarak kullanır [3]. Tablo 1'de yapay zeka ile geleneksel programlama arasındaki farklar görülmektedir [7].

Tablo 1. Geleneksel programlama ve yapay zeka arasındaki farklar.



Literatüre bakıldığında hayvancılıkla ilgili birçok çalışma olduğu gözlemlenmiştir. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bunlar;

Tabak M. ve arkadaşları [8] tarafından yapılan çalışmada Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) 5 eyalette yapılan kameralı tuzak görüntülerinden vahşi yaşam türlerini otomatik olarak sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmada ResNet – 18 mimarisine kullanılmıştır. 3.367.383 görüntü ile model eğitilmiştir. ResNet -18 mimarisi ABD'de elde edilecek görüntülerle %98 doğruluk oranı elde etmiştir.

Valdes-Donoso ve arkadaşları [9] tarafından yapılan çalışmada ABD Minnesota eyaletine bağlı 34 ilçesindeki hayvan hareketleri incelenmiştir. Yazarlar iki domuz üretim tesisini, çiftlikler ve pazar arasındaki hareketliliğini tahmin etmek için rastgele orman algoritmasını kullanmıştır. Araştırma sonunda iki üretim tesisinden 286 ve 215 hayvan hareketi belirlenmiştir. Hareketlerin sadece %14'ü diğer ilçelerde ki sahalarda bulunan hareketlere sahiptir.

Jensen D. ve arkadaşları [10] tarafından yapılan çalışmada ineklerde mastitis vakalarını saptamayı amaçlamıştır. 7 sensörden gelen verileri çok değişkenli dinamik doğrusal model (DLM) ve Naive Bayes (NB) sınıflandırıcısıyla beraber kullanılmıştır. Süt verimi, yağ, protein, laktoz, iletkenlik, kan ve vücut ağırlığı verilerini modelleyerek DLM ile bir sonraki sensör verileri tahmin edilmiştir. Veriler, elde edilen tahmin verilerinin hatalarının ve tahminlerin hata varyanslarına göre kategorize edilmektedir. İneğin mastitise olma olasılığının Bayes teoremi kullanarak inekle ilgili diğer verilerle (mevsim, sütte hafta, mastitis geçmişi, somatik hücre sayısı kategorisi ve parite) birleştirilmiştir. Bu olasılık, belirlenmiş bir eşğin üzerindeyse, mastitis pozitif olarak sınıflandırılmıştır. 2008 ve 2014 arasında toplanan 1.003.207 sağımdan elde edilen sensör verileri kullanılmıştır. DLM / NB yönteminin duyarlılığı %80, %81 özgünlük ve %89 alıcı çalışma karakteristik eğrisine ulaşılmıştır.

Ebrahimi M. ve arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışmada 364.239 sağım verisi üzerinde geliştirilen model yardımıyla mastitis hastalığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada derin öğrenme,

naive bayes, genelleştirilmiş lineer modeli, lojistik regresyon, karar ağacı, gradyan artırılmış ağaç (GBT) kullanılmıştır. Çalışmada GBT %84.9 doğruluk oranı ile en yüksek başarıyı elde etmiştir.

Yıldız K. [12] tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağı ile pedometre verileriyle hayvanlarda kızgınlık tahmini yapılmaktadır. 78 sığırdan toplamda 186 kızgınlık verisi elde edilmiştir. 2 katmanlı olarak tasarladığı YSA ile en yüksek başarıyı 0.9733 ROC skoruyla elde etmektedir.

Shahriar ve arkadaşları [13] tarafından yapılan çalışmada büyükbaş hayvanlardan alınan eğim sensörü ve sıcaklık verileriyle aktivite seviyelerini belirlemektedir. Çalışmanın asıl amacı hayvanlardaki kızgınlık durumunu saptamaktadır. K-ortalama algoritmasını verileri gruplandırma yapmak için kullanmıştır. İndekste değişikliklerin belirlenmesi gibi yöntemler kullanarak %100 duyarlılık elde etmiştir. Çalışmada %82 ile %100 arası genel doğruluk oranına ulaşılmaktadır.

Brunassi ve arkadaşları [14] tarafından yapılan çalışmada 25 bin kızgınlık verisi yardımıyla sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada toplamda 3 sınıf bulunmaktadır. % 84.2 duyarlılık skoruna ulaşılmıştır.

Işık E. ve Güler T. [15] tarafından yapılan çalışmada arabalı süt sağım makinelerinin basınç farklılıkları sonrasında meme başlarındaki hasarı görüntü işleme teknikleriyle saptanması yapılmıştır. Çalışmada vakum değerlerine göre meme deformasyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Dandil E. ve arkadaşlarının [16] yaptıkları çalışmada Daha Hızlı Bölgesel - Evrimsel Sinir Ağları (DHB-ESA) ile sığır yüz görüntülerinin sınıflandırması yapılmıştır. Veri setinde 5 farklı sığırdan toplamda 1579 görüntü kullanılmıştır. 1129 görüntü ile eğitim, 450 görüntü ile test yapılmıştır. %98.44 doğruluk oranı elde edilmiştir. Sığır yüz görüntüleri başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır.

Cihan P. ve arkadaşları [17] tarafından yapılan çalışmada veri setindeki değerler ile ondalık ölçekleme, z-skor, sigmoid ve minimum-maksimum normalizasyonu yapılmıştır. Çalışmada kuzularda hastalık teşhisinin sınıflandırılması yapay sinir ağları ile yapılmaktadır. En yüksek başarıyı f-ölçümü 0.36 ile sigmoid normalizasyonunda elde edilmiştir.

Rao Y. ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada makine öğrenmesi ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerden yararlanılarak keçiler için çiftlik refah izleme sistemi yapılmıştır. Sistem, videolar ve görüntüler toplanarak keçi büyümesinin izlenmesi, uzaktan kontrol edilip bakımı yapılabilmesi ve keçi davranışının analizleri yapılmaktadır. Destek vektör regresyonu (SVR) ve K-en yakın komşu algoritmaları kullanılmıştır. Sıcaklık, nem ve gaz değerlerini %94 - %97.5 oranında yüksek bir başarıyla tahmin etmektedir.

Volkman N. ve arkadaşları [19] tarafından yapılan çalışmada ineğin yürüyüşünün akustik analizi yapılarak pençe lezyonlarının tespiti için bir yöntem önerilmiştir. Rastgele orman algoritması kullanılmıştır. 64 inekten toplamda 640 ses dosyası toplanmıştır. Çalışma sonucunda %81 duyarlılık, %97 özgüllük oranı elde edildi.

Raksha R. ve Surekha P. [20] tarafından yapılan çalışmada K-en yakın komşu (KNN), lojistik regresyon ve destek vektör makineleri (SVM) gibi makine öğrenmesi modelleri kullanılmıştır. Nesnelerin interneti tabanlı (IoT) bir çiftlik izleme sistemi çalışmada önerilmiştir. Çalışma sonucunda %89.6 ile SVM en yüksek başarıya sahiptir.

Debauche O. ve arkadaşları [21] tarafından yapılan çalışmada çiftlik hayvanlarının otlatma, topallık, geniş getirme gibi davranışlarını tespit etmektedir. İnek, koyun, keçi, domuz, at ve tavukların davranışlarından elde edilen veri setini makine öğrenmesi algoritmalarıyla sınıflandırma yapılmaktadır. Her çiftlik hayvanının davranış sınıflandırmasından yüksek başarı oranları elde edilmiştir.

Warner D. ve arkadaşları [22] tarafından yapılan çalışmada 20 çiftlikte hayvanların topallığı karar ağaçları, rastgele orman ve lojistik regresyon algoritmaları ile tahmin edilmiştir. Sürü prevalansına göre

229 hayvanda topallık riski tespit edilmiştir. Alıcı çalışma karakteristik eğrisi (AUC) en yüksek 0.76 olarak belirlenmiştir. 0.54 duyarlılığa, 0.94 özgüllük değeri elde edilmiştir.

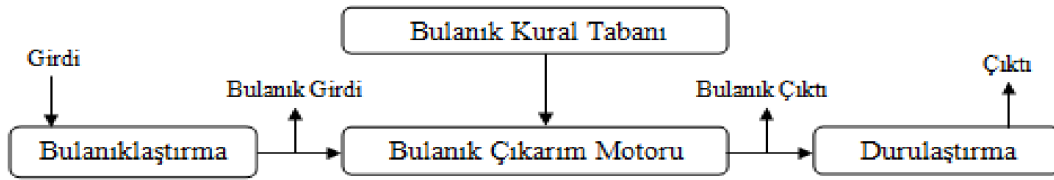
Tablo 2. Literatürdeki makine öğrenme algoritmalarının karşılaştırılması.

Yazarlar	Metotlar	Konular	Sonuçlar
Tabak M. ve arkadaşları [8]	ResNet – 18	Vahşi yaşam türlerini otomatik olarak sınıflandırılması	Doğruluk : %98
Jensen D. ve arkadaşları [10]	Çok değişkenli dinamik doğrusal model (DLM) + Naive Bayes (NB)	Mastitis Hastalığının Tespiti	Duyarlılığı %80, %81 özgüllük ve %89 alıcı çalışma karakteristik eğrisine ulaşılmıştır.
Ebrahimi M. ve arkadaşları [11]	Derin Öğrenme, Naive Bayes, Genelleştirilmiş Lineer Modeli	Mastitis Hastalığının Tespiti	GBT %84.9 doğruluk oranı ile en yüksek başarıyı elde etmiştir.
Yıldız K. [12]	Lojistik Regresyon Karar Ağacı Gradyan artırılmış ağaç (GBT)	Kızgınlık Tahmini	0.9733 ROC
Shahriar ve arkadaşları [13]	Yapay Sinir Ağı	Kızgınlık Tahmini	%100 duyarlılık %82 ile %100 arası genel doğruluk elde edilmiştir.
Dandil E. ve arkadaşları [16]	K - Ortalama	Yüz Görüntülerinin Sınıflandırması	%98.44 doğruluk oranı elde edilmiştir.
Cihan P. ve arkadaşları [17]	Daha Hızlı Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları (DHB-ESA)	Çalışmada Kuzularda Hastalık Teşhisi	En yüksek başarımlı f-ölçümü 0.36 ile sigmoid normalizasyonunda elde edilmiştir.
Rao Y. ve arkadaşları [18]	Yapay Sinir Ağları	Keçi büyümesinin izlenmesi Uzaktan kontrol edilip bakımı yapılabilmesi Keçi davranışının analizleri	Sıcaklık, nem ve gaz değerlerini %94 - %97.5 oranında yüksek bir başarımlı ile tahmin etmektedir.
Volkman N. ve arkadaşları [19]	SVR KNN	Pençe Lezyonlarının Tespiti	Çalışma sonucunda %81 duyarlılık, %97 özgüllük oranı elde edildi.
Raksha R. ve Surekha P. [20]	Rastgele Orman	Çiftlik İzleme Sistemi	Çalışma sonucunda %89.6 ile SVM en yüksek başarımlı oranına sahiptir.

Warner D. ve arkadaşları [22]	Rastgele Orman Lojistik Regresyon	Çiftlik hayvanlarının otlatma, topallık, geviş getirme gibi davranışlarının tespiti	AUC en yüksek 0.76 olarak belirlenmiştir. Duyarlılık : 0.54 Özgüllük : 0.94
-------------------------------	-----------------------------------	---	---

B. BULANIK MANTIK UYGULAMALARI

Bulanık mantık anlamlı bilgiler ile insan düşünme biçimine yakın modelleriyle denetim ve karar verebilme süreçlerinden oluşmaktadır [23]. Otomatik kontrol sistemlerinde, bilgi sistemlerinde, görüntü tanımlama ve optimizasyon yapmada sıklıkla kullanılmaktadır [24]. Literatürde hayvancılık alanında birçok bulanık mantık uygulaması incelenmiştir. Bazı çalışmalar şu şekildedir;



Şekil 2. Bulanık sistemlerin çalışma yapısı [25].

Wade K. M. ve arkadaşları [26] tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemi yapılmıştır. Oluşturulan sistemde sağmal ineklerde laktasyon sırasını, üreme etkinliğini ve üretim indeksine bağlı olarak sistem ayıklama karar çıktısı vermektedir.

Strasser M. ve arkadaşları [27] tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem ile düşük verimli hayvanların tespiti yapılmaktadır. Böylelikle bu hayvanların tespit edilerek çiftlikler için bir maliyet kaybını minimum yapmayı hedeflemektedir.

Morag I. ve arkadaşları [28] tarafından yapılan bir çalışmada bulanık mantık yardımıyla vücut ağırlığı ve sütteki verim gibi parametreler yardımıyla yem miktarının belirlenmesini sağlayan bir karar destek sistemi yapılmıştır. Yapılan sistem ile sürü yönetim programları ile entegre çalışabildiği gözlemlenmiştir.

Mehraban ve arkadaşları [29] tarafından yapılan çalışmada çiğ sütün kalitesini bulanık mantık tabanlı olarak geliştirdikleri yöntemde bulmaktadır. Fizikokimyasal ve mikrobiyolojik açıdan değerlendirmeye almışlardır. Yapılan sistemin %82.5 başarımlı sağladığı belirtilmiştir.

Kramer E. ve arkadaşları [30] tarafından yapılan çalışmada ineklerde meydana gelen mastitisin ve topallığın sınıflandırmasını sağlayan bulanık mantık temelli bir sınıflama yöntemi kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucundan istenilen performans değerleri elde edilememiştir.

Memmedova ve Keskin [31] tarafından geliştirilen sistem ile ineklerdeki son kızgınlık değerlerini ve hareket durumlarından kızgınlık sınıflandırması yapılması hedeflenmiştir. Bulanık mantık tabanlı geliştirilen sınıflandırma yöntemi ile %98 değerinde başarımlı göstermektedir.

De Mol R. M. ve Woldt W. E. [32] tarafından yapılan çalışmada sütün verimini, elektriksel iletkenliği ve hayvan aktivitesini sensörler ile ölçerek mastitis ve östrus uyarılarını sınıflandırmak için bulanık mantık tabanlı bir sistem önerilmiştir. Önerilen yöntemle otomatik olarak inek durumları izlenmiştir.

Cavero D. ve arkadaşları [33] tarafından yapılan çalışmada otomatik sağım sistemine giren ineklerin mastitis hastalığını bulanık mantık ile sınıflandırma yaparak tespit eden bir sistem önerilmiştir. Çalışmada 478 inekten 403.537 sağım verilerinin bulunduğu bir veri seti kullanılmıştır. Bulanık mantık ile sınıflandırma yapabilmek için giriş verileri olarak süt üretim hızı, süt akış hızı ve elektriksel iletkenlik

değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda %93.9 ile %41.9 arasında özgüllük değeri ve %95.5 ile %41.9 arasında ise hata oranı elde edilmiştir.

Zarchi H.A., Blanke M. ve Jónsson R.I. [34] tarafından yapılan çalışmada östrus uyarılarını sınıflandırmak için istatistiksel detektör ile beraber bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Altı ay boyunca toplanan 12 ineğin verileri üzerinde çalışma test edilmiştir. Çalışma sonucunda %85.3 duyarlılık, %100 özgüllük ve %2.8 hata oranı elde edilmiştir.

Santos S. ve arkadaşları [35] tarafından yapılan çalışmada sığır çiftliklerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemi olan Sürdürülebilir Pantanal Çiftliği'ni çalışmada açıklamaktadır. Her boyut, öznelilikler ve genel indeks için bir Bulanık Kural Tabanlı Sistem (FRBS) geliştirilmiştir.

Zaninelli M. ve arkadaşları [36] tarafından yapılan çalışmada keçilerin meme sağlığını gözlemlemek için yeni bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde elektriksel iletkenlik sinyali, bant genişliğinin, uzunluğu, Fourier frekans spektrumundaki ilk ana tepe noktasının genliği ve frekansı girdi olarak verilmiştir. 0.9 kesme seviyesinde %56 duyarlılık ve %92 özgüllük oranı elde edilmiştir. 0.1 kesme seviyesinde ise %99 duyarlılık ve %27 özgüllük sonuçları bulunmuştur.

Zaninelli M. ve arkadaşları [37] tarafından yapılan çalışmada çevrimiçi olarak sağlık durumu ve elektriksel iletkenlik değerleri izlenerek tespit potansiyeli belirlenmiştir. Süt verimi içinde benzer bir yaklaşımda bulunulmuştur. 8 sağlıklı Saanen keçisinden alınan 2 süt numunesi 6 ay boyunca günlük olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik ve süt verimi tahmini olarak hesaplanıp bulanık mantık modeline girdi olarak verilmiştir. Çalışmanın sonucunda %81 duyarlılık ve %69 özgüllük oranı elde edilmiştir.

Harsani P., Mulyana I. ve Zakaria D. [38] tarafından yapılan çalışmada A* algoritması ve bulanık mantık ile keçi arama oyunu yapılmıştır. Bulanık mantık düşman davranışlarını belirlemek için kullanılmıştır. Algoritma A* ise en kısa yolun bulunması için kullanılmaktadır. Oyundaki amaç labirentteki keçilerin otları bulmasıdır. Ancak keçilere düşman olarak 4 ayrı tür sınıf vardır. Oyun 4 aşamalı bir zorluk seviyesine sahiptir.

Zaninelli M. ve arkadaşları [39] tarafından yapılan çalışmada sensörlerden elde edilen çevrimiçi elektriksel iletkenlik verilerine göre bulanık mantık tabanlı bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemde sağlık durumları ve süt kalitesi değerlendirilmiştir. 0.7 kesme seviyesinde %73 özgüllük ve %81 duyarlılık değeri elde edilmiştir.

Tablo 3. Literatürdeki bulanık mantık modellerinin karşılaştırılması.

Yazarlar	Metotlar	Konular	Sonuçlar
Mehraban ve arkadaşları [29]	Bulanık Mantık	Çiğ süt kalitesinin tespiti	%82.5 başarımlı sağlanmıştır. Özgüllük : %93.9 ile %41.9 Hata Oranı %95.5 ile %41.9
Cavero D. ve arkadaşları [33]	Bulanık Mantık	Mastitis hastalığının tespiti	Duyarlılık :%85.3 Özgüllük : %100 Hata Oranı : %2.8
Zarchi H.A., Blanke M. ve Jónsson R.I. [34]	İstatistiksel Detektör + Bulanık Mantık	Östrus uyarılarının sınıflandırılması	

Tablo 4(devam). Literatürdeki bulanık mantık modellerinin karşılaştırılması.

Yazarlar	Metotlar	Konular	Sonuçlar
Zaninelli M. ve arkadaşları [36]	Bulanık Mantık	Meme sağlığının gözlemlenmesi	0.9 kesme seviyesinde: Duyarlılık : %56 Özgüllük : %92 0.1 kesme seviyesinde: Duyarlılık : %99 Özgüllük : %27
Zaninelli M. ve arkadaşları [37]	Bulanık Mantık	Çevrimiçi sağlık durumunun ve elektriksel iletkenlik değerlerinin izlenmesi	Duyarlılık : %81 Özgüllük %69
Zaninelli M. ve arkadaşları [39]	Bulanık Mantık	Sağlık durumu ve süt kalitesinin izlenmesi	0.7 kesme seviyesinde: Duyarlılık : %81 Özgüllük : %73

III. ROBOTİK SİSTEMLER

Robotik sistemler insanoğlunun yaptığı işleri ve eylemleri otomatikleştirmektedir. Üretim uygulamalarında, imalat sanayisinde, sanayi sektöründe, hizmet sektöründe, inşaat sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Robotik sistemlerin asıl amacı insan hatasından meydana gelecek olayların önüne geçerek yapılacak eylemin sürekliliği sağlamaktır. Gece gündüz günlerce çalışan robotlar çok daha verimli tüketim maliyetleriyle sürdürülebilir olarak çalışmaktadır. Maliyetli ve uzun vadeli sistemlerdir. Robotik sistemler üreticilere kalite ve performans sağlamaktadır.

Teknolojinin son yıllarda ivmelenmesiyle evlere ve iş yerlerine bu sistemler yer bulmaktadır. Robotik sistemler farklı alanlarda insanın yaptığı bir rutin eylemin olduğu her yerde çalışabilmektedir. Mikro boyutlardan devasa boyutlara kadar olan bir ürün yelpazesi vardır. Geniş bir kullanıcı kitlesine sahiptir. Sistemin yapacağı işleme göre robotik çözümler farklılık gösterebilir. Çalışmamızda robotik sistemlerin hayvancılık alanında kullanımlarını inceleyeceğiz. Literatür incelendiğinde hayvancılık alanındaki birçok rutin eylemi ve sorunları bu sistemlerin çözdüğü anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar;

Butler D. ve Bear C. [40] tarafından yapılan çalışmada insan ihtiyacına gerek duymadan bir otomatik sağım sistemi (AMS) çiftlikler için kullanımı önerilmiştir. Robot tarafından ayrıntılı veriler kaydedilmektedir. Çalışmada stok görevlisi ile AMS arasındaki ilişkiye odaklanılmıştır. Böylelikle sağım rutini ile inek sağlığını ve refahını arttırmak hedeflenmiştir.

Kounalakis T., Triantafylidis G. ve Nalpantidis L. [41] tarafından yapılan çalışmada süt çiftliklerindeki yabancı otların görüntüleriyle bir veri seti oluşturmak için robotik platform kullanılmıştır. Derin öğrenme kullanılarak yabancı ot görsellerini tanıma algoritması oluşturulmuştur. Ayrıca transfer öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Böylelikle elde edilen gerçek verilerden yabancı ot sınıflandırması yapan bir sistem önerilmektedir.

Rossing W. ve arkadaşları [42] tarafından yapılan çalışmada 1996 yılında Hollanda da bulunan robot kol, meme temizleme cihazları, sağım ekipmanları ve durakları anlatılmaktadır. Çalışmada sağım sıklığının 2'den 3'e çıkarılması 1000kg süt kazancına geçildiğinden bahsetmektedir. Ayrıca robotik sistemler ile otomatik sağımın çiftçiler üzerinde olumlu bir etkisi olacağına değinilmiştir.

Hamrita T., Tollner E. ve Schafer R. L. [43] tarafından yapılan çalışmada robotik biliminin tarımdaki yerine ve önemine odaklanılmıştır. Kullanılan kontrolörler ve sensörlerdeki gelişmelerden bahsedilmiştir. Gelecek için bir vizyon oluşturulmaya çalışılmıştır.

Orsini R. ve arkadaşları [44] yaptıkları çalışmada Università Politecnica delle Marche tarafından finanse edilen PFRLab araştırma projesi hakkında bilgi verilmiştir. PFRLab projesinde mahsul sistemlerinin sürdürülebilirliği ve gıda güvenliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Gıda güvenliği için hassas tarım robotik laboratuvarının kurulması ve multidisipliner bir yapıda akıllı tarım yapılması planlanmaktadır. Lauguico ve arkadaşları [45] tarafından yapılan çalışmada dünya nüfusunun ve gıda talebinin giderek artmasından dolayı yiyecek kıtlığının endişe verici olduğuna değinilmiştir. Robotik bir kol ile dikey tarım uygulamasına odaklanılmıştır. Kentlerde ve çiftliklerde popüler olması beklenmektedir. Bu araştırma çalışması MATLAB ve Universal Robots kullanılarak simüle edilmiştir.

Nguyen V. ve arkadaşları [46] tarafından yapılan çalışmada tarımda kullanılan robotik araçların analizi yapılmaktadır. Robotik teknolojinin ve sensör teknolojisinin sürekli olarak gelişmesiyle beraber ileriki çalışmalar için umut verici olarak nitelendirilebilir.

Mundan D. ve arkadaşları [47] tarafından yapılan çalışmada robotlu sağım sistemleriyle birlikte çalışan çiftliklerin ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Karşılaşılan zorluklar ve fırsatlardan bahsedilmiştir. İnsan maliyetini ortadan kaldırarak robotik çiftlik yatırımına odaklanılmıştır. Çalışma sonucunda büyük işletmelerin robotik sistemlere geçmesinin daha cazip olduğu anlaşılmıştır.

Hyde J. ve Engel P. [48] tarafından yapılan çalışmada robotik sağım sistemlerine yatırım yapmanın getirileri ve maliyetlerinden bahsedilmiştir. Robotik bir sağım sisteminin (RMS) gelir/gider değerlerini tahmin etmek için Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır.

Wagner-Storch A. ve Palmer R. [49] tarafından yapılan çalışmada bir çiftlikte geleneksel sağım yöntemi ile sağılan ve robotik sağım sistemini kullanılan ineklerin süt verimi, beslenme ve sağım davranışları incelenmiştir. Çalışma, gelecekte yapılacak olan otomatik sağım sistemlerinin taşıma ve besleme tesislerinin tasarımlarını doğrudan etkilemektedir.

Borshch O. ve arkadaşları [50] tarafından yapılan çalışmada ineklerin robotik sağım sistemine uyum göstergelerini incelemektedir. Çalışma robotik bir çiftlikte bulunan Fransız Holstein, Alman Holstein, ırkları ve kahverengi İsviçre ırkı inekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Alman Holstein ırkının daha kısa bir adaptasyon süresi olduğu gözlemlenmiştir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapay zeka ve robotik teknolojilerinin hayvancılık alanına olan uygulamaları incelenmiştir. Çalışmada herhangi bir görsele, videoya veya sayısal veriye sahip olduğu takdirde problemlere çözümler üretileceği açıklanmıştır. Hatasız, eksiksiz ve mükemmel veriler ile en zor sorunların yapay zeka ile çözüleceği düşünülmektedir. Çok yakında olması beklenen tam otonom çiftliklerde sınıflandırma ve tahminleme ile ilgili problemler için makine öğrenmesi ve bulanık mantık, daha zor problemler için derin öğrenmenin uygulanması planlanmaktadır. Yapay zekanın tamamıyla sayısal verilerden kesin sonuçlar verebilen başarılı öngörülerini çiftlik sahiplerini ikna etmektedir. Büyük çiftlikler bu trendi kaçırmak istememektedir. Oldukça insan hatasından kaçınmak ve hayvanlardan en optimum şartlarda faydalanmak istemektedir. Yapay zekanın yüksek başarımlardaki karar verme performansı ile robotik biliminin beraber kullanılması tam otonom akıllı çiftlikler için en büyük yapı taşıdır. Yapay zekanın görüntü işleme, karar verme, sınıflandırma, tahmin yapma ve sürü yönetim sistemleri gibi yetenekleriyle çiftliklerde insan müdahalesiyle yapılan çoğu problemi çözebilmektedir. Hastalık tespiti, optimum yemleme, hayvan mahsullerinin toplanması, hayvan davranışlarının tespiti ve hayvan sağlığının analizleri yapay zeka ile yapılabilmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ve çiftliklerdeki bu ihtiyacın gelecek çalışmalar için büyük bir potansiyel taşıdığı sonucuna ulaşılabilir. Tam otonom hayvancılık için incelenen örnekler gelecek için umut vermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, 4BHLI nolu KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Destek Programı kapsamında desteklenmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Tuncay, *Aristoteles: Politika*, 21. baskı, İstanbul, Türkiye: Remzi Yayınevi, 2019.
- [2] A. Hodges, *Alan Turing: The Enigma Updated Edition*, Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2014.
- [3] A. Süslü, “Doğa ve insan bilimlerinde yapay zekâ uygulamaları,” *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 1–10, 2019.
- [4] A. Kaplan and M. Haenlein, “Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence,” *Business Horizons*, vol. 62, no. 1, pp. 15–25, 2019.
- [5] H. Pirim, “Yapay zeka,” *Journal of Yaşar University*, c. 1, s. 1, ss. 81–93, 2006.
- [6] R. Hoehndorf and N. Queralt-Rosinach, “Data Science and symbolic AI: Synergies, challenges and opportunities,” *Data Science*, vol. 1, no. 1–2, pp. 27–38, 2017.
- [7] V. Kotu and B. Deshpande, “Data Science: Concepts and practice,” in 2. Edition. Elsevier, USA, 2019.
- [8] M. A. Tabak *et al.*, “Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications in ecology,” *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, no. 4, pp. 585–590, 2019.
- [9] P. Valdes-Donoso, K. VanderWaal, L. S. Jarvis, S. R. Wayne, and A. M. Perez, “Using machine learning to predict swine movements within a regional program to improve control of infectious diseases in the US,” *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 4, no. 2, pp. 1-13, 2017.
- [10] D. B. Jensen, H. Hogeveen, and A. De Vries, “Bayesian integration of sensor information and a multivariate dynamic linear model for prediction of dairy cow mastitis,” *Journal of Dairy Science*, vol. 99, no. 9, pp. 7344–7361, 2016.
- [11] M. Ebrahimi, M. Mohammadi-Dehcheshmeh, E. Ebrahimie, and K. R. Petrovski, “Comprehensive analysis of machine learning models for prediction of sub-clinical mastitis: Deep Learning and Gradient-Boosted Trees outperform other models,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 114, 2019.
- [12] A. Koray Yildiz, “Büyükbaş hayvanlarda kızgınlığın (östrus) hareketlilik ve çevre verilerinden yararlanarak yapay sinir ağları ile belirlenmesi,” Doktora tezi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2016
- [13] M. S. Shahriar *et al.*, “Detecting heat events in dairy cows using accelerometers and unsupervised learning,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 128, pp. 20–26, Oct. 2016.
- [14] L. dos A. Brunassi *et al.*, “Improving detection of dairy cow estrus using fuzzy logic,” *Scientia Agricola*, vol. 67, no. 5, pp. 503–509, 2010.
- [15] E. Işık ve T. Güler, “Farklı vakum değerlerinde ineklerde sağım sonrası meme başı deformasyonun görüntü işleme tekniğiyle saptanması,” *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*,

c. 23, s. 1, ss. 33–41, 2009.

[16] E. Dandıl, M. Turkan, M. Boğa, ve K. K. Çevik, “Daha hızlı bölgesel-evrimsel sinir ağları ile sığır yüzlerinin tanınması,” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 6, ss. 177–189, 2019.

[17] P. Cihan, E. Gökçe, ve O. Kalipsiz, “Veteriner hekimlik alanında makine öğrenmesi uygulamaları üzerine bir derleme,” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 4, ss. 673–680, 2017.

[18] Y. Rao, M. Jiang, W. Wang, W. Zhang, and R. Wang, “On-farm welfare monitoring system for goats based on Internet of Things and machine learning,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 16, no. 7, 2020.

[19] N. Volkmann, B. Kulig, S. Hoppe, J. Stracke, O. Hensel, and N. Kemper, “On-farm detection of claw lesions in dairy cows based on acoustic analyses and machine learning,” *Journal of Dairy Science*, vol. 104, no. 5, pp. 5921–5931, 2021.

[20] R. Raksha and P. Surekha, “A cohesive farm monitoring and wild animal warning prototype system using IoT and machine learning,” in *2020 International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics*, Bengaluru, India, 2020, pp. 472–476.

[21] O. Debauche, M. Elmoulat, S. Mahmoudi, J. Bindelle, and F. Lebeau, “Farm animals’ behaviors and welfare analysis with AI algorithms: A Review,” *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 35, no. 3, pp. 243–253, 2021.

[22] D. Warner, E. Vasseur, D. M. Lefebvre, and R. Lacroix, “A machine learning based decision aid for lameness in dairy herds using farm-based records,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 169, pp. 1-7, 2020.

[23] G. Chen and T. T. Pham, *Introduction To Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Control Systems*, Florida, ABD, CRC Press, 2000.

[24] Altaş, İ. H., “Bulanık mantık : bulanıklılık kavramı,” *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, c. 62, ss. 80–85, 1999.

[25] Akıllı Aslı, Atıl Hülya, ve Harun Kesenkaş, “Çiğ süt kalite değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımı,” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 20, s. 2, ss. 223–229, 2014.

[26] K. M. Wade, R. Lacroix, and M. Strasser, “Fuzzy logic membership values as a ranking tool for breeding purposes in dairy cattle,” in *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Armidale, Australia, 1998, vol. 27, pp. 433–436.

[27] M. Strasser, R. Lacroix, R. Kok, and K. M. Wade. (1997). *A second generation decision support system for the recommendation of dairy cattle culling decisions* [Online]. Available: <https://www.mcgill.ca/animal/files/animal/97r04.pdf>

[28] I. Morag, Y. Edan, and E. Maltz, “An individual feed allocation decision support system for the dairy farm,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 79, no. 2, pp. 167–176, 2001.

[29] M. M. Sangatash, M. Mohebbi, F. Shahidi, A. V. Kamyad, and M. Q. Rohani, “Application of fuzzy logic to classify raw milk based on qualitative properties,” *International Journal of AgriScience*, vol. 2, no. 12, pp. 1168–1178, 2012.

[30] E. Kramer, D. Caverio, E. Stamer, and J. Krieter, “Mastitis and lameness detection in dairy cows

by application of fuzzy logic,” *Livestock Science*, vol. 125, no. 1, pp. 92–96, 2009.

[31] N. Mikail ve İ. Keskin, “İneklerde bulanık mantık modeli ile hareketlilik ölçüsünden yararlanılarak kızgınlığın tespiti,” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 6, ss. 1003–1008, 2011.

[32] R. M. De Mol and W. E. Woltdt, “Application of fuzzy logic in automated cow status monitoring,” *Journal of Dairy Science*, vol. 84, no. 2, pp. 400–410, 2001.

[33] D. Cavero, K. H. Tölle, C. Buxadé, and J. Krieter, “Mastitis detection in dairy cows by application of fuzzy logic,” *Livestock Science*, vol. 105, no. 1–3, pp. 207–213, 2006.

[34] H. A. Zarchi, R. I. Jónsson, and M. Blanke, “Improving oestrus detection in dairy cows by combining statistical detection with fuzzy logic classification,” in *Proceedings of the 7th Workshop on Advanced Control and Diagnosis*, Zielona, Poland, 2009, pp. 20.

[35] S. A. Santos *et al.*, “A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems,” *Journal of Environmental Management*, vol. 198, pp. 95–106, 2017.

[36] M. Zaninelli, F. M. Tangorra, A. Costa, L. Rossi, V. Dell’Orto, and G. Savoini, “Improved fuzzy logic system to evaluate milk electrical conductivity signals from on-line sensors to monitor dairy goat mastitis,” *Sensors 2016*, vol. 16, no. 7, pp. 1079, 2016.

[37] M. Zaninelli, L. Rossi, F. M. Tangorra, A. Costa, A. Agazzi, and G. Savoini, “On-Line monitoring of milk electrical conductivity by fuzzy logic technology to characterise health status in dairy goats,” *Italian Journal of Animal Science*, vol. 13, no. 2, pp. 340–347, 2016.

[38] P. Harsani, I. Mulyana, and D. Zakaria, “Fuzzy logic and A* algorithm implementation on goat foraging games,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Tangerang Selatan, Indonesia, 2018, vol. 332, no. 1, p. 012054.

[39] M. Zaninelli, L. Rossi, A. Costa, F. M. Tangorra, A. Agazzi, and G. Savoini, “Use of electrical conductivity sensors to monitor health status and quality of milk in dairy goats,” *International Journal of Health, Animal Science and Food Safety*, vol. 2, no. 2s, pp. 8-9, 2015.

[40] D. Butler, L. Holloway, and C. Bear, “The impact of technological change in dairy farming: Robotic milking systems and the changing role of the stockperson,” *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, vol. 173, pp. 1-6, 2012.

[41] T. Kounalakis, G. A. Triantafyllidis, and L. Nalpantidis, “Deep learning-based visual recognition of rumex for robotic precision farming,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 165, p. 104973, 2019.

[42] W. Rossing, P. H. Hogewerf, A. H. Ipema, C. C. K.-D. Lauwere, and C. J. A. M. De Koning, “Robotic milking in dairy farming,” *Netherlands Journal of Agricultural Science.*, vol. 45, no. 1, pp. 15–31, 1997.

[43] T. K. Hamrita and E. W. Tollner, “Toward fulfilling the robotic farming vision: Advances in sensors and controllers for agricultural applications,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 36, no. 4, pp. 1026–1032, 2000.

[44] R. Orsini *et al.*, “Setting of a precision farming robotic laboratory for cropping system sustainability and food safety and security: preliminary results,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Ancona, Italy, 2019, vol. 275, no. 1, pp. 012021.

- [45] S. C. Lauguico, R. S. Concepcion, D. D. MacAsaet, J. D. Alejandrino, A. A. Bandala, and E. P. Dadios, "Implementation of inverse kinematics for crop-harvesting robotic arm in vertical farming," in *9th IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, Bangkok, Thailand, 2019, pp. 298–303.
- [46] V. Nguyen, Q. Vu, O. Solenaya, and A. Ronzhin, "Analysis of main tasks of precision farming solved with the use of robotic means," in *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 113, p. 02009.
- [47] D. Mundan, H. Selçuk, K. Orçin, E. Karakafa, ve F. Akdağ, "Modern süt sığırı işletmelerinde robotlu sağım sistemlerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi," *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 42–48, 2014.
- [48] J. Hyde and P. Engel, "Investing in a robotic milking system: A Monte Carlo simulation analysis," *Journal of Dairy Science.*, vol. 85, no. 9, pp. 2207–2214, 2002,
- [49] A. M. Wagner-Storch and R. W. Palmer, "Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system," *Journal of Dairy Science.*, vol. 86, no. 4, pp. 1494–1502, 2003.
- [50] O. O. Borshch *et al.*, "Adaptation strategy of different cow genotypes to the voluntary milking system," *Ukrainian Journal of Ecology*, vol. 10, no. 1, pp. 145–150, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hareketli İnsan Yüzü Tespit ve Takibi Yapabilen İHA Uygulaması¹

 Engin GÜZEL^{a,*},  Mustafa YAĞCI^b

^a İleri Teknolojiler Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: engingzl@outlook.com

DOI:10.29130/dubited.1013744

ÖZ

İnsansız hava araçları son yıllarda sivil, askeri, sanayi, kişisel hobi gibi birçok alanda kullanımı bulunan ve her geçen gün teknolojik anlamda hızlı gelişen bir teknolojidir. Bu çalışmada dört motorlu insansız hava araçları ile insan yüzü tespit ve takibi uygulaması gerçekleştirilmiştir. İnsansız hava aracı olarak DJI Tello EDU Drone, birkaç farklı yazılım dili ile programlanabilir olması, ucuz maliyeti ve malzeme kalitesi özelliklerine sahip olmasından dolayı kullanılmıştır. Uygulama, kolay öğrenilebilir ve kaynak çalışmaların bulunmasından dolayı Python yazılım dili ile OPENCV 4.3.0 versiyonu kullanılarak PyCharm ortamında gerçekleştirilmiştir. Uygulamadaki insan yüzü tespiti ve takibi işlemi gerçekleştirilmesi için OPENCV kütüphanesi kullanılmıştır. İnsansız hava aracında bulunan sabit kameranın kadrajından elde edilen gerçek zamanlı görüntüde tespit edilecek nesnenin insan yüzü olduğuna kullanıcı tarafından herhangi bir seçme işlemi olmaksızın, karar vermesi ve takip etmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen iç mekân ve dış mekân uçuşlarında istenilen sonuçların alınması için bağımlı olunan etkenler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada otonom olarak insan yüzü takibi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hareketli nesne takibi, İnsansız hava aracı, Hareketli insan yüzü takibi, OPENCV.

UAV Application with Moving Human Face Detection and Tracking

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles are a technology that has been used in many fields such as civil, military, industry and personal hobby in recent years and is developing rapidly in terms of technology day by day. In this study, human face detection and tracking application was carried out with a four-motor UAV. As an unmanned aerial vehicle, the DJI Tello EDU Drone has been used because it can be programmed with several different software languages, cheap cost, and material quality. The application was carried out in the PyCharm environment using the Python software language and OPENCV version 4.3.0 due to the availability of easy-to-learn and source studies. The OPENCV library was used to perform human face detection and tracking in the application. This process was carried out as the process of deciding and following without any selection process by the user that the object to be detected in the real-time image obtained from the frame of the fixed camera in the UAV is a human face. Dependent factors were evaluated in order to obtain the desired results in indoor and outdoor flights. As a result, human face tracking application was carried out autonomously in this study.

Keywords: Moving object tracking, Unmanned aerial vehicle, Moving human face tracking, OPENCV.

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 22/10/2021, Düzeltme: 12/12/2021, Kabul: 19/12/2021

I. GİRİŞ

İnsansız hava aracı (İHA); içerisinde kendisini kontrol eden pilot ve taşımak amacıyla yolcu bulundurmayan, amacına uygun olarak ekipman (video kayıt kamerası, fotoğraf kamerası, gps sensörü, vb.) bulduran uzaktan kontrol ve/veya otomatik uçuş gerçekleştirebilen bir çeşit uçaktır [1]. İHA sivil, bilimsel, askeri vb. birçok alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlardaki kullanımlar gerek ülkemizde gerekse dünya da hızla artmaktadır. Artan bu kullanımların temel nedeni olarak kullanıldıkları alanda (örneğin arama-kurtarma) yüksek doğruluk, maliyet ve zaman tasarrufu sağlanması gösterilmektedir [1].

İHA'nın kullanım alanlarının bu denli geniş olması, görüntü işleme teknolojisinin alt konularından olan nesne takibi konusunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Görüntü işleme (image processing) ve nesne takibi (object tracking) konuları bilgisayarlı görme (computer vision) teknolojisinin alt dalları olarak kabul edilmektedir. Nesne takibi başta askeri alanda olmak üzere İHA'ların kullanıldıkları bütün alanlarda çalışmaların yapıldığı önemli bir alandır [2]. Nesne takibi, kameradan elde edilen görüntü dizileri veya videolardaki hareketli nesnelere ait çeşitli (hız, konum, şekil, renk, ışık etkisi vs.) bilgilerin tam olarak belirlenmesi işlemidir [3].

Nesne tespiti ve takibi görüntü işleme teknolojisinin önemli konularından biri konumundadır. Örneğin radar, yüz tanıma ve güvenlik sistemleri, radyoloji (tomografi vb.) gibi uygulamalar görüntü işleme teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı uygulamalardandır [4]. Ayrıca uydulardan alınan görüntülerde nesne tanımlama ve sınıflandırma uygulamaları coğrafi alanların sınıflandırılması amacıyla kullanılmaktadır.

Nesne tespiti ve takibi konusu, endüstriyel alanlarda ürün kontrolü, hata tespiti, hatalı ürünlerin ayrılması gibi birçok konuda da çalışmalar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmalar görüntü işleme teknolojisinin endüstriyel alanlarda kullanılmasının ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Nesne tespit, takip, sayım vb. işlemlerin gerçekleştirilmesi için yapılan çalışmalarda kullanılan görüntü işleme teknolojisi, yapay zekâ teknolojilerine de destek vermektedir. Yapay zekâ teknolojisi ile kullanılması sayesinde endüstriyel alanda özellikle robotik uygulamaların çeşitliliğine katkı sağlamaktadır. Bu iki teknolojinin bütünleşmiş olarak çalışabilmesi günlük yaşam dahil olmak üzere birçok alanda hayatı kolaylaştırmaktadır.

Günümüzde güvenlik sistemleri söz konusu olduğunda, görüntü işleme teknolojisi çok büyük öneme sahiptir. Güvenlik sistemlerinde en önemli amaç gözetim işleminin yapılmasıdır. Yüksek güvenlik gerektiren alanların (örneğin havaalanı, büyükelçilik vb.) gözlemlenmesi için kullanılmaktadır. Bu sistemler güvenlik gerektiren alanlarda giriş-çıkış yapan insanların takibi, sahipsiz bagaj vb. nesnelere tespit ve takibi gibi işlemlerde kullanılarak oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmesine olanak sağlamaktadır [3].

Gözetim amaçlı kişi ve nesne takibi kritik öneme sahip bölgelerde kısa sürede, hızlı ve güvenli bir şekilde sağlanabilir. Hareketli insan ve/veya nesne takibi, sabit nesne ve/veya insan takibi konusu ile karşılaştırıldığında daha karmaşık bir problemdir. Açık alanlarda yapılacak takip uygulamalarında olumsuz hava koşulları vb. nedenler kamerada nesne ve/veya insan algısının azalmasına ve görüntü işleme teknolojisi konusunda bazı problemler sebep olmaktadır. İHA'lar insan yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda nesne tespiti (örneğin tren istasyonları, otogar vb.), hareketli trafikte araç tespiti gibi pek çok uygulama alanında kullanılmaktadır [5]. Güvenlik uygulamalarında önemli bir bölüm ise parmak izi, iris, yüz tanıma sistemleridir. Bu sistemlerin etkili bir şekilde kullanılmasında insan yüzü tespiti çok büyük öneme sahiptir. İnsan yüzü tespiti, görüntü işleme teknolojisinin sağladığı birçok avantaj ve faydalardan sadece biridir. Bu fonksiyon görüntü işleme kütüphaneleri kullanılarak yüksek doğrulukta sonuç veren sistemlerde kullanılmaktadır. OPENCV bu kütüphanelerden olup görüntü işleme uygulamasının daha az komut satırı ile yapılabilmesi ve daha hızlı sonuç vermesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmanın insan ve/veya nesne tespit ve takibi konularında literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda özellikle ulusal ve uluslararası açık kaynak projelerine katkı sağlaması beklenmektedir. Buna ek olarak nesne ve/veya insan takibi yapabilen İHA projesi kapsamında ülkemizde az sayıda çalışma olması; ürünün ticarileştirilmesi ve geliştirilebilir bir ürün olarak patent başvurusu yapılmasını mümkün kılmaktır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde görüntü işleme, nesne tespit ve takibi alanlarında yapılan önceki çalışmalar yer almaktadır. Üçüncü bölümde insansız hava araçları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışma kapsamında kullanılan görüntü işleme algoritması hakkında bilgiler ve çalışmanın işleyiş adımları anlatılmıştır. Son bölümde ise yapılan çalışmanın önemi ve sonucuna ilişkin bir değerlendirme yapılmıştır.

II. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatürde insansız hava araçları, görüntü işleme, nesne tespit ve takibi teknolojilerinin kullanıldığı çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Çoşkun [3] yaptığı çalışmada dört rotorlu AR. Drone ile sürekli uyarlamalı ortalama kayma algoritması kullanarak kapalı alanda hareketli nesne takibi uygulaması gerçekleştirmiştir.

Peker ve Zengin [6] hareket tespit algoritmalarından olan arka plan fark yöntemi algoritmasını kullanarak hareketli nesne tespit ve takibi uygulamasını gerçekleştirmiştir. Bu uygulama ile belirtilen bir alanda izinsiz giriş tespiti amaçlanmıştır.

Meduri ve Telles [7] çalışmalarında Haar-cascade algoritması ile akıllı park sistemi çalışması ortaya koymuştur. Bu sistem, alınan görüntüdeki alandaki araçların ve boş olan park yerlerinin tespiti işlemini gerçekleştirmiştir.

Hareketli nesne ve/veya insan takibi uygulamaları akla ilk olarak güvenlik sistemlerini getirir 'de, teknolojik ürün geliştirmeler alanında büyük öneme sahiptir. Öncü [8] yaptığı çalışmada cansız bir mankene yerleştirilen kameralar, ses algılayıcılar ve hareket motorları ile aynı anda hem görüntü hem de ses işleme teknolojilerini kullanarak hareketli nesne takibi çalışmasını ortaya koymuştur. Bu çalışma aynı zamanda insansız robot uygulamalarının temelini oluşturmaktadır.

Bayram [9] metal sektöründe sac kesim işlemlerinden sonra ortaya çıkan üründe bulunan dairesel boşlukların görüntü işleme teknolojisi kullanılarak belirtilen hata toleransı içerisinde olup olmadığının kontrol edildiği ve böylece hatalı ürünlerin otomatik ve hızlı bir şekilde tespit edilmesi işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Kadiroğulları vd. [10] çalışmalarında yapay zekâ ve görüntü işleme teknolojilerini bütünleşmiş bir şekilde kullanarak otonom bir trafik sinyalizasyon çalışması ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile trafiğin yoğun olduğu noktalardaki araç ve insan sayılarına göre trafik ışıklarının en uygun performans ile otonom şekilde çalışması gerçekleştirilmiştir.

Solak ve Altınışık [11] yaptıkları çalışmada ortamda bulunan fındık meyvelerinin görüntü işleme teknolojisi kullanarak hem tespit hem de küçük, orta ve büyük olarak üç sınıflandırma işlemi gerçekleştirmiştir.

Yiğit ve Uysal [12] yaptıkları çalışmada nesne tabanlı sınıflandırma detay çıkarımı kullanarak insansız hava aracı ve uydudan alınan görüntülerden yol tespiti yapmıştır.

Yıldız ve Kavzoğlu [13] çalışmalarında Quickbird ve Landsat uydularından alınan görüntülerin nesne tabanlı sınıflandırma yöntemini kullanarak Trabzon iline ait görüntülerden arazi örtüsünün sınıflandırılması çalışmasını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada orta seviye işlemler bölümünde uygulanan segmentasyon adımının kalitesinin sınıflandırmanın doğruluğunu önemli düzeyde

etkilediğini sonucu ortaya çıkmıştır. İki farklı uydudan alınan görüntülerdeki çözünürlük farkının sınıflandırma işlemindeki kaliteyi doğrudan etkilediği ve ne kadar önemli olduğu görülmüştür.

Apache Hadoop, büyük veri kümelerinin işlenmesini sağlayan açık kaynak kodlu bir platformdur. Apache Hadoop, yapılandırılmış, yarı-yapılandırılmış ya da yapılandırılmamış büyük veri kümelerinin işlenmesi ve depolanması işlemleri için maliyeti düşük bir sistem sağlar. Kachin [14] çalışmasında Apache Hadoop platformu üzerinde Haar-Cascade algoritması kullanarak insan yüzü tespit uygulaması ortaya koymuştur.

Tekin [15] yaptığı çalışmada ev ortamındaki çocuğun hareketlerinin izlenmesi ve belirlenen durumların oluşması halinde ebeveynlerin cep telefonlarına alarm bildirilmesi sistemini geliştirmiştir. Bu çalışmada kalman filtresi kullanarak priz, ısıtıcı vb. seçilen tehlikeli bölgelere çocuğun yaklaşması gibi hareketlerin belirlenen eşik seviyelerinin dışına çıkması durumunda alarm sisteminin çalışması gerçekleştirilmiştir.

Turhan [16] ortalama kayma yöntemi ile iki farklı görüntüde takip edilen nesnenin ani hareketlerini ve nesnenin engele maruz kaldıktan sonra takibini gerçekleştirmiştir.

Aktaş [17] çalışmasında *farkların mutlak değerlerinin toplamı* metodunu kullanarak işlenmek istenen imgenin satır ve sütunlarında ilerleme adımlarındaki işlem yükünü azaltmıştır. Nesne tespit işlemi yüksek doğruluk oranı ile gerçekleştirilmiştir.

Şahin ve Oktay [18] yaptıkları çalışmada ZANKA-II isimli sabit kanatlı İHA tasarlamıştır. Kanat uçlarını hareket edebilen bir sistem kontrol etmiştir. Bu çalışma kanat uçlarındaki menteşeli bir tasarımın servo sistem yardımı ile kontrol edilmesi esasına dayanmaktadır. Kanat uçları kontrol edilerek uçuşun bütün safhalarında yüksek verim elde edilmiştir.

Ajoy vd. [19] ise siluet tabanlı nesne takip yöntemi kullanarak görüntüler içerisinde tespit edilecek nesne sınırlarının çizilerek sonraki framerde nesnelerin aranması ve tespiti işlemini gerçekleştirmiştir.

III. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

İHA; fiziksel olarak içerisinde insan bulundurmayan üzerinde video kamera, fotoğraf makinesi, çeşitli sensörler vb. gibi araçlar bulunan bir çeşit uçaktır [20]. İHA uzaktan ve/veya otomatik olarak hareket edebilmektedir. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde İHA çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Askerî alan başta olmak üzere ticari, sivil, bilimsel, hobi gibi alanlarda aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Doğal afetler, trafik denetimleri, nesne ve/veya insan tespit takipleri vb. olaylarda insan hayatının kolaylaşmasına olanak sağlamaktadır [2]. İHA kullanım amaçlarına göre sivil ve askerî olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Askerî kullanım alanları Tablo 1’ de sunulmuştur [21].

Tablo 1. İnsansız hava araçları askeri kullanım alanları [22].

Keşif / Gözetleme Desteği	Saldırı	Elektronik Savaş	Hedef Benzetimi	Özel Görevler
Taktik Saha Keşif / Gözetleme	İç güvenlik	Hedef Uçak	Sinyal İstihbaratı	Haberleşme Desteği
Stratejik Keşif / Gözetleme	Yakın Hava Desteği	Sahte Uçak	Radyo Elektronik Harp	Mayın / Patlayıcı Tespit
	Hava Savunma Sistemlerinin İmhası		Muhabere Elektronik Harp	Kimyasal, Biyolojik, Radyoaktif, Nükleer Tespit

Tablo 1(devam). İnsansız hava araçları askeri kullanım alanları [22].

Keşif / Gözetleme Desteği	Saldırı	Elektronik Savaş	Hedef Benzetimi	Özel Görevler
	Hava Sahası Savunma		Önleyici Elektronik Harp	Kentsel Harp
				Çoklu İHA Görevi - Kol uçuşu ya da geniş alan gözetlemesi
				Deniz Karakol / Denizaltı Savunma Harbi
				Kargo Taşıma
				Arama-Kurtarma / Lojistik

A. SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Sabit kanatlı insansız hava araçları genel yapısı ve kanat görünümü ile günümüzdeki uçaklara benzemektedir. Sahip olduğu sabit kanatlar sayesinde yüksek hız, yüksek irtifa, uzun uçuş sürelerine sahiptir. Uçuş gerçekleştirebilmesi için bir piste ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca bakım ve onarımının daha kolay olması kullanım açısından sağladığı en önemli faydalardandır [23].

B. DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Döner kanatlı insansız hava araçları; dikey shafta bağlı olan kanatların yerçekimi kuvvetine karşı daha büyük bir kuvvet uygulayarak uçuş gerçekleştiren hava araçlarıdır. Kanatların shaftlara bağlı olduğu sisteme rotor adı verilir. Döner kanatlı insansız hava araçları değişken rotor sayılarına sahip olabilmektedir. Hafif malzemeler tercih edilerek üretilir. Bu hafiflik manevra kabiliyetlerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. Uçuş hızı olarak yüksek hızlara ulaşamamakla birlikte havada asılı kalabilme, üç boyutlu hareketler yapabilme, piste gerek duymadan uygun birçok alandan iniş-kalkış yapabilme özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı genellikle keşif görevlerinde kullanılmaktadırlar. Gerçekleştireceği görevlere göre pervane sayıları değişkenlik göstermektedir [24].

C. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ ÜLKEMİZDE SINIFLANDIRILMASI

İnsansız hava araçları sahip oldukları birçok özelliklere göre sınıflandırılabilir. Dünyada insansız hava araçlarının sınıflandırılmasında kullanılan evrensel özellik İHA'nın kütlesi olarak kabul edilmektedir. Gerçekleştireceği görev ve amaçlar doğrultusunda çok küçük boyutlardan birçok farklı boyutlarda İHA'lar üretilmektedir. Boyutlarla doğru orantılı olarak İHA'ların kütleleri değişkenlik göstermektedir. Ülkemizde insansız hava araçlarının sınıflandırılması Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yapılmaktadır. Bu sınıflandırma yapılırken insansız hava araçlarının kütle değerleri kullanılmaktadır. Tablo 2'de SHGM'nin İHA sınıflandırma tablosu sunulmuştur [25].

Tablo 2. SHGM İHA sınıflandırması [25].

SINIF	KÜTLE
İHA0	500 gr (dâhil) – 4kg aralığı
İHA1	4 kg (dâhil) – 25 kg aralığı
İHA2	25 kg (dâhil) – 150 kg aralığı
İHA3	150 kg (dâhil) ve daha fazla

Ülkemizde SHGM'nin sınıflandırmalarına göre ayrılan İHA'ları kullanabilmek için SHGM tarafından onaylı eğitim kurumlarından alınacak eğitim sonucunda sahip olunacak pilotluk lisanslarına göre kullanım sağlanabilmektedir.

IV. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada görüntü işleme teknolojisini kullanabilmek için OPENCV kütüphanesinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda insan yüzü tespiti işlemi için OPENCV kütüphanesinin içerisinde barındırdığı birçok algoritmadan birisi olan Haar-Cascade sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Sınıflandırıcı hızlı, doğruluk oranının yüksek olması ve kolay uygulanabilir olmasından dolayı tercih edilmiştir [26]. Haar-Cascade sınıflandırıcısının özellikleri kullanılarak İHA'nın kamerasından alınan görüntüdeki insan yüzünün tespit işlemi ve sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Tespit işlemi sonrasında İHA'nın kamera kadrajına giren insan yüzünün kamera kadrajından çıkana kadar ki sürede gerçek zamanlı olarak takip işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulamaya ait akış şeması Şekil 1'de, çalışmada kullanılan İHA ise Şekil 2.'de sunulmuştur.



Şekil 2. DJI Tello EDU İnsansız hava aracı.

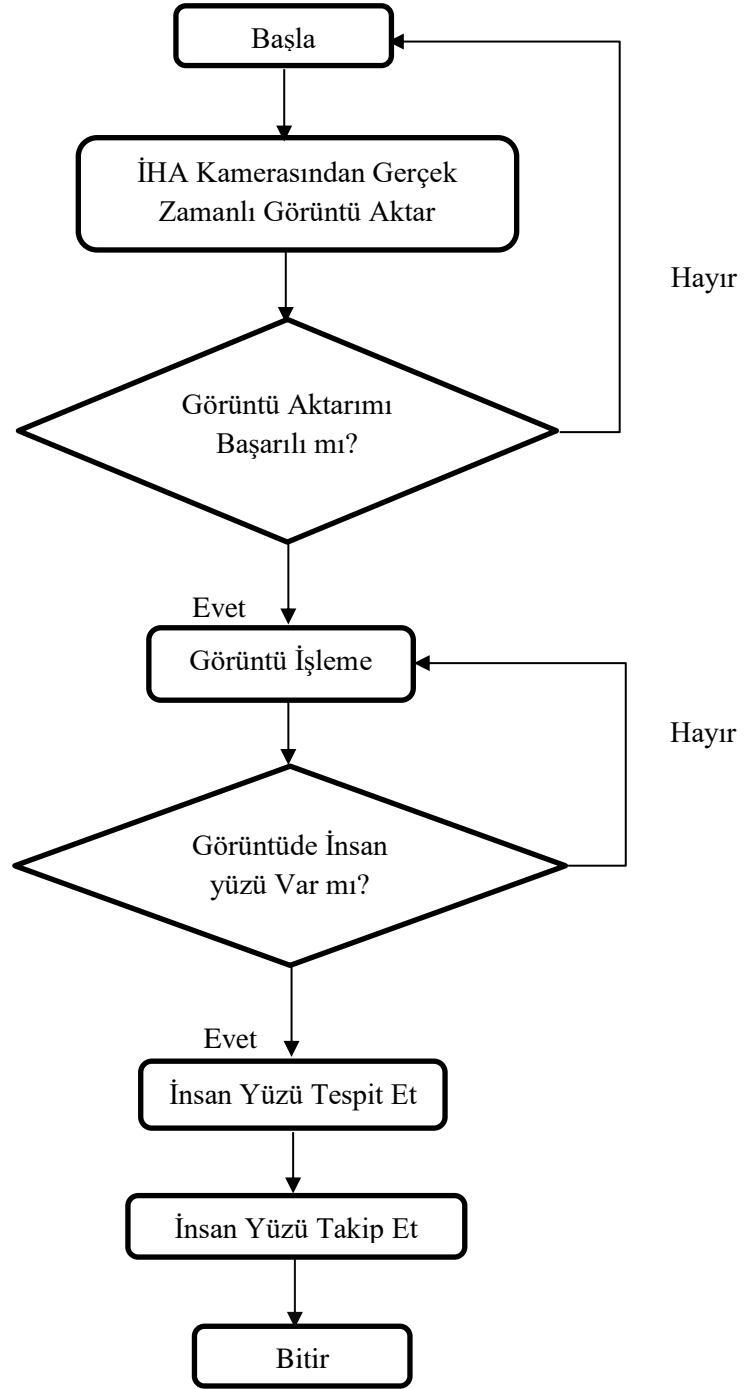
Uygulama kodlarının uygulanabilmesi için ücretsiz bir bütünleşmiş geliştirme ortamı (IDE) olan PyCharm uygulaması kullanılmıştır. Proje yapım aşamasında kullanılan teknolojiler ile alakalı toplanan her türlü bilgi, belge, eğitim gibi unsurlara kolay ve hızlı bir şekilde ulaşılma durumu ve uygulanabilirliği projede kullanılan teknolojilerin seçiminde etkili olmuştur. Çalışma temel olarak iki adımda gerçekleştirilmiştir.

A.İHA KAMERASINDAN ALINAN GÖRÜNTÜDE İNSAN YÜZÜ TESPİTİ

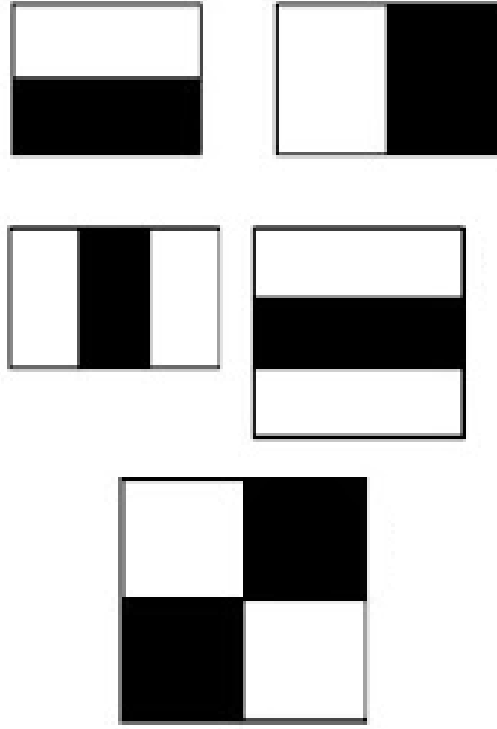
Haar-Cascade algoritmasının haar özellikleri kullanılarak insan yüzündeki alanların renk dağılımı ve yoğunluğuna bağlı olarak insan yüzündeki organların tespiti yapılarak görüntüde insan yüzü olup olmadığı tespit edilmiştir. Haar özelliklerinin kullanımında sınıflandırıcının sahip olduğu dikdörtgenlerin altında kalan bölgelerin piksel yoğunluk farkları, yüz üzerindeki bölgeleri ayrı ayrı tespit edilmesine olanak sağlayarak insan yüzündeki göz, burun gibi organlar tespit edilir, böylece insan yüzü diğer objelerden ayırt edilir. Alanlar arasındaki farklara bağlı olarak insan yüzündeki organ tespiti bu şekilde gerçekleştirilmiştir [27]. Kullanılan algoritmanın özellikleri ve işleyiş adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

A.1. Haar Özelliklerin Hesaplanması

Hesaplama, görüntüdeki bütün bölgelerin piksel yoğunluklarının toplanması ve bu toplamların arasındaki farkların bulunması şeklinde yapılmaktadır. Haar özelliklerinden örnekler Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 1. Akış şeması.



Şekil 3. Köşe özellikleri, hat özellikleri, dört dikdörtgen özellikleri [28].

Haar özellikleri kullanılarak büyük görüntülerde kullanılması performans açısından dezavantajlıdır. Bu yüzden integral görüntü aşaması burada devreye girmektedir.

A.2. İntegral Görüntünün Oluşturulması

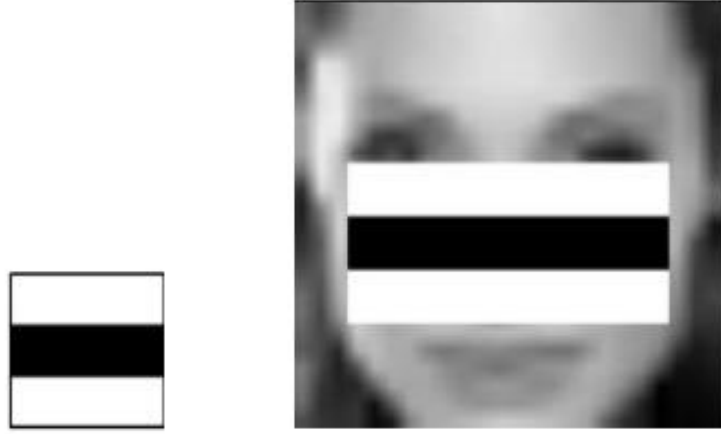
İntegral görüntü oluşturulmasının esas amacı haar özelliklerinin hızlandırılmasını sağlamaktır. Her pikselde hesap yapmak yerine alt dikdörtgenler oluşturulur ve bu dikdörtgenlere dizi referansları verilir. İntegral görüntü denklemi, Denklem (1)'de sunulmuştur.

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

İntegral görüntüde hesaplanan ve kullanılması gereken haar özelliklere karar verilmesi gerekmektedir. Bu aşamada ise Adaboost devreye girmektedir.

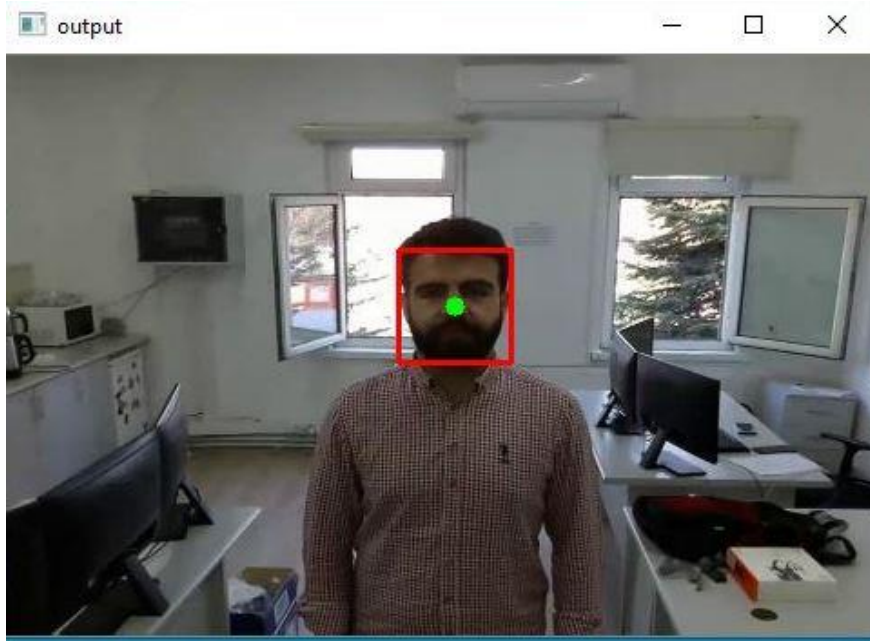
A.3. Adaboost Kullanımı

Adaptive Boosting'in kısaltması olan AdaBoost, Yoav Freund ve Robert Schapire tarafından formüle edilmiş bir istatistiksel sınıflandırma meta algoritmasıdır. Performansı artırmak için diğer birçok öğrenme algoritması türüyle birlikte kullanılabilir. Adaboost, esasen en iyi özellikleri seçer ve sınıflandırıcıları bunları kullanmaları için eğitir. AdaBoost haar-cascade algoritmasının nesnelere algılaması için kullanabileceği bir "güçlü sınıflandırıcı" oluşturmak için "zayıf sınıflandırıcılar" kombinasyonunu kullanır [29]. Haar özellikleri ile burun seçme işlemi görüntüsü Şekil 5'de sunulmuştur. İnsan yüzündeki yanak bölgesinin renk durumunun burun bölgesindeki göre daha açık renkte olması ile yüzdeki organ sınıflandırılması gerçekleştirilir. Böylece insan yüzü değişse bile insan yüzü tespiti gerçekleştirilir.



Şekil 5. Haar özellikleri ile burun seçimi [27].

İHA kamerasında alınan gerçek zamanlı görüntüde insan yüzü tespit işleminin görüntüsü Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. İHA kamerasından alınan gerçek zamanlı görüntüdeki yüz tespiti.

B. TESPİT EDİLEN İNSAN YÜZÜNÜN GERÇEK ZAMANLI TAKİP EDİLMESİ

İnsan yüzü tespit işlemi başarı ile uygulandıktan sonra, tespit edilen insan yüzünün gerçek zamanlı olarak yer değişimlerinin takip edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Takip işleminin yapıldığı kapalı ortam ve takip işlemin gerçekleştiğini gösteren görüntü Şekil 7'de sunulduğu gibidir.



Şekil 7. Kapalı ortamda insan yüzü tespiti ve takibi işlemi gerçekleştirilmesi.

Kapalı ortamda gerçekleştirilen uçuş başarı ile uygulanmıştır. Dış ortamda uçuşu olumsuz anlamda etkileyen unsurların güneş ışığının parlaklığı ve rüzgâr hızı olduğu belirlenmiştir. Haar-Cascade algoritmasının insan yüzündeki bölgesel parlaklık farklarını kullanarak gerçekleştirmesi, güneş ışığının yoğunluğu karşısında istenilen sonuçları vermekte zorluk çekmesine neden olmaktadır. İHA gece uçuşlarında başarılı bir tespit işlemi gerçekleştirememiştir. Bunun sebebi kameranın gece görüşü özelliğine sahip olmaması olabilir.

V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu makalede, döner kanatlı bir İHA ile otonom şekilde hareketli insan yüzü tespit ve takibi uygulaması önerilmiştir. Uygulama geliştirme süresince nesne tespit ve takibi, görüntü işleme teknolojileri ve uygulama yöntemleri araştırılmıştır. İnsan yüzü kamera kadrajından çıktığında veya insan yüzü ile kamera arasına başka bir nesne girdiğinde takip işlemi başarısız olmaktadır. İnsan yüzünün kamera kadrajına tekrar girmesiyle yeniden başlamaktadır. İnsan yüzü tespit ve takibi durumunun gerçekleşmesi için kamera kadrajında herhangi bir insan yüzü olması yeterli olacaktır. Bu makaleden elde edilen sonuçlar, İHA uygulamaları geliştirilmesi açısından ülkemizdeki literatüre katkısıyla önemlidir. Bu makaleden elde edilen sonuçlar sayesinde makine öğrenmesi teknolojisi de kullanılarak İHA'ya öğretilen insan yüzünü takip edebilen bir sistem gerçekleştirilmesi değerlendirilmiştir. Değerlendirilen bu sistem günümüz Türkiye'sinde, seçilen kırsal araziler, şehir içi bölgeler, kalabalığın yoğun olduğu bölgelerde suçlu tespit ve takibi yapan sistemler geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] N. Can ve M. Kahveci, “İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye deki Yasal Durumu”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, s. 4, ss. 511–535, 2017.
- [2] Y. Merç ve C. Bayılmış, “Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor) Uygulaması”, 6. *Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 2011, ss. 16–18.
- [3] C. Musab, “Dört Rotorlu İHA ile Sürekli Uyarlamalı Ortalama Kayma Algoritması Kullanılarak Hareketli Nesne Takibi”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2015.
- [4] K. Hanbay ve H. Üzen, “Nesne Tespit ve Takip Metotları : Kapsamlı Bir Derleme”, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 40–49, 2017.
- [5] M. Kaya, “Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı Kullanarak Bölgesel Gözetim Amaçlı Kişi veya Nesne Takibi”, 4. *Uluslararası Havacılık ve Uzay Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2012, ss. 2-6.
- [6] M. Peker ve A. Zengin, “Gerçek Zamanlı Harekete Duyarlı Bir Görüntü Tanıma Sistemi”, 6. *Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 2011, ss. 92–97.
- [7] P. Meduri and E. Telles, “A Haar-Cascade Classifier Based Smart Parking System”, *Proc. 2018 Int. Conf. Image Process. Comput. Vision, Pattern Recognition, IPCV 2018*, 2018, pp. 66–70.
- [8] S. Öncü, “Bilgisayarlı Görü ve Ses Algılama Tekniği İle Hareketli Nesne Takibi”, Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye, 2014.
- [9] R. B. Bayram, “Metal Sektörü İçin Görüntü İşleme Tabanlı Bir Kusurlu Ürün Tepit Etme Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2019.
- [10] G. Kadiroğulları, B. Aksoy, H. Sayın ve M. Ömür, “Arima Yapay Zeka Yöntemi Kullanılarak Isparta İlindeki Örnek Bir Kavşak İçin Araç Sayısı ve Araç Geçiş Sürelerinin Tespiti”, *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 5, ss. 11–24, 2020.
- [11] S. Solak ve U. Altınışık, “Görüntü İşleme Teknikleri ve Kümeleme Yöntemleri Kullanılarak Fındık Meyvesinin Tespit ve Sınıflandırılması”, *SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 1, ss. 56-65, 2018.
- [12] A. Y. Yiğit ve M. Uysal, “Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı Kullanılarak Yolların Tespiti”, *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, c. 1, s. 50271, ss. 17-24, 2019.
- [13] M. Yıldız ve T. Kavzoğlu, “Nesne Tabanlı Sınıflandırma Tekniği İle Arazi Örtüsünün Belirlenmesi : Quickbird ve Landsat Örneği”, 4. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Zonguldak, Türkiye, 2012, ss. 16–19.
- [14] K. State, “Detection of Faces from Images Using Haar Cascade Classifier”, *IRE Journals*, vol. 3, no. 12, pp. 174–178, 2020.
- [15] E. Dandan, “Ev Ortamında Çocuk Güvenliği Amaçlı Akıllı Gözetleme Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

- [16] M. M. Turhan, “Kayma Tabanlı Nesne Takibi”, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2016.
- [17] H. Aktaş, “Şablon Eşleştirme Yöntemi İle Nesne Takibi ve Yüksek Hızla Fpga Geçekleşmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2015.
- [18] H. Şahin ve T. Oktay, “Başkalaşan Kanat Ucu Tasarımı ve Avantajları”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 17, ss. 606–610, 2019.
- [19] A. Mondal, S. Ghosh and A. Ghosh, “Efficient Silhouette-Based Contour Tracking Using Local Information”, *Soft Comput.*, vol. 20, no. 2, pp. 785–805, 2016.
- [20] H. M. Yılmaz, Ö. Mutluoğlu, A. Ulvi, A. Yaman, ve S. S. Bilgilioğlu, “İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği”, *Geometrik Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 129–136, 2018.
- [21] H. Bilgehan, M. Selçuk, ve M. Fakültesi, “İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi”, *Geometrik Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 19–23, 2016.
- [22] A. Yılmaz, "Eskişehir İzmir Uçuş Bağlatısının Talep Sürdürülebilirliğinin Araştırılması", *4. Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 2018, ss. 1-364.
- [23] S. Türkseven, M. Z. Kizmaz, A. B. Tekin, E. Urkan, ve A. T. Serim, “Tarımda Dijital Dönüşüm; İnsansız Hava Araçları Kullanımı”, *Tarım Makinaları Bilim. Dergisi.*, c. 12, s. 4, ss. 267–271, 2016.
- [24] M. Demir, ve S. Ceyhan, “HASAR (Hava Saldırı Robotu)”, *Uluslararası Mühendislik Doğal Bilimler ve Mimarlık Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 2019.
- [25] H. Ural, “Sürü Halinde Görev Yapan İnsansız Hava Araçları ve Teknolojileri”, Havacılık ve Uzay Teknolojiler Uzmanlığı Tezi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [26] Z. Arya and V. Tiwari, “Automatic Face Recognition and Detection Using OpenCV, Haar Cascade and Recognizer for Frontal Face”, *Int. J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com*, vol. 10, no. 6, pp. 13–19, 2020.
- [27] A. Kaplan, “Gerçek ve Yarı Gerçek Zamanlı Yüz Tespit Etme”, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2018.
- [28] P. Viola ve M. Jones, “Haar-like”, *Cvpr*, vol. 1, pp. I-511-I-518, 2001.
- [29] R. E. Schapire, “A brief introduction to boosting”, *IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell.*, vol. 2, no.5, pp. 1401–1406, 1999.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bilgisayar Kontrollü Bs En 772-18 Standardına Uygun Donma- Çözülme Test Cihazının Geliştirilmesi ve Uygulanması¹

 İsmail Serkan ÜNCÜ^{a*},  Serhat UYSAL^b,  Reşat SELBAŞ^c,  Şemsettin KILINÇARSLAN^d

^a Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Uluborlu Selahattin Karasoy Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^c Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^d İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: serkanuncu@isparta.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1015243

ÖZ

Yapı malzemeleri; üretim teknolojisi, uygun tasarım, kimyasal oran, yerleştirme ve sıkıştırma dereceleri, üretim standartları gibi kriterler dikkate alınarak değişken bir dayanım ölçeğinde izin verilen bir standartta üretilirler. Bu standartlardan uygun yapı kimyasallarının seçimi ve çevre şartları için özellikle tip ve dayanım sınıfı açısından tanımlı standartlar vardır. Yapı malzemelerinin dayanımını özellikle şiddetli çevresel şartlarda, kimyasal seçimi, içeriği oluşturan malzemelerin donma dayanıklılık, kimyasal direnç ve donatının korunması gibi dayanıklılık özelliklerine de dikkat edilir. Yapı malzemelerinin en büyük yapısal bozulma nedeni nemli ortamlarda donma çözülme olayının meydana gelmesidir. Bu bozulmalar binalarda enerji kaybına da neden olmaktadır. Bu çalışmada ayarlanabilen nemli ortamlarda istenen sıcaklıkta istenen zaman aralığında yapı malzemelerini tutabilen bilgisayar kontrollü donma çözülme test cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz ile yapı malzemelerinin yüksek sıcaklık ve donma-çözülme etkisinde mekanik ve fiziksel davranışı gözlemlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Donma çözülme test cihazı, Yapı malzemeleri, Birim hacim kütle, Su emme, Porozite.

Development And Implementation of Computer Controlled Freeze Thaw Test Device According to Bs En 772-18 Standard

ABSTRACT

Taking care of criterias like, production technology, appropriate chemical rate, placement and compression rates and production standarts, construction materials are produced on a variable strength scale with a permitted standard. For choosing the appropriate structure chemicals of these standards and for the environmental conditions, there are pre-defined standards especially for the type and strength class. It is taken great care of the construction materials, especially in the severe environmental conditions, also durability properties like, choosing the chemicals, the durability of the ingredients of the content, chemical resistance and equipment's protection. The biggest structural corruption reason of the construction materials is that the occurrence of the freeze-thaw in the moist environments. These corruptions also cause energy loss in the structures. In this work, a test device controlled by a computer, got developed, that can hold the construction materials between a desired time interval, at a desired heat in a scalable moist environment. Mechanical and physical behaviors of building materials can be observed under high temperature and freeze-thaw effect by this device.

Keywords: Freeze- thaw testing device, Construction materials, Unit volume mass, Water absorption, Porosity.

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuştur.

Geliş: 28/10/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 19/12/2021

I. GİRİŞ

Enerji kaynaklarındaki azalma, enerji tüketiminin artması ve özellikle fosil yakıt tüketiminin sebep olduğu çevre kirliliğinden dolayı birçok bilim dalında, enerji verimliliği konusunda yopun çalışmalar yapılmakta ve çözüm önerileri aranmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik bu çalışmalarda, binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve özellikle de ısı konfor amaçlı enerji tüketiminde, kullanıcıların sağlıklı ve üretken olmaları için gerekli şartlardan taviz vermeden enerji tüketiminin azaltılması birinci hedef olarak seçilmiştir. 20. yüzyılın başlarından itibaren hem teknolojinin gelişmesi hem de modern mimarideki taleplerin artması ile, modern konstrüksiyon metodlarının hızla kullanılmaya başlanmıştır. Yapı malzemelerinin, taşıyıcılık görevlerinin azalmasını, incelmelerini ve ısı geçirgenlik direncinin önemli miktarda düşmesini sağlamıştır. Yapılar çeşitli mekanik, fiziksel, kimyasal ve atmosferik etkiler altında zamanla özelliklerini kaybederler. Bu etkiler altında kalan yapılarda uzun zaman içerisinde bozulmalar oluşmaktadır. Isı geçirgenlik direncinin düşmesi yapı malzemesi yüzeyinde yoğunlaşmaya sebep olabilmektedir. Isı geçirgenlik direncinin yükseltilmesi, dolayısıyla ısı ekonomisinin sağlanması ve yapı malzemesi yüzeyindeki yoğunlaşmanın önlenmesi için inşa edilen yapılardaki duvarlarda birden fazla yapı elemanı kullanılmasını ortaya çıkarmıştır [1]. Ayrıca donma çözünme olayları beton içerisindeki boşlukların su ile dolmasına sebep olur. Bu sebeple betonda fiziksel bozukluklar oluşur ve basınç dayanımında azalmalar meydana gelir [2]. Ayrıca kayalarda da donma çözünme olayının fiziksel bozunmada etkili olduğu tespit edilmiştir [3]. Betonun boşluk yapısı, boşlukların boyutu, doygunluk derecesi, hacim içerisinde donabilecek su miktarı donma hızı, su/çimento oranı gibi etkenler betonun çekme dayanımı için önemlidir [4]. Donma çözünme dayanıklılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de agreganın boşluk yapısıdır [5]. Beton agregasının donmaya karşı dayanıklılığı betonun ne kadar dayanıklı olduğunu gösterir.

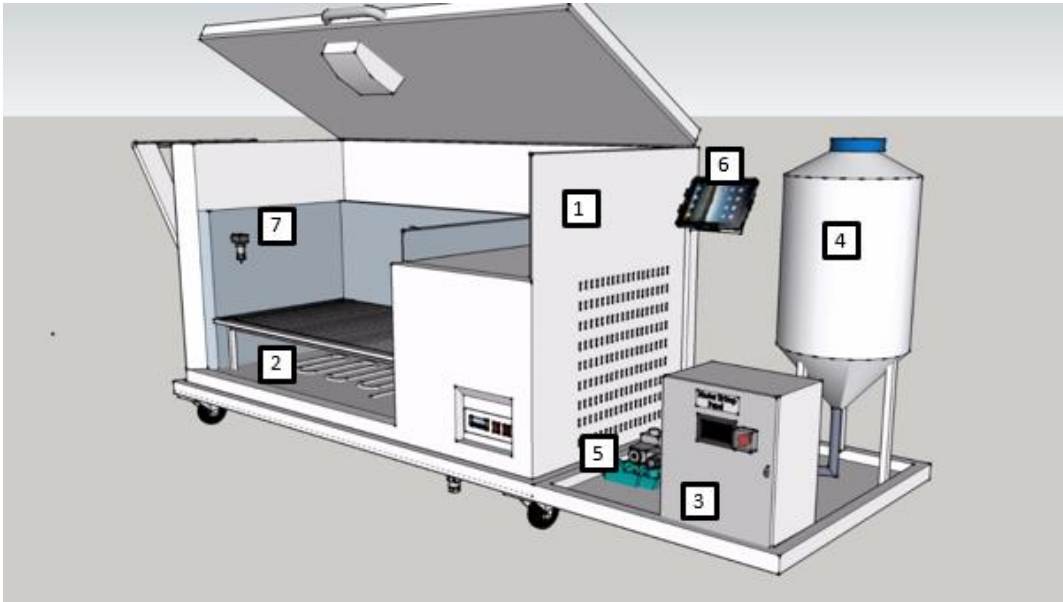
Ekonomi ve konfor gereği olarak yapı elemanlarında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri bünyelerinde su veya nem bulundurmadıkları müddetçe hesaplama esnasında kabul edilen ön şart özelliklerini koruyabilirler. Ancak su veya nem, bilindiği gibi oldukça iyi ısı geçirgenliği olan bir madde olup, yalıtım malzemeleri içindeki kılcal hava kanallarını veya gözeneklerini doldurduğu takdirde yalıtım malzemesinin ısı geçirgenlik direncini düşürmektedir. Ayrıca su veya nemin ısı yalıtım malzemesi içinde kışın donması veya yazın buharlaşması bu malzemenin deformasyonuna sebep olmaktadır. Sıcaklık derecesinin değişmesi sonucu nem miktarı değişmekte, ayrıca su sıvı halden katı hale dönüşerek çığlenme ve donma olaylarına yol açabilmektedir. Suyun malzeme üzerindeki etkisi söz konusu olduğu zaman ya su malzemenin içindedir ya da su malzemeye yüzeysel olarak etkimektedir. Ayrıca buhar basıncından ortaya çıkan kondansasyon (yoğuşma) ise malzeme iç yapısını veya yüzeysel olarak malzemeyi etkilemektedir. Malzeme boşlukları içine girmiş bulunan suyun sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi ile ortaya çıkaracağı olay ise donmadır. Donmada katı hale geçerek hacim genişlemesine uğrayan su malzeme iç yapısında gerilmelere neden olacaktır. Suyun buz hale geçmesiyle hacminde %9'luk bir artış olur. Bu da malzemeyi genişlemeye uğratarak çatlamasına neden olmaktadır [6]. Don etkisi ile donma çözülme etkisinin ikisi de su ile ilgilidir [7]. Su ile mineraller birleştiğinde mineral katkılar bir miktar basınç dayanımını artırmakla birlikte donma-çözülme çevrimler sonrasında mineral katkılı malzemelerin daha fazla dayanım özelliklerini kaybettiği gözlenmiştir [8]. Ayrıca soğuk bölgelerdeki zeminler, sürekli donmuş, kısmen donmuş ve mevsimsel olarak donma gösteren yerlerde bulunabilirler. Soğuk bölgelerdeki mevsimsel koşullara bağlı tekrarlı donma-çözülme döngüleri yılda bir iki defa tekrar edebilmekte ve sıkı bir şekilde kompakte edilmiş zeminlerin geoteknik özelliklerini olumsuz yönde önemli bir biçimde değiştirmektedir [9].

Tekrarlı donma-çözülme döngülerine maruz kalan kireç ile stabilize edilmiş kil zeminlerin mukavemet özelliklerini incelendiğinde sadece katı malzemelerin donma çözülmeden etkilenmediği kireçlerinde donma-çözülme döngülerinin artmasıyla mukavemet değerlerindeki düşüş doğrusal olarak gerçekleşmektedir. Kireç ile stabilize edilmiş kaolinit kilinin mukavemetinin arttığı, fakat dayanımdaki artış miktarlarının stabilize edilmiş bentonite göre daha az olması kaolinit kilinin daha az reaktif olduğu sonucunu göstermektedir [10]. Yukarıdaki çalışmalardan görüldüğü gibi bir yapı malzemesi özellikle sıvılara maruz kalan maddeler donma çözülmeden daha fazla etkilenmiştir.

Bu çalışmada, yapı malzemelerinde donma çözülme sonucu oluşan bozulmaları inceleyebilmek için bilgisayar kontrollü (BS EN 772-18 standardına uygun) donma çözülme cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu cihaz ile ısıtma ve soğutma, su alma, su boşaltma, numuneleri sabit sıcaklıkta tutma işlemleri yapabilmektedir. Suda çözülme adımı su alma anı, suda bekleme süresi, havada bekleme süresi parametre olarak tanımlanabilmektedir.

II. GELİŞTİRİLEN SİSTEM

Bu deney cihazı tasarlanırken, deneylerin öncelikle BS-EN 772 standardında belirtilen koşulların sağlanması ve daha sonra gözlemlenmek istenen aşırı koşulların ürünler üzerine olan etkisini gözlemlenmek ihtiyacından yola çıkılmıştır. Deney cihazı önceki versiyonlarından farklı olarak kontrol ünitesinin tamamen son teknolojik alt yapı kullanılarak geliştirilmiş ve otomasyon üzerinden kontrolü sağlanmıştır. Deney cihazını genel olarak tanımlamak gerekirse, sıcaklık ve nemi istenilen düzeyde sabit tutarak deneyin yapılması istenilen ideal ortamı oluşturan, yani test edilmek istenilen koşulların bir simülasyonunu gerçekleştiren bir deney hücresidir. Şekil 1’ de deney cihazı tasarımı görüntülenmektedir. -30°C ile +30°C sıcaklık kapasitesine sahiptir. Geliştirilen sistem piyasada olan benzer modellerine göre hazır derin dondurucu kullandığından oldukça düşük maliyette kurulmuştur.

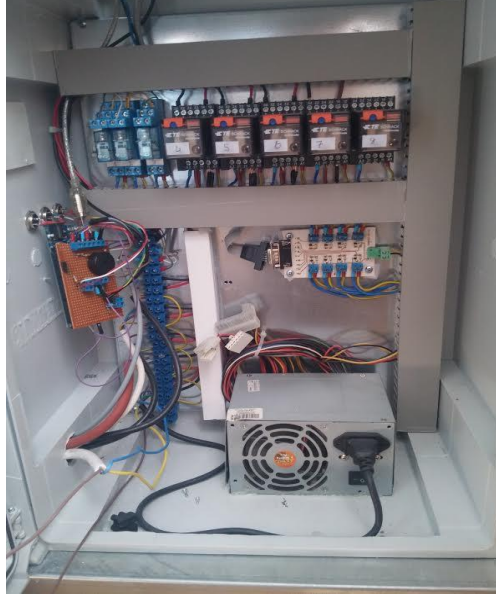


Şekil 1. Deney cihazı tasarımı.

Deney cihazı tasarımında numaralandırılmış bölümler aşağıda sıralandığı şekildedir.

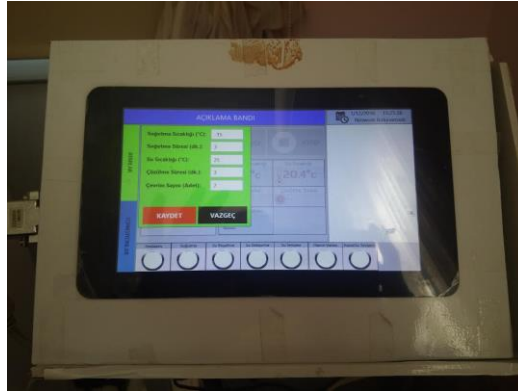
1. Soğutma sistemi
2. Isıtma sistemi
3. Elektrik panosu
4. Su depo haznesi
5. Su dolaşım kontrol sistemi
6. Gösterge ve kontrol paneli
7. Sensörler

Cihaza bağlı bir ısıtma sistemi, bir soğutma sistemi, su dolaşım sistemi, bunları kontrol eden birer tane sensör ve kontrol birimini içermektedir ve enerjilerini sağlayan bir elektrik dağıtım panosu bulunmaktadır. Şekil 2’de elektrik dağıtım panosu gösterilmiştir.



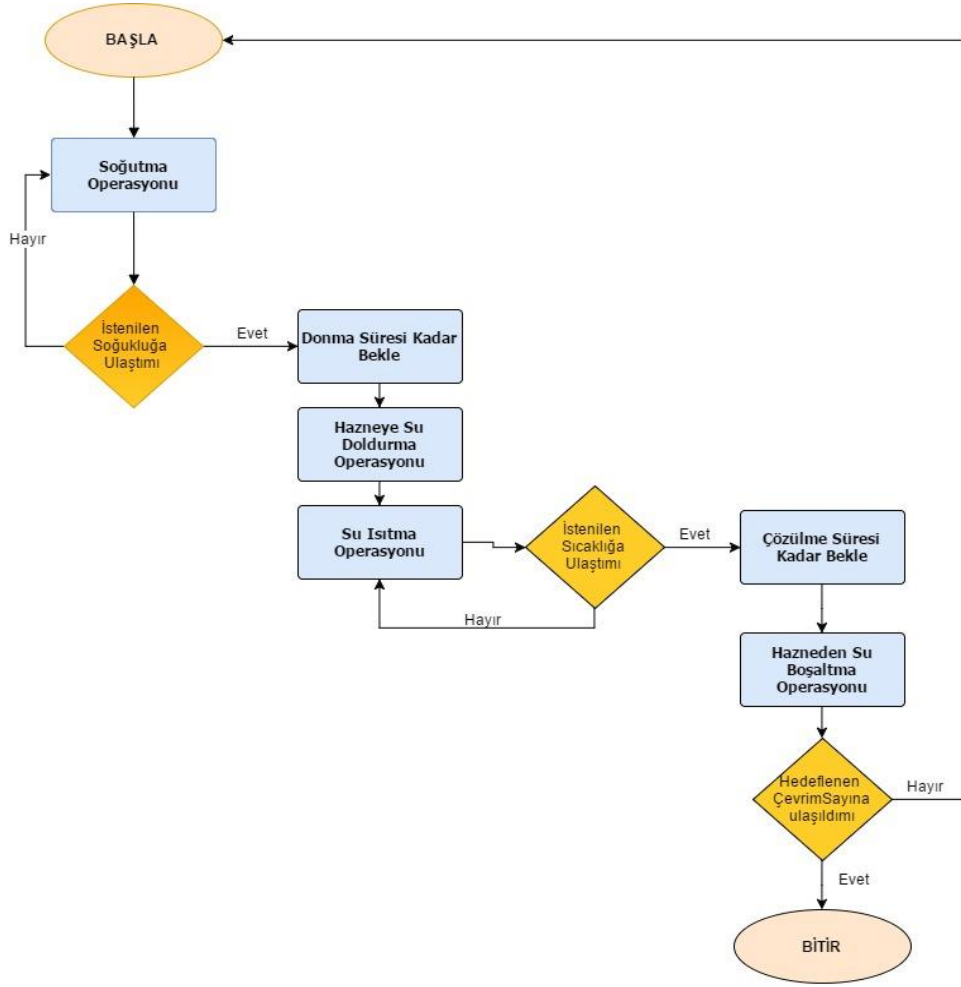
Şekil 2. Elektrik dağıtım panosu.

Cihazın yazılımı üzerinden yönetilen soğutma, su dolaşım ve ısıtma sistemleri minimum çalışma süresi ile istenen ortam koşullarına mümkün olan en hızlı şekilde adapte olması için tasarlanmıştır. Yazılımın ikinci kısıtı istenen ortam koşullarında sistemi sabit tutmaktır. Sabit tutulmak istenen değerin belli bir miktar altına ısıtma, belli bir miktar üstüne de soğutma sistemini kontrol eden sensörlerin ayarlanması düşünülmüştür. Örneğin $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ da sabit tutulmak istenen sıcaklık için ısıtma tertibatını kontrol eden modül $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa, soğutma tertibatını kontrol eden modül de $-24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmaktadır. Böylece sıcaklık $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hassasiyetinde kontrol edilmiş olacaktır. Şekil 3'de belirtilen kontrol paneli üzerindeki ayarlar menüsü bölümünden bu istenilen parametreler ayarlanabilmektedir.



Şekil 3. Sistem kontrol paneli.

Genel olarak sistemin çalışma sistemi şu şekildedir; Deney için oluşturulmak istenen şartlar belirlenir. Belirlenen şartlara göre sıcaklık miktarı ve süreler ayarlanır, deney kabindeki ızgaraların üzerine test yapılacak numuneler ve gerekli elektrikselsel bağlantılar yapıldıktan sonra gösterge ve kontrol paneli üzerinden test işlemi başlatılır. Cihaz üzerindeki monitörde istenilen koşullar sağlanıncaya kadar beklenir. Deneylerin performanslarının daha sağlıklı olabilmesi için donma çözülme deney cihazı bir otomasyon haline getirilmiştir. Test için uygun şartların sağlanabilmesi için deney kabini kapağının kapalı olması ve döngü sonlanıncaya kadar açılmaması gerekmektedir. Aksi takdirde sonuçlarda hatalı verilere rastlanabilmektedir. Bilgisayar destekli donma çözülme deney cihazının her bir çevirimi şekil 4'deki gibi planmış bir akış diyagramına bağlı olarak çalışmaktadır. Şekil 5'de Donma- çözülme test cihazına genel bakış gösterilmiştir.



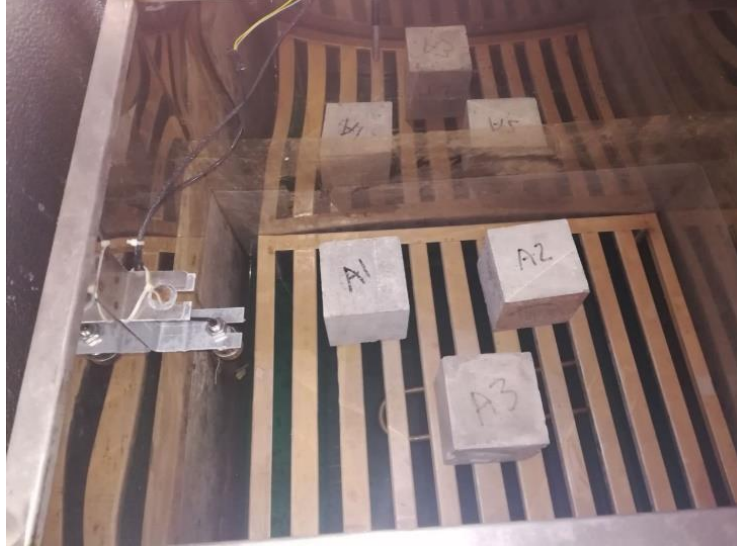
Şekil 4. Çalışma akış diyagramı.



Şekil 5. Donma- çözülme test cihazına genel bakış.

III. DENEYSEL PROSÜDÜR

Rastgele seçilmiş olan A1, A2, A3 Beton numuneleri düzenek içine 10 cm ara ile yerleştirilir. Şekil 6' da A1, A2, A3 Beton numunelerinin deney düzeneğine yerleştirilerek deneye hazır hale getirmesi sağlanmıştır.



Şekil 6. A1, A2, A3 Beton numunelerinin deney düzeneğine yerleştirilmesi deneye hazır hale getirme.

Donmanın hangi sıcaklıkta gerçekleştirileceği ve ne kadar süreceği kontrol panelini üzerindeki şekil 7 'de gösterilen ayarlar bölümüne girilerek start tuşuna basılarak deney işlemi başlatılır.

Soğutma Sıcaklığı (°C):	-25
Soğutma Süresi (dk.):	180
Su Sıcaklığı (°C):	25
Çözülme Süresi (dk.):	180
Çevrim Sayısı (Adet):	7
KAYDET VAZGEÇ	

Şekil 7. Donma çözülme parametrelerinin girilmesi.

Sistem ayarlanan negatif dereceli sıcaklıklara ulaşıncaya kadar bekler. Süre dolunca otomatik olarak su tankından deney kabinine su basmaya başlar. Su sıvı seviye sensörünün seviyesine ulaştığında deney alanına su basma işlemi otomatik olarak durur. Donma olayı içerisinde bulunan numuneler suyun deney alanına ulaşmasıyla birlikte çözülmeye başlar. Bu durumda sistemin ısıtıcıları ayarlanan pozitif sıcaklıklara erişinceye kadar deney alanını ısıtır. Çözülme süresi parametresinde belirlenen süre kadar bekletildikten sonra deney alanındaki suyu su tankına geri basarak birinci çevrim tamamlanır. Bu döngü çevrim sayısı kadar tekrar edilerek deney süreci tamamlanmış olur.

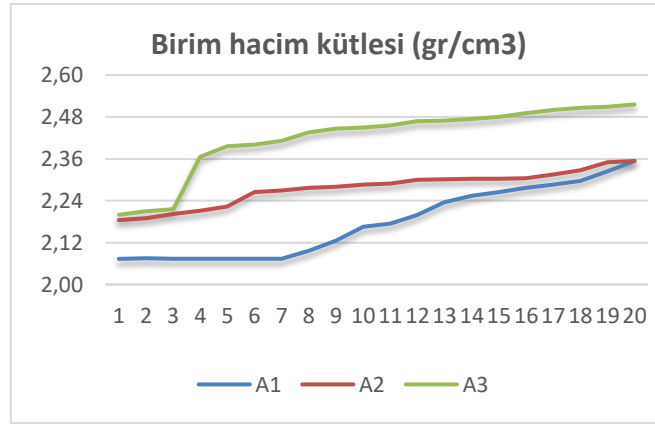
IV. BULGULAR

Bu çalışmada A1, A2 ve A3 numunelerini deney amaçlı olarak tam 20 çevrime tabi tutarak sistemin çalışması test edilmiştir. Deney sonucunda numunelerdeki birim hacim kütlesi, su emme oranı ve görünür porozitede değişiklikleri incelenmiş ve sırasıyla tablo 1, 2, ve 3' de gösterilmiştir.

Tablo 1. A1, A2 ve A3 numunelerinin deney sonucu birim hacim kütlesi verileri.

	A1	A2	A3
Çevrim	Hacim Kütlesi (gr/cm³)	Hacim Kütlesi (gr/cm³)	Hacim Kütlesi (gr/cm³)
Başlangıç	2,07350	2,183498	2,19965
1	2,07350	2,18460	2,19967
2	2,07465	2,18965	2,20964
3	2,07355	2,20215	2,21654
4	2,07361	2,21066	2,36541
5	2,07362	2,22365	2,39612
6	2,07365	2,26541	2,40036
7	2,07366	2,26954	2,41074
8	2,09645	2,27654	2,43541
9	2,12541	2,27964	2,44632
10	2,16547	2,28644	2,44965
11	2,17454	2,28912	2,45610
12	2,19857	2,29964	2,46784
13	2,23541	2,30124	2,46954
14	2,25441	2,30254	2,47321
15	2,26541	2,30354	2,47941
16	2,27654	2,30399	2,49127
17	2,28644	2,31541	2,49912
18	2,29655	2,32654	2,50641
19	2,32411	2,35014	2,50912
20	2,35364	2,35364	2,51569

Tablo 1'de donma çözülme deneyi sonucu A1, A2 ve A3 numunelerinin birim hacim kütlesi sonuç verileri gösterilmiştir. Bu verilere bağlı olarak şekil 8' de 20 çevrime tabi olan A1, A2 ve A3 numunelerinin hacim kütlesi ölçülerek donma çözülme deneyleri sonucundaki birim hacim kütleli değişimi grafiği verilmiştir.



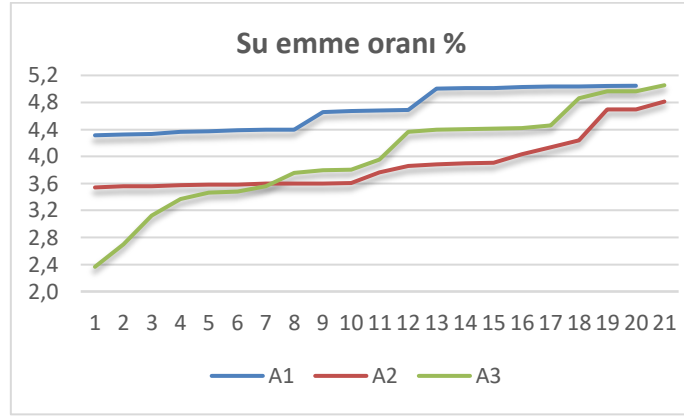
Şekil 8. A1, A2 ve A3 numunelerinin hacim kütlesi ile çevrim sayısı grafiği.

Donma çözülme deneyi sonunda numunelerin cm3 başına düşen ağırlığı arttığı gözlenmiştir. Bu değişim donma sonucu buzul genişlemenin yol açtığı hacim artışıyla da ilişkilidir, buzun genişmesi nedeniyle de hacim artar.

Tablo 2’de donma çözülme deneyi sonucu 20 çevrime tabi olan A1, A2 ve A3 numunelerinin su emme sonuç verileri gösterilmiştir. Bu verilere bağlı olarak şekil 9’da A1, A2 ve A3 numunelerinin ağırlıkça su emme miktarı artış grafiği gösterilmiştir.

Tablo 2. A1, A2 ve A3 numunelerinin deney sonucu su emme verileri.

	A1	A2	A3
Çevrim	Su emme %	Su emme %	Su emme %
Başlangıç	4,319400	3,54120	2,36540
1	4,313294	3,55641	2,69874
2	4,326545	3,56125	3,12546
3	4,336540	3,57236	3,36541
4	4,365541	3,57965	3,46512
5	4,374546	3,58436	3,47651
6	4,386545	3,59964	3,56214
7	4,398441	3,60054	3,75322
8	4,399945	3,60125	3,79654
9	4,658741	3,60965	3,80413
10	4,668599	3,76354	3,95413
11	4,678969	3,86126	4,36540
12	4,690101	3,88654	4,39654
13	5,002010	3,89654	4,40654
14	5,010230	3,90364	4,41202
15	5,015410	4,03654	4,41965
16	5,026514	4,13640	4,45655
17	5,036541	4,23655	4,86541
18	5,037630	4,69870	4,96541
19	5,040260	4,69841	4,96650
20	5,046500	4,81256	5,05441

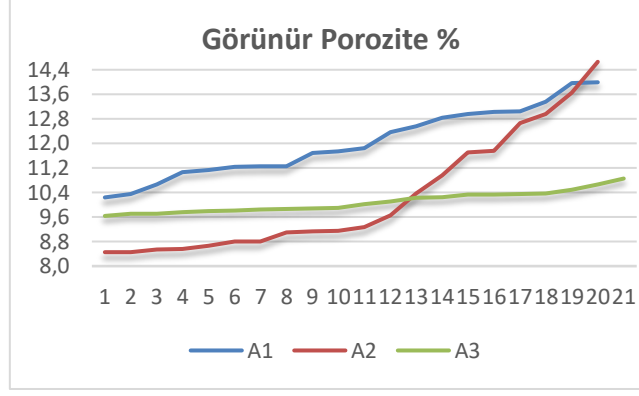


Şekil 9. A1, A2 ve A3 numunelerinin ağırlıkça su emme ile çevrim sayısı grafiği.

Tablo 3'de donma çözülme deneyi sonucu 20 çevrime tabi olan A1, A2 ve A3 numunelerinin görünür porozite verileri gösterilmiştir. Bu verilere bağlı olarak şekil 10'da A1, A2 ve A3 numunelerinin görünür porozite yüzdesi artış grafiği gösterilmiştir.

Tablo 3. A1, A2 ve A3 numunelerinin deney sonucu görünür porozite verileri.

Çevrim	A1	A2	A3
	Görünür Porozite %	Görünür Porozite %	Görünür Porozite %
Başlangıç	10,2392	8,45410	9,63541
1	10,2390	8,45410	9,69745
2	10,3450	8,46210	9,70542
3	10,6570	8,54121	9,76354
4	11,0541	8,56101	9,79542
5	11,1298	8,66541	9,80415
6	11,2364	8,79850	9,83654
7	11,2454	8,80415	9,86541
8	11,2565	9,10564	9,87654
9	11,6951	9,12654	9,89541
10	11,7424	9,15264	10,0124
11	11,8436	9,26547	10,1125
12	12,3612	9,65841	10,2354
13	12,5641	10,36540	10,2396
14	12,8365	10,96451	10,3254
15	12,9631	11,69980	10,3369
16	13,0264	11,76541	10,3561
17	13,03641	12,65874	10,3601
18	13,36410	12,96541	10,4965
19	13,96125	13,65870	10,6541
20	13,99130	14,65887	10,8543



Şekil 10. A1, A2 ve A3 numunelerinin porozite yüzdesi ile çevrim sayısı grafiği.

Suyu doymun hale getirerek donma çözülme çevrimine maruz bırakılan yapı malzemeleri numunelerinin, donma çözülme sonrasında yapısında oluşan çatlaklar ve boşluklar nedeniyle porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, çeşitli sebeplerle yapı malzemeleri uygulamalarında ortaya çıkan donma-çözülme sorununu incelemede kullanılan bir cihaz geliştirilmiştir. Yapı malzemesi ve yapı elemanı hasarlarına neden olabilecek faktörlerin ortadan kaldırılması için üstün nitelikli yapı malzemelerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Yapının uzun yıllar boyunca dış etkilerden korunması ve kalitesini koruyarak kullanıcılara hizmet verebilmesi, ancak yapı malzemelerinin nitelikli malzemeden üretilmesi ve iyi tasarlanması ile gerçekleşebilir. Isparta ili meteoroloji verilere göre yılda ortalama 85 gün donma-çözülme olayı olmaktadır. Isparta, Kütahya ve Afyon gibi iller bölgemizde en fazla donma- çözülme olayına maruz kalmaktadır. Bu durum donma çözülme olayına bağlı deformasyon meteorolojik dış etkilere karşı açık olmakta ve yapı malzemelerinin kalitesini etkilemektedir.

Bilgisayar destekli donma- çözülme test cihazı ile yapı malzemelerinin dayanıklı malzemelerle oluşturulması için bir sistem geliştirilmiştir. Böylece yapılarda enerji kayıplarını önleme ve yapıların ömrünü uzatmak için bir deneme ortamı oluşturulmuştur.

Sistemle yapılan 20 çevrimli örnek uygulama ile A1, A2 ve A3 numunelerinin cm^3 başına düşen ağırlığı arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan ölçümlerde numunelerin ağırlıkça su emme miktarlarının arttığı belirlenmiştir. Numunelere donma-çözülme sonrasında yapısında oluşan çatlaklar ve boşluklar nedeniyle porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. Enerji mühendisliği açısından deney sonrası değerlendirme yapılırsa deneyde kullanılan yapı malzemeleri numunelerini su içinde tutulunca içlerine su emmektedir. Emilen su hava şartlarına bağlı donunca genişleyerek mekanik bir hareketle genişleme yapmaktadır. Bu genişleme sonucu oluşan geniş gözenekler yapılarda ısı kaybına ve mekanik direncin zayıflamasına yol açmaktadır.

Donma çözülme test düzeneği ile yapı malzemelerinde doğru karışımlar ve doğru malzemeler belirlenerek yapılarda en az ısı kaybına yol açan ürünlerin bulunmasına ve kullanımlarının yaygınlaştırılması sağlanacaktır.

VI. KAYNAKLAR

[1] R. E. Alan, "Su buharı difüzyonu ve ısı yalıtım malzemelerinin buhar geçirgenlikleri üzerine

deneysel bir çalışma,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık Bölümü, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

[2] C. E. Ekinci, “Antalya etibank elektrometalurji işletmesi silis dumanlarının çimento ve betonda katkı maddesi olarak değerlendirilmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 1995.

[3] C. Gökçeoğlu, B. Adil ve K. E. Kasapoğlu, “Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimanter kayaların donma-çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin değişimi,” *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, c. 19, s.1, ss. 17-40, 1998.

[4] Ö. Şengül, “Agrega türünün betonun donma- çözülme dayanıklılığına etkisi,” *3.Ulusal Kıрма Taş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2003, pp. 50-60.

[5] C. Girodet, J. L. Bosch, M. Chabannet, J.Pera, “Influence of sand on the freezethaw resistance of the mortar phase of concrete,” in *Frost Resistance of Concrete, 1st ed., Ruhr*, Germany, 1997, pp. 58-60.

[6] M. Eriç, “Yapı fiziği ve malzemesi,” 1.baskı, İstanbul: Literatür Yayınları, 1994.

[7] A. Neville, “Su ve beton: bir sevgi nefret ilişkisi,” *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, c. 1, s. 113, ss. 45-47, 2003.

[8] T. Gönen ve S. Yazıcıoğlu, “Pomza agregalı kendiliğinden yerleşen hafif betonların donma çözülme direncine mineral katkıların etkisi”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8 s. 1, ss. 94-101 2021.

[9] K. Çiftlikçioğlu, E. Aslan ve A. Şenol, "Donma-çözülme çevrimlerinin uçucu kül katkılı bentonitin serbest basınç mukavemetine etkisi," 8. *Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2019, ss. 20-27.



[10] A. Hotineanu, M. Bouasker, A. Aldaood and M. Al-Mukhtar, “Effect of freeze– thaw cycling on the mechanical properties of lime-stabilized ekspansiye clays,” *Cold Regions Science and Technology*, vol. 119, no. 1, pp.151-157, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Sınıflandırma Algoritmaları ve Metin Temsil Yöntemlerinin Duygu Analizinde Performans Karşılaştırılması¹

 Batuhan Cem ÖĞE^{a,*},  Fatih KAYAALP^b

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: batuhan.oge@beun.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1015320

ÖZ

Son yıllarda internete erişim imkanlarının artması ve kullanıcılardaki akıllı telefon kullanımının yaygınlaşması sebebiyle sosyal medya olarak adlandırılan ve insanların çeşitli konulardaki fikirlerini paylaştığı servisler çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sosyal medya verilerinin analiz edilmesiyle insanların farklı konulardaki duygularına dair anlamlı çıkarımlarda bulunulması anlamına gelen ve temelde bir sınıflandırma işlemi olan Duygu Analizi çalışmaları son yıllarda öne çıkan çalışma alanlarından biridir. Bu çalışmada, Python programlama dili içindeki kütüphaneler kullanılarak Naive Bayes (NB), Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), Random Forest (RF) ve Artificial Neural Network (ANN) gibi 6 adet sınıflandırma algoritmasının Duygu Analizi kapsamında, performans karşılaştırması yapılmıştır. Veri seti olarak, açık kaynaklı, IMDB sitesinde yer alan etiketli kullanıcı yorumları kullanılmıştır. Doğal Dil İşleme yöntemleri kullanılarak temizlenen veri setinin sayısal olarak temsil edilebilmesi için Bag of Words (BoW), TF-IDF, FastText ve Word2Vec metin temsil yöntemleri kullanılmıştır. Veri setinin eğitimi ve test edilmesi aşamasında k=5 olacak şekilde k-fold cross validation yöntemi kullanılmıştır. 6 farklı sınıflandırma yöntemi için elde edilen sonuçlar accuracy, precision, recall ve f1 score hesaplanarak ayrıntılı bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. En yüksek accuracy değerleri olarak LR ve SVM sırasıyla BOW'da %86, TF-IDF'te %87, word2Vec'de %87 ve FastText'te %83 seviyelerinde benzer sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Dil İşleme, Duygu Analizi, Makine Öğrenmesi, Metin Temsil, Sınıflandırma, Veri Madenciliği.

Performance Comparison of Different Classification Algorithms and Text Representation Methods in Sentiment Analysis

ABSTRACT

Due to the increase in internet access opportunities and the widespread use of smartphones in recent years, services called social media where people share their opinions on various issues are widely used. Sentiment Analysis studies, which means making meaningful inferences about people's emotions on different subjects by analyzing social media data, and which is basically a classification process, is one of the prominent fields of study in recent years. In this study, 6 classification methods such as Naive Bayes (NB), Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), Random Forest (RF) and Artificial Neural Network (ANN) were used by using libraries in Python programming language. Within the scope of Sentiment Analysis of the algorithm, performance comparison was made. As the dataset, open source, labeled user comments on the IMDB site were used. Bag of Words (BoW), TF-IDF, FastText and Word2Vec text representation methods were used to represent the data set that was cleaned using Natural Language Processing methods. During the training and testing of the data set, the k-fold cross validation method was used, with k=5. The results obtained for 6 different classification methods were calculated by calculating accuracy, precision, recall and f1 score, and a detailed comparison was made and the results were recorded. As the highest accuracy values, LR and SVM gave similar results at 86% in BOW, 87% in TF-IDF, 87% in word2Vec and 83% in FastText, respectively.

Keywords: Natural Language Processing, Sentiment Analysis, Machine Learning, Text Representation, Classification, Data Mining..

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, tam metin olarak basılmıştır.
Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 17/12/2021, Kabul: 21/12/2021

I. GİRİŞ

Son yıllarda internete erişim imkanlarının artması ve kullanımı gittikçe artan, insanların çeşitli konulardaki fikirlerini paylaştığı servisler olarak adlandırılan sosyal medya platformlarının çoğalması ile çok büyük miktarda işlenmemiş veri ortaya çıkmıştır. Kullanıcılar tarafından bu servislere girilen ve birçok farklı platformda depolanmakta olan veriler çeşitli veri madenciliği yöntemleriyle analiz edilerek anlamlı bilgi çıkarımları yapılmaya çalışılmaktadır. Sosyal medya verilerinin analiz edilmesiyle insanların farklı konulardaki duygularına dair anlamlı çıkarımlarda bulunulması anlamına gelen Duygu Analizi çalışmaları da bu konuda öne çıkan çalışma alanlarından biridir. İnsanların sanal ortamlarda gerçek düşüncelerini daha rahat ve özgürce paylaştığı düşünüldüğünde, paylaşılan mesajlardan duygu analizi yapabilmek, yüz yüze sohbet edilen bir insanın duygusunu anlamaktan çok daha kolay olabilmektedir. Duygu analizi, bir metinden fikir çıkarmak, dönüştürmek ve yorumlamak ve bunları olumlu, olumsuz veya doğal duygular olarak sınıflandırmak için Doğal Dil İşleme'yi (DDİ) kullanan bir yaklaşımdır [1]. Duygu analizi, cümle düzeyi, belge düzeyi ve özellik düzeyi olmak üzere üç farklı düzeye ayrılmıştır. Amaç, düşünceyi cümle, belge veya özelliklerden olumlu ve olumsuz duygu olarak sınıflandırmaktır [2].

A. LİTERATÜR TARAMASI

400 binden fazla tüketici yorumu ile yapılan bir duygu analizi çalışmasında, kullanıcı yorumları word2vec yöntemiyle vektör gösterim şekline dönüştürülerek analiz edilmiş, 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak Support Vector Machine, Naive Bayes, Logistic Regression ve Random Forest algoritmaları yardımıyla sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek doğruluk değerine Random Forest algoritması ile ulaşılmıştır [3].

Veri ön işleme adımlarının değerlendirmesinin yapıldığı bir çalışmada, Twitter mesajlarından oluşan veri seti için duygu analizi çalışması yapılmış, Support Vector Machine, Naive Bayes, Logistic Regression ve Evrişimli Sinir Ağır (Convolutional Neural Network) gibi 4 popüler makine öğrenmesi algoritması yardımı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda kelimeleri kök hallerine dönüştürme, rakamları silme, kesme işaretini kaldırma gibi yöntemlerin doğruluk oranını olumlu yönde etkilediği, noktalama işaretleri kaldırmanın ise doğruluk değerine çok fazla katkı sağlamadığı görülmüştür [4].

Facebook mesajlarının veri seti olarak kullanıldığı bir diğer çalışmada, Endonezya başkanlık seçimleri öncesinde sosyal medyada paylaşılan mesajlar Naive Bayes sınıflandırma algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır [5].

Aşı ve aşılama ile ilgili tweet'lerden oluşan bir veri setinin kullanıldığı çalışmada, insanların aşı ile ilgili görüşleri bag of words ve Support Vector Machine yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar sunulmuştur [6].

II. VERİ MADENCİLİĞİ

Veri madenciliği, sonuçları tahmin etmek için büyük veri kümeleri içindeki anormallikleri, kalıpları ve bağlantıları bulma sürecidir. Veri Madenciliği çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Telekomünikasyon, medya ve teknoloji şirketleri, müşteri davranışlarını tahmin etmek, hedefe yönelik ve müşteri odaklı kampanyalar sunmak adına veri madenciliği yöntemlerini kullanırlar. Veri madenciliği, eğitimcilerin öğrenci verilerine erişmesine, başarı düzeylerini tahmin etmesine ve ekstra dikkat gerektiren öğrencileri veya öğrenci gruplarını belirlemesine yardımcı olur.

A. SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ

A. 1. Naive Bayes

Son yıllarda duygu analizi çalışmalarında sıkça kullanılmaya başlayan Naive Bayes yöntemi, Bayes Teoremine dayanan bir sınıflandırma yöntemidir. Naive Bayes sınıflandırıcıları, belirli bir sınıftaki

elemanların (özelliklerin) birbirleriyle olan yakınlık bağlantılarının kesilmesi bekler. Naive Bayes yöntemi, metni birden çok sınıfa ayırma işinde geniş çapta kullanılmaktadır [7].

A. 2. Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) yönteminin duygu analizi çalışmalarında yüksek performans gösterdiği bilinmektedir. SVM metni araştırır, yapılacak seçimlerin sınırlarını karakterize eder ve girdiler içerisinde gerçekleştirilen hesaplama için bileşenleri kullanır. Gerekli bilgi, her biri m boyutundaki iki vektör şeklinde sunulur. Bu noktada, vektör olarak ifade edilen her bir veri bir sınıfa atanır. Daha sonra makine, eğitim aşamasında örnekler aracılığı ile herhangi bir yerden uzak olan iki sınıf arasındaki sınır noktasını belirler. Yapılan ayırım sınıflandırma sınırının netleşmesine yardımcı olur. Bu aşamada sınıf kenarlarının genişletilmesi kararsız (sınıflandırılmayan) seçenekleri azaltır [8].

A. 3. Logistic Regression

Logistic Regression, adına rağmen Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller yöntemlerine ait popüler bir algoritmadır ve Maksimum Entropi olarak da bilinir. Bu modelde, tek bir denemenin olası sonuçlarını tanımlayan olasılıklar, bir lojistik fonksiyon kullanılarak modellenir. Logistic Regression yöntemi, bir veya birden fazla bağımsız değişken olduğunda çıktıyı veya sonucu belirlemek için kullanılır. Çıkış değeri 0 veya 1, yani ikili biçimde olur [9].

A. 4. Decision Tree

Decision Tree sınıflandırmasında, verileri bölmek için bir koşul kullanılır. Koşulu sağlayan veriler bir sınıfa, kalan veriler diğer sınıfa yerleştirilir. Bu yinelemeli bir süreçtir. Birden fazla ayırma yöntemi vardır. Bunlar, sınıflandırma yapmak için belirli kelime varlığını veya yokluğunu arayan tek öznitelik bölme ve belgedeki kelimeleri önceden tanımlanmış kelimelerle eşleştiren benzerlik tabanlı çoklu öznitelik bölmedir [10].

A. 5. Random Forest

Random Forest sınıflandırma algoritması, sınıflandırma ve regresyon için bir öğrenme yöntemidir. Eğitim aşaması sırasında bir dizi karar ağacı oluşturulur. Yeni gelen durumu sınıflandırmak için yeni durum ağaçlarının her birine gönderilir. Her ağaç sınıflandırma yapar ve sonuç olarak bir sınıf çıkarır. Çıktı sınıfı, çoğunluk oylamasına dayalı olarak çeşitli ağaçlar tarafından oluşturulan maksimum benzer sınıf sayısı dikkate alınarak seçilir. Random Forest yöntemi, hem profesyoneller hem de sıradan insanlar için çok az araştırma ve programlama gerektirir, öğrenmesi ve kullanması kolaydır. Güçlü bir istatistiksel altyapıya sahip olmayan kişiler tarafından bile rahatlıkla kullanılabilir [11].

A. 6. Artificial Neural Network

Yapay Sinir Ağları algoritmasının ana fikri, verilerin doğrusal birleşiminden özelliklerini çıkarmak ve sonrasında elde edilen bu bilgiyi özelliklerin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olarak modellemektir. Sinir ağları, birbirleriyle belirli şekillerde bağlanan düğümlerin yer aldığı bir ağ şeması olarak karşımıza çıkar. Düğümler bir katmanda düzenlenir. Mimari olarak sinir ağları üç katmandan oluşur: giriş katmanı, çıkış katmanı ve gizli katman. İleri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki tür sinir ağı mevcuttur. İleri beslemeli sinir ağlarında düğümler sadece tek bir yönde bağlı olduklarından bu sinir ağı türü duygu analizi çalışmaları için daha uygundur. Düğümler arasındaki her bağlantının, gradyan iniş algoritması yardımıyla hata fonksiyonu en aza indirilerek elde edilen bir ağırlık değeri vardır. Bir nöron, iki aşamada bir değer veren bir matematiksel modelden oluşur. İlk aşamada, nöron girdisinin ağırlıklı toplamı hesaplanır ve bu toplama bir aktivasyon fonksiyonu uygulanarak çıktı alınır. Aktivasyon işlevi doğası gereği doğrusal olmayan bir işlevdir ve tüm ağıdaki giriş verileri yardımıyla önceden öğrenilen doğrusal olmayan bir işlevi tahmin edebilmesini sağlar [12].

III. METİN MADENCİLİĞİ

Metin madenciliği, belgelerdeki ve veri tabanlarındaki yapılandırılmamış metni, analize uygun normalleştirilmiş, yapılandırılmış verilere dönüştürmek için doğal dil işlemeyi kullanan bir yapay zeka teknolojisidir.

A. METİN ÖN İŞLEME İŞLEMLERİ

Kullanılan metnin özelliğine ve alındığı kaynağa göre farklı metin ön işleme (temizleme) işlemleri mevcuttur. Bu çalışmada, harf dışındaki tüm sembollerin metinden çıkarılması, tüm harflerin küçük harfe çevrilmesi, etkisiz kelimelerin (stopwords) çıkarılması ve kelimelerin kök hallerine getirilmesi (stemming) yöntemleri kullanılmıştır.

B. METİN TEMSİL YÖNTEMLERİ

B. 1. Bag of Words

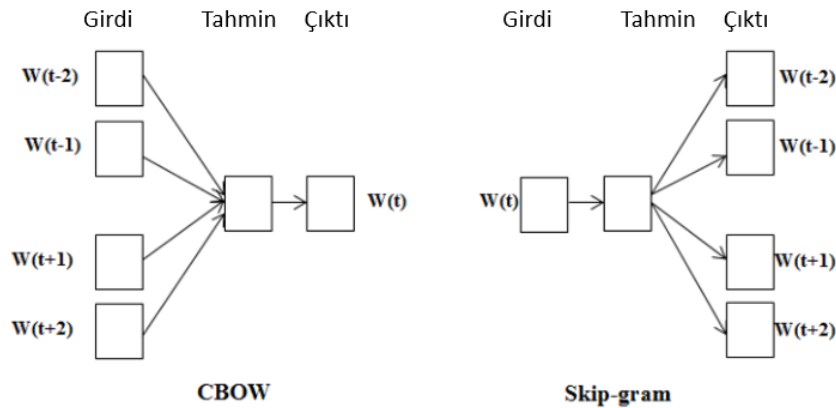
Bag of Words (kelime torbası) yöntemi, doğal dil işleme ve bilgi çıkarımında kullanılan, bir belge içerisinde yer alan verinin sayısal olarak temsil edilerek özelliklerinin çıkarılması işlemidir. Bu yöntemde bir belge, kendi içerisinde yer alan tüm kelimelerin bir çantası olarak temsil edilir. Duygu analizi çalışmalarında kelime torbası yöntemini kullanmak, belge içerisinde yer alan duyguyu ifade etmesi açısından faydalı kelimelerin bir listesini oluşturmak anlamına gelir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Yorum Uzunluğu
	This	movie	is	very	scary	and	long	not	slow	spooky	good	
Yorum 1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
Yorum 2	1	1	2	0	0	1	1	0	1	0	0	7
Yorum 3	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	6

Şekil 1. Bag of words yöntemi ile yorumların temsil edilmesi.

B. 2. Word2Vec

Word2vec, büyük bir veri kümesinden sözcük yerleştirmeyi inceleyen sinir ağı tabanlı bir modeldir. Yüksek boyutlu bir uzayda her kelime için bir vektör üretir. word2vec, vektör temsili oluşturmak için iki mimari içerir: sürekli kelime torbası ve skip-gram. CBoW (continuous bag of words) modeli, kelimeleri çevreleyen bağlamlarını kullanarak tahmin eder. Skip-gram modeli, mevcut kelimenin ifade ettiği bağlamı tahmin etmek için kullanır.



Şekil 2. Word2Vec Mimarisi.

B. 3. Tf-Idf

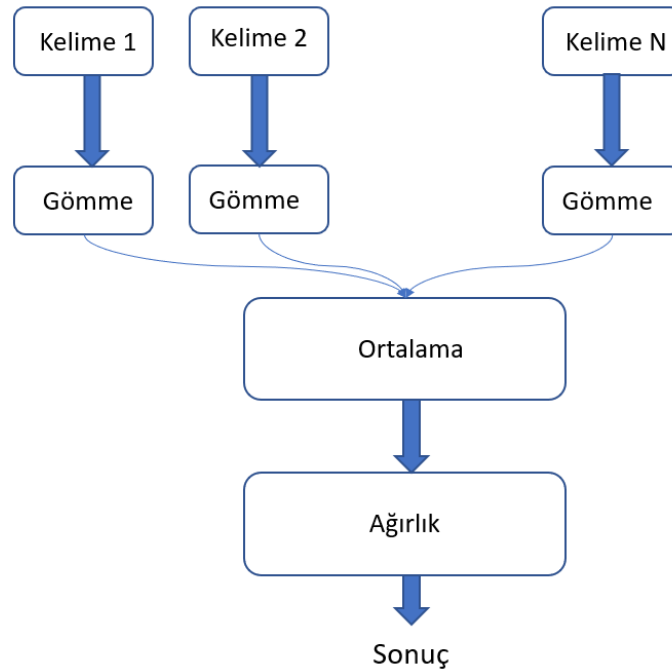
TF-IDF, bir terimin bir metin içerisinde ne sıklıkla geçtiği (TF) ve o terimin metin içerisinde ne kadar önem arz ettiği (IDF) bilgisini kullanan bir çıkarım tekniğidir. Her kelime veya terimin kendi TF ve IDF puanları vardır. Bir terimin TF ve IDF çarpım puanları, o terimin TF*IDF ağırlığını belirler. Basitçe anlatmak gerekirse, bir terimin TF*IDF puanı (ağırlık) ne kadar yüksekse terim o kadar nadirdir, bu değer ne kadar düşük ise bu terim o kadar yaygındır.

Kelime	Yorum 1	Yorum 2	Yorum 3	TF(Yorum 1)	TF(Yorum 2)	TF(Yorum 3)	IDF	TF-IDF(Yorum 1)	TF-IDF(Yorum 2)	TF-IDF(Yorum 3)
This	1	1	1	1/7	1/8	1/6	0.00	0.00	0.00	0.00
movie	1	1	1	1/7	1/8	1/6	0.00	0.00	0.00	0.00
is	1	2	1	1/7	1/4	1/6	0.00	0.00	0.00	0.00
very	1	0	0	1/7	0	0	0.48	0.068	0.00	0.00
scary	1	1	0	1/7	1/8	0	0.18	0.025	0.022	0.00
and	1	1	1	1/7	1/8	1/6	0.00	0.00	0.00	0.00
long	1	0	0	1/7	0	0	0.48	0.068	0.00	0.00
not	0	1	0	0	1/8	0	0.48	0.00	0.060	0.00
slow	0	1	0	0	1/8	0	0.48	0.00	0.060	0.00
spooky	0	0	1	0	0	1/6	0.48	0.00	0.00	0.080
good	0	0	1	0	0	1/6	0.48	0.00	0.00	0.080

Şekil 3. Örnek Yorumlar için TF-IDF puan hesaplanması.

B. 4. FastText

FastText, bir metin içerisinde tüm bağlamdan bir kelimeyi veya merkezdeki tüm kelimelerden bağlamı öğrenerek çalışır. Öğrenme, iki katman ağırlık ve üç katman nöron içeren bir sinir ağında bir dizi güncelleme olarak görülebilir; burada iki dış katmanın her birinde kelime dağarcığındaki her bir kelime için bir nöron bulunur ve orta katmanda gömme alanının boyutları kadar nöron bulunur.



Şekil 4. Örnek bir FastText modeli.

IV. METOT

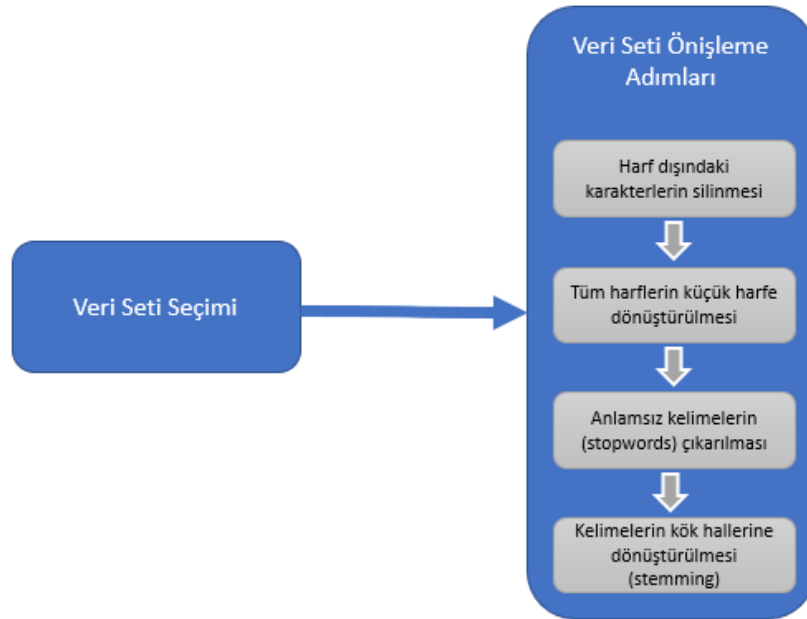
A. VERİ SETİNİN OLUŞTURULMASI VE TEMİZLENMESİ

Bu çalışmada kullanılan veri seti, IMDB internet sayfasında yer alan film yorumlarından oluşmaktadır. Toplam 50.000 adet yorumdan oluşan veri setinde 25.000 adet pozitif, 25.000 adet negatif olarak etiketlenmiş yorum bulunmaktadır [13].

Veri setinin analize hazır hale getirilebilmesi için öncelikli olarak 50.000 adet yorumun tek bir dosyada toplanması gerekmektedir. Orijinal veri seti 25.000 adet pozitif ve 25.000 adet negatif olmak üzere toplam 50.000 adet bireysel .txt dosyasından oluşmaktadır. Veriler tek bir dosya altında toplanarak analizler tek bir dosya üzerinden yapılmıştır. MATLAB programı kullanılarak yazılan kod sayesinde tüm yorumlar tek bir dosya haline getirilmiştir. Veri setinin son hali 50.000 satır ve 2 sütundan oluşmakta olup ilk sütun film yorumunu ikinci sütun ise yorumun etiketini (pozitiflik veya negatiflik) belirtmektedir.

Veri seti tek bir dosya haline getirildikten sonra Jupyter Notebook programına verinin aktarılması yani analizlerin yapılabilmesi için verinin bu programlara tanıtılması gerekmektedir. Bu işlem için Jupyter Notebook'ta (python dilinde) "pandas" kütüphanesi kullanılarak "pd.read_csv" fonksiyonu ile veri seti içeri aktarılmıştır.

Veri seti programa tanıtılmış olsa bile şu anki haliyle analize tam olarak hazır değildir. Duygu analizinin verimli bir şekilde yapılabilmesi için veri setinin bir takım temizleme aşamalarından geçmesi gerekmektedir. Metin ön işleme işlemleri olarak adlandırılan bu aşamada veri setinden harf dışındaki tüm semboller çıkarılmıştır. Bunun için "re.sub" fonksiyonu kullanılmıştır. Ardından tüm harfler küçük harfe çevrilmiştir. Bunun için "lower" fonksiyonu kullanılmıştır. Sonrasında etkisiz kelimeler (stopwords) veri setinden çıkarılmıştır. Bunun için "remove_stopwords" fonksiyonu kullanılmıştır. Son olarak kelimeler kök hallerine (stemming) getirilmiştir. Bunun için "stem" fonksiyonu kullanılmıştır. Bu metin ön işleme işlemlerinin ardından veri seti duygu analizi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5. Veri Setinin Temizlenmesi için Uygulanan Adımlar.

B. VERİ SETİNİN EĞİTİM VE TEST SETLERİ OLARAK AYRILMASI

Veri seti temizlendikten ve analize hazır hale getirildikten sonra yapılması gereken bir sonraki adım veri setinin eğitim ve test setleri olarak ayrılmasıdır. Bu aşamada farklı yaklaşımlar izlenebilir. Bu çalışmada k-fold cross validation (k-katlı çapraz doğrulama) yöntemi kullanılmıştır. Veri seti 25.000 pozitif ve 25.000 negatif yorumdan oluştuğu için dengeli dağılan bir veri setidir. Veri setinin orijinal halinde ilk 25.000 satır pozitif, kalan 25.000 satır negatif yorumlardan oluşmaktadır. Veri setinden parçalar olarak eğitim ve test setleri şeklinde ayırmadan önce veri seti rastgele karıştırılmış ve ardından bu karıştırılan veri seti $k=5$ olacak şekilde 5 parçaya ayrılarak %80 eğitim, %20 test olacak şekilde işlenmiştir. Bu yöntemin avantajı tüm veri setinin hem eğitim hem de test için kullanılması ve analiz sonuçlarının her bir kat için ortalamasının alınarak optimum şekilde elde edilebilmesidir. K-fold cross validation yapılabilmesi için gerekli kodlar yazılmış, gerekli döngü yapısı kurularak her bir k değeri için eğitim ve test setleri oluşturulmuştur.

C. METİN TEMSİL YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

C. 1. Bag of Words

Bag of Words modelinin oluşturulabilmesi için python dilinde bulunan “bag of words” fonksiyonu kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta bag of words modeli oluşturulduktan sonra seçilecek kelime sayısıdır. Bag of words modeli oluşturulduğunda elimizdeki veri setinde yer alan tüm kelimeleri ve bu kelimelerin veri setinde kaç kez geçtiği bilgisi elde edilmiş olunur. Bu çalışmada bag of words değeri olarak 1500 değeri seçilmiş ve sınıflandırma algoritmaları gerçekleştirilmiştir.

C. 2. Word2vec

Word2vec modelinin oluşturulabilmesi için python dilinde bulunan “word2vec” fonksiyonu kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta model oluşturulurken word2vec fonksiyonunun içine girilecek dimension (boyut) parametresinin değeridir. Bu çalışmada bu değer 300 olarak belirlenmiş ve tüm programlarda model bu şekilde oluşturulmuştur. Bu yöntem ile veri setindeki her bir kelime 300'lük bir vektör ile ifade edilir ve duygu analizi her bir yorumdaki tüm kelimelerin vektör değerleri karşılaştırılarak yapılır.

C. 3. Tf-Idf

TF-IDF modelinin oluşturulabilmesi için python dilinde bulunan “tf-idf” fonksiyonu kullanılmıştır. Bag of words modeliyle benzerlik göstermesi ve karşılaştırmanın daha verimli yapılabilmesi için bu yöntemde de “max_count” değeri 1500 olarak alınmış ve sınıflandırma algoritmaları gerçekleştirilmiştir.

C. 4. FastText

FastText modelinin oluşturulabilmesi için python dilinde bulunan “fasttext” kütüphanesi kullanılmış ve hazır olarak kullanılabilen fasttext modeli içeri aktarılarak edilerek veri setinin fastText modeli oluşturulmuştur. Word2vec modeli ile benzerlik göstermesi ve daha sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için bu yöntemde de vektör sayısı 300 olarak belirlenmiştir.

D. SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

D. 1. Naive Bayes

Naive Bayes sınıflandırma algoritması, python dilinde “GaussianNB” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5-fold cross validation yöntemi kullanıldığı için her bir kat ile algoritma çalıştırılmış,

her bir kat ayrı ayrı eğitilmiş ve test edilmiştir. 5 kat için elde edilen hata matrislerinin ortalaması alınarak Naive Bayes yöntemi için ortalama hata matrisi kaydedilmiştir.

D. 2. Support Vector Machine

Support Vector Machine sınıflandırma algoritması, python dilinde “SVC” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5-fold cross validation yöntemi kullanıldığı için her bir kat ile algoritma çalıştırılmış, her bir kat ayrı ayrı eğitilmiş ve test edilmiştir. 5 kat için elde edilen hata matrislerinin ortalaması alınarak Support Vector Machine yöntemi için ortalama hata matrisi kaydedilmiştir.

D. 3. Logistic Regression

Logistic Regression sınıflandırma algoritması, python dilinde “LogisticRegression” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5-fold cross validation yöntemi kullanıldığı için her bir kat ile algoritma çalıştırılmış, her bir kat ayrı ayrı eğitilmiş ve test edilmiştir. 5 kat için elde edilen hata matrislerinin ortalaması alınarak Logistic Regression yöntemi için ortalama hata matrisi kaydedilmiştir.

D. 4. Decision Tree

Decision Tree sınıflandırma algoritması, python dilinde “DecisionTreeClassifier” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5-fold cross validation yöntemi kullanıldığı için her bir kat ile algoritma çalıştırılmış, her bir kat ayrı ayrı eğitilmiş ve test edilmiştir. 5 kat için elde edilen hata matrislerinin ortalaması alınarak Decision Tree yöntemi için ortalama hata matrisi kaydedilmiştir.

D. 5. Random Forest

Random Forest sınıflandırma algoritması, python dilinde “RandomForestClassifier” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5-fold cross validation yöntemi kullanıldığı için her bir kat ile algoritma çalıştırılmış, her bir kat ayrı ayrı eğitilmiş ve test edilmiştir. 5 kat için elde edilen hata matrislerinin ortalaması alınarak Random Forest yöntemi için ortalama hata matrisi kaydedilmiştir.

D. 6. Artificial Neural Network

Bu çalışmada kullanılan diğer sınıflandırma yöntemlerinden farklı olarak Artificial Neural Network sınıflandırma algoritmasının çalıştırılabilmesi için öncelikli olarak bir yapay sinir ağı yapısının oluşturulması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda sinir ağı oluşturulurken aktivasyon fonksiyonu olarak “ReLU” fonksiyonu kullanılmış, çift gizli katman kullanılmış ve sayıları 10 olarak belirlenmiş, “batch size” değeri 32 olarak alınmıştır. 5-fold cross validation yöntemi kullanıldığı için her bir kat ile algoritma çalıştırılmış, her bir kat ayrı ayrı eğitilmiş ve test edilmiştir. Her bir k değeri için döngü başa döndüğünde sinir ağı tekrar oluşturularak herhangi bir tutarsızlık oluşmaması sağlanmıştır. 5 kat için elde edilen hata matrislerinin ortalaması alınarak Artificial Neural Network yöntemi için ortalama hata matrisi kaydedilmiştir.

E. KARŞILAŞTIRMA PARAMETRELERİ VE DONANIM BİLGİSİ

Bu çalışmada 4 farklı metin temsil yöntemi, 6 farklı sınıflandırma yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların sağlıklı şekilde karşılaştırılabilmesi ve hangi yöntemin nasıl sonuç verdiğinin verimli bir şekilde anlaşılabilmesi için öncelikli olarak her bir sınıflandırma algoritmasından hata matrisleri elde edilmiştir. Hata matrisinde yer alan değerler kullanılarak accuracy (doğruluk), precision (kesinlik derecesi), recall (anımsama) ve f1-score (f1 puanı) değerleri hesaplanmış, her bir yöntemin ne kadar sürdüğü sonuç tablosuna eklenmiştir. Ayrıca, HWINFO isimli program yardımıyla ortalama bellek ve işlemci kullanımları hesaplanmıştır. Hesaplamanın verimli bir şekilde yapılabilmesi için simülasyonlar

sırasında bilgisayarda herhangi başka bir program çalıştırılmamış ve başka bir işlem yapılmamıştır. Bu sayede verimli bir şekilde karşılaştırma sonuçları elde edilmiştir.

Bu çalışmada tüm simülasyon sonuçları Intel(R) Core(TM) i7-4700HQ CPU @ 2.40GHz, 12 GB RAM'e sahip bir laptop kullanılarak elde edilmiştir. Windows işletim sistemi olarak kurulu olan bilgisayarda 480GB BX500 CT480BX500SSD1 2.5" SATA 3.0 SSD yer almaktadır.

V. DENEY SONUÇLARI

A. SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada 4 farklı metin temsil yöntemi ile 6 farklı sınıflandırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen duygu analizleri sonucunda 5-fold cross validation yöntemi kullanılarak hata matrisleri elde edilmiş, bu hata matrisleri yardımıyla karşılaştırmaların yapılacağı değerler hesaplanmıştır. Hata matrisi, 2x2 boyutunda bir matris olup içerisinde yer alan değerler aşağıdaki gibidir:

- True Positive (gerçek pozitif): Doğru şekilde pozitif olarak sınıflandırılan yorumlar.
- True Negative (gerçek negatif): Doğru şekilde negatif olarak sınıflandırılan yorumlar.
- False Positive (yanlış pozitif): Yanlış şekilde pozitif olarak sınıflandırılan yorumlar.
- False Negative (yanlış negatif): Yanlış şekilde negatif olarak sınıflandırılan yorumlar.

Accuracy (doğruluk) değerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (1)$$

Precision (kesinlik derecesi) değerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

Recall (anımsama) değerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

F1-score (F1 değeri) değerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$F1 \text{ score} = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

B. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Accuracy, precision, recall ve f1-score değerleri için en iyi sonucu veren iki yöntem Logistic Regression ve Support Vector Machine olmuştur. Çalışma süresi açısından en hızlı yöntem word2vec ve fastText ile Naive Bayes, en yavaş yöntem ise bag of words ile Support Vector Machine olmuştur. Karşılaştırma için seçilen sınıflandırma yöntemleri arasında çalışma prensibi gereği en yavaş yöntemin Support Vector Machine olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak Support Vector Machine algoritmasının iki ana ayar parametresi kullanması ve bu durumun karmaşıklığı, dolayısıyla çalışma süresini etkilediği tespit

edilmiştir. Ortalama bellek kullanımını açısından en fazla bellek kullanan yöntem fastText ile Logistic Regression, en az bellek kullanan yöntem ise word2vec ile Support Vector Machine olmuştur. Ortalama işlemci kullanımını açısından en fazla işlemci kullanan yöntem TF-IDF ile Logistic Regression, en az işlemci kullanan yöntem word2vec ile Random Forest olmuştur.

Tablo 1. Python ile Elde Edilen Tüm Sonuçlar.

Sınıflandırma Algoritması	Metin Temsil Yöntemi	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	Süre (Sn)	Bellek Kullanımı (GB)	İşlemci Kullanımı (GHz)
Naive Bayes	Bag of Words	0,76	0,82	0,67	0,74	11,34	7,93	0,37
	TF-IDF	0,81	0,81	0,81	0,81	11,39	8,33	0,44
	Word2vec	0,77	0,77	0,78	0,77	2,48	6,35	0,35
	FastText	0,70	0,70	0,71	0,70	2,52	9,82	0,40
Support Vector Machine	Bag of Words	0,87	0,86	0,88	0,87	87968,68	7,76	0,34
	TF-IDF	0,87	0,86	0,88	0,87	4342,28	7,68	0,34
	Word2vec	0,87	0,87	0,88	0,87	1400,32	6,07	0,34
	FastText	0,84	0,83	0,85	0,84	1707,09	8,08	0,35
Logistic Regression	Bag of Words	0,87	0,86	0,88	0,87	38,64	8,11	1,27
	TF-IDF	0,87	0,87	0,88	0,88	33,08	8,65	1,35
	Word2vec	0,87	0,87	0,88	0,87	9,7	6,55	1,27
	FastText	0,83	0,82	0,84	0,83	8,74	10,08	1,26
Random Forest	Bag of Words	0,79	0,82	0,73	0,78	35,52	7,78	0,33
	TF-IDF	0,79	0,82	0,74	0,78	47,54	8,22	0,35
	Word2vec	0,81	0,83	0,77	0,80	46,7	6,33	0,33
	FastText	0,73	0,77	0,68	0,72	49,38	9,87	0,34
Decision Tree	Bag of Words	0,72	0,72	0,71	0,72	158,32	7,68	0,33
	TF-IDF	0,72	0,72	0,72	0,72	217,13	8,10	0,35
	Word2vec	0,74	0,74	0,74	0,74	126,98	6,62	0,34
	FastText	0,67	0,67	0,67	0,67	128,31	9,90	0,33
Artificial Neural Network	Bag of Words	0,82	0,83	0,81	0,82	838,96	7,71	0,77
	TF-IDF	0,82	0,83	0,80	0,81	911,13	7,91	0,79
	Word2vec	0,87	0,87	0,88	0,87	578,78	7,53	0,75
	FastText	0,84	0,84	0,85	0,84	575,75	9,88	0,76

VI. SONUÇ

Bu çalışmada, Python programlama dili içindeki kütüphaneler kullanılarak Naive Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, Random Forest ve Artificial Neural Network gibi 6 adet sınıflandırma algoritmasının Duygu Analizi kapsamında, performans karşılaştırması yapılmıştır. Veri seti olarak, açık kaynaklı, IMDB internet sitesinde yer alan etiketli kullanıcı yorumları kullanılmıştır. Doğal Dil İşleme yöntemleri kullanılarak temizlenen veri setinin sayısal olarak temsil edilebilmesi için Bag of Words, TF-IDF, Word2Vec ve FastText metin temsil yöntemleri kullanılmıştır. Veri setinin eğitimi ve test edilmesi aşamasında k=5 olacak şekilde k-fold cross validation yöntemi kullanılmıştır. 6 farklı sınıflandırma yöntemi için elde edilen sonuçlar accuracy, precision, recall ve fl

score hesaplanarak ayrıntılı bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en iyi performans word2vec ile LR yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Agarwal, N. Mittal, P. Bansal, and S. Garg, "Sentiment analysis using common-sense and context information," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2015, pp. 1–9, 2015.
- [2] N. Mishra and C. K. Jha, "Classification of opinion mining techniques," *International Journal of Computer Applications*, vol. 56, no. 13, pp. 1–6, 2012.
- [3] B. Bansal ve S. Srivastava, "Sentiment classification of online consumer reviews using word vector representations", *Procedia Computer Science*, vol. 132, pp. 1147–1153, 2018.
- [4] S. Symeonidis, D. Effrosynidis, ve A. Arampatzis, "A comparative evaluation of pre-processing techniques and their interactions for twitter sentiment analysis", *Expert Systems with Applications*, vol. 110, pp. 298–310, 2018.
- [5] B. Haryanto, Y. Ruldeviyani, F. Rohman, T. N. Julius Dimas, R. Magdalena, ve F. Muhamad Yasil, "Facebook analysis of community sentiment on 2019 Indonesian presidential candidates from Facebook opinion data", *Procedia Computer Science*, vol. 161, pp. 715–722, 2019.
- [6] E. D'Andrea, P. Ducange, A. Bechini, A. Renda, ve F. Marcelloni, "Monitoring the public opinion about the vaccination topic from tweets analysis", *Expert Systems with Applications*, vol. 116, pp. 209–226, 2019.
- [7] A. Alsaeedi and M. Z. Khan, "A study on sentiment analysis techniques of Twitter data," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 2, pp. 361–374, 2019.
- [8] J. Khairnar and M. Kinikar, "Machine learning algorithms for opinion mining and sentiment classification," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, no. 6, pp. 1–6, 2013.
- [9] A. Tyagi and N. Sharma, "Sentiment Analysis using logistic regression and effective word score heuristic," *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, vol. 7, no. 2, pp. 20–23, 2018.
- [10] H. Kaur, V. Mangat, and Nidhi, "A survey of sentiment analysis techniques," *Proceedings of the International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, I-SMAC 2017*, 2017, pp. 921–925.
- [11] M. M and S. Mehla, "Sentiment analysis of movie reviews using machine learning classifiers," *International Journal of Computer Applications*, vol. 182, no. 50, pp. 25–28, 2019.
- [12] F. Hemmatian and M. K. Sohrabi, "A survey on classification techniques for opinion mining and sentiment analysis," *Artificial Intelligence Review*, vol. 52, no. 3, pp. 1495–1545, 2019.
- [13] A. L. Maas, R. E. Daly, P. T. Pham, D. Huang, A. Y. Ng, and C. Potts, "Learning word vectors for sentiment analysis," *ACL-HLT 2011 - Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, vol. 1, pp. 142–150, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sonlu Aralıkta Tanımlı Dalga Denkleminin Çözümü Üzerine¹

 Ömer YAZAR^{a,*}

^a *Matematik-Bilgisayar Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE*

Sorumlu yazarın e-posta adresi: omeryazar33@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1015037

ÖZ

Dalga denklemi, uygulamalı matematik ve fizik alanlarında sık karşılaşılan kısmi diferansiyel denklemlerden bir tanesidir. Dalga denklemi hiperbolik tipte ikinci mertebeden bir kısmi diferansiyel denklemdir. Dalga denklemi birçok doğa olayını modellemektedir. Örneğin yerçekimi dalgaları, ses dalgaları, ışık dalgaları ve yay hareketi gibi olaylar dalga denklemi ile ifade edilebilir. Bu çalışmada iki başlangıç koşuluna ek olarak iki adet karışık tipte sınır koşuluyla tanımlanmış potansiyel içeren dalga denkleminin sonlu aralıkta çözümünün olabilmesi için gereken koşullar incelenmiştir. Fourier yöntemi yerine d'Alembert formülüne benzer bir integral denklemi elde edilip bu denklemin çözülebilmesi için gereken şartlar incelenmiş ve gösterilmiştir. Son olarak bu integral denklemi sonucu elde edilen çözüm ile Fourier yöntemiyle elde edilen çözüm karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Dalga denklemi, d'Alembert formülü, Fourier yöntemi.*

On From Solution of the Wave Equation Defined on the Finite Interval

ABSTRACT

The wave equation is one of the partial differential equations frequently encountered in applied mathematics and physics. The wave equation is a second-order partial differential equation of the hyperbolic type. The wave equation models many natural phenomena. For example, phenomena such as gravitational waves, sound waves, light waves, and spring motion can be expressed by the wave equation. In this study, the conditions that are necessary to be solution for the wave equation in the finite interval which contains potential defined with mixed type boundary conditions in addition to two initial conditions are investigated. Instead of Fourier's method, an integral equation similar to d'Alembert's formula is obtained and the conditions required to solve this equation are examined and shown. In the end, the solution obtained as a result of this integral equation and the solution obtained with Fourier's method is compared.

Keywords: *Wave equation, d'Alembert formula, Fourier's method.*

I. GİRİŞ

Dalga denklemi, uygulamalı matematik ve fizik alanlarında sık karşılaşılan kısmi diferansiyel denklemlerden bir tanesidir. Dalga denklemi hiperbolik tipte ikinci mertebeden bir kısmi diferansiyel denklemdir. Dalga denklemi birçok doğa olayını modellemektedir. Örneğin yerçekimi dalgaları, ses dalgaları, ışık dalgaları ve hatta yay hareketi gibi olaylar dalga denklemi ile ifade edilebilir. Burada dalganın tipine ve ortama bağlı olarak “c” ışık hızı, ses hızı veya dalganın yayılma hızı gibi farklı kavramlara karşılık gelmektedir.

Bir boyutlu homojen olmayan dalga denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [1,2,3].

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + F(x, t) \quad (1)$$

$$u(x, 0) = f(x) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = g(x) \quad (3)$$

(2) ve (3) koşulları başlangıç koşulları olarak adlandırılır. Burada fiziksel olarak $u(x, t)$ x noktasında t anındaki konumunu belirtir. $f(x)$ başlangıç anındaki konumunu ve $g(x)$ ise başlangıçtaki hızını temsil eder. Problem sonlu aralıkta tanımlandığında iki başlangıç koşuluna ek olarak aşağıdaki gibi iki adet karışık tipte sınır koşulu verilebilir. [4, 5].

$$\frac{\partial u}{\partial x}(0, t) - hu(0, t) = \varphi(t) \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}(\pi, t) + Hu(\pi, t) = \psi(t) \quad (7)$$

Fiziksel olarak homojen olmayan kısım $F(x, t)$ dışarıdan yapılan fiziksel bir kuvvet etkisini temsil etmektedir. Bu çalışmada homojen olmayan dalga denkleminin bir formu olan

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + q(x)u \quad (8)$$

denkleminin sonlu aralıkta çözümü incelenecektir. Sonlu aralıkta tanımlı problem incelenirken problemin tanımlı olduğu bölge genişletilecektir. Bu genişleme tanım aralığının hem soluna hem de sağına doğru olacaktır. Aynı şekilde denkleminin çözümünün olması için gereken koşullar incelenecektir. Sonlu aralıkta problemin çözümü Fourier yöntemi ile verilmektedir. Bu yöntem ilk olarak d’Alembert tarafından dalga denklemini çözmek için önerilmiştir. Daha sonra Fourier tarafından geliştirilmiştir. Ostrogradski tarafından ise en genel durum için genelleştirilmiştir. Bu yöntem sadece dalga denkleminin çözümünde değil ısı ve laplace denklemi gibi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümlerinde de kullanılmaktadır [2,3,4,6,7]. Fourier yöntemi sonucunda çözüm bir sonsuz toplam serisi şeklinde elde edilmektedir. Homojen olmayan durumda ise ele alınan kısmi diferansiyel denklem bir Sturm-Liouville problemine dönüşmektedir [5]. Sturm-Liouville problemi çok çalışılan bir konu olduğundan sonlu aralıkta homojen olmayan problemin çözümünde çoğunlukla Fourier yöntemi tercih edilmektedir. Sonlu aralık için d’Alembert formülü tipi çözümler tercih edilmemektedir. Cattaneo ve Fontana sonlu ağırlıklı şebekelerde tanımlı dalga denklemi problemi için d’Alembert tipi bir çözüm elde

etmişlerdir [8]. Akça ve Resulov hazırladıkları yüksek lisans tezinde, homogen olan dalga denklemi için karakteristik denklemin köklerine bağlı olarak d'Alembert tipi ifadeler etmişlerdir [9].

II. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. SONLU BİR ARALIKTA KARIŞIK PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde sınırlı bir aralıkta bir boyutlu dalga denklemi için karışık sınır değer problemi üzerinde duracağız. Genelliği bozmadan aralığı $[0, \pi]$ olarak alabiliriz.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - q(x)u \quad (9)$$

$$u(x, 0) = f(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}(0, t) - hu(0, t) = \varphi(t) \quad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}(\pi, t) + Hu(\pi, t) = \psi(t) \quad (12)$$

Fonksiyonun özfonksiyonları cinsinden genişlemesine başvurmadan genişleme methoduyla (9)-(12) probleminin çözülebileceği gösterilecektir. Genişleme $x = 0$ noktasının solunda ve $x = \pi$ noktasının sağında gerçekleştirilecektir.

$q(x)$ fonksiyonu $[0, \pi]$ aralığında sürekli olsun. Sürekliliği bozulmayacak şekilde $q(x)$ tüm reel eksene genişletilir ve (9)-(12) probleminin çözümünü aşağıdaki formda ararız.

$$u(x, t) = \frac{1}{2} [f(x+t) + f(x-t)] + \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x+t} w(x, t, s) f(s) ds \quad (13)$$

Burada $f(t)$ fonksiyonu (11) –(12) sınır koşulları kullanılarak $[0, \pi]$ aralığının dışına genişletilmelidir. İlk olarak $\varphi(t)$ ve $\psi(t)$ fonksiyonlarının sağlanması gereken koşulların belirlenmesi gerekir.

(11) koşulundan

$$\varphi(+0) = f'(+0) - hf(+0) \quad (14)$$

(11) koşulundan ve (10) nun ikinci koşulundan

$$\varphi'(+0) = 0 \quad (15)$$

Açık bir şekilde (12) koşulundan ve (10) nun ikinci koşulundan

$$\psi(+0) = f'(\pi-0) + Hf(\pi-0) \quad (16)$$

$$\psi'(+0) = 0 \quad (17)$$

(11) sınır koşulunu kullanarak $f(t)$ fonksiyonu $(0, \pi)$ aralığından $(-\pi, 0)$ aralığına genişletilir. $f(t), \varphi(t) \in C^2(0, \pi)$ olduğunu varsayalım. $f(t)$ fonksiyonunun $C^2(-\pi, \pi)$ sınıfına ait olacak şekilde genişlemesinin olması için gerekli ve yeterli şartın (14) ve (15) koşullarını sağlamasıdır. $f(t)$ fonksiyonu $(\pi, 2\pi)$ aralığında genişletmek için (12) sınır koşulu kullanılır ve yukarıda görüldüğü gibi (16) ve (17) koşulları elde edilir. $f(t)$ fonksiyonunun $(\pi, 2\pi)$ aralığına genişletildikten sonra $C^2(0, 2\pi)$ sınıfına ait olması için (16) ve (17) koşulları gerekli olduğu kadar aynı zamanda yeterlidir.

(13) ifadesi (12) sınır koşulunda yazılırsa aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$\begin{aligned} & f'(\pi+t) + f'(\pi-t) + f(\pi+t)w(\pi, t, \pi+t) - w(\pi, t, \pi-t)f(\pi-t) \\ & + \int_{\pi-t}^{\pi+t} w_x(\pi, t, s)f(s)ds + H \left[f(\pi+t) + f(\pi-t) + \int_{\pi-t}^{\pi+t} w(\pi, t, s)f(s)ds \right] \quad (18) \\ & = 2\psi(t) \end{aligned}$$

$f(\pi+t)$ ($0 \leq t \leq \pi$) fonksiyonunu belirlemek için bir integral-diferansiyel denklemi elde edilir. Bu denklem bir kere integre edilirse, o zaman $f(\pi+t)$ için Volterra tipi bir integral denklemi elde edilir. (18) i yeniden yazıp İntegralin sol tarafında değişken değişimi yaparsak,

$$f(\pi+t) - f(\pi+0) + \int_0^t \left[\underbrace{H + w(\pi, s, \pi+s) + \int_0^t K_1(t, s)dt}_{K(t, s)} \right] f(\pi+s)ds \quad (19)$$

Şimdi şu integral denklemi düşünelim.

$$f(\pi+t) + \int_0^t K(t, s)f(\pi+s)ds = g(t) + C \quad (20)$$

C keyfi bir sabittir. (20) integral denkleminin her keyfi C için bir çözümü aynı şekilde (19) integral-diferansiyel denkleminde bir çözümdür. Dolayısı ile $C = f(\pi-0)$ için (20) denkleminin bir çözümü vardır. Bu aynı zamanda (19) denkleminin de bir çözümüdür. (20) de $t = 0$ ve $C = f(\pi-0)$ yazılırsa

$$f(\pi+0) = f(\pi-0) \quad (21)$$

elde edilir. Yani $f(t)$ genişletilmiş fonksiyonu $t = \pi$ noktasında süreklidir. (19) da $t = 0$ yazılırsa ve (16), (21) den

$$f'(\pi + 0) = f'(\pi - 0) \quad (22)$$

elde edilir. Yani $f(t)$ fonksiyonunun birinci türevi $t = \pi$ noktasında süreklidir. Son olarak $f(t)$ fonksiyonunun ikinci türevini incelemek için (19) denklemini t 'ye göre türetilirse $t = 0$ yazılırsa ve (17), (12) ve (22) den

$$f''(\pi + 0) - f''(\pi - 0) = f(\pi) \left[\frac{dw(\pi, t, \pi - t)}{dt} - \frac{dw(\pi, t, \pi + t)}{dt} \right]_{t=0} \quad (23)$$

(23) ifadesinden fonksiyonun ikinci türevi $t = \pi$ noktasında süreklidir.

$$f''(\pi + 0) = f''(\pi - 0)$$

$f(t)$ fonksiyonu $(0, \pi)$ aralığından $(-\pi, 0)$ ve $(\pi, 2\pi)$ aralıklarına genişletilebilir. Bu genişleme $C^2(-\pi, 2\pi)$ sınıfına aittir. (20) integral denklemi $f(t)$ fonksiyonunun tüm eksene genişletilmesine olanak sağlar. Örneğin $f(t)$ fonksiyonunun $(-2\pi, -\pi)$ aralığına genişlemesi için t değerinin $(0, 2\pi)$ aralığında değiştiği kabul edilirse, Volterra denkleminin çözümü istenildiği kadar diferansiyellenebilir olduğu için genişleme $C^2(-2\pi, 0)$ sınıfındadır. Sonuç olarak genişleme $C^2(-2\pi, 2\pi)$ sınıfındadır. Bu şekilde adım adım ilerleyerek tüm eksene genişletilebilir ve bu genişleme $C^2(-\infty, \infty)$ sınıfındadır.

B. DALGA DENKLEMİNE FOURIER AYRIŞIM METODUNUN UYGULANMASI

$$u_{xx} - u_{tt} = -q(x)u \quad (24)$$

$$u(x, 0) = f(x) \quad (25)$$

$$u(x, 1) = 0 \quad (26)$$

$$[u_x - hu]_{x=0} = 0 \quad (27)$$

$$[u_x + Hu]_{x=1} = 0 \quad (28)$$

Bölümde ispatlandığı gibi, eğer $f(x)$ sürekli ikinci türe ve sahip ve şu koşulları

$$f'(+0) - hf(+0) = 0, \quad (29)$$

$$f'(1-0) - hf(1-0) = 0, \quad (30)$$

sağlıyor ise yukarıdaki karışık sınır değer probleminin her $t > 0$ için çözümü vardır. Bu çözümü $u_0(x, t)$ ile işaretleyelim. Belirli bir t değeri için $u_0(x, t)$ sınır koşullarını sağlar ve sürekli ikinci türe ve sahiptir. Dolayısı ile $u_0(x, t)$ belirli t değerlerinde

$$y'' + [\lambda - q(x)]y = 0 \quad (31)$$

$$y'(0) - hy(0) = 0, \quad y'(1) + Hy(1) = 0 \quad (32)$$

Sturm-Liouville operatörünün öz fonksiyonlarına göre mutlak ve düzgün yakınsak seri açılımına sahiptir. Yani

$$u_0(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n(t) \varphi_n(x) \quad (33)$$

$$c_n(t) = \int_0^1 u_0(x, t) \varphi_n(x) dx \quad (34)$$

ve $\varphi_n(x)$ (31), (32) probleminin öz fonksiyonlarıdır. $c_n(t)$ katsayılarını belirlemek için öncelikle $c_n(0)$ ve $c_n'(0)$ değerleri belirlenecektir. Bunun için (25) ve (26) başlangıç koşulları kullanılacaktır. (34) ifadesinde $t=0$ yazılırsa ve (25) dikkate alınır

$$c_n(0) = \int_0^1 f(x) \varphi_n(x) dx = a_n \quad (35)$$

elde edilir. (34) ifadesi t değişkenine göre türetilir ve $t = 0$ yazılırsa

$$c_n'(0) = \int_0^1 \frac{\partial u_0(x, t)}{\partial t} \varphi_n(x) dx = 0 \quad (36)$$

elde edilir. Tekrar (34) ifadesinin t değişkenine göre ikinci türevini aldığımızda ve ilk integrale iki kere kısmi integrasyon uygulanırsa

$$c_n''(t) = \int_0^1 u_0(x, t) [-\lambda_n \varphi_n(x)] dx = -\lambda_n c_n(t) \quad (37)$$

eldedilir. Dolayısı ile $c_n(t)$ nin belirlenmesi için şu Cauchy problemi elde edilir.

$$c_n''(t) + \lambda_n c_n(t) = 0, \quad c_n(0) = a_n, \quad c_n'(0) = 0.$$

Bu problemin çözümü

$$c_n(t) = a_n \cos \sqrt{\lambda_n} t \quad (38)$$

şeklindedir. Bu ifade(33) de yerine yazılırsa

$$u_0(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \sqrt{\lambda_n} t \varphi_n(x) \quad (39)$$

elde edilir. Eğer $f''(x)$ Lipschitz koşulunu $[0,1]$ aralığında $\alpha > 0$ üstel değeri için sağlıyorsa, (39) serisi x değişkenine göre iki kere türetilebilir. Yani

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \sqrt{\lambda_n} t \varphi_n''(x) \quad (40)$$

serisi düzgün yakınsaktır. Şimdi (39) ifadesinin t değişkenine göre türevinden elde edilen serinin mutlak yakınsaklığını göstereceğiz. α_n ile

$$\alpha_n = \int_0^1 [f''(x) - q(x)f(x)] \varphi_n(x) dx$$

integralini işaretleyelim. Bu ifadeye iki kere kısmi integrasyon uygulanırsa, (29), (30) ve (32) göz önüne alındığında

$$\begin{aligned} \alpha_n &= -\lambda_n \int_0^1 f(x) \varphi_n(x) dx \\ &= -\lambda_n a_n \end{aligned} \quad \text{elde edilir. Buradan da}$$

$$a_n = \frac{-\alpha_n}{\lambda_n} \quad (41)$$

bulunur. (39)serisinin t değişkenine göre türevi alınırsa

$$\frac{\partial u_0}{\partial t} = -\sum_{n=1}^{\infty} a_n \sqrt{\lambda_n} \sin \sqrt{\lambda_n} t \cdot \varphi_n(x) \quad (42)$$

(41)ve Cauchy-Bunjakovski eşitsizliği kullanılarak

$f''(x) - q(x)f(x) \in L^2[0,1]$ ve $\lambda_n = (n\pi)^2 + O(1/n)$ göz önüne alındığında

$$\sum_{n=1}^{\infty} |\sqrt{\lambda_n} a_n| = \sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{\alpha_n}{\sqrt{\lambda_n}} \right| \leq \left(\sum_{n=1}^{\infty} a_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_n} \right)^{\frac{1}{2}} < \infty \quad (43)$$

elde edilir. Buradan (42) serisinin mutlak yakınsak olduğu görülür. Şimdi t 'ye göre ikinci türevin yakınsaklığını inceleyelim. (33) ve (40) serilerinin yakınsaklığından

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial t^2} = -\sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n a_n \cos \sqrt{\lambda_n} t \cdot \varphi_n(x) \text{ serisinin yakınsaklığı elde edilir. Şimdi}$$

$$u(x,0) = 0 \quad u_t'(x,0) = f(x) \quad (44)$$

olduğu durumu düşünelim. (24), (44), (27), (28) probleminin çözümünü $u_1(x,t)$ ile işaretlendirelim.

$$u_1(x,t) = \int_0^t u_0(x,\tau) d\tau \quad u_1(x,t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n(t) \varphi_n(x), \quad d_n(t) = \int_0^t u_1(x,\tau) \varphi_n(x) dx$$

yazılırsa d_n için aşağıdaki Cauchy problemini elde ederiz.

$$d_n''(t) + d_n(t) = 0 \quad d_n(0) = 0 \quad d_n'(0) = a_n = \int_0^1 f(x) \varphi_n(x) dx \quad d_n(t) = \frac{a_n}{\sqrt{\lambda_n}} \sin \sqrt{\lambda_n} t \text{ elde edilir.}$$

C. ÖRNEKLER

C.1. Örnek

D'Alembert formülü ile değişkenlere ayırma yöntemi arasındaki ilişki: Seri çözümünün D'Alembert formülü ile gösterimi

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)] \quad \text{Trigonometrik özdeşliğinden yararlanarak}$$

$$\frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{n\pi}{2} \cos \frac{an\pi}{2} t \sin \frac{n\pi}{2} x =$$

$$\frac{1}{2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{8}{\pi^2 n^2} \sin \frac{n\pi}{2} \right) \sin \frac{n\pi(x-at)}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{8}{\pi^2 n^2} \sin \frac{n\pi}{2} \right) \sin \frac{n\pi(x+at)}{2} \right]$$

olarak yazalım. İlk başta tanımladığımız $\varphi(x)$ fonksiyonunun $(-\infty, \infty)$ aralığına $2l$ devirli tek fonksiyon olarak uzantısı söz konusu olduğundan eşitliğin sağ tarafının

$$\frac{1}{2}[\varphi(x-at) + \varphi(x+at)]$$

toplamına eşit olduğunu görürüz. Bu ise problemin D'Alembert yöntemiyle elde edilen çözümdür.

C.2. Örnek

D'Alembert formülü ile değişkenlere ayırma yöntemi arasındaki ilişki: D'Alembert formülünden seri çözümünün elde edilmesi

Yukarıdaki örnekte seri çözümünden yola çıkarak $\psi(x) \equiv 0$ durumu için seri çözümünün D'Alembert formülü ile gösterimini verdik. Şimdi de $\psi(x) \neq 0$ durumunda D'Alembert formülünden yola çıkarak seri çözümünü elde edelim: D'Alembert formülünden yararlanmamız için hiperbolik problemi $(-\infty, \infty) \times (0, \infty)$ bölgesinde incelememiz gerekir. Fakat seri çözümünde elde ettiğimiz problemin $\varphi(x) \in C^2[0, l]$ ve $\psi(x) \in C^1[0, l]$ giriş verileri yalnızca $(0, l)$ aralığında tanımlanmıştır. O halde bu fonksiyonları bir şekilde $(-\infty, \infty)$ aralığına devam ettirmemiz gerekir. $(0, l)$ aralığında verilmiş $\varphi(x)$ ve $\psi(x)$ fonksiyonlarının $(-l, 0)$ aralığına uzantısını tek fonksiyonlar olarak tanımlayalım:

$$\tilde{\varphi}(x) = \begin{cases} \varphi(x), & x \in [0, l) \\ -\varphi(-x), & x \in (-1, 0) \end{cases}; \tilde{\psi}(x) = \begin{cases} \psi(x), & x \in [0, l) \\ -\psi(-x), & x \in (-1, 0) \end{cases}$$

Daha sonra da bunların $2l$ devirli fonksiyonlar olarak, $(-\infty, \infty)$ aralığına devamını tanımlayalım:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\varphi}(x) = \tilde{\varphi}(x+2l), x \in (-\infty, \infty) \\ \tilde{\varphi}(x) \equiv \varphi(x), x \in (0, l) \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} \tilde{\psi}(x) = \tilde{\psi}(x+2l), x \in (-\infty, \infty) \\ \psi(x) \equiv \tilde{\psi}(x), x \in (0, l) \end{array} \right\}$$

$(-\infty, \infty)$ aralığında tanımlanmış $\tilde{\varphi}(x)$ ve $\tilde{\psi}(x)$ cauchy verilerinin belirlediği

hiperbolik probleminin D'Alembert yöntemiyle çözümü $(x, t) \in (-\infty, \infty) \times (0, \infty)$ için

$$v(x, t) = \frac{1}{2}[\tilde{\varphi}(x-at) + \tilde{\varphi}(x+at)] + \frac{1}{2} \int_{x-at}^{x+at} \tilde{\psi}(\xi) d\xi$$

fonksiyonu ile verilir. $\tilde{\varphi}(x)$ ve $\tilde{\psi}(x)$ fonksiyonları tek fonksiyonlar olduğundan dolayı

$$v(0, t) = \frac{1}{2}[\tilde{\varphi}(-at) + \tilde{\varphi}(at)] + \frac{1}{2a} \int_{-at}^{at} \tilde{\psi}(\xi) d\xi = 0$$

olur. Benzer şekilde $v(l, t) = 0$ olduğunu gösterebiliriz. Gerçekten yukarıdaki denklemde $x = l$ yazarsak

$$v(l, t) = \frac{1}{2} [\tilde{\varphi}(l-at) + \tilde{\varphi}(l+at)] + \frac{1}{2} \int_{l-at}^{l+at} \tilde{\psi}(\xi) d\xi$$

olur. Burada $2l$ devirli tek fonksiyonun tanımından yararlanarak

$$\tilde{\varphi}(l-at) = -\tilde{\varphi}(-l+at) = -\tilde{\varphi}(2l-l+at) = -\tilde{\varphi}(l+at),$$

eşitliklerini yazabiliriz. Buradan $\tilde{\varphi}(l-at) + \tilde{\varphi}(l+at) = 0$ sonucuna varabiliriz. $\tilde{\psi}(x)$ tek fonksiyon olduğundan sağ taraftaki integralin sıfır olduğu açıktır. $v(x, t)$ çözümü türdeş Dirichlet koşullarını da sağlıyor. O halde her iki problemin çözümünün tek olduğunu dikkate alırsak $u(x, t) \equiv v(x, t)$ sonucunu elde ederiz. Bunun da sonucu $(0, l)$ sonlu aralığında tanımlanmış problemin çözümünü $(-\infty, \infty)$ sonsuz aralığında tanımlanmış problemin çözümünden şeklen

$$u(x, t) = \frac{1}{2} [\varphi(x-at) + \varphi(x+at)] + \frac{1}{2a} \int_{x-at}^{x+at} \psi(\xi) d\xi, x \in (0, 1), t > 0$$

biçiminde buluruz.”şeklen ‘’ sözünün buradaki anlamı şudur: $x \in (0, 1)$ ve $t > 0$ olmasına rağmen $x-at < 0$ olabilir ve bu durumda problemin giriş verileri olan $\varphi(x)$ ve $\psi(x)$ fonksiyonları tanımlı olmaz. Fakat burada $\varphi(x)$ ve $\psi(x)$ fonksiyonlarının yerine bunların Fourier serilerini yazarsak

$$u(x, t) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n \left[\sin \frac{\pi n}{l} (x+at) + \sin \frac{\pi n}{l} (x-at) \right] + \frac{1}{2a} \int_{x-at}^{x+at} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \sin \frac{\pi n}{l} \xi \right] d\xi$$

ve sağ taraftaki birinci toplamda

$$\frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)] = \sin \alpha \cos \beta$$

formülünü dikkate alırsak bu engel ortadan kalkmış olur. Sağ taraftaki 2. toplamda da integraleme işlemi yaparsak(yakınsak serinin terimlerinin integralenmesinden elde edilen seri de yakınsaktır) $u(x, t)$ çözümünü

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n \sin \frac{\pi n}{l} x \cos \frac{a\pi n}{l} t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{l}{a\pi n} \psi_n \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{a\pi n}{l} t$$

serisi şeklinde buluruz. Sağ taraftaki toplamları birleştirirsek problemin

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\varphi_n \cos \frac{a\pi n}{l} t + \frac{l}{a\pi n} \psi_n \sin \frac{a\pi n}{l} t \right] \sin \frac{\pi n}{l} x$$

seri çözümünü elde ederiz.

III. SONUÇ VE ÖNERİLER

Karışık sınır koşulu (11) ve (10) verildiğinde $\varphi(+0) = f'(+0) - hf(+0)$ ve $\varphi'(+0) = 0$ koşullarının sağlanması gerekmektedir. Böylece tüm eksene yapılan genişleme sonucunda d'Alembert formülü uygulandığında denklemin başlangıç ve sınır koşullarını sağlayan çözüm elde edilmiş olur. Potansiyel içeren dalga denklemi sonlu aralıkta incelendiğinde (11) ve (12) karışık sınır koşulları altında çözümün elde edilebilmesi için

$$\varphi(+0) = f'(+0) - hf(+0)$$

$$\psi(+0) = f'(\pi - 0) + Hf(\pi - 0),$$

$$\psi'(+0) = 0$$

koşullarındaki genişlemeler sonucu d'Alembert formülü uygulanabilmektedir ve elde edilen çözümler C^2 fonksiyon sınıfına ait olmaktadır. Bu çalışmada birinci dereceden tek boyutta dalga denklemi için sınırlı aralıkta karışık problemin çözümünü ve dalga denkleminin çözümünde zaman ve konumun değişkenlerine ayrılarak (Fouriermethodu) çözülebildiğini inceleyebilirsiniz.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Neşe Dernek, *Kısmi Türevli Denklemler ve Çözümlü Problemler*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Yayıncılık, 2009, böl.5.
- [2] L. C. Evans, *Partial Differential Equations*, vol.19, Rhode Island, USA: American Mathematical Society, 2010.
- [3] R. McOwen, *Partial Diferential Equations Methodsand Applications*, New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [4] W.A. Strauss, *PartialDifferentialEquations*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1992.
- [5] B. M. Levitan ve S. Sargsjan, *Introduction to Spectral Theory: SelfadjointOrdinary Diferantial Operators*, vol. 39, Rhode Island, USA: American Matemactical Society, 1975.
- [6] D. Zwillinger, *Handbook of DiferentialEquations*, 3rd ed , Akademik Pres, Boston, USA, 1997.
- [7] U. T. Myint, *PartialDiferentialEquations of Mathematical Physics*, New York, USA: AmericanElseiver Publishing Company, 1973.

- [8] C. Cattaneo and L. Fontana, 'D'Alembert formula on finite one-dimensional networks', *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 284, no. 2, pp. 403-424, 2003.
- [9] P. S. Akça, 'Basamağa göre homojen hiperbolik denklem için Cauchy Probleminin d'Alembert türlü çözümü,' Yüksek lisans tezi, Matematik Bilgisayar, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beykent Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [10] R. Bonson and G. Costa, *Differential Equations*, Ed. H. Hilmi Hacısalıhoğlu, Ankara: Nobel Yayıncılık, 2013, ss. 308.